

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département Génie Civil et Travaux publics



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :Travaux public .
Domaine :Technologie .
Filière : Travaux Publics.
Spécialité : Voies Et Ouvrage D'art.
Thème :

**Valorisation et Influence De La Teneur En Eau Sur Le
comportement mécanique et thermique Des Blocs D'argile
Comprimés .**

Présenté Par :

- 1) Mm ATTOU Soria.
- 2) Mm RAHMANI Iness.

Devant le jury composé de :

| | | | |
|----------------------|-------|--------------------------|--------------|
| Dr MAROUF H. | M.C.A | UAT.B.B (Ain Temouchent) | Président |
| Dr Dr ABDESSELAM R . | M.A.A | UAT.B.B (Ain Temouchent) | Examinateur |
| Dr TAHAR BERRABAH A. | M.C.A | UAT.B.B (Ain Temouchent) | Encadrant |
| Dr BELLABACI Z . | M.C.A | UAT.B.B (Ain Temouchent) | Co-Encadrant |

Année Universitaire 2021/2022

بسم الله الرحمن الرحيم:

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَلْيُذَكِّرُوا بِالْعَلَاءِ دِرْهَامًا
أَبْنِ تَوْأَمِهِم

المجادلة 11
صدق الله العظيم

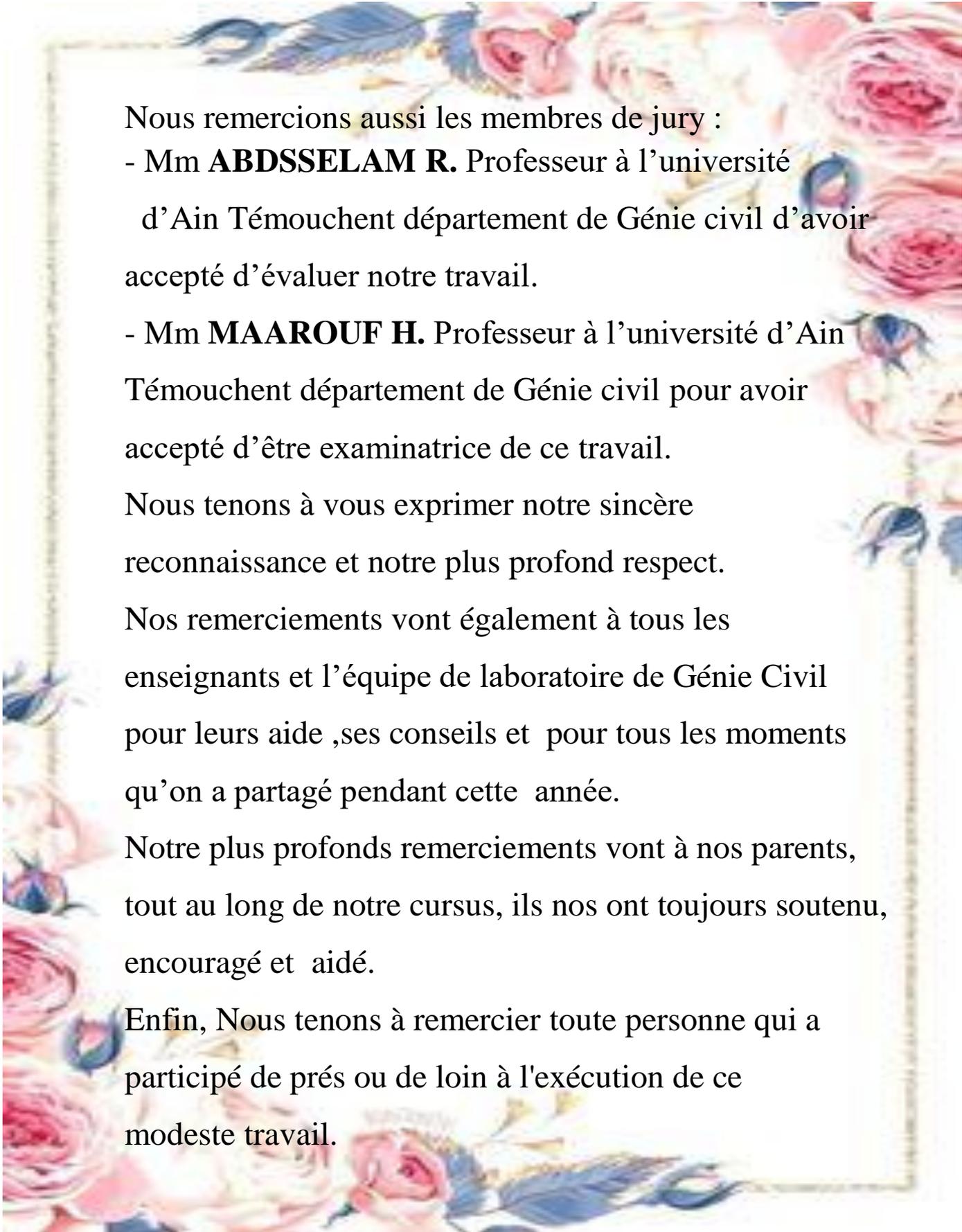


Remerciements





Avant tout, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail. Au terme de la rédaction de ce mémoire, c'est un devoir agréable d'exprimer en quelques lignes la reconnaissance que nous devons à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce travail. Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur Mme. **TAHAR BERRABEH A.** Professeur au département de Génie civil, pour son encadrement fructueux, pour sa disponibilité et son aide précieuse, et nous lui souhaitons la santé et le bonheur. Par la même volonté et la même chaleur, je remercie Mme **BELLABACI Z.** notre co-encadreur, pour le soutien et la confiance.



Nous remercions aussi les membres de jury :

- Mm **ABDSSELAM R.** Professeur à l'université d'Ain Témouchent département de Génie civil d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

- Mm **MAAROUF H.** Professeur à l'université d'Ain Témouchent département de Génie civil pour avoir accepté d'être examinatrice de ce travail.

Nous tenons à vous exprimer notre sincère reconnaissance et notre plus profond respect.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants et l'équipe de laboratoire de Génie Civil pour leurs aide ,ses conseils et pour tous les moments qu'on a partagé pendant cette année.

Notre plus profonds remerciements vont à nos parents, tout au long de notre cursus, ils nos ont toujours soutenu, encouragé et aidé.

Enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.



Dédicace





*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers
à mes parents mon amour éternel ; sans eux je n'y arriverais jamais à être la personne
que je suis. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs
efforts ainsi que l'expression de ma plus affectueuse gratitude.
A mon très cher mari : Ahmed qui ma encouragé et aidé.
A mes très chers enfants : Kawtar, Boumedienne, Abdrazak, Mohamed et Yacine pour
la joie et le sourire qu'ils ne cessent de la semer dans ma vie.
A mes sœurs : Amel, Ghania, Aicha et Amina à mes frères Djamel, Amar et Larbi pour
ce bonheur d'avoir grandir ensemble et pour tous ces bons moments que l'on continue à
passer.
A mes neveux et nièces : Djillali, Sarah, Mehdi, , Mohamed amine, Anes, Nada,
Imene, Dounya, Abderrahmene, Djihan, Nouh et
A mes belles soeurs, Samia, Fatima et Imene .
A mes beaux frères, Larbi, K. Ahmed et A. Ahmed.
A ma belle mère
Toute la famille
A mes amies et collègues
de toujours : Khadija, , Chrifa, Nora , Najate, Yamina, Noria, Naima, Nadia,
Hakima, Ralima,
Soumia, Kadija, les deux Nacira ,
on en a vécu des aventures ensemble,
Une spéciale dédicace pour mon amie et mon employeur: Amel qui ma beaucoup aidé
.Et Mr TARLI .B.
et mon binôme Iness,
Sans oublier toutes personnes qui me connaissent de loin ou
de près, en particulier : Walide
A toute la promotion Génie Civil (VOA) : Said, Tarik, Afaf,
Azize, Raouti et Bachir*

ATTOU Soria





*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du
coeur à ceux*

*qu'on aime et qu'on remercie en exprimant La gratitude
et la reconnaissance durant toute notre existence.*

*Je tiens à dédier ce travail aux personnes les plus chères à mon coeur, ma mère
et mon père car c'est grâce à leurs soutiens*

que j'ai pu arriver à ce stade ;

*je souhaite que ce travail soit à la hauteur
de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi.*

A mes chers soeurs : Fatima et naima

A mon frères : Abdeallah

A mes chere enfants alaa et louey.

et A mon marie : darcherif nabil

Toute la famille Rahmani et Darcherif

Une spéciale dédicace pour mon binôme soria,

*Et pour mes meilleurs amis de notre promo : Raouti – Tarik- Bachir -Afef -
Said -Abdelaziz .*

*Sans oublier toutes personnes qui me connaissent
de loin ou de pré.*

A toute la promotion Génie Civil 2021/ 2022.

RAHMANI Iness



Résumé

La formation des fissures ne doit jamais être prise à la légère dans une construction.

Parmi les origines de ces fissures, la teneur en eau utilisée pour la confection de la brique.

L'intérêt de notre étude est de valoriser des matériaux locaux (argile) de la région de Bensakran (wilaya de Tlemcen) pour la fabrication de blocs d'argile comprimés et identifier la teneur en eau optimal pour la formation de briques durables et résistantes aux fissures.

Les résultats obtenus sur les échantillons ont été très satisfaisantes.

Mots clés : Argile, valorisation , brique , conductivité , bloc, teneur en eau optimal , fissures

Abstract :

The formation of cracks should never be taken lightly in a construction.

Among the origins of these cracks, the water content used to make the brick.

the interest of our study is to valorise local materials (clay) from the region of Bensakran (wilaya of Tlemcen) for the manufacture of compressed clay blocks and to identify the optimal water content for the formation of durable and crack-resistant bricks.

The results obtained on the samples were very satisfactory.

Keywords : Blay, benefication, brick, conductivity, block, optimal water content, cracks .

المخلص:

لا ينبغي أبدأً الاستخفاف بتشكيل الشقوق في البناء.

من بين أسباب هذه الشقوق، المحتوى المائي المستخدم في صنع الطوب.

إن اهتمام دراستنا هو تبيين المواد المحلية (الطين) من منطقة بن سكران (ولاية تلمسان) لتصنيع

كتل الطين المضغوطة وتحديد المحتوى المائي الأمثل لتشكيل الطوب المتين والمقاوم للتشقق.

كانت النتائج التي تم الحصول عليها على العينات مرضية للغاية.

الكلمات المفتاحية: الطين ، التثمين ، الطوب ، التوصيل ، الأجر ، محتوى الماء الأمثل ، الشقوق.

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE : | 1 |
| I.1 Introduction : | 3 |
| I.2 Valorisation de La terre : | 3 |
| I.2.1 Généralité : _____ | 3 |
| I.2.2 Modes de fabrication : _____ | 3 |
| I.3 Diversité de la construction : | 4 |
| I.3.1 Béton de terre stabilise (BTS) : _____ | 4 |
| I.3.2 Adobe : _____ | 4 |
| I.3.2.1 Généralité : _____ | 4 |
| I.3.2.2 Définition : _____ | 4 |
| I.3.2.3 Avantages de l'adobe : _____ | 4 |
| I.3.3 Pisé: _____ | 5 |
| I.3.3.1 Avantages de pisé : _____ | 5 |
| I.3.4 Blocs de terre comprimée(BTC) : _____ | 5 |
| I.3.4.1 Avantage de bloc de terre comprimée : _____ | 5 |
| I.4 Impacts des matériaux en terre sur les aspects environnementaux : | 6 |
| I.4.1 L'aspect sanitaire : _____ | 6 |
| I.4.2 L'aspect écologique : _____ | 6 |
| I.4.3 Aspect psychologique : _____ | 6 |
| I.4.4 Aspect confort et esthétique : _____ | 6 |
| I.4.5 L'aspect développement durable : _____ | 7 |
| I.5 Valorisation de (chaux - sable siliceux) : | 7 |
| I.5.1 Introduction : _____ | 7 |
| I.5.2 Brique silico-calcaire : _____ | 7 |
| I.5.2.1 Définition : _____ | 7 |
| I.5.3 Fabrication des gros éléments pour la construction préfabriquée : _____ | 8 |
| I.5.4 Comparaison entre la brique silico-calcaire et la brique en terre cuite : _____ | 8 |
| I.5.5 Plaques de revêtement silico-calcaires : _____ | 8 |
| I.5.6 Mortier bâtard : _____ | 8 |
| I.5.7 Siporex : _____ | 8 |
| I.5.7.1 Les propriétés du Siporex : _____ | 9 |
| I.6 Valorisation et diversification de la pierre : | 9 |
| I.6.1 Introduction : _____ | 9 |
| I.6.2 Exploitation et utilisation des pierres naturelles dans le secteur de la construction : _____ | 9 |
| I.7 Valorisation d'argile : | 10 |
| I.7.1 Valorisation des argiles dans la construction durable et son impact sur l'environnement : _____ | 10 |
| I.7.2 l' architecture durable et l'argile: _____ | 10 |
| I.7.3 Argile et l'économie : _____ | 10 |
| I.7.4 Argile et l'isolation thermique : _____ | 10 |
| I.7.5 Valorisation Des Argiles Dans Le Domaine De La Céramique : _____ | 11 |
| I.7.6 Valorisation des argiles kaoliniques des Charentes dans le _____ | 12 |
| I.8 Valorisation de l'eau : | 12 |

| | |
|--|-----------|
| I.9 Valorisations du sable : | 12 |
| I.9.1 Filière principaux de valorisation des sables et fines : _____ | 13 |
| I.10 Bio traitement avant valorisation en remblais : | 13 |
| I.11 Recyclage en cimenterie : | 14 |
| I.11.1 Dans la fabrication de produits en béton : _____ | 14 |
| I.11.2 Dans les produits de terre cuite : _____ | 14 |
| I.12 Conclusion : | 14 |
| II. Chapitre II : Brique _____ | 16 |
| II.1 Introduction : | 16 |
| II.2 Histoire de la brique : | 16 |
| II.3 Définition : | 16 |
| II.3. Caractéristiques du brique : | 18 |
| II.4 Les types de briques : | 18 |
| II.4.1 Brique crue : _____ | 18 |
| II.4.2 Brique cuite : _____ | 19 |
| II.4.3 Briques de divers matériaux : _____ | 19 |
| II.4.4 Brique en fonction de ses propriétés _____ | 19 |
| II.4.5 Briques pleines et perforées : _____ | 20 |
| II.4.6 Briques creuses : _____ | 20 |
| II.4.7 Briques monomur : _____ | 21 |
| II.5 Dimension d'une brique : | 21 |
| II.5.1 Dimensions d'une brique pleine : _____ | 21 |
| II.5.2 Dimensions d'une brique creuse : _____ | 21 |
| II.5.3 Dimensions d'une brique monomur : _____ | 22 |
| II.6 Processus de production : | 22 |
| II.6.1 Extraction : _____ | 22 |
| II.6.2 Préparation de l'argile : _____ | 23 |
| II.6.3 Broyage et malaxage: _____ | 23 |
| II.6.4 Dosage et mélange: _____ | 23 |
| II.6.5 Façonnage : _____ | 23 |
| II.6.5.1 Briques moulées main : _____ | 23 |
| II.6.5.2 Briques pressées : _____ | 23 |
| II.6.5.3 Briques étirées : _____ | 24 |
| II.6.6 Séchage : _____ | 24 |
| II.6.7 Cuisson : _____ | 24 |
| II.6.8 Emballage : _____ | 24 |
| II.7 Respect de l'environnement : | 24 |
| II.8 Conclusion : | 25 |
| III. Chapitre III : Généralité sur les argiles et essai d'identification de _ | 28 |
| III.1 Introduction : | 28 |
| III.2 Définition de l'argile : | 29 |
| III.3 Catégorie de l'argile : | 29 |
| Elles peuvent être classées en deux grandes catégories : _____ | 29 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| III.4 | Origines Géologiques : | 30 |
| III.4.1 | Principaux Composants : | 30 |
| III.5 | Classification des minéraux argileux : | 30 |
| III.5.1 | Minéraux interstratifiés : | 31 |
| III.5.2 | Propriétés et utilisation : | 31 |
| III.5.3 | Présence de végétation: | 32 |
| III.5.4 | Adsorption : | 32 |
| III.5.5 | Pouvoir Couvrant : | 32 |
| III.6 | Types d'argiles : | 33 |
| III.6.1 | Argiles grésantes : | 33 |
| III.6.2 | Argiles plastiques réfractaires : | 33 |
| III.6.3 | Argiles rouges : | 33 |
| III.6.4 | Kaolins : | 33 |
| III.6.5 | Silice : | 33 |
| III.6.6 | Feldspaths : | 34 |
| III.7 | Situation géographique de la commune de Bensekrane : | 34 |
| III.8 | Utilisation des argiles dans le domaine génie civil : | 35 |
| III.8.1 | Argile et céramiques : | 35 |
| III.8.2 | Argiles et la brique : | 35 |
| III.8.3 | Argiles et la chaux : | 35 |
| III.9 | Conclusion : | 35 |
| IV. | Essai d'identification de l'argile de Bensakrane | 37 |
| IV.1 | Introduction : | 37 |
| IV.2 | Essai d'identification de l'argile de Bensakrane : | 37 |
| IV.2.1 | Programme d'essais : | 37 |
| IV.2.2 | Caractérisation physico-chimiques: | 37 |
| IV.2.2.1 | Analyse Granulométrique : | 37 |
| IV.2.2.2 | Etat de consistance : | 40 |
| IV.2.2.3 | Essai Bleu de méthylène : | 42 |
| □ | Surface spécifique totale : | 43 |
| III.4.2.5. | Essai de teneur en carbonate de calcium : | 43 |
| IV.2.2.4 | Mesure de la densité sèche : | 45 |
| □ | Conclusion : | 46 |
| V. 48 | | |
| V.1 | Introduction : | 48 |
| V.2 | Préparation de la brique : | 48 |
| V.2.1 | Séchage de l'argile : | 48 |
| V.2.1.1 | Broyage de l'argile : | 49 |
| V.2.1.2 | Tamissage : | 49 |
| V.2.1.3 | Pesée : | 49 |
| V.2.1.4 | Préparation du mélange : | 50 |
| V.2.1.5 | Moulage de la brique : | 50 |
| V.2.1.6 | Façonnage : | 51 |
| V.2.1.7 | Séchage : | 51 |
| V.2.1.8 | Cuisson : | 52 |

| | |
|--|-----------|
| V.3 Essais de caractérisation de la brique: | 53 |
| V.3.1 Brique à base d'argile : _____ | 53 |
| V.3.1.1 Essai d'absorption : _____ | 53 |
| V.3.1.2 Essai la perte de masse : _____ | 54 |
| V.3.1.3 Essai de retrait : _____ | 55 |
| V.3.1.4 Essai de résistance à la flexion : _____ | 56 |
| V.3.1.5 Essai de conductivité thermique : _____ | 58 |
| V.4 Brique à base d'argile-silice et argile-sable : | 59 |
| V.4.1 Essai d'Absorption à l'eau : _____ | 60 |
| V.4.2 Essai Perte de masse : _____ | 61 |
| V.4.3 Essai de retrait : _____ | 61 |
| V.4.4 Essai de la Conductivité thermique : _____ | 62 |
| <input type="checkbox"/> Conclusion : | 62 |
| Conclusion générale _____ | 64 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----------|
| Tableau III.1 Analyse granulométrique humide | 39 |
| Tableau III.2: Determinaton de la teneur en eau WL..... | 40 |
| Tableau III.3:Résulta WL-WP-IP | 41 |
| Tableau III.4 : Classification du sol selon VBS | 43 |
| Tableau III.5:Résultats essai de la teneur en carbonate de calcium. | 44 |
| Tableau III.6: Classification de sols selon la teneur en carbonations de calcium. | 45 |
| Tableau III.7: Résultats d’essai Proctor normal. | 45 |
| Tableau IV.1 Essai d'absorbation à eau..... | 53 |
| TableauIV.2 : Les résulta de la perte de masse. | 54 |
| Tableau IV.3: les résulta d'essai de retrait. | 56 |
| Tableau IV.4: Résistance a la flexion. | 57 |
| Tableau IV.5: Essai de conductivité. | 58 |
| Tableau IV.6: Essai d'absorbton d'eau(Argile-sable/argile silice)..... | 60 |
| Tableau IV.7:Essai perte de masse (Argile-Sable/Argile-Silice)..... | 61 |
| TableauIV.8: essai de retrait (Argile-Sable/Argile-Silice). | 61 |
| Tableau IV.9:Essai de conductivité (Argile-Sable/Argile-Silice)..... | 62 |

