

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique.**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued.

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Génie Civile.

Option : Matériaux en génie civil.

THEME :

Caractérisation des briques à base des matériaux locaux

Présenté par :

FAR ABDELHAKIM

ALIA YOUNES

KOUIDRI MOUSSAB

Dirigé par Dr :

LOGBI ABDELAZIZ

Soutenue publiquement devant le Jury :

Dr. DJEDID TAREK

Président

Université d'El Oued.

Dr. FETHIZA ALI BOUBAKER

Examineur

Université d'El Oued.

Promotion : juin 2024

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail :

*À nos parents, à nos frères et nos sœurs pour votre soutien absolument
inconditionnel.*

À toute nos familles grandes et petit.

À tous nos amis que nous aimions et que nous respectons beaucoup.

À toute la promotion 2024.

À tous ceux que j'aime.

ABDELHAKIM, YOUNES et MOUSSAB

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH qui nous donné le courage et la volonté pour mener ce travail à terme.

Nous remercions très sincèrement notre promoteur Monsieur Dr. LOGBI ABDELAZIZ pour tous les efforts qu'il a fourni pour faciliter notre travail et nous aider à accomplir ce mémoire.

Nous remercions vivement monsieur Mr. BENAMARA IBRAHIM pour avoir dirigé ce travail du coté laboratoire, leur conseil, disponibilité et patience

Nous exprimons notre gratitude à Dr. KHAKHCOUCHE ABDERRAHMANE

Nous exprimons également nos remerciements et notre reconnaissance aux responsables des laboratoires de L'Institut National spécialisé dans la formation professionnelle d'El-oued.

Enfin, nous remercions tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Table des matières :

Dédicace	i
Remerciement.....	ii
Table des matières :	iii
Liste des figures :	viii
Listes des Tableaux :	x
Résumé :	xi
:الملخص.....	xi
Abstract:	xi
Introduction générale :	1
I. Chapitre I : Synthèse bibliographique :	4
Introduction :	4
I.1 les matériaux de construction d'el-oued souf :	4
I.1.1 Les pierres :	4
I.1.1.1 Lous (la rose de sable)	4
I.1.1.1.1 Définition:	4
I.1.1.1.2 Les étapes de formation la rose de sable:.....	5
I.1.1.1.3 Caractérisation de pierre lous (la rose de sable)	6
I.1.1.1.4 Localisation :	6
I.1.1.2 Tefza :	7
I.1.1.2.1 Définition:	7
I.1.1.2.2 La morphologie :	7
I.1.1.2.3 Localisation :	7
I.1.1.3 Tercha :	8
I.1.1.3.1 Définition :	8
I.1.1.3.2 La morphologie :	8
I.1.1.3.3 Localisation.....	8
I.1.2 Plâtre local (gypse) :	8
I.1.2.1 Définition	8
I.1.2.2 Comment préparer du plâtre traditionnel :	9
I.1.2.2.1 Extraction de pierre :	9
I.1.2.2.2 Cuisson :	9
I.1.2.2.3 Moutures :	10
I.2 Gypses :	10
I.2.1 Gypse naturel :	10

I.2.1.1	Différentes variétés de gypse :.....	11
	Le gypse lamellaire :.....	11
	Le gypse "fer de lance" :.....	11
	Le gypse microcristalline ou alabastrite :.....	11
	Le gypse fibreux :.....	12
	Le gypse saccharoïde :.....	12
I.2.2	Gypse de synthèse	13
I.3	Les anhydrites :.....	13
I.4	Plâtre :.....	13
I.4.1	Définition:	13
I.4.2	Processus de production de plâtre :.....	14
I.4.3	Les différents produits de la déshydratation :	14
I.4.3.1	Semi-hydrates :	14
I.4.3.2	L'anhydrite III ou anhydrite soluble :.....	17
I.4.3.3	L'anhydrite II, dite insoluble :	17
I.4.3.4	L'anhydrite I :	17
I.4.4	Les types du plâtre :	18
I.4.5	Propriétés du plâtre :	19
I.4.5.1	Hydratation et prise :.....	19
	Accélérateurs :.....	19
	Retardateurs :.....	19
	Diminution de la vitesse de dissolution des phases anhydres.	19
	Épaississeurs et rétenteurs d'eau :.....	20
	Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie :.....	21
	Isolation acoustique.....	21
	Résistance au feu.....	22
	Humidité des locaux.....	22
I.4.6	Spécifications industrielles du plâtre :	22
I.5	Le brique :.....	23
I.5.1	Briques de terre crue :	23
I.5.1.1	La dobe :	24
I.5.1.1.1	Définition.....	24
I.5.1.1.2	Les avantages de l'adobe :.....	24
I.5.1.2	Les pisés :.....	25
I.5.1.2.1	Définition :.....	25

I.5.1.2.2	Différents types de pisé.....	25
I.5.1.2.3	Les Avantages de pisé :.....	26
I.5.1.3	Les Blocs de terre comprimée :.....	26
I.5.1.3.1	Définition :.....	26
I.5.1.3.2	Production des blocs de terre comprimée :.....	27
I.5.1.3.3	Les Avantage de bloc de terre comprimée :.....	27
I.5.2	Terre cuite :	28
I.5.2.1	Les étapes principales de la fabrication de brique de terre cuite :	28
I.5.2.1.1	L'extraction :.....	28
I.5.2.1.2	Préparation de l'argile :.....	28
I.5.2.1.3	Façonnage :.....	28
I.5.2.1.4	Séchage :.....	28
I.5.2.1.5	Cuisson :.....	29
	Les étapes de cuisson :	29
I.5.2.2	Produits de brique en terre cuite :	29
I.5.2.2.1	Briques ordinaires :.....	29
I.5.2.2.2	Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale :.....	30
I.5.2.2.3	Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés) :	31
I.5.3	Propriété et caractéristique des briques de terre cuite :.....	31
I.5.4	Brique silico-calcaires :.....	32
I.5.4.1	Silico- calcaires denses :	32
I.5.4.2	Silico- calcaires légers :	32
I.5.4.3	La Fabrication :	33
A.	Silico-calcaire denses :	33
B.	Silico-calcaire léger :	33
I.5.4.4	Propriétés de brique silico-calcaire :.....	33
I.5.4.5	Les avantages des briques silico-calcaires :.....	34
	Conclusion :.....	34
II.	Chapitre II : Caractérisation des matériaux et essais	36
	Introduction :	36
II.1	Détermination des caractéristiques physiques La rose de sable « (Lous) :	36
II.1.1	Analyse granulométrique par tamisage (NF P 18-560):.....	37
II.1.1.1	Principe :	37
II.1.1.2	Matériaux utilisés.....	37
II.1.1.3	Matériels utilisés :	37

II.1.1.4	Mode opératoire :	37
II.1.2	Masses volumiques – EN 196-6 :	39
II.1.2.1	Masse volumique apparente ρ :	39
	Mode opératoire :	40
II.1.2.2	Masse volumique absolue ρ_s :	40
	Mode opératoire :	40
II.1.3	Coefficient d'absorption d'eau (NF P18-554) :	41
	Mode opératoire :	41
II.1.4	Synthèse des résultats :	42
II.2	Détermination des caractéristiques physiques et mécaniques du plâtre	43
II.2.1	Masse volumique apparente du plâtre :	43
	A) Matériels utilisés :	43
	B) Mode opératoire :	43
II.2.2	Masse volumique absolue :	44
	Matériels utilisés :	44
	Mode opératoire :	44
II.2.3	Finesse par tamisage:	45
	Matériels utilisés :	45
	Mode opératoire :	45
II.2.4	Consistance normale du plâtre :	46
	Matériels utilisés :	46
	Mode opératoire :	46
II.2.5	Essai de prises :	47
	Matériels utilisés :	48
	Mode opératoire :	48
II.2.6	Résistance à la compression et à la flexion:	50
	Matériels utilisés :	50
	Mode opératoire :	50
II.2.6.1	Essai de traction par flexion :	51
II.2.6.2	Essai de compression :	52
II.2.7	Synthèse des résultats :	53
II.2.8	Caractéristiques chimiques :	53
II.2.8.1	Analyse par Diffraction des Rayons X (DRX)	53
II.3	Les essais pour détermination des Caractérisations de composite à base des matériaux locaux :	54

II.3.1	Préparation d'échantillon	54
	La composition pour $g=p$: (M_w , M_p , M_G) :.....	56
	La composition pour $g=1.5p$: (M_w , M_p , M_G) :.....	57
II.3.2	Essai de Variations dimensionnelles (NF P15 433) :.....	58
II.3.3	Essai d'absorption d'eau par immersion totale :	59
II.3.4	Essai d'absorption d'eau par capillarité :	59
II.3.5	Essai de résistance à la compression (NF P18 406) :.....	60
II.3.6	Essai ultrasonique EN 12504-4 (EN 12504-4, 2004):.....	61
II.3.7	Résistance à la traction par flexion (NF P15-471) :	62
	Mode opératoire :	63
II.3.8	Résistance à la compression (NF P18-406) :	63
	Mode opératoire	64
II.3.9	Caractéristiques thermiques :	64
II.3.9.1	Essais d'une sonde Hot Disk TPS 500 (TPS : Transient Plane Source) : ...	64
II.3.9.2	Essai d'une méthode manuelle :	65
	Mode opératoire	65
	Conclusion :	66
III.	Chapitre III : Résultats et interprétations	68
	Introduction :	68
III.1	Variations dimensionnelles :	68
III.2	Absorption d'eau par immersion totale :	69
III.3	Absorption d'eau par capillarité :	71
III.4	Essai ultrasonique :	72
III.5	Caractéristiques thermiques :	73
III.6	Etude comparatives :	77
	Conclusion :	78
	Conclusion Générale :	80
	Recommandations	81
	Bibliographie :	82

Liste des figures :

Figure I-1 : pierre lous.....	4
Figure I-2 : La formation des roses des sables.....	5
Figure I-3 : Présentation chimique de La formation des roses des sables.....	6
Figure I-4: : pierre lous.....	7
Figure I-5 : lieu d'extraction " makta"	9
Figure I-6: four traditionnelle.....	9
Figure I-7: poudre après la mouture	10
Figure I-8 : différentes formes des cristaux des gypses	12
Figure I-9: les deux formes de semi hydraté au MEB.....	16
Figure I-10 : Moulage et séchage des blocs adobes	24
Figure I-11: Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé.....	25
Figure I-12 : Composition de pisé.....	25
Figure I-13 : Brique de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle	26
Figure I-14: Gisement d'argile.....	28
Figure I-15: Briques perforées	30
Figure I-16: Brique pleines et perforées.....	30
Figure I-17: Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale	30
Figure I-18: Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G	31
Figure I-19 : différents Produit en briques silico-calcaire.....	33
Figure II-1 : concassage de rose de sable 15/25/ ,7/15 , 3/7	36
Figure II-2:la rose de sable.....	36
Figure II-3: Les opérations principales de l'essai granulométrique.....	38
Figure II-4 : courbe granulométrie analyse granulométrie de concassage de Lous	39
Figure II-5: essai de la masse volumique apparente	40
Figure II-6 : essai de la masse volumique absolue.....	40
Figure II-7 : essai Coefficient d'absorption	41
Figure II-8 : essai de masse volumique de plâtre	43
Figure II-9: essai de masse volumique absolu de plâtre.....	44
Figure II-10: essai de consistance du plâtre	47
Figure II-11:différente composante d'appareil Vicat.....	48
Figure II-12 : Essai de prises par l'appareil Vicat.....	49
Figure II-13: les éprouvettes après le coulage de plâtre dans le moule 4*4*16.....	50
Figure II-14: Essai de traction par flexion trois points.....	51
Figure II-15: écrasement des éprouvettes dans l'essai traction par flexion	51
Figure II-16: Essai de compression	52
Figure II-17: écrasement des éprouvettes dans l'essai d'compression	52
Figure II-18: Diffractomètre de type « PROTO ».....	53
Figure II-19: Analyse chimique par DRX du plâtre local	54
Figure II-20: Dispositif de mesure de retrait	58
Figure II-21: essai d'absorption d'eau par immersion totale	59
Figure II-22: Essai d'absorption d'eau par capillarité.....	60
Figure II-23: principe de travail d'Essai ultrasonique.....	61
Figure II-24: Essai ultrasonique	62
Figure II-25: dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion.	63