Liste Des Figures :

| | |
|---|----|
| <i>Figure II.1 : Brique silic-calcaire (1)</i> | 7 |
| <i>Figure II.2; siporex ou beton cellulaire(1)</i> | 9 |
| <i>Figure II.3: La valorisation des déchets de sable (11)</i> | 13 |
| <i>Figure II.1 :Mur en adobe sur soubassement en pierre dans une maison ancienne de Burgos (16)</i> | 17 |
| <i>Figure II.2 : Monter un mur en brique (18)</i> | 17 |
| <i>Figure II.3: Empire state duilding (19)</i> | 18 |
| <i>Figure II.5: Brique pleine (22)</i> | 20 |
| <i>Figure II.4: Briques (20)</i> | 20 |
| <i>Figure II.6: Brique creuse (23)</i> | 21 |
| <i>Figure II.7:la brique monomur (24)</i> | 21 |
| <i>Figure II.8: Fabrication de la brique (25)</i> | 26 |
| <i>Figure III.1 :Kaolinite (29)</i> | 29 |
| <i>Figure III.2: Tétraèdre silicium/Oxygène;OctaèdreAluminium-Oxygène / Hydroxyle (34)</i> | 31 |
| <i>Figure III.3:Eau fortement liée (associée aux feuillets du minéral argile) (36)</i> | 32 |
| <i>Figure III.4:Argile plastique (42)</i> | 33 |
| <i>Figure III.5: Silice (45)</i> | 34 |
| <i>Figure III.6:Fladspath (46)</i> | 34 |
| <i>Figure IV.1:Courbe granulométrique</i> | 39 |
| <i>Figure IV.2 : Courbe de sédimentation</i> | 40 |
| <i>Figure IV.3:Variation de la teneur en eau (w) suivant le nombre de coups (N) (limites d'Atterberg)</i> | 41 |
| <i>Figure IV.4:Abaque Casagrande.(52)</i> | 41 |
| <i>Figure IV.5: Courbe d'essai Proctor</i> | 46 |
| <i>Figure V.1 : graphe d'essai d'absorbation</i> | 54 |
| <i>Figure V.2:graphe de perte de masse</i> | 55 |
| <i>Figure V.3 :graphe de retrait cuit</i> | 56 |
| <i>Figure V.4:graphe de retrait sec</i> | 56 |
| <i>Figure V.5:graphe de resistance a la flexion</i> | 57 |
| <i>Figure V.6:graphe de conductivité</i> | 58 |
| <i>Figure V.7; graphe d'essai d'absorbtion a l'eau(argile +ajout)</i> | 60 |
| <i>Figure V.8: graphe d'essai de perte de masse (argile +ajout)</i> | 61 |
| <i>Figure V.9graphe de conductivite thermique (argile + ajout)</i> | 62 |

Liste des photos

| | |
|--|----|
| Photo IV.1: Appareillage sédimentation LTPE-UAT (07/03/2022) | 39 |
| Photo IIV.2: Appareillage pour essai au bleu de méthylène. (21/02/2022) | 43 |
| Photo IV.3: Calcimètre Erlenmeyre.(06/03/2022) | 45 |
| Photo V.1: Echantillon de l'argile après séchage (13/03/2022) | 49 |
| Photo V.2: Le quiteur (14/03/2022) | 50 |
| Photo V.3: Argile Tamisée(14/03/2022) | 50 |
| PhotoV.4: Pèse matériaux(14/03/2022) | 50 |
| Photo V.5: Malaxeur(14/03/2022) | 51 |
| Photo V. 6: Moulage de la brique (14/03/2022) | 51 |
| Photo V. 7: La brique après moulage. (14/03/2022) | 51 |
| Photo V. 8: façonnage de la brique (14/03/2022) | 52 |
| Photo V. 9: Briques dans l'étuve (21/03/2022) | 52 |
| Photo V.10: Briques après séchage (23/03/2022) | 53 |
| Photo V. 11: Les échantillons de la brique après cuisson (24/03/2022) | 53 |
| Photo V.12: Essai d'absorption à eau (28/03/2022) | 54 |
| Photo V.13: Essai de la résistance à la flexion (28/03/2022) | 56 |
| Photo V. 14: Essai de conductivité thermique (30/03/2022) | 57 |
| Photo V.15: Silice tamisée (21/03/2022) | 58 |
| Photo V.16: Pèse matériaux (21/03/2022) | 58 |

Liste des symboles et abréviations

| | |
|--------------------------------|---|
| BTC | : Les blocs de terre comprimée |
| PST | : Partie supérieure des terrassements |
| Ca (OH) 2 | : Chaux hydratée (chaux grasse) |
| Fe ₂ O ₃ | : L'oxyde de fer |
| BTP | : Bâtiment et travaux publics |
| GBR | : Le Gravier de Béton Recyclé |
| BBC | : Bâtiment basse consommation |
| M.O | : Molybdène (Métal de transition) |
| SiO ₄ ⁴⁻ | : Tétraèdres |
| AlO ₆ ⁹⁻ | : Octaèdres |
| T O (1 :1) | : Minéraux argileux |
| T O T (2 :1) | : Minéraux argileux |
| CaCO ₃ | : Carbonate de calcium. |
| P | : Pourcentage des particules non décantées |
| V _s | : Volume de la suspension |
| R _t | : Lecture de le densimètre dans la suspension . |
| R _b | : La lecture de la densité de la solution de l'éprouvette B . |
| M | : Poids du sol tamisé. |
| H _c | : Valeur = 0 ou 1,4 |
| WL | : La limite de liquidité |
| WP | : La limite de plastique |
| I _p | : L'indice de plasticité |
| VBS | : Valeur de bleu de méthylène |
| N | : Nombre d'Avogadro = 6.023 10 ⁺²³ |
| S.S.T | : La surface spécifique totale |
| HCL | : Acide |
| CO ₂ | :Gaz |
| H ₂ O | : Eau |
| W _{opt} | :La teneur en eau optimal |
| A | :la masse de l'échantillon sac |
| B | : la masse de l'échantillon saturé. |
| D _h | : Dimension de l'échantillon de la brique après façonnage |

Ds : Dimension de l'échantillon de la brique après séchage
Dc : Dimensions de l'échantillon de la brique après cuisson
R :Retrait
Rf : La résistance à la flexion
P : La force nécessaire pour la rupture
L : La longueur de la brique
B : Largeur de la brique
 ρ_s : Masse volumique spécifique des grains solides
 ρ_w : Masse volumique de l'eau
 γ_d : La masse volumique sec
 λ (Lambda) : Le coefficient de conductivité

INTRODUCTION GENERALE :

L'argile est le matériau le plus utilisé sur la planète depuis plusieurs siècles. Le développement économique et technologique a apporté d'autres matériaux résistants et durables (ciment, chaux, bitume, acier, etc.) pour la construction des infrastructures. Les problèmes de réchauffement climatiques obligent l'être humain à utiliser des matériaux sains et sans émission de gaz à effet de serre, ce qui a encouragé le retour de la terre dans la construction. Une inertie thermique permet d'avoir un habitat frais en été et chaud en hiver.

Dans n'importe quel élément structurel, les fissures ne doivent jamais être prises à la légère. Parmi l'origine des fissures est la teneur utilisée pour la confection de la brique.

Le présent travail s'articule sur la valorisation de l'argile de la région de Bensakrane. Le but est d'utiliser cette argile dans la fabrication de la brique et d'étudier l'effet de la variation de la teneur en eau sur la performance de la brique, beaucoup plus en terme de fissure.

Le mémoire est structuré en cinq chapitres :

Dans le chapitre I : Valorisation des Matériaux locaux.

Dans le chapitre II : La brique.

Dans le chapitre III : Généralités sur les argiles

Dans le chapitre IV : Essai d'identification de l'argile de Bensakrane

Et dans le chapitre V : Comportement mécanique et thermique des briques fabriquées.

Enfin la conclusion générale et des recommandations pour des futures recherches mettront un terme à ce travail de recherche.

Chapitre I

Valorisation des matériaux locaux

I.1 Introduction :

La valorisation des matériaux locaux dans la construction d'habitations et bâtiments est une nécessité dans les perspectives du développement durable. Cette approche permettra de valoriser pleinement les qualités intrinsèques des matériaux locaux pour la construction et l'exploitation des ressources naturelles. La caractérisation et le développement des éco-matériaux, et à la création et au développement de Petites et moyennes entreprises (PME)/ Petites et moyennes Industries (PMI) dans les domaines des technologies de construction innovantes et respectueuses de l'environnement, en valorisant aussi les matériaux appropriés à travers la stabilisation avec des matériaux locaux. Dans le cadre du développement durable et leurs perspectives dans le domaine du génie civil et de construction (bâtiment), l'utilisation et la valorisation des matériaux locaux de construction sont considérées le grand pilier important. Dans ce chapitre, nous allons exposer la diversification des différents matériaux qui peuvent être obtenus et fabriqués par la valorisation de la terre (matériau local).(1)

I.2 Valorisation de La terre :

I.2.1 Généralité :

La terre est un des premiers matériaux utilisés par l'Homme dans le domaine de la construction. Ce n'est que depuis l'apparition du ciment que les techniques de construction en terre ont été délaissées dans les zones urbaines et dans les pays industrialisés.

L'utilisation de la terre dans le secteur de la construction, dans une optique de développement durable, implique l'analyse de la situation qui motive ce choix ; en prenant en considération les aspects écologiques, environnementaux et économiques, la viabilité culturelle et temporelle des impacts positifs et négatifs qui résultent de ce choix. Il existe une grande variété des types de construction en terre ; les types les plus couramment utilisés sont présentés ci après. (1)

I.2.2 Modes de fabrication :

Les deux grands modes d'utilisation de la terre pour la construction que ce soit en technique traditionnelle ou en adaptation moderne sont essentiellement :

- **Le banche monolithique.**
- **La fabrication préalable de blocs (briques).(1)**

I.3 Diversité de la construction :

I.3.1 Béton de terre stabilisé (BTS) :

Les terres argileuses sont utilisées comme matériau de construction sous forme de briques d'adobe (TOUB) ou sous forme de murs banchés. La stabilisation à l'aide d'un liant hydraulique des terres ; argileuses est introduite sous l'appellation de Béton de Terre Stabilisé (BTS).(1)

C'est le mélange adéquat de terre à granulométrie étudiée d'un stabilisateur (ciment, chaux...) et d'eau de gâchage. Ainsi ce matériau conserve les propriétés propres du matériau naturel (terre) et se dote de nouvelles caractéristiques.

La stabilisation du béton de terre a pour objet essentiel de rendre ce matériau moins sensible aux variations de sa teneur en eau (l'empêcher à la fois de se transformer en boue ou de s'effriter sous l'action de l'humidité et de subir en séchant un retrait tel que de larges fissures apparaissent et que les enduits se détachent).(1)

I.3.2 Adobe :

I.3.2.1 Généralité :

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde.(1).

I.3.2.2 Définition :

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité de paille hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30% d'eau). Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon à fabriquer des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol. La brique d'adobe peut varier d'une dimension de (15x25x10) cm soit (30x60x10) cm.

Chaque élément du mélange joue son rôle.

- Le sable : réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre,
- L'argile : agglutine les particules et la paille hachée, quant à lui, donne un certain grade de flexible.(1)

I.3.2.3 Avantages de l'adobe :

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels sont :

- Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.
- D'emmagasiner la chaleur.

- Réduire la consommation d'énergie.
- De ne produire virtuellement aucune pollution.
- Construction peu coûteux.
- N'entraîne pas la production de gaz.(1)

I.3.3 Pisé:

Le pisé est un procédé d'après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans la mélanger ni de paille ni de bourre.

Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l'épaisseur ordinaire des murs de moellons, de la terre préparée à cet effet. Ainsi battue elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée aux hauteurs nécessaires pour une habitation.(1)

Le pisé est donc une technique de maçonnerie de mur en terre crue monolithique coffrée. Le pisé est un matériau à base de terre damée coffrée.(1)

I.3.3.1 Avantages de pisé :

La terre possède de multiples qualités dans le domaine du bâti :

- Régulateur d'humidité : capacité à laisser transiter la vapeur d'eau.
- Durée de vie : patrimoine de bâtiments centenaires très présents.
- Déphasant : il ralentit le transfert de chaleur (et permet un confort d'été indéniable)
- Élément de forte inertie, c'est-à-dire qu'il a une bonne capacité à stocker la chaleur et à la restituer par rayonnement.
- Isolation phonique et qualité acoustique.
- Reprise aisée, mais nécessitant un savoir-faire.(1)

I.3.4 Blocs de terre comprimée(BTC) :

Les Blocs de Terre Comprimée (BTC) permettent une utilisation moderne de la terre crue. Ils sont utilisés pour créer les cloisons de distribution ou doubler les murs extérieurs, dans le but de donner de l'inertie thermique à l'habitat. Différentes des adobes, des briques de terre moulée, les BTC sont très fortement comprimées à l'aide d'une presse. Faites à partir d'une terre légèrement humide, les BTC, une fois pressées, sont stockées en cure humide (sous bâche) pendant 3 semaines à la suite desquelles elles pourront être mises en œuvre.(1)

I.3.4.1 Avantage de bloc de terre comprimée :

- BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.

- BTC procure un confort thermique et phonique excellent : de part son inertie thermique et sa masse, un mur en BTC apporte confort thermique et isolation phonique.
- BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm²).
- BTC présente un intérêt architectural et esthétique : en cloison, en mur porteur, la BTC permet une richesse de formes, et de motifs variés dans son utilisation.
- BTC est simple à mettre en œuvre : la BTC se monte avec un mortier de terre amendé. Les règles de construction sont simples à suivre (1).

I.4 Impacts des matériaux en terre sur les aspects environnementaux :

La position des matériaux ou produits de terre par rapport à d'autres matériaux de maçonnerie peut s'établir sur les aspects d'utilisation de matériau.(1)

I.4.1 L'aspect sanitaire :

Les fabrications des produits de construction en terre ne nécessitent pas l'utilisation des composantes chimiques nocives et radioactives ; donc ces matériaux participent à la protection de l'environnement et au développement durable.(1)

I.4.2 L'aspect écologique :

Les produits en terre sont récupérables et n'entraînent pas des déchets indésirables lorsque l'ouvrage est à détruire. Il est également très facile de recycler le débris des matériaux; Contrairement au béton armé où il faut d'abord dissocier les fers d'armature du béton.(1)

I.4.3 Aspect psychologique :

Cet aspect porte essentiellement sur la nature du matériau. Il ne faut pas manquer de souligner que depuis des années, la population mondiale a toujours utilisé la terre pour la construction de son habitat. De ce fait, malgré le mélange, elle a toujours des doutes sur la qualité des matériaux locaux. Elle les qualifie de matériaux précaires et que construire en « terre » est l'apanage des pauvres. De ce fait, il faut essayer de sensibiliser la population en leur montrant également le côté positif de matériaux locaux et leur participation à la protection de l'environnement contrairement au ciment qui dégage des gaz qui risquent d'être nuisible à la santé.(1)

I.4.4 Aspect confort et esthétique :

La construction des bâtiments à base des briques en terre comprimée assure à l'homme un certain confort et une part important d'esthétique.L'autorégulation du taux d'humidité à l'intérieur des réalisations grâce aux matériaux locaux. L'esthétique de constructions très appréciées. Tout

ceci est par opposition à la construction en aggloméré de ciment qui elle ne constitue pas une isolation à la chaleur.(1)

I.4.5 L'aspect développement durable :

La terre et l'argile font preuve d'une disponibilité en abondance dans presque toutes les régions de m'sila (hodna) ; Leur transformation en matériau de construction (qui est recyclable) nécessite très peu, ou pas du tout d'énergie, et ne provoque pas d'émission de gaz à effet de serre. De ce fait, il est indubitable que les produits en terre participent au développement durable.(1)

I.5 Valorisation de (chaux - sable siliceux) :

I.5.1 Introduction :

La chaux accepte tout type de construction ; Terre, pierre, brique, ciment...etc. Elle a la particularité d'être perméable à l'air et imperméable à l'eau évitant ainsi la condensation. La chaux aérienne est principalement employée pour les enduits et la décoration, la chaux hydraulique lui est préférée pour l'édification de murs en pierres ou en moellons, réalisation de sous-bassement, dalles,...etc. ainsi que la chaux vive est employée pour la fabrication du béton cellulaire.(1)

I.5.2 Brique silico-calcaire :

L'industrie des silicates est l'une des branches les plus développées de l'industrie des matériaux de construction.(1)

I.5.2.1 Définition :

La brique silico-calcaire est un produit à base de chaux. Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange des matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée $\text{Ca}(\text{OH})_2$ appelée chaux grasse (ou de ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave. (1)



Figure II.1 : Brique silic-calcaire (1)

I.5.3 Fabrication des gros éléments pour la construction préfabriquée :

Les mélanges (chaux /sable) sont utilisés dans la fabrication des gros éléments; blocs et panneaux de murs, de planchers intermédiaires ainsi que les éléments débités à la pièce. C'est-à-dire les briques-calcaires et les pierres de murs, les plaques en silicate pour revêtir les façades.

La fabrication des blocs et des panneaux silico-calcaires ne diffère pas de la production des éléments en béton armé. (1)

I.5.4 Comparaison entre la brique silico-calcaire et la brique en terre cuite :

- Les qualités des murs en brique silico-calcaire et en argile du point de vue isolement thermique sont les même.
- Les briques silico-calcaires ont pratiquement le même usage que la brique en terre cuite.
- Les briques silico-calcaires ne peuvent être utilisées pour fondations et socles car leur résistance à l'eau est moins bonne que celle de la brique en terre cuite.
- Les indices techniques et économiques des briques silico-calcaires sont supérieurs à
- ceux de la brique en terre cuite.
- Le prix de revient des briques silico-calcaires est de 25 à 35% inférieur à celui des
- briques en terre cuite.(1)

I.5.5 Plaques de revêtement silico-calcaires :

Sont employées pour le parement des mur en briques des bâtiments industriels et civils et des maisons d'habitation, à l'exclusion des bâtiments à humidité relative élevée (bains publics, blanchisseries... etc) ; leur emploi n'est pas autorisé sans protection avec les couches imperméables pour le revêtement des socles, parapets, seuils de fenêtre, bandeaux et autres éléments de bâtiment soumis à l'humectation par la pluie ou la neige fondante.(1)

I.5.6 Mortier bâtard :

Les mortiers bâtards sont constitués par des mélanges de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.(1)

I.5.7 Siporex :

Le béton cellulaire est un matériau fabriqué à partir d'un mélange de chaux vive, de sable, de ciment, de poudre d'alumine et d'eau, La réaction chaux/alumine provoque la formation de minuscules bulles de gaz. Donc, est un produit léger et excellent isolant, Ces propriétés permettent l'utilisation avec des avantages, grandes qualités techniques, environnementales, esthétiques et de mise en oeuvre.(1)

Est un matériau non polluant, La fabrication du béton cellulaire ne libère aucun produit polluant, que ce soit dans l'air, dans l'eau ou dans la terre. De plus, grâce à un recyclage à chaque phase de la fabrication, il n'y a pas de gaspillage de ressources (matières premières, eau, énergie).(1)



Figure II.2; siporex ou béton cellulaire(1)

I.5.7.1 Les propriétés du Siporex :

- Légèreté.
- Excellente isolation thermique.
- Résistance à la compression (sur cube) d'environ 30 kg/cm².
- Stabilité volumétrique : Son coefficient de dilatation thermique est de $8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, donc un peu plus faible que celui du béton ordinaire.
- Absorption d'eau et diffusion de vapeur : Le béton siporex présente une faible absorption d'eau et un coefficient de diffusion de vapeur relativement élevé.
- Résistance au gel.
- Résistance au feu.
- Facilité de façonnage :

A partir le faible poids des différents éléments siporex, l'exactitude de leurs cotes et leur structure superficielle plane sont des conditions requises pour une mise en oeuvre facile.

Les produits siporex trouvent emploi dans les bâtiments de tous genres en tant qu'éléments légers porteur et non-porteurs, tels que : Les murs ; plancher ; toitures .(1)

I.6 Valorisation et diversification de la pierre :

I.6.1 Introduction :

L'utilisation de la pierre occupe une large partie dans les structures anciennes. Les pierres sont classées en trois typologies principales selon la composition minérale de la roche d'origine : pierre calcaire, magmatique, et métaphorique. Les pierres utilisées dans une structure de la maçonnerie doivent avoir une résistance mécanique suffisante, une texture compacte et homogène, et une bonne adhérence avec le mortier (2).

I.6.2 Exploitation et utilisation des pierres naturelles dans le secteur de la construction :

- Maçonnerie des murs porteurs.
- Fondation en pierres naturelles.
- Maçonneries à assises régulières, appuis de fenêtre, linteaux, marches et dallage.
- Revêtements de sol et talus: Pavage.
- Murs de soutènement.
- Ardoises pour la couverture de toits. (3)

I.7 Valorisation d'argile :

Grâce à les propriétés d'argile , ils sont utilisables pour différentes applications. Outre la fabrication de matériaux de construction dans le domaine génie civil. Elles sont utilisées, à titre d'exemple, pour l'élaboration de matériaux polymères ou encore le raffinage d'huile alimentaire, le domaine cosmétique ou la médecine. (3)

Grâce à leurs propriétés micro et macroscopiques, les argiles, jouent aussi un rôle important dans le stockage des déchets.

A cet égard, les argiles ont des propriétés intéressantes pour constituer une barrière imperméable autour des déchets. Au contact des eaux souterraines, la barrière argileuse va se saturer progressivement(4)

I.7.1 Valorisation des argiles dans la construction durable et son impact sur l'environnement :

Dernièrement le domaine de la construction consomme de grandes quantités de matériaux et d'énergie et Il résulte également des grande quantités de déchets d'après une étude par USA (Étude des États-Unis d'Amérique) ils ont découvertes que La construction est responsable de 39 % des émissions de gaz à effet de serre.

Grâce au chercheur dans le domaine de génie civil ils ont trouvé que l'argile est l'un des meilleures solutions pour une construction durable (5)

I.7.2 L'architecture durable et l'argile:

Ils Préserver la santé publique de la population , des océans et de la planète à l'échelle la plus large ,il conservent de l'énergie, de l'eau et d'autres ressources naturelles , y compris les matériaux de construction.

Alors on peut dire que l'argile est considérée comme matériaux à une orientation acceptable vers la durabilité car :

- Il s'agit d'un matériau naturel disponible dans la plupart des zones au point qu'il peut être considéré comme un matériau de construction gratuit.
- La simple installation et le fonctionnement simplifiés pour les populations locales, grâce à leurs techniques simples elle est facile à fabriquer.
- Les investissements optimaux dans ces matériaux disponibles constituent une menace réelle pour les matériaux de construction modernes (5)
- les matériaux de construction modernes peuvent avoir: épuisement des ressources naturelles, propagation de la pollution et impact sur les équilibres écologiques par contre que l'argile ne cause pas de pollution pour l'environnement pendant la fabrication, mise en œuvre, exploitation ou Démolition (5)

I.7.3 Argile et l'économie :

En profitant de la possibilité de gagner de l'argent et de stocker de la chaleur (retard temporel), elle ne perd pas rapidement de la chaleur, ce qui aide à l'amélioration relative du climat.

I.7.4 Argile et l'isolation thermique :

Pour l'isolation thermique et phonique un mur construit par argile Avec une épaisseur de 40 cm, a retarder la chaleur environ 15 heures mieux que

la construction de murs de béton Cela permet d'économiser une partie de l'énergie dépensée pour l'amélioration thermique.

L'objectif est d'atteindre la durabilité et l'isolation nécessaire dans la construction, en ajoutant des matériaux de liaison et des matériaux de construction délibérés.-

Il possède d'autres caractéristiques géométriques, comme l'isolation acoustique ,elle est anti-incendie.

Elle possède une caractéristique spéciale en termes de recyclage , ce qui facilite sa récupération initiale et réduit les débris (5)

donc on peut dire que la brique peut être considérée comme un matériau renouvelable, car la terre est en constante évolution et la production d'argile sur la surface terrestre est continue .(6)

I.7.5 Valorisation Des Argiles Dans Le Domaine De La Céramique :

Dans un but de caractérisation et de valorisation des argiles du Nord Est de la Tunisie en vue de leur application dans le domaine de la céramique, on a réalisé une étude géologique, minéralogique, physico-chimique et technologique des argiles .Il est possible d'obtenir des L'exemple des caractéristiques physico-chimiques, les matériaux argileux de la région Kasangulu présentent des potentialités d'utilisation industrielle intéressantes et peuvent servir à la fabrication d'une gamme très variée des produits finis très esthétiques :

- Belles couleurs orange ou rouge, uniformes et de forme très régulière.
- Bien maçonnés ou posés, ces produits n'ont besoin d'aucun crépissage, enduit ou peinture.(8)
- Leur aspect esthétique ne s'altère pas facilement avec l'âge. Par contre, les produits à base de ciment sont très peu esthétiques et nécessitent un enduit, un crépissage et peinture qu'il faut refaire régulièrement.(8)
- Les briques cuites constituent donc un matériau connu, acceptable et synonyme de qualité.
- Résistance à la compression et à l'érosion Du fait que la construction d'un habitat demande des moyens importants, Pour gérer de façon durable et intégrée des ressources minérales industrielles de la RD Congo et en particulier celles de la province de Kinshasa, il est souhaitable d'envisager l'organisation des données y afférentes sous forme cartographique à l'aide des outils du Système d'Information Géographique (S.I.G). Dans cette perspective, les études de caractérisation et de valorisation des matériaux locaux de construction méritent d'être soufile (8).

Il sera nécessaire d'effectuer d'autres essais avec des fibres différentes (lin, chanvre,...) afin de déterminer la ou les types de fibres permettant d'obtenir la meilleure résistance mécanique, ainsi que les paramètres influents sur la liaison terre-fibre. De plus, il sera nécessaire de déterminer des conditions de cure évitant la prolifération de champignons sur les fibres extérieures des échantillons. Il sera également intéressant de s'intéresser aux propriétés thermiques de ces matériaux afin de déterminer les différents avantages de la terre-fibre par rapport à d'autres matériaux de construction.(9)

carreaux de faïence à partir des matériaux argileux, mais il serait convenable de diminuer la teneur élevée en carbonate ou d'augmenter la température de cuisson.(7)

L'exploitation des matériaux argileux en vue de la production locale des céramiques devient donc une alternative indispensable pour lutter contre des prix élevés des produits céramiques observés sur le marché.

I.7.6 Valorisation des argiles kaoliniques des Charentes dans le caoutchouc naturel :

Les argiles kaoliniques non modifiées ont un caractère semi-renforteur des gommés naturelles. La teneur en kaolinite est favorable au semi-renforcement. Les teneurs en quartz et en mica sont défavorables.(9)

Les caractères liés à la cristallinité et, par conséquent, à la finesse, sont la deuxième cause de variation des vulcanisats, ceux-ci sont d'autant meilleurs que les argiles qui les chargent sont mieux cristallisées.(9)

Selon le niveau géologique exploité, les performances varient avec la voie de traitement ; on montre que la voie optimale de traitement est la voie humide sodique lorsque les fautes cristallines sont liées à la teneur en potassium, alors que le broyage/sélection par voie sèche conduit à des performances optimales quand les fautes cristallines sont indépendantes de la teneur en potassium.

Des accélérateurs de vulcanisation directement incorporés à la charge améliorent aussi les performances mécaniques.(9)

Enfin, le greffage d'aminoplastes confère aux argiles des propriétés renforçatrices comparables à celles des noirs de carbone. Bien que de telles kaolinites soient un peu moins renforçatrices que les noirs de carbone, leur intérêt est considérable car elles engendrent un meilleur comportement des vulcanisats au vieillissement et conduisent à des formulations moins coûteuses.(9)

I.8 Valorisation de l'eau :

La nouvelle politique de l'eau, issue des assises nationales de l'eau organisées en 1995, est axée sur le développement et la valorisation des eaux conventionnelles et non conventionnelles, afin de mobiliser et distribuer les ressources de façon économique .Elle doit être considérée comme un élément de la politique d'aménagement du territoire et la politique de développement agricole. Cette politique qui trouve ses fondements essentiellement dans la doctrine du développement durable introduite depuis 1987, présente des enjeux très importants et des contraintes.(10)

I.9 Valorisations du sable :

Des chercheurs algériens et malaisiens ont mis au point de nouvelles briques, peu onéreuses et écologique, Les équipes ont utilisé du sable et des matériaux locaux de récupération pour fabriquer ces briques. (11)

Si ces matériaux s'avèrent conformes aux codes nationaux de construction, ils pourraient faciliter la résolution des problèmes de logement. Ils ajoutent que l'utilisation de matériaux de récupération plutôt que de l'argile ou du schiste argileux permet de conserver les ressources naturelles et de préserver la qualité des sols nécessaire pour le développement d'une agriculture durable. (11)

Les chercheurs algériens de l'université de KasdiMerbah et de l'Ecole polytechnique d'Alger ont également conçu et fabriqué des prototypes de briques. Celles-ci sont Dans un autre projet. Celles-ci sont faites à partir du sable du désert. Elles sont solides, assurent un bon transfert de la chaleur et une bonne isolation thermique et sonore. (11)

Selon l'étude publiée en décembre 2012 dans le journal Arabian Journal for Science and Engineering, les briques peuvent être fabriquées à moindre coût dans le Sud de l'Algérie. (11)

Cette brique pourrait résoudre le problème des crises des matériaux de construction auxquels les entrepreneurs algériens font face."

Il explique qu'en Algérie, les briques sont souvent soumises à une tension due aux fortes chaleurs d'été et aux hivers froids, en plus de subir les tempêtes de sable.(11)



Figure II.3: La valorisation des déchets de sable (11)

I.9.1 Filière principaux de valorisation des sables et fines :

Actuellement ce type de déchets est valorisé principalement dans trois filières : la valorisation en remblais et sous-couches routières, le biotraitement puis remblayage et enfin la fabrication du ciment.(12)

En raison de leur haute teneur en quartz, de leur granulométrie appropriée (entre 200 et 400 μm) et de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les sables usés de fonderie peuvent être appliqués comme substitut du sable vierge dans la construction de routes (terrassements et assises routières) et plus généralement en remblais.(12)

I.10 Bio traitement avant valorisation en remblais :

Pour certaines catégories de déchets de sables riches en phénol, il existe une filière de bio traitement permettant de détruire les éléments organiques dans les sables avant la valorisation en remblais. Le principe du traitement est fondé sur l'aptitude des micro-organismes à dégrader les composés organiques qu'ils utilisent comme source carbonée pour produire de l'énergie nécessaire à leur survie. Les bactéries, cultivées en bassin et consommatrices de phénol, sont aspergées en

solution aqueuse puis les sables sont stockés dans des stalles de maturation le temps du traitement biologique. Les sables biotraités sont ensuite valorisés en techniques routières, couvertures de décharge ou utilisés comme agent drainant dans des process de traitement de terres polluées. Le biotraitement des fines de sable est très limité par leur difficulté de mise en œuvre en milieu humide.(12)

I.11 Recyclage en cimenterie :

Les matières premières constituant le ciment sont : du calcaire (77 à 83%), du sable (13 à 14%), de l'alumine (2 à 4 %), de l'oxyde de fer (1,5 à 3%). Ce mélange est chauffé à haute température dans un four à plus de 1500°C où il se transforme en clinker.(12)

L'intérêt des sables de fonderie pour la cimenterie est la silice incorporée au niveau du cru, en substitution de celle des produits de carrière. Les contraintes principales à l'acceptation des sables et des fines de fonderie pour une valorisation en cimenterie portent sur les teneurs en phénol et hydrocarbures, en chrome, zinc et en nickel. Les cimentiers n'acceptent pas les sables qui contiennent de la chromite, de la magnésie, du zircon(12)

I.11.1 Dans la fabrication de produits en béton :

Le béton est un mélange d'environ 80 % de sable et de gravillons, de 5 à 18 % de ciment et de 5 à 9 % d'eau. Les sables de fonderie peuvent être introduits dans le mélange à un taux de 5 à 10 % du mélange en substitution des sablons.

Tout comme les sables, les fines de sable peuvent être incorporées également dans le béton en substitution des sables. On a étudié la faisabilité à l'échelle laboratoire et pré-industrielle de l'introduction de fines de sable en substitution de 10% ciment et de 100 % du pigment.(12)

I.11.2 Dans les produits de terre cuite :

Le sable utilisé dans la fabrication de tuiles est constitué essentiellement de silice (exempt de calcaire) avec une granulométrie de 0,2 à 1 mm ; il joue le rôle de dégraissant dans le mélange de fabrication où les argiles naturelles présentent une plasticité excessive qui entraîne des difficultés de fabrication. Il donne aux produits une texture moins compacte, ce qui facilite l'évacuation de l'eau pendant le séchage et les dégagements gazeux pendant la cuisson. Par contre, il diminue la plasticité, la compacité et les propriétés mécaniques après cuisson.

Les sables de fonderies peuvent être utilisés à un taux de l'ordre de 15 à 30% du mélange argileux. L'intérêt des sables pour ce type de filière vient de sa granulométrie adaptée (comprise entre 0,25 et 0,4 mm) et de la présence d'éléments fondants dans les sables comme l'oxyde de fer (Fe_2O_3). (12)

I.12 Conclusion :

En conclusion la valorisation des matériaux pour crée des nouvelles matières est donc un alternative, c'est une source qui contribue au développement des nombreux enjeux environnementaux et économiques. (13).

Chapitre II

Brique

II.1 Introduction :

Les matériaux de construction sont des matériaux utilisés dans les secteurs de la construction : bâtiments et travaux publics (souvent désignés par le sigle BTP). Ils couvrent une vaste gamme des matériaux qui inclut principalement le bois, le verre, l'acier, l'aluminium, les textiles, les matières plastiques (isolants notamment) et les matériaux issus de la transformation de produits de carrières, qui peuvent être plus ou moins élaborés (incluant le béton et divers dérivés de l'argile tels que briques, tuiles, carrelages et divers éléments sanitaires). .(14)

Pour des raisons d'économies et face aux crises écologique et climatique, une tendance générale (qui touche aussi le génie civil) est d'économiser les ressources naturelles et énergétiques tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, dans le cadre du développement d'une économie circulaire et d'une transition énergétique, de nouveaux matériaux alternatifs (écomatériaux, matériaux biosourcés pour « bâtiments biosourcés », sédimatériaux, etc.) apparaissent (ou réapparaissent), incluant des matériaux recyclés ou intégrant des déchets industriels ou du BTP (démolition /déconstruction, avec notamment depuis quelques décennies le Gravier de Béton Recyclé ou GBR)

II.2 Histoire de la brique :

L'origine de la brique remonterait à 7 000 ans avant J. C. dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Son utilisation se généralise au III^e millénaire comme matériau de construction avec la sédentarisation de l'Homme. L'obligation de se protéger de façon durable des intempéries et des prédateurs impose à l'Homme de trouver un matériau dur et résistant. Qui plus est , la brique est aisément réalisable à partir d'argile ou de terre. Les premières maisons en brique ont été découvertes en Irak puis en Mésopotamie et son usage couvre rapidement dans tout le Moyen-Orient. .(15)

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.

À la fin du XX^e siècle, les chocs pétroliers à répétition, la prise de conscience écologique consécutive au dérèglement climatique, conduisent l'industrie briquetière à des innovations majeures pour réduire la consommation énergétique et l'impact environnemental liés à la fabrication des produits.(15)

II.3 Définition :

La brique est un parallélépipède rectangle de terre argileuse crue et séché au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est fréquemment mêlée de sable. (14)



Figure II.1 :Mur en adobe sur soubassement en pierre dans une maison ancienne de Burgos (16)

Brique est un morceau de terre glaise ou d'argile pétri, séché et cuit au four. Cette sorte de pierre factice en forme d'un petit parallépipède rectangulaire et de couleur rougeâtre plus ou moins foncée, sert principalement à la construction d'édifices, des murs, des cheminées, etc.