Figure II-26: dispositif pour l'essai de compression	64
Figure II-27: Procédé de l'essai de la sonde Hot Disk TPS	65
Figure II-28: Procédé de l'essai d'une méthode manuelle	66
Figure III-1: Evolution du retrait de chaque composition des matériaux locaux.....	69
Figure III-2: Absorption d'eau par immersion de chaque composition des matériaux locaux	70
Figure III-3: Absorption d'eau par capillarité de chaque composition des matériaux locaux .	71
Figure III-4: La vitesse des ondes ultrasoniques à travers de chaque composition des matériaux locaux	73
Figure III-5: la variation de chaleur des composition des matériaux locux ($G=1,5 P$) en fonction de Temp	74
Figure III-6: la variation de chaleur des composition des matériaux locux ($G=P$) en fonction de Temp	74
Figure III-7: la dispositive d'étude thermique.....	77
Figure III-8: la variation de transfert chaleur de deux types de brique	78

Listes des Tableaux :

Tableau I-1: caractéristiques des semi-hydrates α et β	16
Tableau I-2 : les caractéristiques thermiques du plâtre.	21
Tableau I-3 : Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, BTC)	27
Tableau I-4 : Propriétés des briques pleins et perforés	31
Tableau I-5: La résistance thermique des briques pleins et perforés	31
Tableau I-6: la résistance thermique des Brique creuses	32
Tableau I-7 : Propriétés de brique silico-calcaire.....	34
Tableau II-1: Résultats de l'analyse granulométrique concassage de lous.....	38
Tableau II-2 : la masse volumique apparente des différentes classes de concassage de Lous.....	40
Tableau II-3 : la masse volumique absolu des différentes classes de concassage de Lous.....	41
Tableau II-4 : la Coefficient d'absorption des différentes classes de concassage de Lous.....	42
Tableau II-5:tableau récapitulatif pour les caractéristiques des différentes classes de concassage de Lous	42
Tableau II-6:la masse volumique apparente des différents échantillons de plâtre local	44
Tableau II-7 : la masse volumique absolu des différents échantillons de plâtre local	45
Tableau II-8: la finesse par tamisage des différents échantillons de plâtre local	46
Tableau II-9: la consistance des différents échantillons de plâtre local	47
Tableau II-10:le début et la fin de prise des différents échantillons de plâtre local.....	49
Tableau II-11:essai de traction par flexion des différents échantillons de plâtre local	51
Tableau II-12: essai de compression des différents échantillons de plâtre local	52
Tableau II-13: tableau récapitulatif les caractéristiques du plâtre local d'EL-oued.....	53
Tableau II-14: la première composition entre les matériaux locaux de EL-oued	55
Tableau II-15: la deuxième composition entre les matériaux locaux de EL-oued.....	55
Tableau II-16: Qualité des compositions de matériaux locaux en fonction de la vitesse de la propagation des ondes ultrasonique.	62
Tableau III-1 : retrait de chaque composition des matériaux locaux	68
Tableau III-2: Absorption d'eau par immersion de chaque composition des matériaux locaux	70
Tableau III-3: Absorption d'eau par capillarité de chaque composition des matériaux locaux.....	71
Tableau III-4: La vitesse des ondes ultrasoniques à travers de chaque composition des matériaux locaux	72
Tableau III-5:la variation de chaleur de composition de matériaux locaux (G=1.5P) en fonction de temp	75
Tableau III-6: la variation de chaleur de composition de matériaux locaux (G=P) en fonction de temp	76

Résumé :

Ce travail se ressuscite le terme de la valorisation des matériaux locaux pour répondre aux besoins intensifs de la région Sud-est de l'Algérie et particulièrement la région d'El-Oued dans le domaine de construction.

Les matériaux de construction utilisés actuellement dans la région d'Oued Souf ne seront pas compatibles avec sa nature sévère comme le ciment par exemple. Cela qui a provoqué problème économique et énergétique comme la consommation excessive d'énergie surtout dans l'été et un autre problème social comme l'augmentation des dépenses de citoyens vis-à-vis les factures énergétiques.

A partir de ça, nous proposons des composites à base de matériaux locaux de notre région par incorporer entre le concassage de la rose de sable (LOUS) et le plâtre local (GIPSSE) pour établir un briquet local pour la zone d'étude, qui considère une prouesse économique, énergétique et environnementale, Où ses résultats ont été très adéquats notamment dans le domaine d'isolation thermique.

Mots clés : oued souf, la rose de sable, plâtre, plâtre local ; Lous, briquet, transfert chaleur

المخلص:

هذا العمل لأجل إحياء مصطلح تثمين الموارد المحلية لتلبية الاحتياجات المكثفة في مجال البناء لمنطقة الجنوب الشرقي الجزائري وخاصة منطقة وادي سوف.

ومواد البناء المستخدمة حاليا في منطقة واد سوف لم تتوافق مع المناخ الصعب للمنطقة، على غرار الإسمنت مثلا. وقد تسبب ذلك في مشاكل اقتصادية وطاقيّة مثل الإفراط في استهلاك الطاقة خاصة في فصل الصيف، بالإضافة الى مشاكل اجتماعية مثل زيادة نفقات المواطن في تسديد فواتير الطاقة.

ومن هذا المنطلق اقترحنا تركيبة من المواد المحلية من منطقتنا من خلال الدمج بين حطام وردة الرمل والتي تعرف (باللوس) والجص المحلي (الجبس) لإنشاء طوب محلي خاص بمنطقة الدراسة والتي تعتبر قفزة نوعية في مجال الاقتصادي والبيئي والطاقي. وهذا من خلال النتائج الجد مرضية، خاصة في مجال العزل الحراري.

الكلمات المفتاحية: وادي سوف، وردة الرمال، الجص، الجص المحلي، اللوس، الطوب، الانتقال الحراري

Abstract:

This work resurrects the term of the valorization of local materials to meet the intensive needs of the South-Eastern region of Algeria and particularly the El-Oued region in the field of construction.

The construction materials currently used in the Oued Souf region will not be compatible with its harsh nature, such as cement for example. This has caused economic and energy problems

such as excessive energy consumption, especially in the summer, and another social problem such as increased of citizen spending on energy bills.

From this, we propose composites based on local materials from our region by incorporating between the crushing of the sand rose (LOUS) and the local plaster (GIPSSE) to establish a local brick for the study area, which considers an economic, energetic and environmental feat, where its results have been very adequate, particularly in the field of thermal insulation.

Keywords: Oued souf, the rose of sand, plaster, local plaster; Lous, brick, heat transfer

Introduction générale :

Après les dégâts qu'a causé le réchauffement climatique, plusieurs sommets ont été organisés et de nombreux traités ont été signés. La première conférence des nations unies sur l'environnement humain (CNUEH) s'est tenue du 5 au 16 juin 1972 à Stockholm [1]. Cette dernière a été suivie par plusieurs autres sommets comme : Nairobi 1982, Río de Janeiro 1992 et celui de Johannesburg 2002 qui a traité la problématique du développement durable et de l'exploitation des énergies renouvelables, Leur but majeur était de réduire l'épuisement de l'énergie fossile et représente le premier pas concret vers une démarche de développement durable qui vise d'atténuer les répercussions du réchauffement climatique sur l'écosystème et sur l'économie mondiale.

En effet, la construction utilise deux fois plus de matières fossiles que la production d'énergie, en un siècle, l'extraction de matériaux de construction a été multipliée par 34 - alors que celle des énergies fossiles a été multipliée par 12 [2], par exemple, le béton, le matériau emblématique du BTP, est, après l'eau, la matière la plus consommée dans le monde (La seule production de ciment émet 5 à 7% des CO₂. Produits dans le monde). Les besoins en matériaux de construction sont donc non seulement immenses mais aussi en forte croissance, cette consommation a des impacts très lourds sur les objectifs de développement durable, sur le plan environnemental mais aussi sur les plans économique et social. Pour répondre aux besoins en respectant les objectifs du développement durable nous devons :

- Prioriser les 3 R de l'économie circulaire : Réduction, Réutilisation, Recyclage.
- Utiliser des matériaux largement disponibles et à faible production de carbone.

L'Algérie comme des autres pays dans le monde fait à chercher apprécier le thème de développement durable notamment dans le domaine de construction par les interventions législatives notamment le dernier décret exécutif en 2023 qui précise la conservation de l'identité architecturale dans un chacun wilaya.

Notre milieu de recherche EL-oued (oued souf), est soufrée à la courant de modernisation qui basé sur à la standardisation de matériaux ne tient pas au compte le contexte environnemental. Cela a conduit à Apparaitre de matériaux de construction étranger à la région et ne respecte pas l'environnement, L'émergence de plusieurs problèmes économique et énergétique comme l'utilisation excessif de l'énergie surtout dans l'été pour assurer le confort bioclimatique, plus les problèmes sociaux comme l'augmentation des dépenses des citoyens vis-à-vis les factures énergétiques, tout ça ,aboutit à la perte de son caractère architectural ; malgré y a procédé une héritage architecturale qui sont assuré auprès diversité des matériaux

locaux l'un de l'autres, on peut citer le gypse local, la pierre de différente genre (rose de sable, gypseuse,...) et même des matériaux végétaux dérivés généralement du palmier.

Pour résoudre les problèmes susmentionnés et atteindre les objectifs de développement durable et diminuer le maximum d'utilisation brutale des matériaux de construction qui n'adapte pas avec l'environnement, nous stimulons à l'exploitation maximale aux matériaux de construction qui se trouve dans la région d'Oued Souf, à partir de traiter les caractéristiques de ces matériaux, puis on va les améliorer, afin qu'on obtient un produit favorable et durable comme une brique locale qui aura été fabriquée par des concassages de pierre locale (rose de sable) + plâtre local qui s'appelle « GIPSSE », ceux qui nous donnent un mélange local pour former notre brique locale.

Afin qu'on atteigne les objectifs de la recherche que nous nous sommes fixés, nous structurons notre mémoire comme suit :

Chapitre I : Synthèse bibliographique :

Comprend quelques définitions de l'étude en plus de quelques détails concernant l'origine et l'utilisation des matériaux locaux dans notre lieu de recherche

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et essais

On résume les caractérisations des différents matériaux et procédures utilisés dans le cadre du programme expérimental, les modalités d'essais sont également présentées. Dans ce chapitre, les propriétés de matériaux locaux et leur caractérisation on va interpellier.

Chapitre III : Résultats et interprétations

Dans ce chapitre est présente les résultats obtenus de l'étude expérimentale et faisant de discussion et des observations sur les différentes formulations de pâte à base de matériaux locaux.

Enfin, notre travail est achevé par une conclusion générale et de recommandations

Chapitre I :

Synthèse bibliographique :

I. Chapitre I : Synthèse bibliographique :

« Le passé donne des leçons mais ne donne pas la réponse à ce qui doit être fait de nos jours. »¹

Introduction :

Cette recherche constitue une contribution «théorique» à la recherche visant à valoriser les matériaux des constructions dans El'oued notamment le gypse local, la pierre de différents genres, et elle contribue également pour investir dans le domaine de la construction et réagit avec la nature sévère de cette région pour donner un bâtiment plus confortable. Ce chapitre de l'étude comprend quelques définitions des matériaux qui nous intéressent dans notre étude, leur conception et les étapes de formation.

I.1 Les matériaux de construction d'el-oued souff :

I.1.1 Les pierres :

Hormis le sable, toute la roche contenue dans le sol et le sous-sol d'oued Souf est employée dans la construction. Nous distinguons deux familles :

- Le « lous » ou la rose de sable et la « salsala » ou sont utilisées brutes comme matériau pour les fondations, les murs et les planchers.
- La « tafza » et la « tercha », pierre à transformer en plâtre local pour servir de liant et de revêtement.

I.1.1.1 Lous (la rose de sable)

I.1.1.1.1 Définition [3]:

La rose de sable est une roche évaporitique formée par la construction cristallographique s'est réalisée à partir de grains de sable « les blocs de grains de sable soudés les uns avec les autres et qui ont des formes géométriques répétitives » cimentés par du



Figure I-1 : pierre lous

Source : Auteur, 2024

¹ Parole de Geoffrey Bawa Architecture vernaculaire et Nature. Comment intégrer la modernité dans le respect de la tradition

sulfate de calcium hydraté, au niveau de nappe phréatique (GHOUT)².

I.1.1.1.2 Les étapes de formation la rose de sable [4]:

La formation de la rose de sable a une dimension chimique par :

A. Séparation entre les Molécules H₂O et sulfate de calcium (Ca SO₄) :

L'évaporation et la saturation à cause du soleil et les racines de palmiers ; l'eau (H₂O) est séparée du sulfate de calcium (Ca SO₄) par le détachement des relations chimique entre eux.

B. Déplacement les molécules de sulfate de calcium (Ca SO₄) séparées vers la corrélation :

Les forces mécaniques, électromagnétiques et thermodynamiques qui contribue à déplacement de molécules de sulfate de calcium (Ca SO₄) séparées selon un orbitale atomique. En suit les molécules se rapprochent les unes des autres ; après une liaison chimique est formée entre eux qui conduit à la cristallisation selon un système monoclinique³

C. Enchevêtrement de cristaux :

Les cristaux grandissent en englobant un peu du sable et s'enchevêtrer

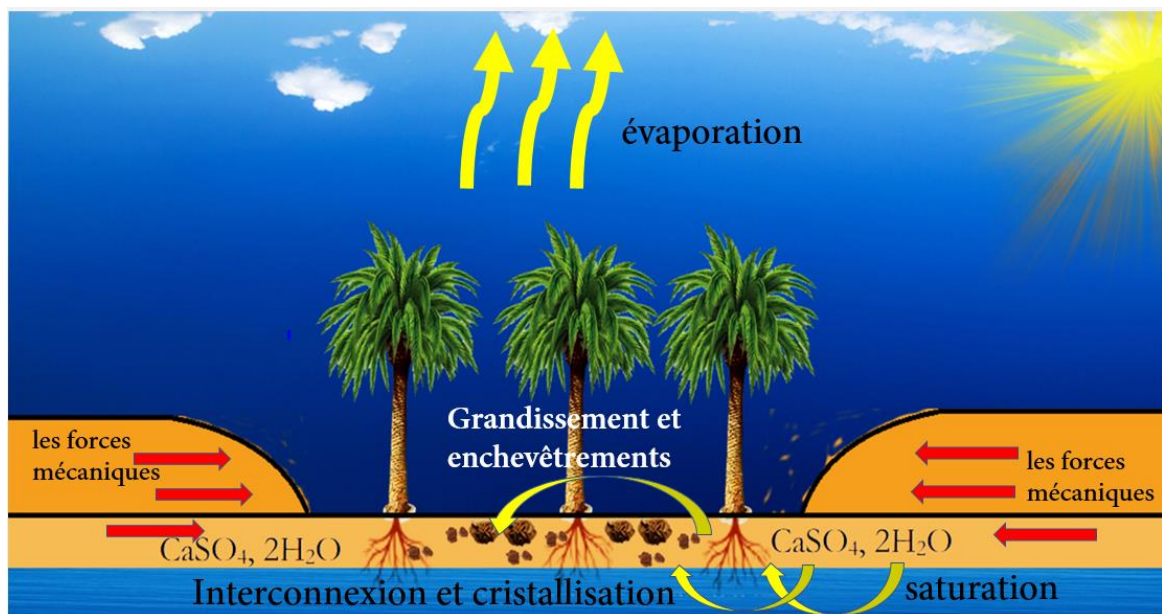


Figure I-2 : La formation des roses des sables.

Source : Auteur, d'après prog photoshope,

² Un Ghout est une technique de culture des palmiers propre à la régions d'El Oued. Les palmiers sont implantés dans une fosse d'une profondeur de 2 à 4 m et d'un diamètre de 80 à 200 m et dont le fond est amené à moins de 1 m au-dessus de la nappe phréatique

³ Le terme monoclinique indique un des systèmes cristallins dans lesquels on classe les cristaux selon leurs propriétés de symétrie.

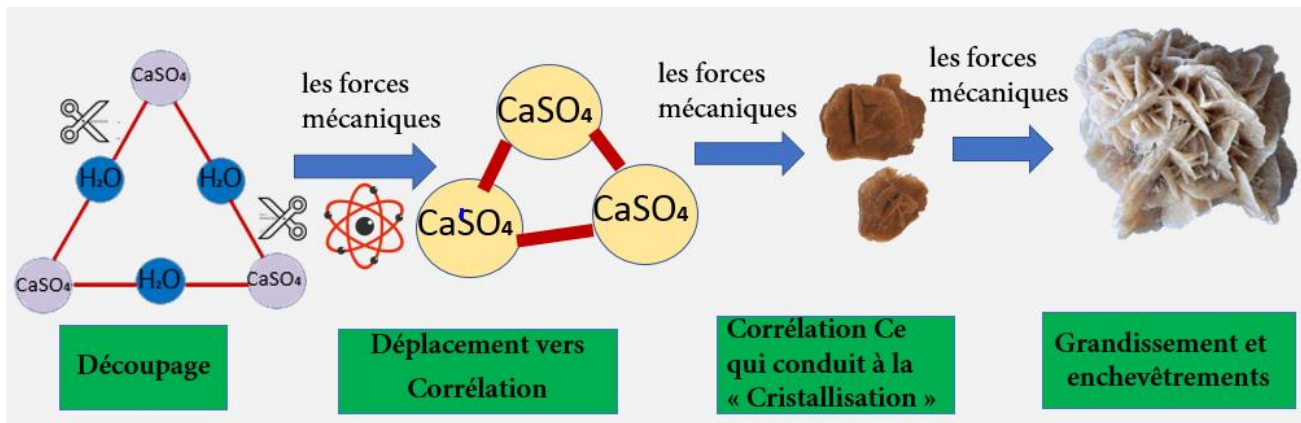


Figure I-3 : Présentation chimique de La formation des roses des sables

Source : Auteur, d'après prog photoshope et power point

I.1.1.1.3 Caractérisation de pierre Lous (la rose de sable)

La pierre de Lous (la rose de sable) ayant beaucoup des caractères qui lui faire une pierre plus distinctive à la région par rapport des autres pierres qui en se trouve lesquelles :

- Un peut transformer à la plâtre locale « gips » mais à cause de la difficulté dans l'extraction et prendre beaucoup de temp à la cuisson ; le gens soufi est installé sur lous ou la rose de sable pour les fondations ; les murs et les planchées ; tefza et tercha pour la transformation à plâtre local.
- Elle donne beaucoup de facilité dans la construction surtout dans l'accrochage de mur à cause de sa morphologie et donne une rigidité aux murs et coupoles.
- Elle avoir une **bonne isolation thermique** ($\lambda=0.9 \text{ w/m.k}$) [5]
- Elle a une masse volumique entre 2.24 à 2.70 kg /dm^3 et Son absorption d'eau est faible et varie selon sa porosité est entre 0.30 - 20% [6] .
- Il est considéré comme le matériau de construction le plus résistant et le plus solide. Par conséquent, il est utilisé en toute sécurité pour supporter les Contraintes dans divers éléments structurels notamment les contraintes de compression.

I.1.1.1.4 Localisation :

S'agissant de sa situation avec une abondance à l'Est et un peu en Nord de la ville. Sa localisation géologique, quant à elle, laisse lire les différentes strates du sol qui montrent l'existence du Lous en affleurement superficiel et souterraines qui peuvent s'intercaler avec d'autres couches de sable et de tafza

I.1.1.2 Tefza :

I.1.1.2.1 Définition [7]:

C'est un grès blanc assez dur, et constitue la pierre à chauffer qui donnera le plâtre, Dans laquelle, le gypse ne présente pas de cristaux bien formés, mais se trouve sous forme d'accumulations poudreuses blanchâtres plus ou moins dures contenant peu de sable. Elle peut s'étendre de la surface jusqu'au contact de la nappe



Figure I-4: : pierre lous

Source : Auteur, 2024

I.1.1.2.2 La morphologie [8] :

L'étude microscopique des lames minces des sols gypseux au niveau de cette région, la tefza présente des formes beaucoup plus variées :

- Petits cristaux de gypse lenticulaires, individualisés, non enchevêtrés. Ils forment la masse et ils sont formés dans un temps très bref, dans la frange capillaire d'une nappe sursaturée en sulfates.
- De plus grands cristaux lenticulaires, formés dans des vides en chenaux. Ils sont enchevêtrés, leur croissance a été longue, donnant naissance à des mosaïques compactes et polyédriques
- De grands cristaux lenticulaires, formés dans les mêmes conditions que les premiers, mais dans des vides en chenaux. Ils sont eux aussi isolés, mais leur temps de formation est encore plus court que celui des premiers.
- Des cristaux polyédriques, de plus grande taille que les précédents, en mosaïques enchevêtrés

I.1.1.2.3 Localisation :

Pour atteindre la masse compacte de tafza dans le sol, il faut dégager toutes les couches supérieures pouvant être constituées de sable et de lous. La couche plus ou moins superficielle (située à ± 1 mètre) est sèche, par contre celle plus profonde (à 3ou 4 mètres) se trouvant en contact avec l'eau souterraine est humide et a besoin d'être séchée une fois extraite.

Sa situation avec une abondance à A l'ouest d'El Oued.

I.1.1.3 Tercha :

I.1.1.3.1 Définition :

Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs.

I.1.1.3.2 La morphologie :

On le trouve en surface sous forme de cristaux fins d'un millimètre de diamètre, libres ou agglomérés les uns aux autres. Le gypse présente une cristallisation irrégulière et peu importante sous forme de nodules agglomérés les uns aux autres. Cette forme se rencontre généralement en surface, tendre et facilement pulvérisable se présentant sous forme d'encroûtement. Le tercha se rencontre aussi sous forme de lamelles localisées dans l'horizon de sable feuilleté fortement gypsique. Il peut prendre un développement vertical en chaînettes le long du Talus (particules de gypse et grains de sables liés entre eux)

Dans le tercha, les cristaux de gypse s'accumulent en des amas de petites lenticules, et d'autres de grandes lenticules. Par contre, la tefza présente des formes beaucoup plus variées.