On désigne aussi sous ce nom les objets qui ont la couleur rouge de la brique ordinaire. On fait des briques blanches, des briques noires et en mélangeant ces différentes nuances de couleurs, les architectes et maçons réalisent de véritables dessins et motifs décoratifs sur les murs.

On fabriqua également, dans le même but, des briques vernissées ou recouvertes en partie d'un émail de couleur vive.(17)



Figure II.2 : Monter un mur en brique (18)

II.3. Caractéristiques du brique :

1-Matériau simple, la brique a donc su traverser les siècles ; sa durée de vie d'environ 100 ans pourrait éviter les reconstructions intempestives.

2- Le matériau est également apprécié pour sa capacité d'inertie, c'est-à-dire sa capacité à maintenir une température ambiante.

3- Ses qualités acoustiques et de résistance au feu.

4- Ses avantages durables séduisent,

5- Charme esthétique plaît aussi : «On la trouve un peu partout et même dans les intérieurs : revêtement de sol, mur, plafond... (15)



Figure II.3: Empire state building (19)

II.4 Les types de briques :

On distingue différents types de briques.

II.4.1 Brique crue :

➤ La brique crue : constituée de terre crue et fibrée de paille, de lin, de crin, elle peut prendre aussi le nom d'adobe, de banco, etc.

➤ L'adobe.

➤ La brique de terre compressée.

➤ L'opus latericium (appareil en briques crues), mode de construction romain entièrement en briques crues.

➤ La latérite : terme attribué à Francis Buchanan-Hamilton (1807) pour décrire un matériau argileux servant à la construction, exploité dans les régions montagneuses l'aide d'un instrument tranchant. Exposé à l'air, il durcit rapidement et résiste alors remarquablement aux agents météorologique (15)

II.4.2 Brique cuite :

➤ la brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose.

➤ La brique pleine peut être laissée apparente, ou être employée comme matériau de parement, tandis que la brique creuse, qui présente l'avantage d'être plus légère et plus isolante, est généralement en contre-façade et éventuellement enduite.

➤ L'opus testaceum (de testaceus, en « terre cuite ») est un appareil de construction romain entièrement en briques cuites.

II.4.3 Briques de divers matériaux :

- La brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique.
- La brique de verre, brique en verre.

II.4.4 Brique en fonction de ses propriétés

➤ La brique légère et isolante qui flotte sur l'eau . Le savant italien Fabroni a utilisé une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.

- La brique non gélive, brique qui ne se dégrade pas par l'effet du givre.
- La brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.

➤ Les briques creuses à petits alvéoles verticaux (conservation de la fraîcheur en été, de la chaleur en hiver) et des qualités propres à la terre cuite (régulation d'humidité, absence de fibres ou de produits chimiques est fragile, certaines briques modernes sont appropriées pour la construction aux normes anti-sismiques.

➤ Des briques de formes variées permettent de construire une maison quasiment entièrement en briques. Murs, planchers, linteaux, cheminées, cloisons (coupe-feu, coupe-bruit...) peuvent être faits en brique, seules les fondations sont coulées et la toiture en bois et tuiles et les ouvertures en bois ou verre(15)



Figure II.4: Briques (20)

II.4.5 Briques pleines et perforées :

Elles sont de moins en moins utilisées en construction du fait de leur performance thermique dérisoire.

Ces briques de construction trouvent cependant une utilité nouvelle en décoration .(21)

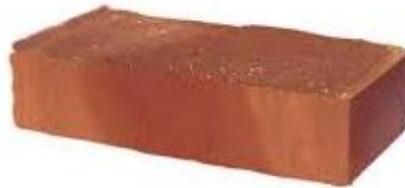


Figure II.5: Brique pleine (22)

II.4.6 Briques creuses :

Plus légère, elle permet une pose plus facile et plus rapide. Si elle est moins résistante en compression, elle est bien plus isolante qu'une brique pleine.

Elles permettent de réaliser des murs intérieurs et extérieurs, porteurs et non porteurs.

Sa structure interne lui procure de bonnes capacités de régulation de l'hygrométrie de l'air ambiant.

C'est aujourd'hui la brique la plus utilisée de par ses qualités !

A noter qu'un mur en brique creuses de 20 cm nécessitera tout de même la pose d'une isolation rapportée. (21)



Figure II.6: Brique creuse (23)

II.4.7 Briques monomur :

Récemment développée, la brique monomur, également appelée brique à joints minces, ou brique alvéolaire, est une brique à isolation répartie.

En raison de sa forte épaisseur (jusqu'à 50 cm) et de sa structure multi-alvéolaire auto isolante, cette brique ne nécessite pas ou peu d'isolation complémentaire et possède une bonne inertie thermique.

Autres particularités de cette brique : sa facilité et sa rapidité de pose.

Cette brique est en effet rectifiée et profilée sur chant pour en faciliter l'assemblage et sa mise en œuvre se fait par joint mince avec de la colle et non du mortier, ce qui permet de limiter les ponts thermiques.

Son prix est en revanche plus élevé et sa technique de pose à joints minces nécessite un savoir faire que tous les artisans ne possèdent pas.(21)



Figure II.7: la brique monomur (24)

II.5 Dimension d'une brique :

II.5.1 Dimensions d'une brique pleine :

Les dimensions des briques pleines en terre cuite varient assez peu selon le producteur.

Exemple de dimension brique rouge courante : 54 x 105 x 220 mm (hauteur x largeur x longueur) ou 50 x 105 x 220 mm.(21)

II.5.2 Dimensions d'une brique creuse :

Les briques creuses sont disponibles dans de multiples formats.

Les dimensions des briques standards creuses sont : 20 x 20 x 50 x cm (hauteur x largeur x longueur).(21)

II.5.3 Dimensions d'une brique monomur :

La brique monomur se décline en différentes dimensions.

Sa largeur conditionne l'épaisseur du mur et donc son sa résistance thermique.

Brique monomur 20 et brique monomur de 30cm : ces dimensions standards de brique ne permettent pas d'atteindre à elle seule les performances thermiques exigées par les constructions BBC/RT 2012. Elle nécessite donc la mise en œuvre d'un isolant thermique complémentaire. Cette solution peut cependant être une bonne alternative économique dans les zones les plus chaudes.

Brique monomur de 37,5cm : c'est la brique monomur standard. Cette épaisseur de brique offre un bon compromis technico-économique car sa résistance thermique permet de rentrer dans les normes RT 2012.(21)

Brique monomur de 42cm et brique monomur de 50 cm : ces briques d'épaisseur accrue présentent un coefficient thermique augmenté. Elles sont une réponse notamment dans les zones climatiques aux hivers plus rigoureux.

II.6 Processus de production :

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

- L'extraction des matières premières (argiles et limons) .
- La préparation de l'argile.
- Le façonnage.
- Le séchage .
- La cuisson.(21)

II.6.1 Extraction :

La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Il faut entendre 'argile' au sens large et considérer également les terres limoneuses et schisteuses, matières premières de même composition minéralogique que l'argile. L'argile est extraite dans des argilières situées en zone d'extraction. L'argile est omniprésente dans le sous-sol et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique. Certaines briqueteries ajoutent des argiles en provenance d'autres argilières afin d'étoffer la gamme de produits. Le transport reste toutefois limité. Les briques de parement moulées main et étirées sont fabriquées à partir de divers argiles et limons.(21)

II.6.2 Préparation de l'argile :

La préparation comprend deux opérations principales :

le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini.(21)

II.6.3 Broyage et malaxage:

Ces opérations ont pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulage des briques. Cette opération a également pour but de réduire les inclusions solides éventuellement présentes dans l'argile (ex : nodules de pyrite et inclusions de chaux) pouvant influencer négativement la structure du produit en terre cuite. Cette étape très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales ou à cylindres horizontaux. (21)

II.6.4 Dosage et mélange:

Aujourd'hui, on ne fabrique plus les briques uniquement à partir des argiles locales, comme c'était le cas auparavant. Pour obtenir une qualité optimale de la matière première, divers types d'argile sont mélangés, toujours sous un contrôle permanent. On peut ainsi garantir la qualité constante des produits en terre cuite. La préparation de la matière première s'accompagne également d'ajout d'eau ou de vapeur. L'ajout d'eau permet de garantir une mise en forme facile de l'argile, tandis que la vapeur augmente la plasticité de l'argile. Les machines à doser sont constituées de réservoirs contenant les différentes matières premières dont des «nourrices» alimentent régulièrement, et dans les proportions requises, un ou plusieurs mélangeurs.(21)

II.6.5 Façonnage :

On distingue divers types de briques, en fonction de la manière dont elles sont mises en forme : (21)

II.6.5.1 Briques moulées main :

La méthode de moulage la plus ancienne est le façonnage à la main des briques. Le mouleur prend une certaine quantité d'argile, la jette dans un moule en bois préalablement sablé pour éviter que la pâte n'adhère aux parois, presse convenablement la terre pour remplir le moule, arase l'excédent et retourne l'appareil pour démouler la brique crue ou «verte» (= brique non cuite). Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile (et humide par conséquent).

II.6.5.2 Briques pressées :

Les briques moulées à la presse forment une catégorie à part. On introduit dans les moules de l'argile relativement sèche que l'on comprime vigoureusement pour lui donner la cohésion voulue. Ces produits présentent une surface grenue et une forme géométrique bien marquée.(21)

II.6.5.3 Briques étirées :

Enfin, les briques pour maçonnerie ordinaire sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette machine, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Ce «boudin» d'argile est alors coupé à intervalles réguliers. Chaque élément forme une brique qui présente quatre faces assez lisses suite au coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement plus grossières. (21)

II.6.6 Séchage :

Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau - du moins en est-il ainsi pour la plupart des argiles. Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Le risque serait en effet de les voir se fendre ou éclater sous la dilatation de la vapeur dans la masse. D'autre part, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'au terme du retrait consécutif à la dessiccation. Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide (généralement de 2 à 4 jours).(21)

II.6.7 Cuisson :

C'est la dernière étape que doit subir la brique d'argile façonnée et séchée, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite à proprement parler. C'est là une phase d'une grande importance qui doit se dérouler très progressivement. On augmente graduellement la température jusqu'à l'obtention de la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C, en fonction du type d'argile) ; on diminue ensuite progressivement la température jusqu'au refroidissement complet. Chaque mélange d'argile se caractérise par sa propre «courbe de cuisson». On peut modifier l'atmosphère du four. La cuisson en oxydation (= avec apport d'oxygène) est la plus fréquente et produit la teinte «normale». Dans une atmosphère réductrice (= sans apport d'oxygène), on obtient des couleurs plus foncées. Aujourd'hui, on utilise un four continu de type four tunnel. Dans celui-ci, le chargement de briques parcourt un tunnel rectiligne sur des wagonnets et passe successivement par les zones de «préchauffage», de «cuisson» et de «refroidissement. L'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée. A partir d'une température comprise entre 450°C et 600°C, on ralentit la montée en température des Four tunnel(21)

II.6.8 Emballage :

Après la cuisson, les briques sont prêtes à être transportées et livrées sur chantier. Pour des raisons de facilité et de sécurité, elles sont préalablement empilées sur des palettes et emballées de façon à minimiser la quantité d'emballage utilisé.(21)

II.7 Respect de l'environnement :

Comme la plupart des processus, la production de briques a un impact sur l'environnement. Le secteur céramique y accorde beaucoup d'attention et met tout en œuvre pour minimiser les émissions dans l'air, l'eau et le sol. La consommation énergétique est aussi un point d'attention continu. Economie de matières premières : la gestion de la matière

première qu'est l'argile est planifiée à court, moyen et long terme. Nous accordons beaucoup de valeur à la gestion parcimonieuse des matières premières.

L'eau est utilisée pour rendre le mélange d'argile plastique mais est également ajoutée lors du moulage. Lors du façonnage, les moules sont humidifiés, sablés et remplis du mélange argileux. Ensuite, ils sont rincés à l'eau et réutilisés. L'eau de rinçage est réutilisée en circuit fermé. Cette manière de travailler permet de limiter la consommation d'eau et d'éviter toute forme de rejet d'eau. La production de briques occasionne d'inévitables émissions. Le secteur mène de nombreuses initiatives pour les minimiser. Pour atteindre cet objectif, des mesures intégrées au processus et des techniques de traitement de fumées jouent un rôle complémentaire. Economie d'énergie : depuis des dizaines d'années, des mesures d'économie d'énergie sont mises en œuvre : fours tunnel performants alimentés au gaz naturel, suivi détaillé du processus de cuisson, récupération maximale de la chaleur des fours pour l'utiliser dans les chambres de séchage,... (21)

II.8 Conclusion :

La brique est un produit «local», fabriqué à partir de matières premières issues de notre propre sous-sol. Par ailleurs, on trouve toujours une briqueterie à une distance limitée d'un chantier. Ainsi, on limite le transport tant des matières premières que des produits finis(21)

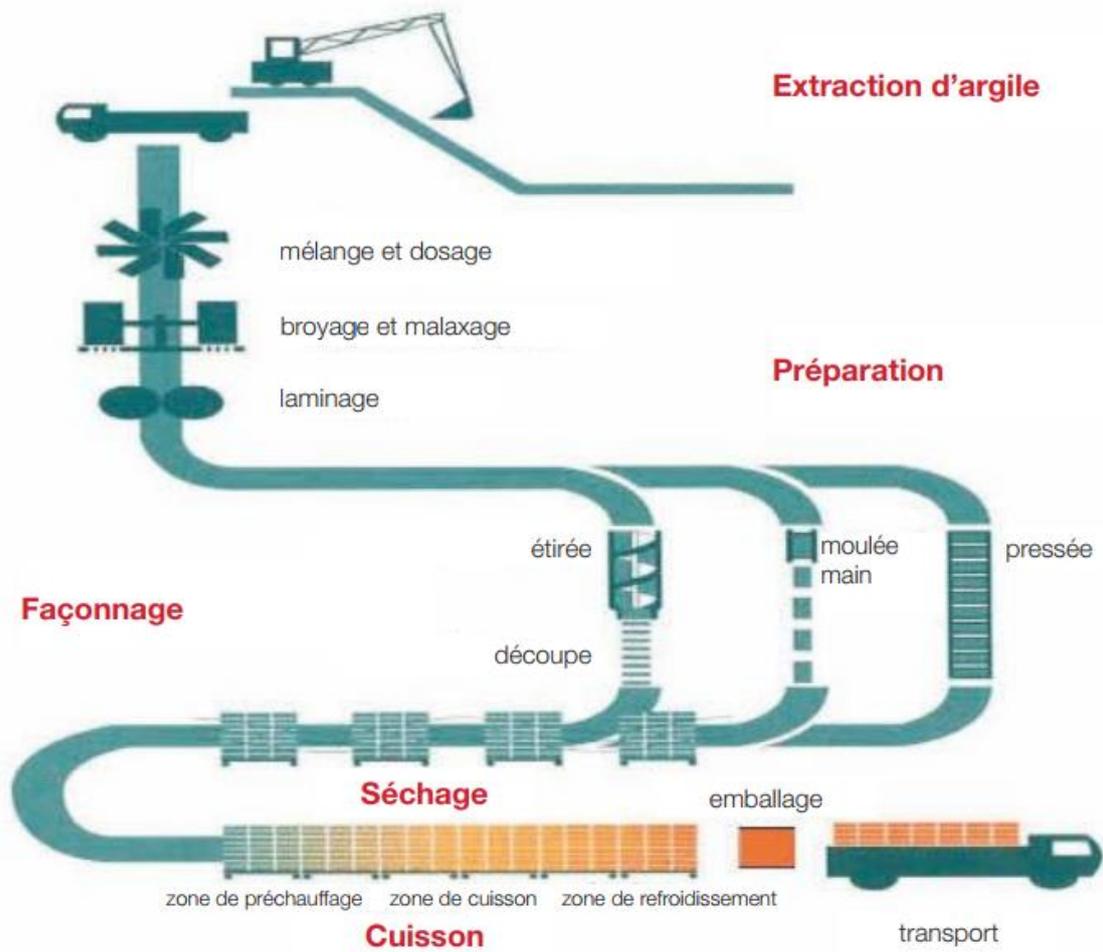


Figure II.8: Fabrication de la brique (25)

Chapitre :III

Généralités sur les argiles .

III.1 Introduction :

L'argile est l'un des matériaux les plus anciens utilisé par l'être humain. Récoltée à même la terre dans des carrières, on ne trouve pas une mais des argiles. De part une structure spécifique, ainsi que des propriétés multiples, les argiles répondent à de nombreuses indications. L'argile est déformable, transformable, adhérente, coulante, glissante, fixante et a ainsi de nombreuses capacités parmi lesquelles le transport, la capture, la libération de substances liquides, gazeuses, mais également solides, vivantes, et mortes. Sa richesse minérale et en oligo-éléments en fait un outil dans la santé, le bien-être, la beauté, l'entretien du corps, de la maison, des constructions, dans l'industrie. (26) .

III.2 Définition de l'argile :

L'**argile** est une roche sédimentaire tendre, source naturelle de minéraux, notamment de silicate d'alumine, et d'oligo-éléments comme le fer, le potassium, le sodium, le calcium et le magnésium., qui est aussi l'un des éléments constitutants des tissus du corps humain. Plusieurs argiles existent de différentes couleurs . La couleur change en fonction de l'état de fer dans le sol. (27)

le terme "argile" se réfère au matériau naturel (la roche), qui comporte majoritairement des minéraux argileux associés à d'autres minéraux qui n'induisent aucune plasticité tels que le quartz, le calcaire, la dolomie, le gypse, les oxydes, les hydroxydes...), et qui ne durcissent pas forcément au séchage et la cuisson.(28)



Figure III.1 :Kaolinite (29)

L'argile se rapporte à la terre grasse et molle contenant un ensemble de particules fines dont la taille supérieure est fixée à $2\mu\text{m}$. Chargée négativement comme la smectite, l'illite et la kaolinite. La présence de tels minéraux rend l'argile .(30)

III.3 Catégorie de l'argile :

Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

- Les argiles plastiques : elles sont tendres et très déformables ,
- Les argiles raides : elles sont indurées et présentent un comportement plus fragile que ductile au de la de la limite d'élasticité, et cela a cause de la présence des carbonates et du quartz. .(30)

C'est la variation de la teneur en eau qui est le facteur déclenchant des variations de volume. Une augmentation de la teneur en eau entraine le phénomène de gonflement tandis

Chapitre III : Généralités sur les argiles

que sa diminution induit le phénomène de retrait. En effet, la vitesse d'adsorption de l'eau liée, due aux phénomènes électrostatiques, est plus rapide. La variation du volume des argiles est fortement influencée par des facteurs microscopiques et macroscopiques. A l'échelle microscopique, ces facteurs sont complexes et dépendent principalement des propriétés minéralogiques, des matériaux argileux et des propriétés chimiques du fluide hydratant. Une description détaillée des phénomènes microscopiques est nécessaire pour bien comprendre et interpréter les phénomènes observables à l'échelle microscopique ou macroscopique.(30)

III.4 Origines Géologiques :

Les argiles se forment partout où l'eau peut interagir à l'état liquide avec les minéraux silicatés. Les minéraux argileux recombinaient les éléments chimiques majeurs de l'écorce terrestre ; ils sont des témoins de l'évolution de la croûte terrestre car ils persistent bien après que les fluides ont disparu. Ils jouent également un rôle important dans la mobilité de la lithosphère et dans le recyclage de l'eau vers les profondeurs de la croûte terrestre.(31)

III.4.1 Principaux Composants :

- Minéraux argileux (phyllosilicates) dominants
- Quartz: microquartz d'origine éolienne; jusqu'à 30% de la roche
- calcédoine, opale: forme mal cristallisée et hydratées de la silice; origine organique (plantes, plancton)
- oxydes et hydroxydes de fer: hématite, goéthite
- sulfure de fer (pyrite) en milieu réducteur
- gibbsite (oxyde d'aluminium) sous climat chaud et humide)
- carbonates (calcite, dolomite)
- matière organique:

Eléments figurés: pollens, spores, débris ligneux matière amorphe (décomposition par bactéries)

La quantité de matière organique intervient est associée au degré d'oxydation du fer, donc la couleur:

- M.O.abondante, milieu réducteur, fer réduit (ferreux), couleur noir, gris, vert.
- M.O.absente: fer oxydé rouge.
- Les argiles très riches en M.O. évoluée en profondeur (kérogène) forment les roches mères d'hydrocarbures.(32)

III.5 Classification des minéraux argileux :

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet. On distingue ainsi 4 groupes :

Chapitre III : Généralités sur les argiles

- Minéraux à 7 Å : Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O ou de type 1/1. Son épaisseur est d'environ 7 Å .
- Minéraux à 10 Å : Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O/T ou de type 2/1. Son épaisseur est d'environ 10 Å .
- Minéraux à 14 Å : Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T/O/T et de couches octaédriques interfoliaires .