I.1.1.3.3 Localisation

Se trouvent partout dans le Souf, dans n'importe quel endroit et à tous les niveaux dans le profil. El Oued jusqu'au nord de Guemmar, le lous forme avec le tercha une masse rocheuse plus ou moins compacte et profonde.

I.1.2 Plâtre local (gypse) :

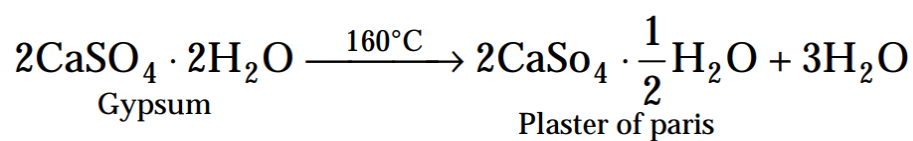
La plupart des sols gypseux se situent dans les zones arides, certains dans les zones semi-arides. La présence du gypse reflète la caractéristique de l'humidité qui était présente dans les temps géologiques. Les dépôts du gypse sont liés à la présence d'une nappe d'eau salée. Les lits et les lagunes des fleuves sont des endroits idéaux pour la formation des gisements secondaires de gypse. Le gypse peut être déposé selon d'autres manières. Il peut être transporté par l'eau ou par le vent et être déposé dans de nouvelles zones à la surface ou dans le profil

I.1.2.1 Définition [9]

Le plâtre traditionnel ou gypse est une substance connue depuis l'antiquité formée de liaisons hydriques, il est une substance naturelle solide qui est composée de dihydrate de sulfate de calcium ou de sulfate de calcium hydrique avec la formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le plâtre traditionnel est disponible en abondance dans la nature, dans laquelle, ce le minéral sulfuré le

plus répandu, il est considéré comme une roche sédimentaire et interagissant avec l'anhydrite (sulfate de calcium non hydrique CaSO_4), Il se caractérise également par une couleur grise ou blanche. Le matériau gypseux se trouve sous forme de sulfate de calcium le CaSO_4 anhydre dans la nature en très petites quantités, en revanche, on le trouve sous forme de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en abondance. C'est un matériau de construction très connu dans la construction traditionnelle. Il fait partie des matériaux de construction largement utilisés dans le désert, il est connu en différents noms comme gypse

Le gypse traditionnel est produit par la combustion (160°C) de pierres Tercha , TAFZA dans des fours traditionnels.



I.1.2.2 Comment préparer du plâtre traditionnel :

La préparation du gypse traditionnel passe par des plusieurs étapes :

I.1.2.2.1 Extraction de pierre :

Ces pierres sont extraites des zones proches du chantier et se présentent sous forme de couches de pierre horizontales peu profondes, comme on les trouve à un mètre de profondeur, après été concassés et préparés, ils sont transportés vers le "FOUR" l'incinérateur.



Figure I-5 : lieu d'extraction " makta"

Source : Auteur, 2024

I.1.2.2.2 Cuisson :

Le processus de combustion se fait dans des fours spéciaux, qui sont généralement a proximité du lieu d'extraction pierres et se distinguent par leur emplacement sur les pentes, Ces fours sont généralement de forme conique qui sont construit par des pierres locales ,sur le quelle ,on place les pierres de grande taille à son bas, après avoir posé une couche de Tiff, puis on pose progressivement les pierres de taille moyenne jusqu'à atteindre la très petite taille, Alors, Ainsi,



Figure I-6: four traditionnelle

Source : Auteur, 2024

le trou est fermé et le processus de combustion se poursuit pendant 9 heures au maximum à une température allant de 150 C°.

I.1.2.2.3 Moutures :

Après le processus de combustion, les blocs de pierre sont extraits, fragiles et faciles à émietter. Après l'avoir broyé avec un épais pilon en bois ou un marteau en fer, On obtient une poudre qui devient de couleur blanche ou gris clair. Après cela la poudre qu'elle contient est ensuite purifiée, parfois par tamisage, donnant plusieurs types selon la taille des particules.



Figure I-7: poudre après la mouture

Source : Auteur, 2024

La poudre fine est utilisée dans les revêtements intérieurs, tandis que la poudre grossière est utilisée comme mortier pour construction de murs, de plafonds, de dômes, etc.

I.2 Gypses :

Le sulfate de calcium se rencontre dans la nature principalement sous les deux formes Suivantes :

- Hydraté avec deux molécules d'eau par molécule de sulfate de calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) c'est le gypse.
- Anhydre (CaSO_4) : c'est l'anhydrite.

On peut également le rencontrer, dans certaines situations géologiques particulières, hydraté avec une fraction de molécule d'eau par molécule de sulfate de calcium : c'est la **bassanite** ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), **métastable** dans les conditions normales et qu'on ne trouve qu'en faible quantité (moins de 1 % en masse) dans le gypse.

Le gypse et l'anhydrite existent également comme sous-produits de certaines industries chimiques ou comme produits de désulfuration des fumées qui peuvent être utilisés, au même titre que les sulfates de calcium naturels, pour la fabrication des plâtres et produits en plâtre

I.2.1 Gypse naturel :

Le gypse appartient à la famille des évaporites qui sont des roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. On considère généralement que le gypse résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Les gisements les plus importants datent de l'ère secondaire

ou tertiaire. Le gypse est présenté en quantités relativement importantes dans la nature. Il existe de nombreux gisements dans le monde : en France, au Mexique, en Espagne etc

Le gypse se cristallise dans le système monoclinique. À l'échelle moléculaire, il présente une structure feuilletée dans laquelle alternent une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium.

Le gypse naturel présente les caractéristiques physico-chimiques suivantes :

- Formule chimique : $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.
- Masse volumique : $2,31 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.
- Système cristallin : monoclinique.
- Solubilité (en grammes de sulfate de calcium par kilogramme d'eau) :
 - À 3 °C : 1,81.
 - À 20 °C : 2,04.
 - À 38 °C : 2,10 (solubilité maximale).
 - À 100 °C : 1,69

I.2.1.1 Différentes variétés de gypse :

Les principales variétés que l'on rencontre dans la nature sont :

- **Sous forme macro cristallisée** : le gypse lamellaire, le fer de lance, le gypse lenticulaire, la rose des sables.
- **Sous forme micro cristallisée** : l'albâtre, le gypse fibreux, le gypse saccharoïde, le gypse éolien. [10]

Le gypse lamellaire :

Gros cristaux incohérents, souvent enchevêtrés qui se divisent dans le sens du clivage en de petites exfoliations.

Le gypse "fer de lance" :

Plaques souvent transparentes et incolores présentant la propriété de se laisser cliver parallèlement à la surface en minces lamelles qui ont l'éclat du verre ou le brillent de la nacre

Le gypse microcristallin ou alabastrite :

Il s'agit habituellement de gypse blanc, microcristallin, à grain très fin, d'aspect nodulaire. On observe généralement des nodules isolés dans un matériel non évaporitiques (Argileux ou carbonaté), parfois le gypse nodulaire microcristallin se forme par transformation d'une masse gypseuse composée de grands cristaux.

Il existe des gypses microcristallins massifs, souvent parfaitement homogènes et présentant l'aspect d'une pâte, ce gypse est dit alabastrite, il est également appelé aussi albâtre.

Le gypse fibreux :

Ce sont de longues fibres cristallines. Ils forment généralement le remplissage des fractures et des diaclases. Ce gypse se développe dans les principales discontinuités sédimentaires (plan de stratification, fractures...etc.).

Le gypse saccharoïde :

Ce gypse est caractérisé généralement par une structure moyennement cristallisée. Il est de couleur blanche



Figure I-8 : différentes formes des cristaux des gypses

Source : google image

I.2.2 Gypse de synthèse

Le Gypse de synthèse est le produit essentiel d'une réaction chimique industrielle. Sa production est limitée à cause des impuretés ainsi que pour des raisons techniques et économiques. En effet, pour l'élimination de ces derniers produits au cours de ce type nécessite des traitements chimiques coûteux

Les principales sources de Gypse chimique sont :

- La fabrication de l'acide phosphorique (phosphogypse).
- La fabrication d'autres acides minéraux : (acide borique, brogypse, acide fluorhydrique).
- La fabrication de l'oxyde de titane (TiO_2) : conduit également à une production de Gypse appelé titan gypse.
- La désulfuration des gaz et fumées : l'oxydation de l'anhydride sulfureux SO_2 (anhydride sulfurique) puis sa réaction avec de la chaux.

I.3 Les anhydrites :

L'anhydrite naturelle de formule chimique CaSO_4 se rencontre dans les formations gypseuses et salifères, ou dans certains gîtes métallifères. On considère qu'elle s'est formée, comme le gypse, par évaporation de l'eau de mer, mais elle peut également résulter d'une déshydratation lente du gypse sous l'effet d'une pression importante lors de plissements géologiques [11]

L'anhydrite est aussi obtenue à des températures élevées lors de la cuisson du gypse selon la température de cuisson du gypse, on peut obtenir les anhydrites I, II ou III qui présentent des structures cristallographiques différentes.

I.4 Plâtre :

I.4.1 Définition [12]:

Le plâtre est un liant hydraulique connu depuis l'antiquité. Il est fabriqué à partir d'une roche gypseuse, le plâtre est un matériau de construction similaire au mortier de ciment.

Comme ces matériaux, le plâtre se présente sous forme de poudre sèche une fois mélangée à l'eau elle forme une pâte qui libère de la chaleur, puis durcit. Ce di-hydrate de sulfate de calcium (déshydraté) par une cuisson au four, se transforme en plâtre ou héli-hydrate de sulfate de calcium (α ou β).

I.4.2 Processus de production de plâtre :

La fabrication du plâtre repose sur un principe relativement simple : l'élimination totale ou partielle de l'eau de constitution du gypse. Cependant, dans la pratique, cette opération a des implications complexes mettant en jeu des phénomènes de cristallisation difficiles à maîtriser.

La fabrication du plâtre repose sur un principe relativement simple : l'élimination totale ou partielle de l'eau de constitution du gypse. Cependant, dans la pratique, cette opération a des implications complexes mettant en jeu des phénomènes de cristallisation difficiles à maîtriser.

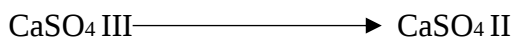
Soumis à la chaleur, le gypse conduit à une série de produits partiellement hydratés ou anhydres. Aux environs de 100 °C, on obtient les semi-hydrates α ou β (selon que l'on opère respectivement sous pression de vapeur d'eau ou à l'air libre) selon la réaction suivante :



Vers 200 °C, on obtient l'anhydrite III ou anhydrite soluble (instable) qui se réhydrate très rapidement en semi-hydrate au contact de l'eau en phase vapeur :



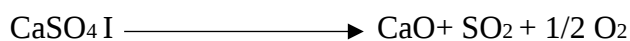
Vers 220 °C pour le semi-hydrate α , et 350 °C pour le β , l'anhydrite III se transforme en anhydrite II stable (surcuit) :



L'anhydrite II se réhydrate lentement au contact de l'eau liquide vers 1230 °C, se produit à nouveau une réaction de transformation :



L'anhydrite I ne se réhydrate que difficilement. Au-delà 1250 °C, on obtient la décomposition de l'anhydrite I :



I.4.3 Les différents produits de la déshydratation :

I.4.3.1 Semi-hydrates :

Les semi-hydrates (ou les demi-hydrates) sont obtenus au début de l'opération de déshydratation du gypse. La teneur en eau variée de 0,15 à 0,66 %.

La température selon la réaction suivante varie entre 50 °C à 160 °C



On trouve deux types des semi-hydrates α et β [13]

➤ **Le semi-hydrate α [14] :**

Le semi hydrate α se présente sous forme de cristaux bien formés. Si le chauffage a lieu à l'air sec sans eau, on parle dans ce cas de préparation par voie sèche, on obtient la forme β du semi hydrate. Le départ d'eau du gypse est violent et le semi hydrate β cristallise mal permet de comparer les deux formes de semi hydrate ainsi obtenues. Le semi hydrate α a des propriétés chimiques et physiques lesquelles :

- Les semi-hydrates α sont compacts et cristallins.
- Leurs solubilités dans l'eau sont inférieures à celle du composé β
- Le contact avec l'eau donne un mélange fluide.
- Ce sont des constituants de très hautes qualités, utilisés particulièrement, comme plâtre dentaire.
- Ils possèdent une grande résistance mécanique.
- Leur temps de prise est inférieur à celle des semi-hydrates β .

➤ **Les semi-hydrates β [14] :**

Semi hydrate β se présente sous forme de particules floconneuses d'où un taux de porosité assez élevé, des propriétés mécaniques plus faibles et une plus grande surface spécifique que la forme α ce qui entraîne une vitesse d'hydratation plus rapide pour le semi hydrate β .

Le semi hydrate β a des propriétés chimiques et physiques lesquelles :

- Ils sont floconneux et ils présentent des fissures écailleuses.
- Leurs solubilités dans l'eau sont supérieures à celle de composé α .
- La combinaison avec de l'eau donne un mélange plus épais.
- Ils nécessitent une grande quantité d'eau pour le gâchage.
- Leur temps de prise est plus long.
- Ils possèdent une faible résistance mécanique (10 fois moins que les semi-hydrates α).

- Ils sont considérés comme un constituant essentiel de plâtre préfabriqué.

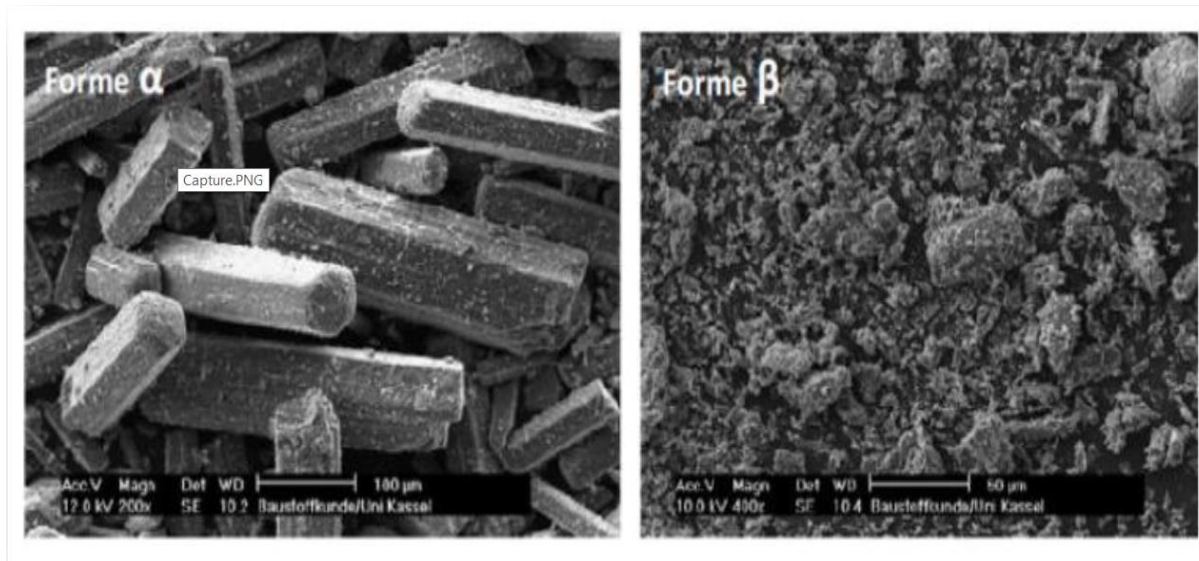


Figure I-9: les deux formes de semi hydraté au MEB [14]

Tableau I-1: caractéristiques des semi-hydrates α et β

Les caractéristiques	Semi-hydrate α	Semi-hydrate β
Masse volumique Cm^3/g	2.76	2.63
Teneur en eau (%)	6,2	6,2
Masse moléculaire (g)	145,15	145,15
Volume moléculaire (Cm^3)	52,4	55,2
Temps de prise (min)	15 à 20	25 à 35
Expansion mm/m	2,8	1,8
Résistance à la traction (sec) Mpa	6,5	1,3
Système cristallin	Rhomboédrique	Rhomboédrique
Solubilité dans l'eau à 20 °C(en g de Ca SO4 pour 100 CM)	0,36	0,74
Chaleur d'hydratation à 258 Cal/mol de gr	Vois humide 4100	Vois humide 4600
Solubilité dans l'eau à 3°C, 9/ 100 ml	0,825	1, 005
Cristallisation	Compacte	Spongieuse
Surface spécifique	Faible	Elevée
Gâchage saturation	Fort	Faible

I.4.3.2 L'anhydrite III ou anhydrite soluble :

L'anhydrite III constitue l'étape intermédiaire entre les semi-hydrates et l'anhydrite II. Sa formule, $\text{CaSO}_4, \varepsilon\text{H}_2\text{O}$, indique qu'elle contient une proportion faible et variable d'eau liée ($0,06 < \varepsilon < 0,11$).

La déshydratation des différents semi-hydrates en anhydrite III n'est pas sensiblement affectée par l'état de cristallisation, et l'existence des formes α et β de l'anhydrite III n'est pas clairement démontrée, bien que les chaleurs d'hydratation de ces deux produits soient différentes

I.4.3.3 L'anhydrite II, dite insoluble :

L'anhydrite II (CaSO_4) est une phase définie dans le système cristallin orthorhombique.

Elle s'obtient industriellement par cuisson du gypse à des températures allant de 300°C à 700°C, et prend le nom de surcuit. Selon la température de cuisson, le produit obtenu sera plus ou moins réactif vis-à-vis de l'eau. La cinétique d'hydratation étant très lente pour un surcuit obtenu au-delà de 700°C (cuit à mort).

Cette phase existe dans la nature sous la même forme cristalline (anhydrite naturelle) mais sous l'aspect d'une roche très compacte et plus dure que le gypse. Vis-à-vis de l'eau, l'anhydrite II est obtenue par cuisson et l'anhydrite naturelle ont un comportement identique, ces deux substances ne diffèrent que par leur vitesse d'hydratation, en raison de leur état de surface et de leur porosité différente.

I.4.3.4 L'anhydrite I :

L'anhydrite I ou anhydrite haut température (ou encore anhydrite α) s'obtient par cuisson aux environs de 1200 °C, cette variété existerait réellement comme phase définie mais non comme phase pure. Elle est toujours contaminée par de l'oxyde de calcium conséquence d'un début de dissociation thermique de CaSO_4 . En effet l'anhydrite se décompose à température élevée pour conduire à $\text{CaO} + \text{SO}_2/\text{SO}_3$. Cette réaction est très sensible à la présence de substances étrangères (silice, alumine, oxydes de fer, argiles, Carbone, etc.), lesquelles abaissent la température de dissociation.

L'anhydrite I n'a jamais pu être observée à température ordinaire, car le refroidissement en dessous de 1200 °C conduit à la transformation en anhydrite II.

I.4.4 Les types du plâtre :

Suivant les applications, différents types de plâtres vont être utilisés :

➤ **Plâtre de construction :**

Le plâtre est considéré comme parmi les plus anciens matériaux de construction produits par l'homme. S'il est encore employé sous sa forme traditionnelle de poudre gâchée avec de l'eau pour réaliser des enduits, c'est sous la forme d'éléments préfabriqués en usine (carreaux, dalles, plaques) que son utilisation se développe aujourd'hui pour répondre aux besoins de la construction.

➤ **Plâtre d'isolation :**

Le plâtre est un bon isolant thermique. C'est un bon matériau de protection contre le feu du fait qu'il est capable d'absorber une grande quantité d'énergie calorifique pour opérer des transformations chimiques internes accompagnées de dégagement de vapeur d'eau

➤ **Le plâtre à projeter :**

C'est un plâtre résistant (mélange de sable, plâtre et ciment), très dur qui est utilisé pour des zones exposées, notamment des pièces humides.

➤ **Le plâtre de Paris :**

Sûrement le produit le plus utilisé par les professionnels de la construction car il est très fin et sert aussi bien dans la réparation, la couverture et le moulage décoratif.

➤ **Le plâtre de surfaçage :**

Très fin, c'est un matériau de finition à appliquer en couches très minces sur un enduit de plâtre. Idéal pour les petites fissures.

➤ **Le plâtre à modeler :**

Plâtre utilisé dans le cadre de travaux de décoration, de précision comme les moulures. Il se manipule en petites quantités et reste idéal pour reboucher les fissures et craquelures.

➤ **Divers :**

Il existe un type de plâtre, appelé plâtre surcuit, qui présente des propriétés particulières, dont une résistance très élevée ($30\text{MPa}=300\text{kg/cm}^2$ à l'état sec) et un poids volumique plus élevé (1600 à 1750kg/m^3) que les plâtre habituels.

I.4.5 Propriétés du plâtre :

I.4.5.1 Hydratation et prise :

Le plâtre de construction courant est un mélange de semi-hydrate et d'anhydrite de classe II (2/3 : 1/3). L'anhydrite est un régulateur de prise ; plus le % d'anhydrite est élevé et plus le temps de durcissement est lent.

Le début de prise : moment où le plâtre commence à cristalliser (le sillon tracé par une lame de couteau dans une galette de plâtre ne se referme plus).

La fin de prise : moment où la pâte de plâtre n'est plus utilisable, le plâtre achève son durcissement (un ponce fermement appliqué sur la surface ne laisse plus de trace).

Dans la pratique, on définit également une durée d'emploi correspondant au temps pendant lequel la pâte de plâtre peut être utilisée. Ce temps est variable selon le procédé de mise en œuvre (application d'un enduit, coulage, moulage, etc.). L'addition de certains produits minéraux ou organiques, agissant sur la solubilité des phases anhydres ou les vitesses de dissolution, permet d'intervenir sur les temps de prise et les durées d'emploi. [15]

Accélérateurs :

Dans le cas notamment de la préfabrication, il peut être nécessaire d'accélérer la prise du plâtre pour procéder à un démoulage plus rapide. On fait donc appel à des accélérateurs qui sont des produits minéraux :

- soit formant des germes de cristallisation : gypse broyé par exemple.
- soit diminuant la solubilité du sulfate de calcium d'hydraté : sulfates (sauf sulfate de fer), acides sulfurique, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium. [15]

Retardateurs :

Pour de nombreuses utilisations dans le bâtiment, les arts ou l'industrie, il est nécessaire de retarder la prise du plâtre pour permettre un travail plus facile. Plusieurs mécanismes peuvent être mis en jeu :

Diminution de la vitesse de dissolution des phases anhydres.

- Diminution de la solubilité des phases anhydres.
- Adsorption d'ions à la surface des cristaux de gypse en cours de croissance et incorporation de ces ions dans leur réseau.