III.5.1 Minéraux interstratifiés :

L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles

appartenant aux groupes ci-dessus.(33)

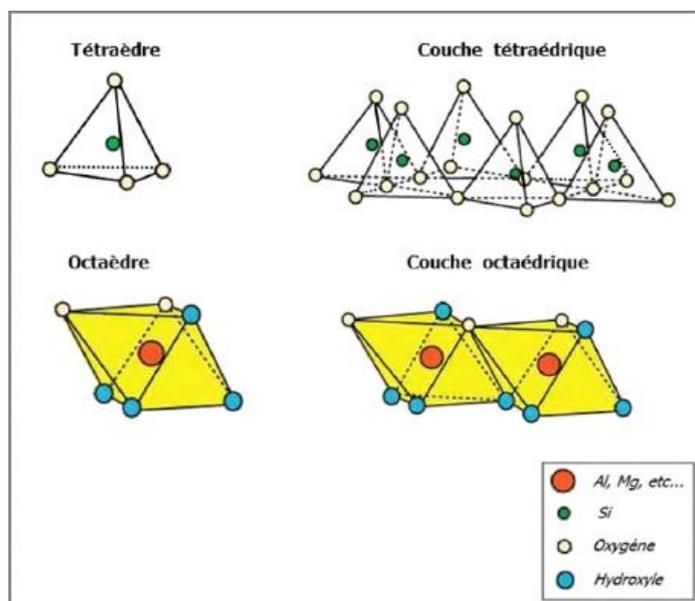


Figure III.2: Tétraèdre silicium/Oxygène; Octaèdre Aluminium-Oxygène / Hydroxyle (34)

III.5.2 Propriétés et utilisation :

Les minéraux argileux ont en commun :

- Une structure en feuillets (phyllosilicates) avec une ou deux couches de tétraèdres SiO_4^{4-} et une couche d'octaèdres AlO_6^{9-} . Il y a ainsi des argiles T O et T O T.
- Une capacité plus ou moins marquée à admettre entre les feuillets des cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) et/ou des ions OH^- et aussi des molécules d'eau H_2O .(35)

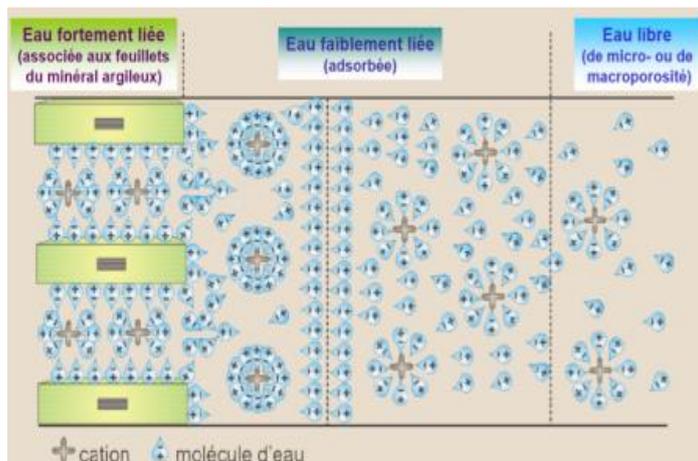


Figure III.3: Eau fortement liée (associée aux feuillets du minéral argile) (36)

- Une variation volumique associée aux transferts d'ions et d'eau entre les feuillets. On parlera de retraits – gonflements.
- Capacités d'adsorption et d'absorption plus ou moins grandes, associées à des retraits gonflements plus ou moins marqués .

La capacité d'absorption d'eau des minéraux argileux est très largement valorisée dans les activités industrielles pour la fabrication d'objets moulés (briques et tuiles, poteries,...). On peut pérenniser et stabiliser les objets fabriqués par une cuisson qui permet de sécher mais aussi de modifier la structure même de l'Argile en la rendant insensible à l'eau(35)

III.5.3 Présence de végétation:

En agriculture, la bentonite connaît beaucoup d'application elle permet de mettre en valeur les terres à texture très légère (ENGELHATER et al., 1985). Et protégé les sols contre l'érosion éolienne .de point de vue économique l'application de la bentonite en agriculture permet d'améliorer la structure des sols sableux successibles d'augmenter la production et d'économiser l'eau et les éléments fertilisant. HALILAT et TESSIER., 2006 ont montré que la bentonite améliore les paramètres chimiques des sols sableux. (37)

III.5.4 Adsorption :

L'adsorption est un phénomène de surface universel. En effet, toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant les atomes et molécules passant à proximité. Les chimistes travaillant sur des réactifs de très haute pureté savent bien la difficulté qu'il y a à éliminer les impuretés adsorbées sur la surface interne de leur montage. (38)

III.5.5 Pouvoir Couvrant :

Le pouvoir couvrant est un phénomène physique directement issu de la structure intrinsèque des argiles. Les particules d'argiles vont s'accrocher les unes aux autres permettant de recouvrir des surfaces. Cette propriété est la capacité d'une argile à agir comme un ansement. (39)

III.6 Types d'argiles :

III.6.1 Argiles grésantes :

Ce type est défini dans par des produits vitrifiés, opaques, à porosité très (3 à 7) faible et par conséquent imperméable. Les autres propriétés importantes de grès sont une grande résistance mécanique(40)

III.6.2 Argiles plastiques réfractaires :

Riches en montmorillonites, en kaolinite et halloysite ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4 2(\text{H}_2\text{O})$.. (41)

Utilisées pour les très hautes températures, elles sont riches en alumine et très peu colorées (40)



Figure III.4:Argile plastique (42)

III.6.3 Argiles rouges :

Ce sont des argiles contenant kaolinite et illite, du sable, du mica et des oxydes de fer, des composés organiques et des composés riches en alcalins. (43) .

III.6.4 Kaolins :

Le kaolin ou argile blanche est formé principalement de silicate d'aluminium hydraté. Ce minéral cristallin est issu de la décomposition hydrothermique des roches de granit, un processus pouvant durer plusieurs millions d'années. Le **kaolin hydraté** se caractérise par sa granulométrie fine, sa structure lamellaire et son inertie chimique. La calcination du kaolin conduit à la formation du **métakaolin**, un minéral blanc amorphe utilisé comme additif pouzzolanique dans les produits à base de ciment. Le **kaolin calciné** est un silicate d'aluminium anhydre obtenu par chauffage de l'argile blanche surfine naturelle à des températures élevées dans un four. Le processus de calcination augmente la blancheur et la dureté, améliore les propriétés électriques et modifie la taille et la forme des particules de kaolin.(44)

III.6.5 Silice :

La silice existe à l'état libre sous forme cristalline ou amorphe, et à l'état combiné sous forme de silicates. Les principales variétés cristallines de la silice sont le quartz, la cristobalite et la tridymite. À l'état naturel, la **silice cristalline** (et notamment le **quartz**) est présente dans de nombreuses roches (grès, granite, sable ...). De ce fait la silice cristalline est présente dans de nombreux produits comme les **bétons**, les **mortiers**, les **enduits de façade**...(45)



Figure III.5: Silice (45)

III.6.6 Feldspaths :

Un feldspath est un minéral de la famille des tectosilicates, dont la composition est celle d'un aluminosilicate de sodium, de potassium ou de calcium. Il existe de nombreux feldspaths, dont les principaux sont l'orthose ou le microcline (potassique), l'albite (sodique) et l'anorthite (calcique) Les feldspaths forment le groupe de minéraux le plus important volumétriquement de la croûte terrestre.(46)



Figure III.6:Feldspath (46)

III.7 Situation géographique de la commune de Bensekrane :

La commune de Bensekrane est située au Nord-Est du chef lieu de la wilaya de Tlemcen à la limite de la wilaya d'Ain-Témouchent ,elle fait partie de la zone de plaine et plateaux intérieurs de la wilaya de Tlemcen. Traversée du Sud au Nord par la route nationale n°2, son chef lieu de la commune se situe au point ou la Route franchit l'oued Isser à une altitude de 246 m et à 30 km du chef lieu de la wilaya de Tlemcen. La superficie du commun est de l'ordre de 168 km² soit 16.800 hectares .Le territoire de la commune de Bensekrane est limité :

- Au Nord par la commune d'Ain Kihal et Aghlal (wilaya d'Ain Témouchent) ;

Chapitre III : Généralités sur les argiles

- A l'Est par la commune de Sidi Abdelli ;
- A l'Ouest par la commune d'El Fehoul ;
- Au Sud par la commune d'Amieur.(47)

III.8 Utilisation des argiles dans le domaine génie civil :

III.8.1 Argile et céramiques :

Une argile pure, essentiellement constituée de kaolinite, donne après cuisson (par des réactions de déstabilisation et réarrangements cristallins, analogues à celles d'un métamorphisme de contact), un corps dur mais poreux et rayable par l'acier, de faible résistance mécanique (ces argiles sont utilisées pour la fabrication de produits fins, type faïences et porcelaines, après mélange avec d'autres produits). Par contre, les argiles moins pures contiennent des éléments dits "fondants"(que l'on peut aussi ajouter, sous forme de chaux, potasse, soude, feldspaths,...) : ces éléments sont susceptibles de fondre aux températures appliquées, donnant alors des silicates de viscosité variables. La présence de ces fondants assure donc le développement d'une phase vitreuse qui rigidifie l'ensemble en liant les éléments cristallins. (48)

III.8.2 Argiles et la brique :

La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Il faut entendre 'argile' au sens large et considérer également les terres limoneuses et schisteuses, matières premières de même composition minéralogique que l'argile. (28)

III.8.3 Argiles et la chaux :

La chaux agricole est généralement du carbonate de calcium (CaCO_3). Elle est inefficace pour l'amélioration et la stabilisation des sols. L'effet stabilisateur dépend de la réaction entre la chaux et les minéraux argileux.(49)

III.9 Conclusion :

L'argile est l'un des plus beaux cadeaux de la nature, un matériau multi utilisation, est un matériau local par excellence, réalisable à l'infini. Elle est autour de nous, en trouve des choses faites à base d'argile (Brique, carlage, céramique...)

Chapitre IV :

Essai d'identification de l'argile de Bensakrane

IV.1 Introduction :

Dans une structure, les fissures ne doivent jamais être prises à la légère. Elles peuvent être le signe de désordres graves surtout si ce sont des fissures structurelles. En effet, les fissures structurelles montrent que des tensions s'exercent sur la maçonnerie et la fragilisent. Pour remédier à ces désordres, il faut en déterminer l'origine. (50)

Parmi l'origine des fissures est la teneur utilisée pour la confection de la brique. Le but de ce chapitre est de faire voir l'effet de la teneur en eau sur la création des fissures des briques fabriquées à la base de l'argile de Bensakrane.

IV.2 Essai d'identification de l'argile de Bensakrane :

Les essais d'identification nous permettent d'une part de classer les sols en fonction de leur granularité, plasticité, argilosité, degré de saturation, etc. D'autre part de calculer les indices de vides, de compacité, de densité, etc. (51)

IV.2.1 Programme d'essais :

Les essais ont été effectués au niveau du laboratoire de l'université sont les suivants :

- L'analyse granulométrique par sédimentaire .
- Les limites d'Atterberg.
- L'essai au bleu de méthylène .
- Essai de teneur au Carbonate de calcium.
- Essai de mesure de la densité sèche .

IV.2.2 Caractérisation physico-chimiques:

IV.2.2.1 Analyse Granulométrique :

C'est l'étude de la fréquence des grains de différentes dimensions, réalisée sur un échantillon, pouvant aller jusqu'à 80µm. Ceci pour définir les différentes classes granulométriques contenues dans cet échantillon.

➤ But De L'essai :

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la grosseur et les pourcentages respectifs des différentes familles de grains inférieurs à 80µm constituant l'échantillon.

➤ Mode Opérateur

- Prendre deux éprouvettes à essais de 2 litre de contenance , l'une est remplie par 2L d'eau distillée et l'autre par l'eau .
- Prendre 60cm³ de défloculant et 80g du sol tamisé à 80µm et compléter avec 440cm³ l'eau distillée pour obtenir une solution 500cm³ ;
laissez pendant 12 heures .

- Agiter avec un agitateur mécanique pendant 3 min ; Verser la suspension dans la deuxième éprouvette A, Compléter l'éprouvette avec l'eau distillée jusqu'à 2 litre.
- Procéder à une homogénéisation de la suspension a l'aide de l'agitateur manuel.
Introduire le densimètre dans la suspension et procéder aux lectures (O les appeler Rt).
- Les temps de lecture sont : 30s, 1min ,2min,5min ,10min ,30min , 60min , 120min , 240min , 1440min
- A la fin, retirer le densimètre de l'éprouvette A ,
- A l'aide du thermomètre, procéder à la lecture de la température de la solution de l'éprouvette B.

Rq : Pour les 5 premières lectures , le densimètre est introduit dans la suspension environ 30 s avant la lecture.



Photo IV.1 : Appareillage sédimentation LTPE-UAT (07/03/2022)

Calcul Des Résultats :

- Calcul du pourcentage des particules non décantées . le pourcentage des particules qui sont en suspension est donné par :
- Calcul du pourcentage des particules non décantées

$$P = \left(100 \cdot \frac{V_s}{m} \cdot \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho_w) \rho_w} \right) (R_t - 1).$$

Ht. Elle donnée par :

$$H_t = 22,2 - 100 \cdot 3,8(R_t - R_b) - H_c$$

Avec :

- Hc . Elle est prise (par convention) égale à 0 pour les 3 premières lectures et égale à 1,4cm pour la suite.

Les résultats de notre analyse granulométrie d' échantillon sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 Analyse granulométrique humide

| temps (sec) | θ (c°) | liquide (A) | témoin (B) | Hc (cm) | Di (mm) | ρ_t (g/cm ³) | P(%) | %grains <à D |
|-------------|---------------|-------------|------------|---------|---------|-------------------------------|--------|--------------|
| 30 | 18 | 1,021 | 0,997 | 0 | 0,0691 | 1,0200 | 1,6650 | 95,96 |
| 60 | 18 | 1,021 | 0,997 | 0 | 0,0489 | 1,0200 | 1,6650 | 95,96 |
| 120 | 18 | 1,021 | 0,997 | 0 | 0,0346 | 1,0200 | 1,6650 | 95,96 |
| 300 | 18 | 1,02 | 0,997 | 1,4 | 0,0209 | 1,0190 | 1,5851 | 95,96 |
| 600 | 18 | 1,02 | 0,997 | 1,4 | 0,0147 | 1,0190 | 1,5857 | 95,96 |
| 900 | 18 | 1,0185 | 0,997 | 1,4 | 0,0123 | 1,0175 | 1,4667 | 95,96 |
| 1200 | 18 | 1,018 | 0,997 | 1,4 | 0,0107 | 1,0170 | 1,4271 | 95,96 |
| 1800 | 18 | 1,0175 | 0,997 | 1,4 | 0,0088 | 1,0165 | 1,3875 | 95,96 |
| 3600 | 18 | 1,0155 | 0,997 | 1,4 | 0,0064 | 1,0145 | 1,2289 | 95,96 |
| 7200 | 18 | 1,014 | 0,997 | 1,4 | 0,0046 | 1,0130 | 1,1100 | 95,96 |
| 75600 | 18 | 1,01 | 0,997 | 1,4 | 0,0015 | 1,0090 | 0,7928 | 95,96 |
| 87420 | 18 | 1,009 | 0,997 | 1,4 | 0,0014 | 1,0080 | 0,7135 | 95,96 |

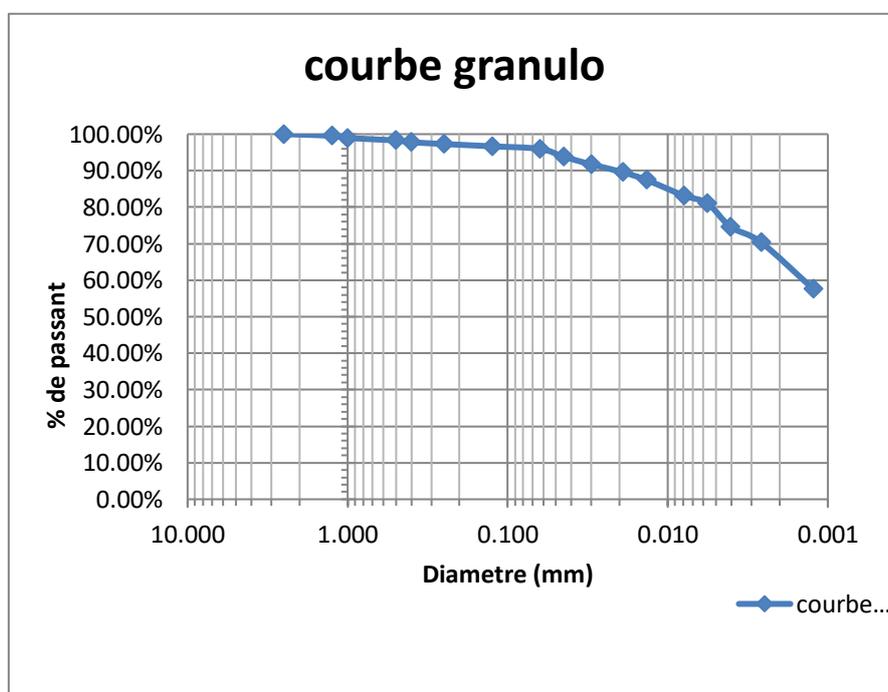


Figure IV.1: Courbe granulométrique

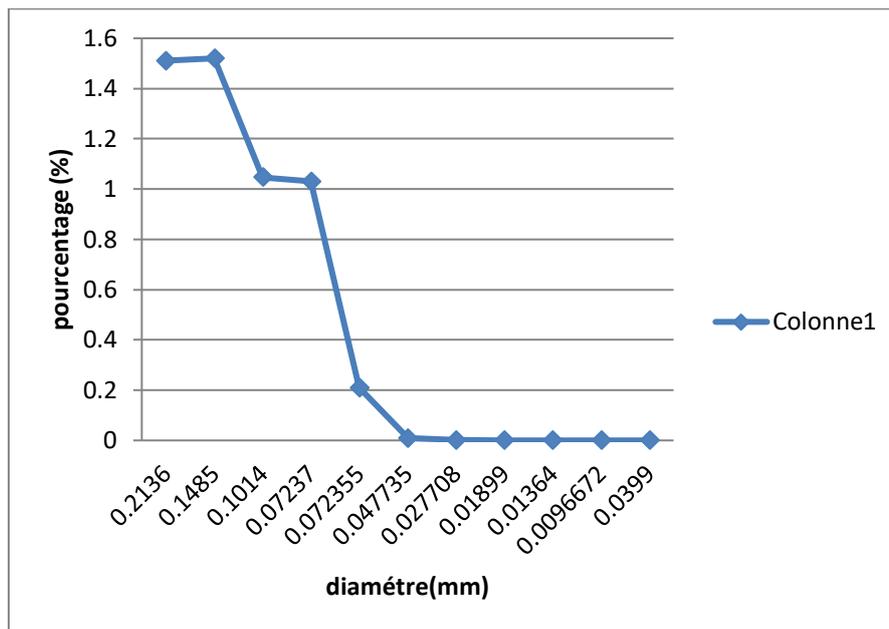


Figure IV.2 : Courbe de sédimentation

✓ D'après les valeurs obtenues nous avons constaté que notre sol est un sole argile.