- Formation de complexes limitant la diffusion vers les cristaux de gypse. Les principaux retardateurs sont les suivants :
 - ✓ Phosphates alcalins et d'ammonium.
 - ✓ Acides organiques et leurs sels solubles (exemple : acide citrique et citrates) ;
 - ✓ Protéines dégradées.

En général, l'efficacité des sels d'acides organiques suit la séquence : $H^+ > K^+ > Ca^{2+}$ [15].

Épaississeurs et rétenteurs d'eau :

Les épaississeurs, en augmentant la consistance de la pâte de plâtre, permettent d'avancer le début d'emploi du plâtre. Un épaississeur bien connu est l'amidon.

Généralement, ces produits ont aussi un effet retardateur de prise limité ; associés à des retardateurs plus puissants, ils permettent :

- D'utiliser la pâte dès la fin du gâchage.
- D'augmenter la durée d'emploi.

Ils facilitent en outre la mise en œuvre.

Épaississeurs et retardateurs ont permis le développement des plâtres modernes à long temps d'emploi et des plâtres projetés.

Certains épaississeurs sont également rétenteurs d'eau, c'est-à-dire qu'ils retiennent dans la pâte, en empêchant son évaporation ou son absorption par le support, une certaine quantité d'eau qui permet au plâtre de s'hydrater normalement lorsqu'il fait sa prise.

L'absence de rétendeur d'eau conduirait au grillage du plâtre simplement retardé appliqué sur son support.

Parmi les produits épaississeurs, rétenteurs d'eau, citons les éthers cellulosiques employés depuis une vingtaine d'années :

- Méthylcellulose (MC) ;
- Carboxyméthylcellulose (CMC) ;
- Et les autres dérivés : hydroxyéthyl cellulose (HEC), hydroxypropyl cellulose, etc.

L'action des éthers cellulosiques dépend de la masse moléculaire du produit, de la concentration, de la température. Ils sont employés seuls ou en mélange à des doses très faibles de l'ordre du millième. [15]

Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie :

Du fait de sa faible conductivité thermique λ , le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique des parois. Le tableau 2 donne les caractéristiques thermiques du plâtre.

Tableau I-2 : les caractéristiques thermiques du plâtre.

Type d'éléments	R ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
Carreaux de plâtre pleins (Masse volumique : 900 à 1 000 kg/m ³) :	
Épaisseur 50 mm	0,14
Épaisseur 60 mm	0,17
Épaisseur 70 mm	0.20
Épaisseur 100 mm	0.29
Éléments alvéolés (20 à 35 % de vides en une rangée d'alvéoles, masse volumique : 900 à 1 000 kg/m ³) :	
Épaisseur 60 mm	0.20
Épaisseur 70 mm	0.22
Plaques de parement en plâtre (Masse volumique : 800 à 900 kg/m ³) :	
Épaisseur 9,5 mm	0.03
Épaisseur 12,5 à 15 mm	0.04

Isolation acoustique

Le plâtre, grâce à son aptitude au moulage, à la préfabrication comme à la constitution d'éléments décoratifs à reliefs, se prête à la réalisation de panneaux, de structures architecturales ou ornementales capables de supprimer ou d'atténuer les réverbérations gênantes des bruits ou des sons émis dans une pièce. [16]

Résistance au feu

L'une des propriétés les plus caractéristiques du plâtre est son comportement remarquable au feu, qui a été reconnu et éprouvé de tout temps. Cette protection a pu autrefois être obtenue grâce à de larges garnissages de plâtre remplissant complètement les intervalles séparant les éléments de construction. Elle peut aussi consister en enduits projetés de plâtres spéciaux (spécial feu) ou en enduits traditionnels comportant, de préférence, une armature légère de solidarisation ancrée sur l'ouvrage.

Humidité des locaux

Le plâtre est un matériau poreux et, bien qu'il soit rarement laissé nu et qu'il soit souvent recouvert de peinture, de papier ou de tissu, il doit très généralement être examiné comme tel du point de vue des échanges hygrométriques avec l'atmosphère ambiante, car, mis à part les peintures laquées des salles d'eau ou certains revêtements plastifiés, les couches minces de peinture ou de papier, comme les tissus, sont perméables.

Les possibilités du plâtre trouvent aussi bien leur application dans la recherche de l'amélioration de l'isolation d'une paroi existante que dans la construction de cloisons à hautes performances acoustiques. Ainsi, dans le cas d'un mur ayant une certaine masse, le doublage au moyen d'un élément léger en plâtre peut apporter une amélioration considérable. D'une manière générale, on peut noter que l'isolation obtenue par doublage est d'autant meilleure que les deux parois ont des épaisseurs et des masses différentes et que la lame d'air qui les sépare assure une meilleure liaison, notamment grâce à un remplissage avec un isolant.

I.4.6 Spécifications industrielles du plâtre :

La teneur en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ est fondamentale. D'après la norme NF.B.12.300, le degré de pureté caractérisé par la teneur en sulfate de calcium doit correspondre à une teneur en SO , supérieure 40 %, c'est à dire à un gypse pur à plus de 85 %. La granularité du gypse concassé marchand pour plâtre est de 018 mm, et doit être aussi précise que possible pour permettre une cuisson régulière des grains dans le four.

Parmi les impuretés, les plus nuisibles sont :

- MgO , qui doit être $< 2\%$
- $\text{K}_2\text{O} < 0,1\%$
- $\text{Na}_2\text{O} < 0,1 \%$

Les normes NE3. F. 12.300 et NE3. F. 12.301 classent les plâtres en fonction de quatre critères :

- la granularité, grosse (G) ou fine (F) ;
- le mode d'application, manuel (MJ ou mécanique (P) ;
- le temps d'emploi, court (nO1), allongé (nO2) ou très long (nO3) ;
- la dureté, normale (N), ou très haute (THD).

Le temps de prise varie de 3 à 15 mn pour le début, jusqu'à 10 à 45 mn pour la fin de prise.

La couleur est également importante pour les plâtres à enduire, qui doivent être suffisamment blancs.

I.5 Le brique :

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieur et extérieure. Elle intervient comme un stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air libre. Les briques parmi les éléments plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée. La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc ...etc.) [17]

I.5.1 Briques de terre crue :

La terre crue est le matériau de construction traditionnel par excellence. On en retrouve la trace à l'âge de Bronze et la muraille de Chine présente des tronçons. De nombreux monuments inscrits au patrimoine mondial de l'humanité sont en terre crue : forteresses marocaines, pyramides d'Egypte..... Aujourd'hui encore, environ 40% de l'humanité habite des constructions en terre crue. Facilement mobilisable dans les régions où pierre et bois manquent, sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de matériel sophistiqué. De même sa mise en œuvre, sans transport, sans cuisson, sans processus de transformation industriel lui confère une empreinte écologique et bilan CO2 exceptionnel. [18]

Il existe plusieurs types de terre crue entre autres nous citons :

I.5.1.1 La dobe :

I.5.1.1.1 Définition

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. 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). 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.



Figure I-10 : Moulage et séchage des blocs adobes

Source : google image

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 (15 × 25 × 10 cm) soit (30 × 60 × 10 cm). La construction en adobe est très répandue dans le monde, de la Chine aux pays du Moyen – Orient, de l'Afrique, à l'Amérique latine, en France et Etats Unis d'Amérique [19].

I.5.1.1.2 Les 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 coûteuse.
- N'entraîne pas la production de gaz. [19]

I.5.1.2 Les pisés :

I.5.1.2.1 Définition :

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier.

Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires (le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade.

Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée [20].

I.5.1.2.2 Différents types de pisé

L'aspect général du matériau pisé, une fois compacté et décoffré est celui d'un "béton maigre de terre", variable selon le type de terre (apparence de graviers et cailloux ou texture plus fine), selon le type de coffrage utilisé et les principes constructifs adoptés pour édifier la maçonnerie de terre en "banchées" successives (en progression horizontale ou verticale avec des coffrages traditionnels) [21].

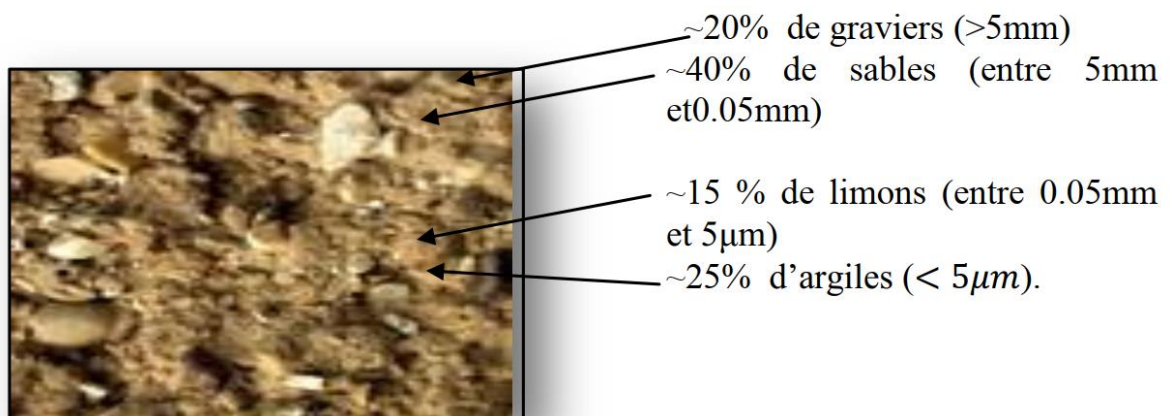


Figure I-12 : Composition de pisé [20].

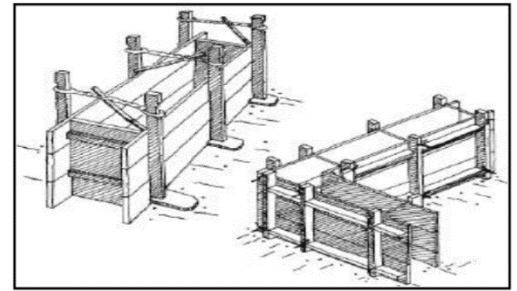


Figure I-11: Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé [20]

I.5.1.2.3 Les 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. [22]

I.5.1.3 Les Blocs de terre comprimée :

I.5.1.3.1 Définition :

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie, des dimensions réduites et des caractéristiques régulières et contrôlées, obtenus par compression statique ou dynamique de terre à l'état humide suivie d'un démoulage immédiat. Les blocs de terre comprimée ont généralement un format parallélépipédique rectangle et sont pleins ou perforés, à relief vertical ou horizontal.

Les blocs de terre comprimée sont constitués principalement de terre crue et doivent leur cohésion à l'état humide et à l'état sec essentiellement à la fraction argileuse composant la terre (gravier, sable, limon et argile) ; un additif tel que de (ciment, chaux, pouzzolane etc..) peut être ajouté néanmoins à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits.

Les caractéristiques finales des BTC dépendent de la qualité des matières premières de (terre, additif) et de la qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage, compression, cure) [23].



Figure I-13 : Brique de terre crue comprimée réalisée à l'aide d'une presse manuelle

I.5.1.3.2 Production des blocs de terre comprimée :

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits pas compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles ou industrielles. Les aires de production, de séchage et des stockages varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique. [24].

I.5.1.3.3 Les Avantages de bloc de terre comprimée [25]:

- La BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.
- La BTC procure un confort thermique et phonique excellent : de par son inertie thermique et sa masse, un mur en BTC apporte confort thermique et isolation phonique.
- La BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm²).
- La 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.
- La BTC est simple à mettre en œuvre : la BTC se monte avec un mortier de terre amendé.

Tableau I-3 : Les caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, BTC) [26]

Caractéristiques	Types de briques de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique (kg/m ³)	1200 – 1700	1700 – 2200	1700 – 2200
Résistance à la compression (MPa)	2 – 5	< 2,4	< 2,4
Résistance à la traction (MPa)	-	0,5 – 1	-
Conductivité thermique λ (W/m.°C)	0,46 – 0,81	0,81 – 0,93	0,81 – 1,04
Chaleur spécifique (J/Kg.°C)	900	850	-
Capacité thermique (KJ/m ³ .°C)	1350	510	-
Absorption d'eau (%)	5	10 – 20	10 – 20
Isolation acoustique (dB)	-	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm	50 dB pour 40cm 40 dB pour 20cm
Retrait au séchage (mm/m)	1	1 – 2	0,2 – 1

I.5.2 Terre cuite :

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel, ils sont fabriqués à partir d'argiles communes devenant souvent rouges à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose au jaune et au blanc) [27]

I.5.2.1 Les étapes principales de la fabrication de brique de terre cuite :

I.5.2.1.1 L'extraction :

L'extraction de l'argile de gisement peut se faire par des engins mécaniques : décapeuses, pelles, chargeuse...etc. La matière extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée bandes transporteuse [27]



Figure I-14: Gisement d'argile

I.5.2.1.2 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 pâte homogène, de qualité constante, ayant la plasticité requise pour le moulage des briques finis des adjuvants peuvent aussi ajouter dans le mélange de l'argile comme du schiste, il faut le concasser et le moudre par étapes successives en une fine poudre qui sera gâchée à l'eau pour obtenir une pâte (argileuse) présentant la plasticité souhaitée ; ou de teinte pour obtenir des différents couleurs [27].

I.5.2.1.3 Façonnage :

En terre cuite, on utilise principalement deux procédés : l'étirage et le pressage. Nous allons donner le façonnage de produits (pleins, perforés, et creux).

I.5.2.1.4 Séchage :

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30 % (chiffres exprimés en % par rapport au poids sec). Il est nécessaire, avant de les soumettre à la cuisson, d'éliminer la plus grande partie de cette eau : c'est l'opération de séchage. Il s'agit d'une phase délicate et importante de la fabrication qui doit être menée judicieusement si l'on veut obtenir des produits de qualité. Après leur passage dans le séchoir, ces derniers ne contiennent plus que 1 à 2 % d'eau résiduelle (quelque fois moins) [27]

I.5.2.1.5 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 »

Les étapes de cuisson :

Concernant la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, de dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

- Jusqu'à 200 Co environ, évacuation de l'eau résiduelle de séchage
- De 200 à 450 Co, décomposition de matières organiques
- De 450 à 650 Co, destruction des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution
- De 650 à 750 Co, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires).

I.5.2.2 Produits de brique en terre cuite :

I.5.2.2.1 Briques ordinaires :

Les briques de terre ordinaire se présentent sous la forme de parallélépipèdes rectangles obtenus par extrusion « filage » ou éventuellement par pressage lorsqu'il s'agit de brique pleine. Selon la norme XP P13 305 la brique plein ordinaire se compose en deux catégories pleins ou perforés en terre cuite [28].

- **Brique plein** : brique ne comprend aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est dimensions : 250 x 120 x 55 mm.
- **Brique perforée** : Les briques perforées qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivantes 250x120x88-55mm.

On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm. Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60 % de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40 % de la section totale. Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est

difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson. Selon la Norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante : ± 6 mm sur la longueur ; ± 4 mm sur la largeur et ± 3 mm sur l'épaisseur.

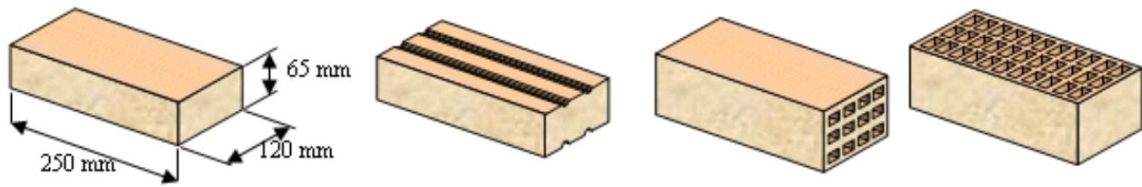


Figure I-16: Briques pleines et perforées

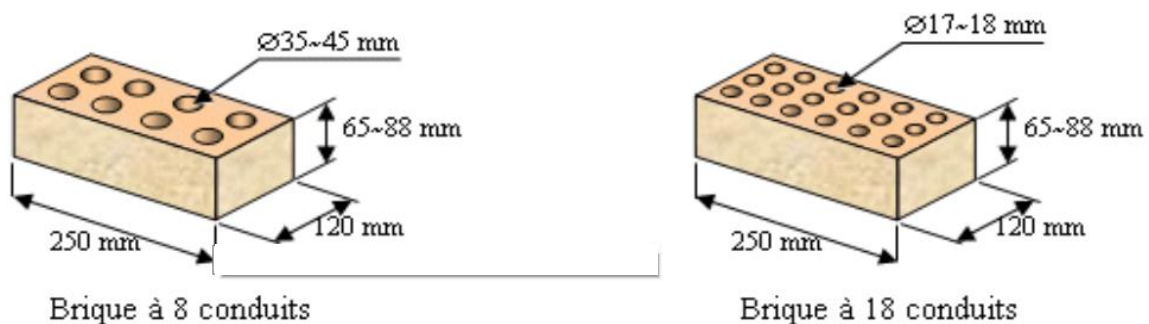


Figure I-15: Briques perforées

I.5.2.2.2 Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale :

Selon la norme NF P 13-301. Les briques creuses à perforation horizontale sont des produits comportent des perforations sont parallèles au plan de pose et dont la section totale dépasse 40 % de la section du produit [28]

Les briques creuses sont classées :

- D'après la forme :

Type C : à faces de pose continue,

Type R.J. : à rupture de joint (coupure de joint horizontal).

- D'après la résistance :

On distingue les briques ordinaires et les briques à résistance garantie.



Figure I-17: Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale

Source : google image

I.5.2.2.3 Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés) :

Les blocs perforés sont des produits permettant d'une paroi réaliser toute l'épaisseur d'avec un seul élément, et comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose. Leur largeur est au moins de 14 cm, et la somme des perforations est égale ou inférieure à 60% de la section totale. Selon leurs caractéristiques thermique, ces blocs peuvent être soit des blocs normaux soit des blocs de type G



Figure I-18: Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G

I.5.3 Propriété et caractéristique des briques de terre cuite :

Les propriétés et les caractéristiques des briques de terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants :

[Source : google image]

Tableau I-4 : Propriétés des briques pleins et perforés [29]

Poids spécifique (kg/m ³)		Environ 1800
Résistance Mécanique	Compression (MPa)	De 5 à 80
	Traction (MPa)	De 0 à 2
	Dilatation thermique(mm/m.k)	0.005
	Gonflement à l'humidité (mm/m)	0.1
	Retrait au durcissement (mm/m)	0.2 à 1.1
	Porosité (%)	5 à 18
Réaction au feu		Très élever
La conductivité w/m.°C		1.15

Tableau I-5: La résistance thermique des briques pleins et perforés [30]

Pleines		Perforés	
Epaisseur (cm)	R(m ² .°C/W)	Epaisseur (cm)	R(m ² .°C/W)
5.5	0.05	20	0.5
10.5	0.09	30	1.00
22	0.20	35	1.21

Tableau I-6: la résistance thermique des Brique creuses [30]

E : épaisseur en cm	5	10	20	25
R(m ² .°C/W)	0.10	0.20	0.39	0.55

I.5.4 Brique silico-calcaires :

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange de matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée Ca(OH)_2 appelée chaux grasse (ou ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave. Deux catégories de produits sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction. [31]

I.5.4.1 Silico- calcaires denses :

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'a lieu que si la silice est vitreuse et pouzzolanique) , mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression .

Les premiers brevets, qui furent pris en 1880 par l'Allemand Michaelis, en 1886 par l'Anglais VAN Derburgh, étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaire obtenues par un mélange soigneusement dosé de chaux et de silice, broyé puis moulé par pression et traité à la vapeur. La première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894. Les pays qui ont les plus fortes productions de produits silico-calcaires denses sont : Russie, l'Allemagne, la France [31].

I.5.4.2 Silico- calcaires légers :

Les silico-calcaires légers sont à partir des même matériaux que les silico-calcaires denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermés ,sous forme de bulles gazeuses obtenues par réaction chimique .Ils appartiennent à la classe des matériaux appelée Improprement béton cellulaire ou béton gaz .Les premiers brevets datent de 1890 ,mais on considère souvent le Suédois J.A Eriksson comme le père de ces produits ; ses brevets datent de 1923 et il utilisa en 1929 le traitement à l'autoclave .Ces produits furent d'abord commercialisées en Suède en 1924 Danemark en 1928 en URSS en 1930 . Les principes producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne, la Grande-Bretagne [31]

I.5.4.3 La Fabrication :

A. Silico-calcaire denses :

Le mélange (5-12%) chaux vive (CaO) et sable propre de 0/5 mm et l'eau de l'ordre de (4 à 8 %) de la masse des matières sèches. Généralement des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière la matière comprimée ou comprimée – vibrée suivant les modèles de presses, sous des pression variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa, après démoulage les produit sont traités dans des autoclaves durant de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190°C environ)

B. Silico-calcaire léger :

Ces matériaux sont obtenus par traitement à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux (60à 65%),de chaux et de ciment (35 à 40% pour l'ensemble), une multitude de petite cellules étant créés dans une mélange par dégagement gazeux résultant de l'addition, au moment du gâchage, de poudre d'aluminium.

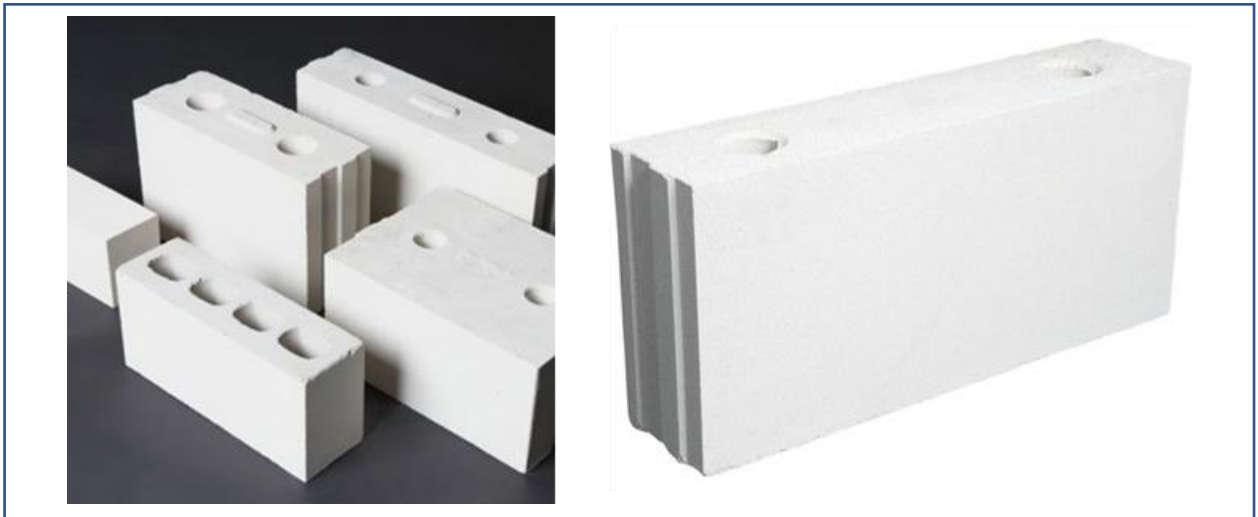


Figure I-19 : différents Produit en briques silico-calcaire [Source : google image]

I.5.4.4 Propriétés de brique silico-calcaire :

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

Tableau I-7 : Propriétés de brique silico-calcaire

Type de brique SC	Brique silico-calcaire dense	Brique silico-calcaire léger
Masse volumique (kg/m ³)	600 – 2200	300 - 800
Résistance à la compression (Mpa)	6 – 60	1.5 – 7
Conductibilité thermique λ (w/m.°c)	Pour une masse volumique entre 1700-2100 (Kg /m ³) 1.16 -1.63	0.08 pour une masse volumique entre 300 (Kg /m ³)
Absorption d'eau	4 à 8 %	-
Isolation acoustique	48 Db	-

I.5.4.5 Les avantages des briques silico-calcaires :

Les briques silico-calcaires en général ont un très bon comportement au gel, leur non gélivité leur permet de bien résister à des températures pouvant atteindre 550°C.