IV.2.2.2 Etat de consistance :

Dans le but de connaître la relation et l'évolution des caractéristiques de consistance avec les paramètres intrinsèques de la granulométrie, nous avons déterminé les caractéristiques de consistance appelés limites d'Atterberg (1911), dont les essais sont inspirés du mode opératoire de la norme (NF P 94-051).

L'essai comme son nom indique permet de caractériser la transition entre trois différents états de sols argileux :

- Etat liquide – Etat plastique permet de déterminer la limite de liquidité (W_L).
- Etat plastique – Etat solide permet de déterminer la limite de plastique (W_P).

L'indice de plasticité (I_p) qui caractérise l'étendue du domaine plastique des sols argileux, permet de définir la plasticité d'un sol quelconque tout en se référant à un abaque Casa grande de plasticité, donnant la relation (I_p , W_L).

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.2: Determination de la teneur en eau W_L

| Nbre coup | P.totat | P.sec | P.tare | P sol H | P.sol S | P.eau | W | W x 100 |
|-----------|---------|-------|--------|---------|---------|-------|-------|---------|
| 15 | 10,5 | 8,87 | 5,7 | 4,8 | 3,17 | 1,63 | 0,514 | 51,420 |
| 23 | 8,8 | 7,78 | 5,4 | 3,4 | 2,38 | 1,02 | 0,429 | 42,857 |
| 25 | 13,7 | 10,6 | 5,1 | 8,6 | 5,5 | 3,1 | 0,564 | 56,364 |
| 27 | 11,3 | 9,44 | 5,6 | 5,7 | 3,84 | 1,86 | 0,484 | 48,438 |

Tableau IV.3:Résulta WL-WP-IP

| | |
|------------------------|--------|
| Limite de liquidité | 56,363 |
| Limite de plasticité | 16,104 |
| L'indice de plasticité | 40,259 |

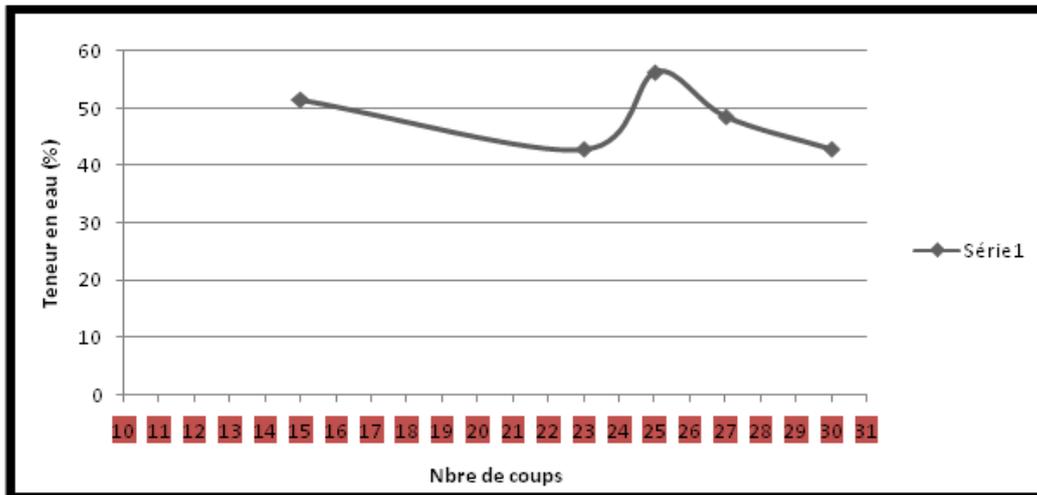


Figure IV.3:Variation de la teneur en eau (w) suivant le nombre de coups (N) (limites d'Atterberg)

✓ D'après le graphe la limite de liquidité 56.36 correspondant a de 25 coups

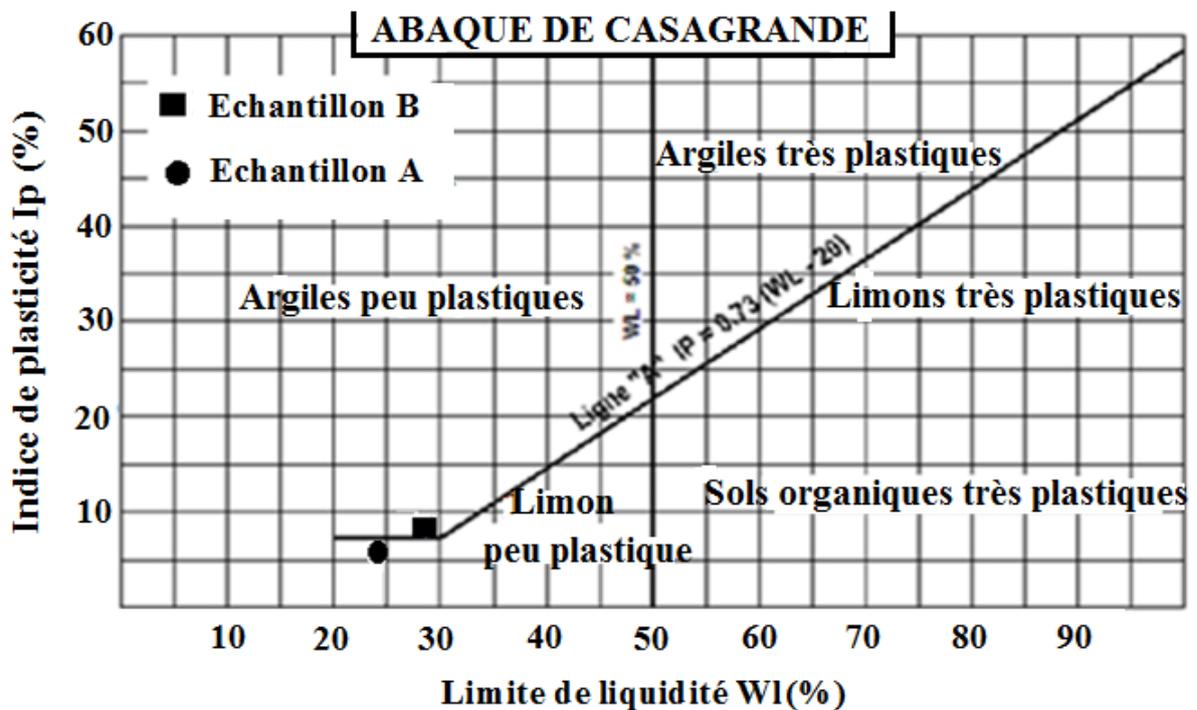


Figure IV.4:Abaque Casagrande.(52)

- ✓ Selon le diagramme de CASAGRANDE la classification de notre sol est :
est un sol Argileux très plastique.

IV.2.2.3 Essai Bleu de méthylène :

Parmi les paramètres physico-chimiques des sols argileux, la valeur du bleu est celle dont la mesure est la plus systématique, et l'appréciation de l'opérateur la moins influente. Elle serait donc, la plus indiquée à être choisie pour caractériser le potentiel de gonflement des sols argileux.

Cet essai (NF P 94-068) est une mesure indirecte de la surface spécifique des grains solides par absorption d'une solution de bleu de méthylène jusqu'à la saturation.

Le principe de l'essai consiste à maintenir en permanence sous agitation un mélange [échantillon + eau] puis à introduire des quantités croissantes de bleu de méthylène par doses successives, jusqu'à ce que les particules argileuses en soient saturées, il apparaît alors un excès qui marque la fin de l'essai et qui est détecté par le test de la tache.

Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur du papier filtre normalisé, une tache qui est un dépôt de sol coloré en bleu, entouré d'une zone humide incolore. L'excès de bleu se traduit par l'apparition dans cette zone d'une auréole d'un bleu clair. Le test est alors positif.



Photo IV.2: Appareillage pour essai au bleu de méthylène. (21/02/2022)

➤ Calcul résultat :

La valeur de bleu du sol est :

$$V_{BS} = v/m \quad \text{avec} \quad V : \text{Volume du bleu ajouté en cm}^3$$

m : La prise d'essai en g.

$$v = 130 \text{ cm}^3$$

$$m = 30 \text{ g}$$

$$V_{BS} = \frac{130}{30} = 4.33 \text{ cm}^3/\text{g}$$

Conclusion et commentaire :

Tableau IV.4 : Classification du sol selon VBS

| Valeur de bleu de méthylène (V _{BS}) | Catégorie de sol |
|--|-------------------------|
| < 0,2 | sols sableux |
| 0,2-2,5 | Sols limoneux, |
| 2,5-6 | sols limoneux- argileux |
| 6-8 | sols argileux. |
| >8 | sol très argileux. |

Commentaire :

Selon de tableau si après on remarque :

$$2.5 < VBS = 4.33 < 6$$

✓ Donc notre échantillon est un Sol limoneux- argileux

➤ **Surface spécifique totale :**

La surface spécifique totale est la surface des grains solides sur laquelle le bleu de méthylène se fixe est donnée par :

$$S.S.T. = \left(\frac{VBS}{100}\right) \times \left(\frac{N}{373}\right) \times 130 \cdot 10^{-20} \rightarrow S.S.T.$$

$$S.S.T. = \left(\frac{4.33}{100}\right) \times (6.023 \cdot 10^{+23} / 373) \times 130 \cdot 10^{-20} \rightarrow S.S.T. = 91 \text{ VBS (m}^2/\text{g)}$$

- VBS / 100 : fraction en % du bleu (<2μ),
- N : Nombre d'Avogadro = 6.023 10⁺²³,
- 373 : Masse moléculaire du bleu de méthylène en gramme,
- 130 10⁻²⁰ : Surface en cm² d'une molécule d'eau.

III.4.2.5. Essai de teneur en carbonate de calcium :

➤ **Principe**

La mesure du dioxyde de carbone produite par action de l'acide chlorhydrique sur une masse de terre connue (1 g) permettra la détermination de la masse de calcaire ayant réagi et donc la teneur en calcaire de l'échantillon analysé.

➤ **But :**

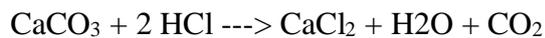
L'essai consiste à déterminer le volume de gaz carbonique dégagé après attaque par l'acide chlorhydrique d'un gramme de matériau sec. Elle est déterminée par l'essai de calcimètre. Cette analyse permet d'obtenir le pourcentage pondéral de carbonate et plus particulièrement de la calcite (CaCO₃), qui est le constituant majeur des roches sédimentaires. Le pourcentage de calcite est déterminé suivant le mode opératoire de la norme (NF P 94-048).

$$\% \text{ CaCO}_3 = \frac{\text{volume du Co}_2 \text{ dégagé par (1g) d'échantillon}}{\text{volume du Co}_2 \text{ dégagé par (1g) de CaCO}_3 \text{ pur}}$$



Photo IV.3. : Calcimètre Erlenmeyre.(06/03/2022)

➤ **Calcul et résultat :**



Si l'acide HCl est en excès, son action sur une mole de CaCO_3 (100g/mol) libère une mole de CO_2 (22,4 l soit 22400 mL).

Connaissant le volume de CO_2 dégagé (niveau final - niveau initial), faire un produit en croix pour calculer la masse de CaCO_3 attaqué.

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.5:Résultats essai de la teneur en carbonate de calcium.

| | | |
|---|---|--|
| de l'échantillon=1g Niveau initial=0 mL Niveau final=67,5mL | | |
| Masse de CaCO_3 | Volume de CO_2 | $X=(100*67,5)/22400$ |
| 100 g | 22400mL | $X=0,30$ g |
| X g | 67,5 Ml | |
| Masse de CaCO_3 | Masse de roche | $y=(100*0,30)/1$ |
| 0,30g | 1g | $Y=30$ g |
| y g | 100 g | |
| Donc 100g du sol contiennent : | 30g de CaCO_3 : Cet échantillon contient 30% de calcaire. | |

Tableau IV.6: Classification de sols selon la teneur en carbonations de calcium.

| Teneur en CaCO ₃ | Désignation géotechnique | |
|-----------------------------|--------------------------|-------|
| 0-10 | Argile | Sol |
| 10-30 | Argile marneuse | |
| 30-70 | Marne | |
| 70-90 | Calcaire marne | |
| 90-100 | Calcaire | Roche |

✓ D'après le tableau de classification de sols selon la teneur en carbonate de calcium : Teneur en CaCO₃ (30%) entre 10-30 alors notre sol : Argile marneuse.

IV.2.2.4 Mesure de la densité sèche :

Dans le cadre de cette étude, le compactage a été effectué selon le principe de l'essai Proctor Normal (NF P 94-093). L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage. L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe ; on trace cette courbe qui représente un maximum, dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale.

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.7: Résultats d'essai Proctor normal.

| % w | P moule | P sol | 1 + w | w | Γd |
|-----|---------|--------|--------|-------|-------|
| 14 | 5,1135 | 1,602 | 1,1621 | 16,21 | 1,483 |
| 18 | 5,2315 | 1,72 | 1,1951 | 19,51 | 1,549 |
| 20 | 5,245 | 1,7335 | 1,1998 | 19,98 | 1,555 |
| 22 | 5,2815 | 1,77 | 1,213 | 21,3 | 1,570 |
| 24 | 5,354 | 1,8425 | 1,2268 | 22,68 | 1,616 |
| 26 | 5,3605 | 1,849 | 1,2389 | 23,89 | 1,606 |
| 28 | 5,339 | 1,8275 | 1,2526 | 25,26 | 1,570 |
| 30 | 5,3155 | 1,804 | 1,2706 | 27,06 | 1,528 |

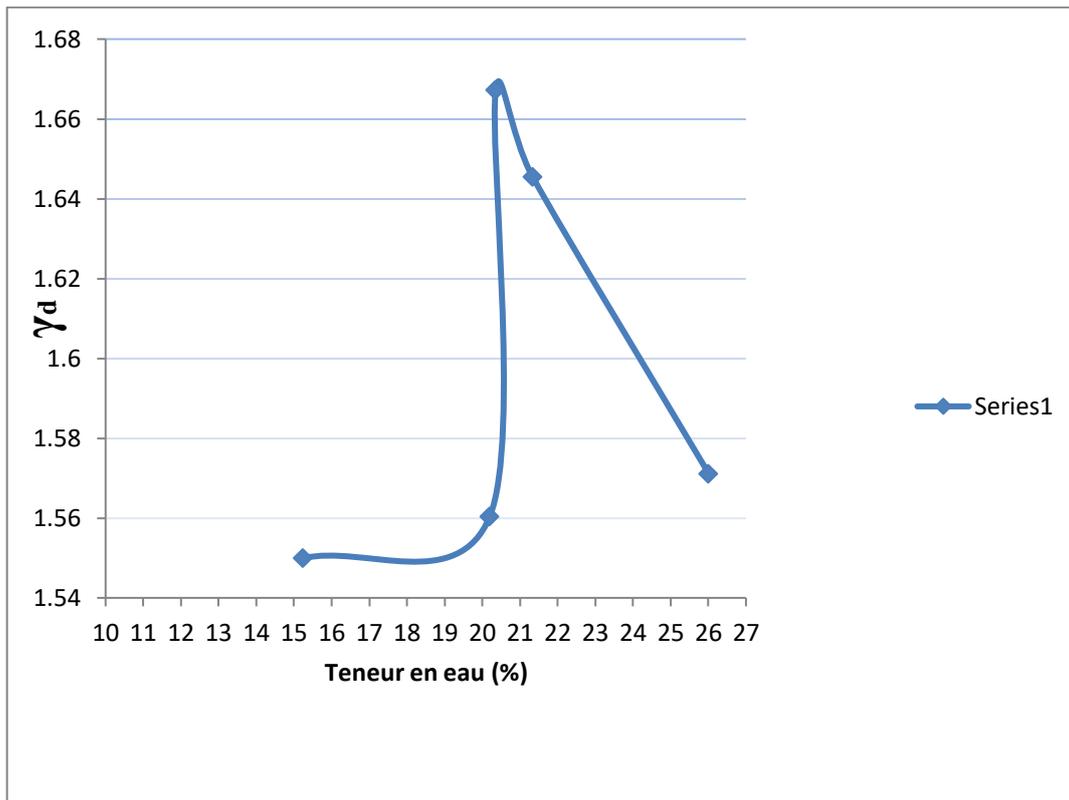


Figure IV.5: Courbe d'essai Proctor.

- ✓ La courbe obtenue a une forme de cloche. Elle indique que dans un premier temps,
- ✓ La teneur en eau optimal pour l'essai Proctor normal est $W_{opt}=20\%$ et la masse volumique sec $\gamma_d=1.667 \text{ kg/cm}^3$ appelée l'optimum Proctor

➤ **Conclusion :**

De l'analyse des résultats d'essais obtenus sur les argiles de Bensakrane wilaya de Tlemcen, on peut dégager les conclusions suivantes :

- le sol testé est identifié comme une argile marneuse très plastique .
- la teneur en eau optimal est 16%.

Chapitre V :
Comportement mécanique et
thermique des blocs d'argile

V.1 Introduction :

Dans une structure, les fissures ne doivent jamais être prises à la légère. Elles peuvent être le signe de désordres graves surtout si ce sont des fissures structurelles. En effet, les fissures structurelles montrent que des tensions s'exercent sur la maçonnerie et la fragilisent. Pour remédier à ces désordres, il faut en déterminer l'origine.(53)

Parmi l'origine des fissures est la teneur utilisée pour la confection de la brique. Le but de ce chapitre est de faire voir l'effet de la teneur en eau sur la création des fissures des briques fabriquées à la base de l'argile de Bensakrane.

V.2 Préparation de la brique :

La brique est un matériau de construction fabriqué avec de l'argile comme une matière première. Pour notre préparation les matériaux utilisés sont les échantillons d'Argile de Bensakrane (Tlemcen).

Nous avons confectionné 3 types de briques selon les différents mélanges :

Mélange 1 : 600g Argile Bensakrane et 16% d'eau (97ml).

Mélange 2 : 600g Argile Bensakrane et 14% d'eau (84ml).

Mélange 3 : 600g Argile Bensakrane et 18% d'eau (108 ml).

V.2.1 Séchage de l'argile :

Le séchage est fait dans une étuve de laboratoire pendant 24h à une température de 105°C

Etuve est un appareil de chauffage fonctionnant le plus souvent à la pression atmosphérique (parfois sous vide ou sous gaz neutre) et permettant d'effectuer divers traitements thermiques à température régulée. Les laboratoires d'analyse ou de recherche en sont souvent pourvus.(54)



Photo V.1: Echantillon de l'argile après séchage (13/03/2022)

V.2.1.1 Broyage de l'argile :

L'argile a été broyée à l'aide d'un broyeur disponible dans le laboratoire de notre université.



Photo V.2 : Broyeur (14/03/2022)

V.2.1.2 Tamisage :

L'argile a été tamisée par le tamis de diamètre 0,08 mm pour éviter les fissurations de la brique.



Photo V.3: Argile Tamisée(14/03/2022)

V.2.1.3 Pesée :

Avant chaque mélange on pèse l'argile et l'eau.



PhotoV.4:Pèse matériaux(14/03/2022)

V.2.1.4 Préparation du mélange :

On mélange à chaque fois l'argile avec de l'eau (Ex :600g d'argile +97ml d'eau) à l'aide de malaxeur pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire .



Photo V.5 :Malaxeur(14/03/2022)

V.2.1.5 Moulage de la brique :

La brique a été moulée dans un moule de (10*10) cm



Photo V. 6: Moulage de la brique (14/03/2022)



PhotoV. 7 : Brique après moulage. (14/03/2022)

V.2.1.6 Façonnage :

Le façonnage consiste à exercer un effort important sur la brique pour avoir une surface régulière.



Photo V. 8 : Façonnage de la brique (14/03/2022)

V.2.1.7 Séchage :

On a laissé la brique à l'air libre pendant des heures pour éviter les fissurations et le choc thermique, après elle a été mise à l'étuve à une température de 105° C pour terminer le processus de séchage.



Photo V. 9 : Briques dans l'étuve (21/03/2022)



Photo V.10 : Briques après séchage (23/03/2022)

V.2.1.8 Cuisson :

La brique a été cuite à une température de 900 ° C pendant 10h.



Photo V. 11 : Echantillons de la brique après cuisson (24/03/2022)

V.3 Essais de caractérisation de la brique:

V.3.1 Brique à base d'argile :

V.3.1.1 Essai d'absorption :

Le test d'absorption a été réalisé selon la procédure américaine : Test de 24 h de submersion dans de l'eau déminéralisée (ASTM C 67-03a).

Les échantillons de briques séchés et refroidis ,ensuite immergés dans l'eau déminéralisée pendant 24 heures.

L'absorption d'eau est ensuite calculée par l'équation :

Absorption Eau stagnante = $(B-A)/A * 100$ (%), où A et B sont les masses de l'échantillon sec et saturé.

Les valeurs d'absorption d'eau sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau V.1 Essai d'absorption à eau

| | Mélange1 | Mélange2 | Mélange3 |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| Masse cuite(g) | 118,80 | 121,83 | 120,40 |
| Masse saturée(g) | 130,87 | 130,29 | 130,35 |
| Absorption | 10,16% | 6,95% | 8,26% |



Photo V.12: Essai d'absorption à eau (28/03/2022)

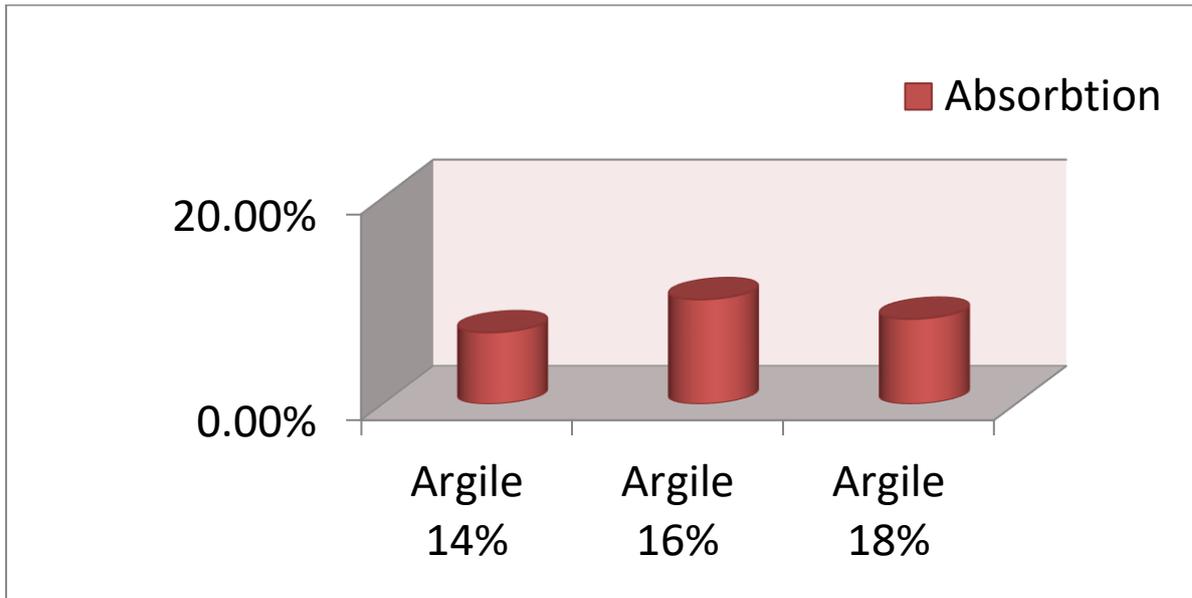


Figure V.1 : graphe d'essai d'absorption

✓ D'après les résultats nous avons constaté que le mélange 1 (16% d'eau) a une valeur d'absorption supérieure, Ce dernier a une capacité d'absorption plus importante que celle des autres mélanges.

V.3.1.2 Essai la perte de masse :

Après le séchage, les échantillons connaissent une perte de masse, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

TableauV.2 : Les résultats de la perte de masse.

| | Mélange 1 | Mélange 2 | Mélange 3 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Masse Humide (g) | 167,4 | 161,9 | 165,9 |
| Masse Sèche (g) | 142,91 | 141,41 | 142,6 |
| Perte de masse (%) | 14,62% | 12,65% | 14,04% |

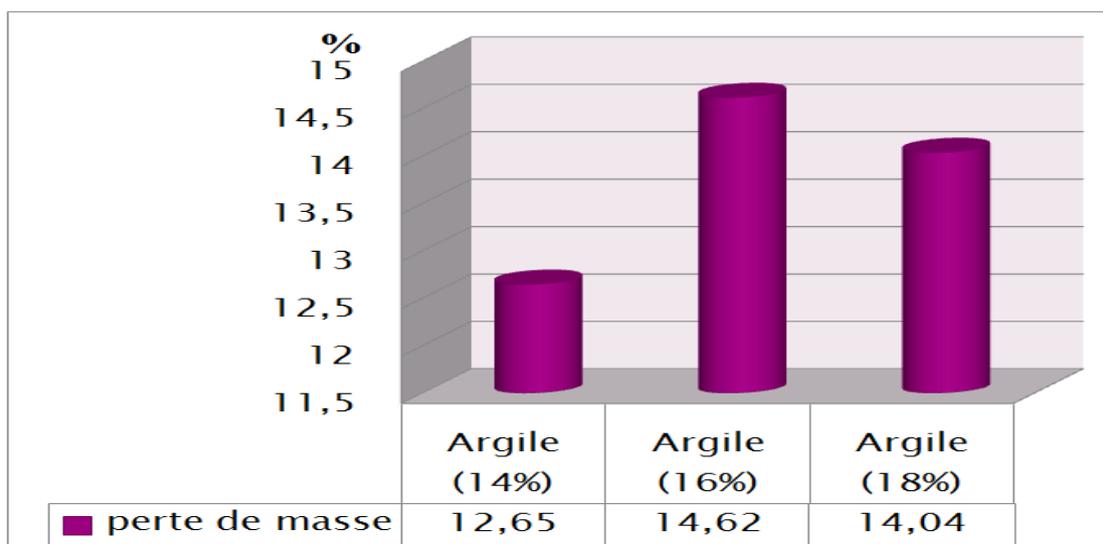


Figure V.2: graphe de perte de masse

✓ D'après les résultats nous avons remarqué que le premier mélange a une perte de masse plus élevée que les autres cela est due à une forte absorption d'eau lors du mélange.

V.3.1.3 Essai de retrait :

Le retrait est un phénomène simple qui correspond à une contraction volumétrique que l'on observe quand du béton se dessèche. Il se développe dans les trois dimensions mais, en général, on ne l'exprime que sous la forme d'une déformation linéaire : en effet, dans la majorité des cas, les éléments structuraux ont une ou deux dimensions nettement plus petites que la troisième, où les effets du retrait sont les plus sensibles.(55)

Les retraits après séchage et à la cuisson sont calculés par l'équation suivante :

$$R (\%) = (Dh - Ds) / Dh * 100 \quad \text{Retrait sec}$$

$$R (\%) = (Ds - Dc) / Ds * 100 \quad \text{Retrait cuit}$$

Où Dh, Ds et Dc sont les dimensions de l'échantillon de la brique après façonnage ; après séchage et après cuisson respectivement. Les valeurs du retrait sont présentées dans le tableau suivant selon les mélanges.

Chapitre V : Comportement mécanique et thermique des blocs d'argile

Les résultats de notre essai sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.3: les résultats d'essai de retrait.

| | Mélange 1 | Mélange 2 | Mélange 3 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| Dh(cm) | 10 | 10 | 10 |
| Ds(cm) | 9,55 | 9,63 | 9,58 |
| Dc(cm) | 9,50 | 9,67 | 9,52 |
| Retraits sec | 4,5 | 3,7 | 4,2 |
| Retrait cuit | 0,52 | 0,41 | 0,62 |

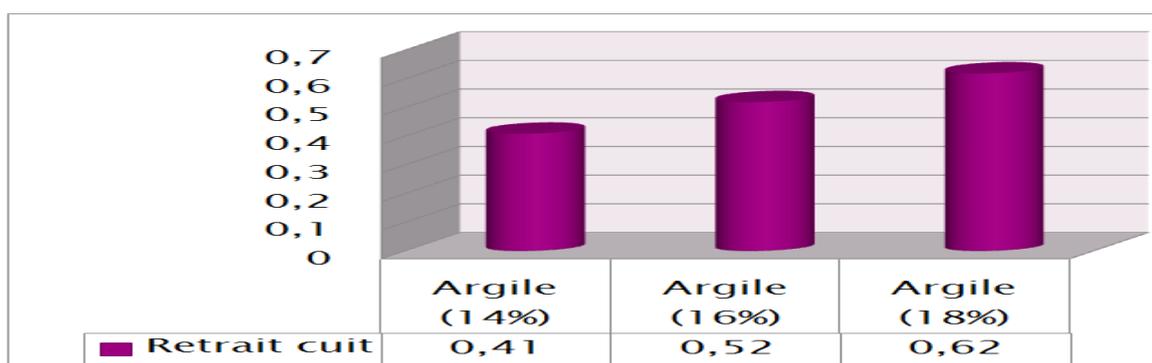


Figure V.3 : graphe de retrait cuit

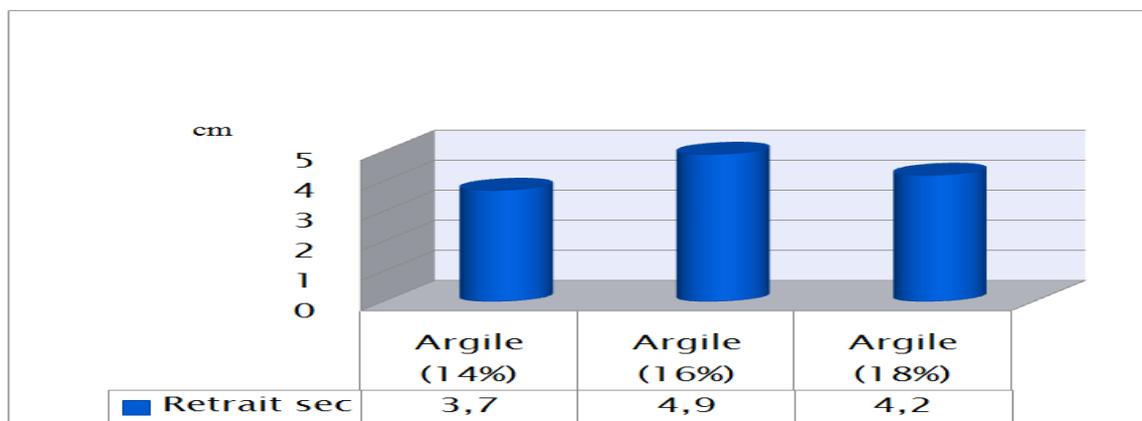


Figure V.4: graphe de retrait sec

✓ La brique fabriquée avec 100% argile (teneur en eau 16%) présente un retrait sec un peu plus important que les autres briques. La brique (18% d'eau) a un retrait cuit très élevé.

V.3.1.4 Essai de résistance à la flexion :

Déformation élastique que subit un solide quand on lui applique une force perpendiculairement à sa longueur (56).

La résistance à la flexion est donnée par la formule suivante :

$$R_f = 1.5pl / b^3 \text{ (Mpa)}$$

Avec P : la force nécessaire pour la rupture

Chapitre V : Comportement mécanique et thermique des blocs d'argile

L : la longueur de la brique

b : largeur de la brique

Le tableau suivant donne les résistances de différents mélanges :

Tableau V.4: Résistance a la flexion.

| | Mélange 1 | Mélange2 | Mélange3 |
|---------------------------|-----------|----------|----------|
| La force P (Kn) | 1,8 | 0,7 | 1,1 |
| La résistance(Mpa) | 1,05 | 0,36 | 0,58 |

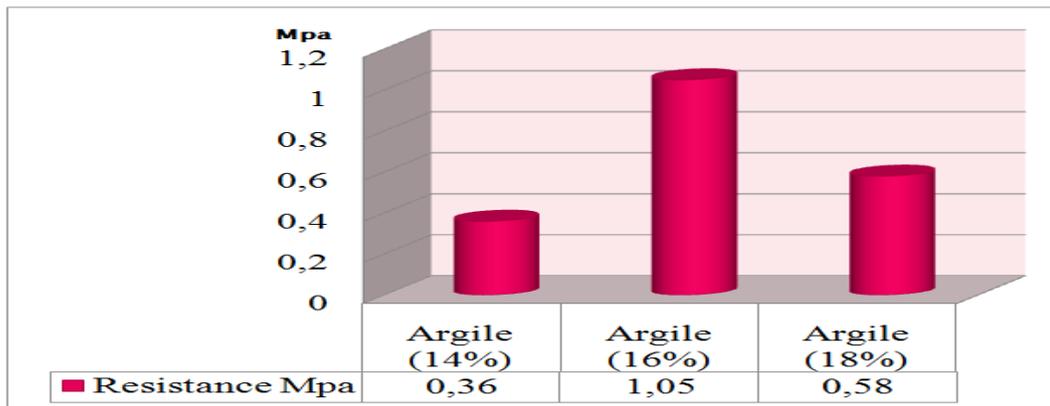


Figure V.5: graphe de resistance a la flexion

✓ Les résultats montrent que la brique (100% argile) avec teneur en eau (16%) présente une forte résistance à la flexion.

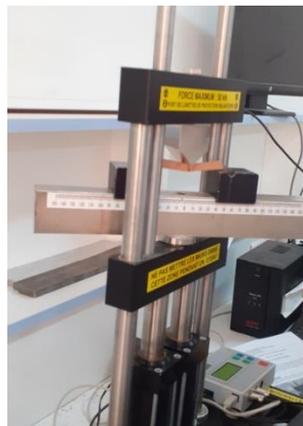


Photo V.13 : Essai de la résistance à la flexion (28/03/2022)

Chapitre V : Comportement mécanique et thermique des blocs d'argile

V.3.1.5 Essai de conductivité thermique :

La conductivité d'un matériau est sa capacité à transmettre la chaleur. Elle est caractérisée par le coefficient de conductivité λ (Lambda), exprimé en W/m.K (Watt par mètre Kelvin) qui doit être le plus faible possible.(57)

Les résultats de conductivité thermique sont présentés dans le tableau ci-essous :

Tableau V.5: Essai de conductivité.

| | Diffusivité (mm ² /s) | Chaleur spécifique (mj/m ³ .K) | Conductivité (W/m.k) | Résistivité (C°.cm/w) |
|-----------------|-------------------------------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Mélange1 | 0,578 | 0,211 | 0,190 | 819,200 |
| Mélange2 | 8,069 | 0,227 | 1,828 | 54,710 |
| Mélange3 | 0,374 | 0,593 | 0,290 | 450,800 |



Photo V. 14 : Essai de conductivité thermique (30/03/2022)

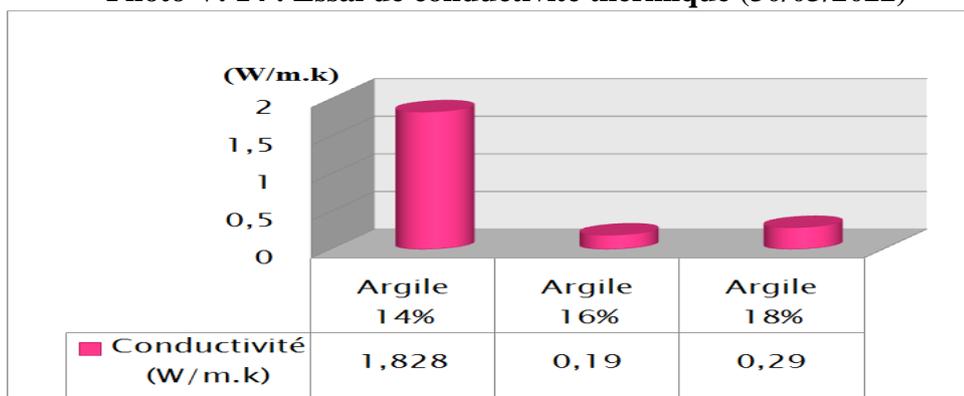


Figure V.6: graphe de conductivité

✓ D'après ces résultats on remarque que l'argile à 16% présente une faible conductivité thermique et une faible chaleur spécifique.

V.4 Brique à base d'argile-silice et argile-sable :

Au début de séchage, nous avons remarqué quelques fissures dans les briques, nous avons donc décidé d'ajouter d'autres matériaux à nos briques ; le sable de mer (5%, 10% de 600g d'argile) et silice (10%, 20% de 600g d'argile).

Mélange 4 : 570g Argile Bensakrane et 16% d'eau (97 ml) + 30g de sable de mer (5% de 600g d'argile).

Mélange 5 : 540g Argile Bensakrane et 16% d'eau (97 ml) + 60g de sable de mer (10% de 600g d'argile).

Mélange 6 : 560g Argile Bensakrane et 16% d'eau (97 ml) + 60g de Silice de Mostaganem (10% de 600g d'argile).

Mélange 7 : 480g Argile Bensakrane et 16% d'eau (97 ml) + 120g de Silice de Mostaganem (20% de 600g d'argile). Le sable de mer a été tamisé par le tamis de diamètre 1mm.

-Silice a été tamisée par le tamis de diamètre 2mm, et le sable dans le tamis de 1mm.



Photo V.15 : Silice tamisée (21/03/2022)

NB : Avant chaque mélange on pèse nos matériaux.

- Préparation des mélanges ; séchage et cuisson des briques.



Photo V. 16: Pèse matériaux (21/03/2022)

V.4.1 Essai d'Absorption à l'eau :

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-essous :

Tableau V.6: Essai d'absorbtion d'eau(Argile-sable/argile silice)

| | Mélange 4 | Mélange 5 | Mélange6 | Mélange7 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Masse cuite(g) | 482.1 | 486,9 | 472,8 | 496,6 |
| Masse saturée(g) | 516.20 | 521,7 | 505,4 | 544,3 |
| Absorption | 7.07% | 7,15% | 6,89% | 9,60% |

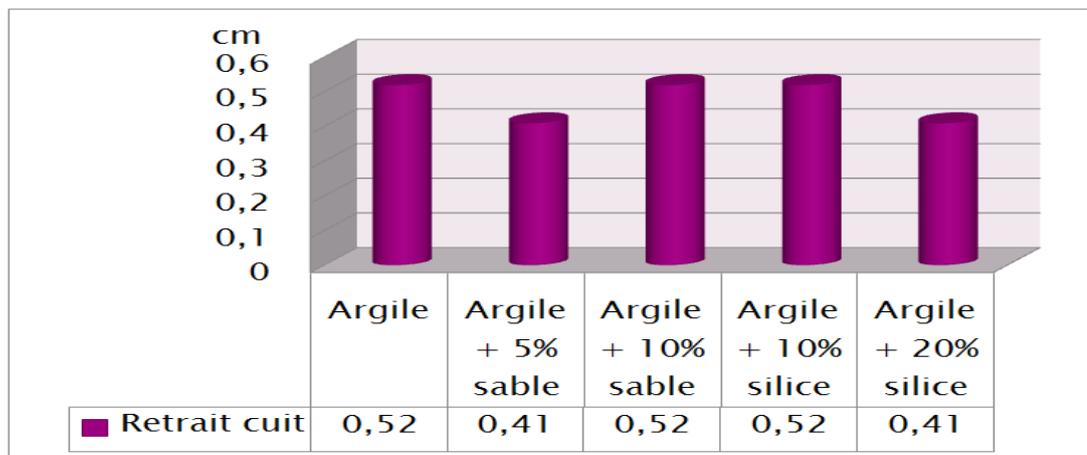


Figure V.7; graphe d'essai d'absorbtion a l'eau(argile +ajout)

✓ D'après les résultats nous avons constaté que l'argile sans ajout a une valeur d'absorption supérieure au autres , donc sa capacité d'absorption est importante.

Chapitre V : Comportement mécanique et thermique des blocs d'argile

V.4.2 Essai Perte de masse :

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-essous :

Tableau V.7:Essai perte de masse (Argile-Sable/Argile-Silice).

| | Mélange 4 | Mélange 5 | Mélange 6 | Mélange 7 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Masse Humide (g) | 660,23 | 665 | 660,13 | 660,12 |
| Masse Sèche (g) | 571,6 | 572 | 571,8 | 569,4 |
| Perte de masse (%) | 13,42 | 13,98 | 13,38 | 13,74 |

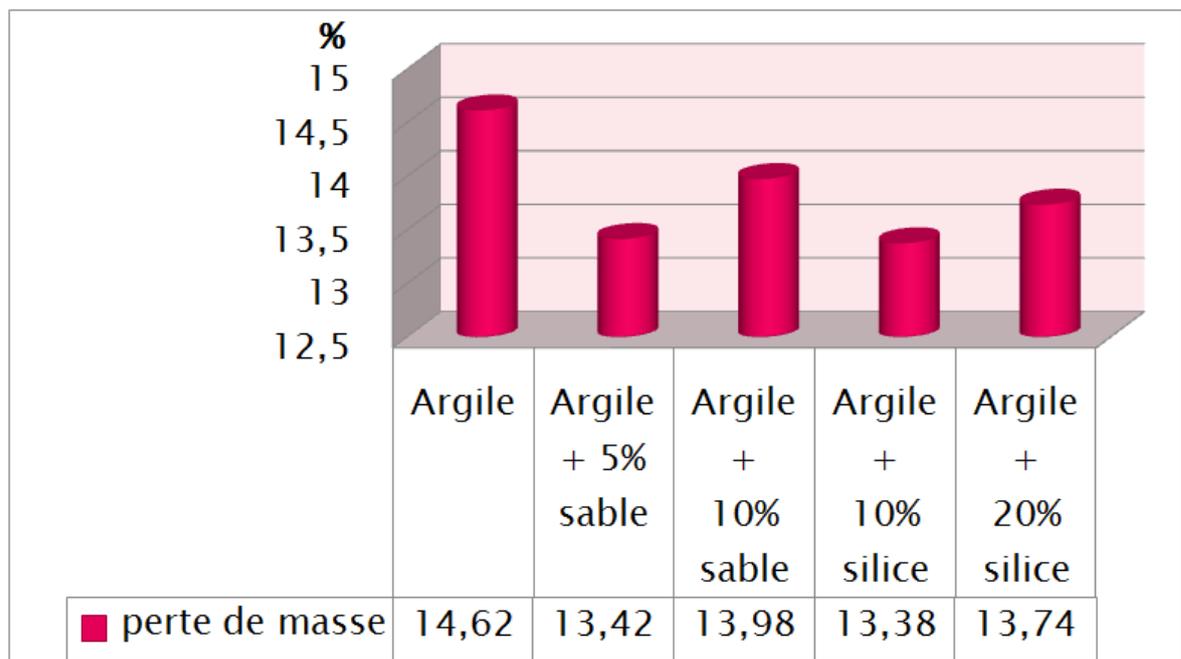


Figure V.8: graphe d'essai de perte de masse (argile +ajout)

✓ D'après les résultats nous avons remarqué que l'argile sans ajout a une perte de masse un peu élevée par rapport aux autres .

V.4.3 Essai de retrait :

TableauV.8: essai de retrait (Argile-Sable/Argile-Silice).

| | Mélange 4 | Mélange 5 | Mélange 6 | Mélange 7 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dh (cm) | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Ds (cm) | 9,57 | 9,57 | 9,56 | 9,56 |
| Dc (cm) | 9,53 | 9,52 | 9,51 | 9,52 |
| Retrait sec | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,4 |
| Retrait cuit | 0,41 | 0,52 | 0,52 | 0,41 |

✓ On remarque que le mélange 6 présente un retrait sec et retrait cuit élevé que les autres .

V.4.4 Essai de la Conductivité thermique :

Tableau V.9:Essai de conductivité (Argile-Sable/Argile-Silice).

| | Diffusivité (mm ² /s) | Chaleur spécifique (mj/m ³ .K) | Conductivité (W/m.k) | Résistivité (C°.cm/w) |
|-----------------|-------------------------------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Mélange4 | 0,222 | 0,457 | 2 ,063 | 218,700 |
| Mélange5 | 0,461 | 1,276 | 0,584 | 171,300 |
| Mélange6 | 0,318 | 1,156 | 0,367 | 272,400 |

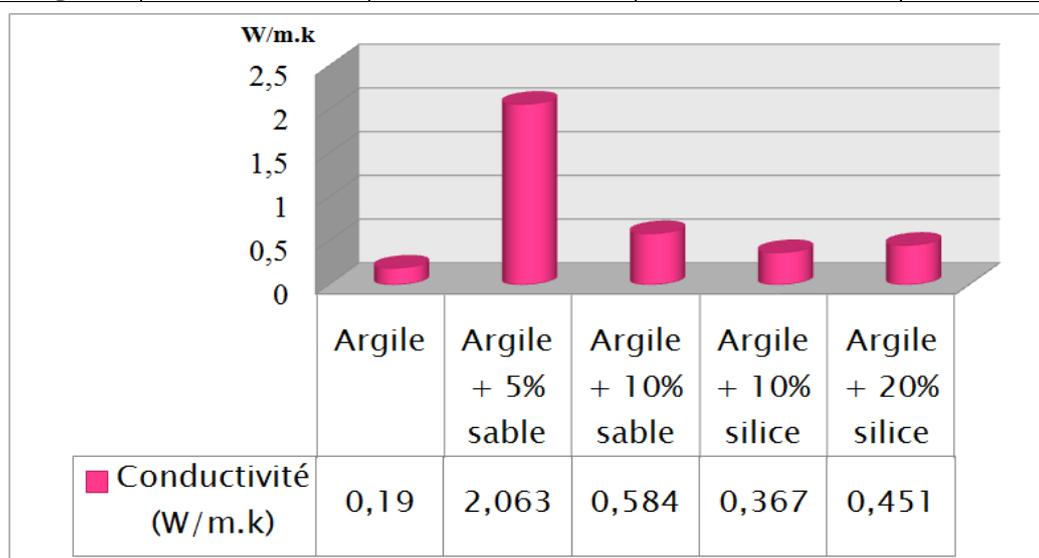


Figure V.9graphe de conductivite thermique (argile + ajout)

✓ D'après les résultats on remarque que sans ajout a une conductivité thermique faible par rapport aux autres.

➤ Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons découvert que l'argile de Bensakrane est un bon matériau qui peut participer à la fabrication des briques (100% argile) d'une qualité optimale avec quelque fissures et une teneur en eau optimal de 16% malgré l'ajout de d'autre matériaux (sable, silice).

Les blocs d'argiles comprimé ont prouvés une bonne résistance à la flexion, une faible conductivité thermique alors un caractère isolant important.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail ,nous avons pris en compte les fissures qui se produisent dans les briques pour plusieurs raisons et aussi la valorisation des matériaux locaux notamment notre argile de la région de Bensakrane wilaya de Tlemcen.

L'objectif de ce travail c'est de fabriquer des bloc d'argile comprimées en changeant à chaque fois la teneur en eau pour trouver la teneur en eau optimal pour des briques peu fissurées.

Dans notre étude la teneur en eau 16% été optimal . Le bloc comprimée à base d'argile de Bensakrane confectionné au laboratoire de l'université a donné une forte résistance à la flexion 1,05 Mpa après une application d'une force $P = 1,8Kn$.

Une faible conductivité thermique 0,19 W/m.k ; alors notre brique fabriquée a un caractère isolant important .

Une absorption d'eau importante 10,16% donc bloc solide et durable.

La brique fabriquée avec 100% argile (teneur en eau 16%) présente un retrait sec important 4,5 ;avec une perte de masse plus élevée 14,62% cela est due à une forte absorption d'eau lors du mélange.

Enfin, les essais de laboratoire et la bonne maitrise des propriétés de l'argile de Bensakrane ont montré l'effet de la teneur en eau sur la réduction de la fissuration des blocs d'argile comprimé .

Ceci permettra de donner naissance à des produits de qualité, solide et durable .

Les résultats obtenus permettent qu'il est possible de valoriser l'argile de la région de Bensakrane dans le domaine de Génie Civil comme un bon matériau pour la fabrication des briques de haute qualité ; résistant et solide .

Références bibliographiques

1. [https://hal.univ-lorraine.fr > document pdf](https://hal.univ-lorraine.fr/document/pdf)
2. <https://core.ac.uk/download/pdf/46814234.pdf>
3. <file:///C:/Users/ALGERIE/Downloads/374.pdf>
4. http://rdoc.univ-sba.dz/bitstream/123456789/2010/1/D_GC_BENAISSA_Assia.pdf
5. https://www.cpasegypt.com/pdf/Usama_Konbr/Researches/6%20%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%AE%D8%AF%D8%A7%D9%85%20%D9%85%D8%A7%D8%AF%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D8%B7%D9%8A%D9%86%20%D9%81%D9%8A%20%D8%A8%D9%86%D8%A7%D8%A1%20%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AF%D9%86%20%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D9%88%D9%8A%D8%A9.pdf
6. [https://www.caue75.fr > media](https://www.caue75.fr/media)
7. <file:///C:/Users/ALGERIE/Downloads/CONTRIBUTION-A-LA-CARACTERISATION-ET-A-LA-VALORIS>
8. [ALGERIE/Downloads/THESE_DOCTORAT_DOMI_WETSH%20-%20OK.pdf](#)tenues et font appel à l'innovation technologique
9. Unmodified kaolinitic clays have semi-reinforcement properties in natural rubber. The amount of Abstract
10. <file:///C:/Users/ALGERIE/Downloads/1003.pdf>
11. https://www.resource-recovery.net/sites/default/files/algerie_ra_fr_web_0.pdf.
12. [https://metalblog.ctif.com > 2021/05/31 > economie-circul...](https://metalblog.ctif.com/2021/05/31/economie-circul...)
13. [https://fr.wikipedia.org > wiki > Valorisation_matiere](https://fr.wikipedia.org/wiki/Valorisation_matiere)
14. <https://www.umtmo.dz/dspace/bitstream/handle/umtmo/2752/Stambouli%2C%20Mohamed%20Sghir.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. [fr.wikipedea.org/wiki/brique-mat%C3%A9riaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/brique-mat%C3%A9riaux)
16. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_\(mat%C3%A9riau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_(mat%C3%A9riau))
17. <https://www.meubliz.com/d%C3%A9finition/brique/>
18. <https://www.renovationettravaux.fr/monter-mur-brique-facilement>
19. [https://daillygeekshow.com >empire...](https://daillygeekshow.com/>empire...)
20. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_\(mat%C3%A9riau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_(mat%C3%A9riau))
21. [Brique.be/media/1263/fabrication_brique.pdf](#)
22. [.com/search?q=dimension+brique+pleine+algerie](#)
23. [google.com/search?q=dimension+brique+rouge+algerie](#)

24. [google.com/search ?q=dimension+brique+monomur](https://www.google.com/search?q=dimension+brique+monomur)
25. [google.com/search ?q=extraction+d%27argile chapitre 2 cbn](https://www.google.com/search?q=extraction+d%27argile+chapitre+2+cbn)
26. [.https://dune.univ-angers.fr > fichiers > fichier PDF](https://dune.univ-angers.fr/fichiers/fichier/PDF)
27. https://blog.lafourche.fr/?fbclid=IwAR3u0WhfcLsRkgi88lony9NkDKTuH8JbEntQLr7v29RN_GSpIy5p11EHkTM
28. [http://bib.univ-oeb.dz > jspui > bitstream PDF](http://bib.univ-oeb.dz/jspui/bitstream/PDF)
29. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:KaoliniteUSGOV.jpg>
30. THESE DE DOCTORAT LMD FORMATION DOCTORALE : SOLS ET STRUCTURES Jad WAKIM le 20 Décembre 2005
31. [https://fr.wikipedia.org > wiki > Argile](https://fr.wikipedia.org/wiki/Argile)
32. [https://www.u-picardie.fr > beauchamp > mst > argiles](https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles)
33. [https://www.memoireonline.com > Sciences](https://www.memoireonline.com/Sciences)
34. https://www.memoireonline.com/06/15/9140/m_Argile-et-mineraux-argileux-proprietes-physico-chimiques-et-proprietes-et-proprietes-collo3.html
35. [https://www.fun-mooc.fr > MinesTelecom > asset pdf](https://www.fun-mooc.fr/MinesTelecom/asset/pdf)
36. https://www.pairform.fr/doc/17/138/486/web/co/7_3_3.html
37. <https://agronomie.info/fr/generalite-sur-les-argiles/>
38. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/l-adsorption-et-l-environnement>
39. <https://www.argiles-abm.com/les-argiles/>
40. 2018-2019. M. B. O. e. M. G. Abdelbasset, Memoire Effet de l’ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques de mortier, “No Title.”
41. caractérisation et quantification de minéraux argileux dans le sol expansif par spectroscopie infrarouge aux échelles du laboratoire et du terrain.”
42. <https://photos.monanneeaucollege.com/minerauxpages/argileplastique.htm>
43. [https://fr.wikipedia.org > wiki > Kaolin](https://fr.wikipedia.org/wiki/Kaolin)
44. https://www.inrs.fr/?fbclid=IwAR3o7th8GuaYv0LiECv6gBHjhz6sr8onD1twWifIFE71zrXk1ihIo_jxA
45. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geologie-coeur-silice-silex-wafer-567/page/8/>
46. [http://www.normalesup.org > ~clanglois > Sciences_Terre](http://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences_Terre)
47. http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/12039/1/Ms.Hyd.Benmecharnan_e.pdf

48. <https://www.brique.be> › media › fabrication-brique
49. <https://dune.univ-angers.fr> › fichiers › fichier PDF
50. https://fr.wikipedia.org/?fbclid=IwAR2QO2nuEUlIFNw4wEs9B_6CXfToLrGcGijZMTgu5xmgXAgj9Qff8nOB28
51. <https://www.researchgate.net>>figure
52. https://www.m-habitat.fr/murs-et-sols/fissures/les-fissures-structurelles-2896_A
53. https://www.m-habitat.fr/murs-et-sols/fissures/les-fissures-structurelles-2896_A
54. https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89tuve_de_laboratoire#:~:text=Une%20%C3%A9tude%20de%20laboratoire%20est,recherche%20en%20sont%20souvent%20pourvus.
55. https://www.ifsstar.fr/collections/BLPCpdfs/blpc__215_41-51.pdf
56. <https://www.cnrtl.fr/definition/flexion>
57. <https://passivact.fr/Concepts/files/QualiteThermique-ComparaisonsMateriaux.html>