- Les briques silico-calcaires ainsi que les briques cuites sont des matériaux de construction non inflammable [21]
- Les briques silico-calcaires sont en générale de même usage que les briques de terre cuite, mais avec certaine restriction, Il est interdit d'utiliser les briques silico-calcaires pour la pose des fondations et des socles parce qu'elles sont moins résistantes à l'eau que les briques de terre cuite [21].

Conclusion :

Cette étude nous a permis d'étudier :

- Les différents types des matériaux de construction d'EL-oued avec leur caractérisation.
- Le plâtre avec différente phase d'hydratation et sa classification.
- Les différents types des briques en terre existants dans le domaine de construction à savoir : les briques crues, les briques cuites, brique silico-calcaires.

Nous avons constaté que la Construction en matériaux local d'el-oued comporte une palette très large d'avantages : propriété thermique avec une excellente isolation, hygiénique, respect de l'environnement. À partir de ça nous allons faire un diagnostic global sur ces matériaux, on prend en compte les caractéristiques plus importantes dans le domaine de construction, en fin on produit une composition des matériaux local pour former une brique s'entraîne nos objectifs.

Chapitre II :

Caractérisation des matériaux et essais

II. Chapitre II : Caractérisation des matériaux et essais

Introduction :

Au cours de la réalisation de notre mémoire, nous avons cherché à valoriser les matériaux de construction locaux à oued souf.

Dans ce chapitre, nous en aborderons, particulièrement leurs caractéristiques approfondies que permet former une excellente combinaison entre eux pour inventer une brique très performante.

Ce chapitre est divisé en deux parties, la première partie est consacrée à la présentation des caractéristiques physico-chimiques des matériaux de base locaux utilisés dans la préparation des briques, alors que la deuxième partie est exposée les différents essais expérimentaux utilisés pour caractériser les composites à base des matériaux locaux qui utilisent à la fabrication de brique.

II.1 Détermination des caractéristiques physiques La rose de sable « (Lous) :

La rose de sable a été utilisée dans notre étude provient de la région de GAMRA à commune de GUEMAR la wilaya d'EL-OUED, elle a été concassée sur plusieurs sections (3/8), (8/15) et (15/25), elle joue dans notre travail le rôle de gravier sur laquelle nous avons fait différents essais pour déterminer leur caractéristique :



Figure II-1 : concassage de rose de sable 15/25/ , 7/15 , 3/7

Source d'auteur



Figure II-2: la rose de sable

Source d'auteur

II.1.1 Analyse granulométrique par tamisage (NF P 18-560):

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0.063 et 125 mm

On appelle :

Refus : la partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.

Tamisât : la partie de l'échantillon passée à travers les mailles du tamis.

II.1.1.1 Principe :

L'essai consiste à séparer, au moyen d'une série de tamis, un matériau (gravier ou sable) en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes et tracer la courbe granulométrique de chaque type de granulats. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision requise.

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de chaque dimension.
- En déduire le Module de finesse du sable (Mf).

II.1.1.2 Matériaux utilisés

- Un échantillon concassage de lous de fraction 3/8 et 8/15 15/25.
- Les échantillons doivent être préalablement séchés à l'étuve à 105°C.

II.1.1.3 Matériels utilisés :

- Une tamiseuse électrique.
- Série de tamis de maillage métallique carré compris entre d et D (diamètre min et max de l'échantillon testé), avec un fond et un couvercle.
- Une balance de portée 5 kg, avec précision 1g.
- Des récipients en plastique.

II.1.1.4 Mode opératoire :

La masse M de l'échantillon pour l'essai doit être $\geq 0,2D$, avec M exprimée en Kg et D le diamètre maximal de plus gros granulat spécifiée en millimètres.

L'essai consiste à séparer (fractionner), au moyen d'une série de tamis (tamisage par lavage suivi du tamisage à sec), un matériau en plusieurs classes granulaires de dimension décroissantes.

Les masses de grains retenues sur les différents tamis sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages cumulés passant à travers chaque tamis sont présentés sous forme numérique et sous forme graphique (courbes granulométriques).



Figure II-3: Les opérations principales de l'essai granulométrique

Tableau II-1: Résultats de l'analyse granulométrique concassage de lous

D de tamis	G 3-8	G 8-15	G 15-25
	Tamisât (%)	Tamisât (%)	Tamisât (%)
31,5			100
25			88,1
20			87,6
16		98,7	85,9
12,5		97,2	55,1
10		87,2	27,9
8	98	85,9	2,1
6,3	97,8	63,8	0,5
5	97,4	29,2	0
4	85,9	2	
2	12	0	
1,6	3,4		
1,25	0,3		
1	0		

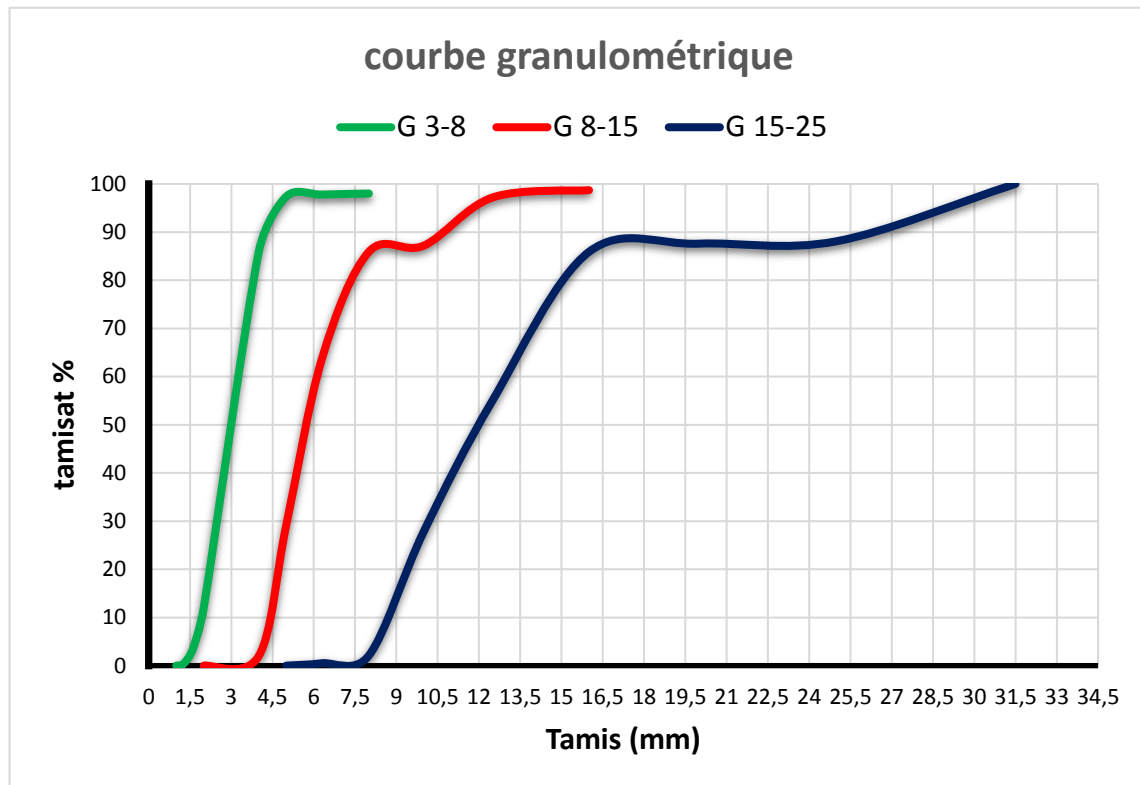


Figure II-4 : courbe granulométrie analyse granulométrique de concassage de Lous

Source l'auteur d'après logiciel (EXCEL)

D'après la courbe granulométrique, le concassage de Lous utilisés sont toutes continues, bien graduée et sa continuité bien répartie.

II.1.2 Masses volumiques – EN 196-6 :

Ce paramètre permet de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires, La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Elle s'exprime en Mg/m³ (mégagrammes par mètre cube), t/m³ (tonnes par mètre cube), en kg/dcm³ ou en gr/cm³.

II.1.2.1 Masse volumique apparente ρ :

Masse volumique apparente ρ : est la masse d'un matériau par unité de volume total y compris les vides entre les grains.

Mode opératoire :

1. Déterminer le volume de récipient V
2. Noter la masse de récipient propre et vide M_R
3. Vérifier les granulats
4. Noter la masse de récipient rempli M_1

On prend la masse volumique par la relation suivante :

$$\rho_{ap} = \frac{M_1 - M_R}{V_T}$$



Figure II-5: essai de la masse volumique apparente
Source l'auteur

Tableau II-2 : la masse volumique apparente des différentes classes de concassage de Lous

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	ρ_{ap}
Type 15/25	1.126 g/cm ³	1.142 g/cm ³	1.165 g/cm ³	1.144 g/cm ³
Type 8/15	1.090 g/cm ³	1.123 g/cm ³	1.078 g/cm ³	1.097 g/cm ³
Type 3/8	1.067 g/cm ³	1.054 g/cm ³	1.165 g/cm ³	1.045 g/cm ³

II.1.2.2 Masse volumique absolue ρ_s :

Masse volumique absolue : Est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides entre les grains.

Mode opératoire :

1. Verser l'eau V_1
2. Préparer un échantillant sec 300g -500g
3. Verser l'échantillant
4. Noter le nouveau volume d'eau V_2

$$\rho = \frac{M_{sec}}{V_2 - V_1}$$



Figure II-6 : essai de la masse volumique absolue
Source l'auteur

Tableau II-3 : la masse volumique absolu des différentes classes de concassage de Lous

	M_{sec}	V_2	V_1	ρ_{abs}
Type 15/25	500 g	710 ml	500 ml	2.38 g/cm ³
Type 8/15	500 g	710 ml	500 ml	2.38 g/cm ³
Type 3/8	500 g	710 ml	500 ml	2.38 g/cm ³

II.1.3 Coefficient d'absorption d'eau (NF P18-554) :

Rapport de l'augmentation de masse d'un échantillon de granulat à sa masse sèche (après passage à l'étuve), du fait de la pénétration de l'eau dans les pores accessibles à l'eau, suite à l'immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h.

Mode opératoire :

Préparation de l'échantillon : il faut que l'échantillon analysé soit sec (séché dans une étuve à 105 °C). Exécution de l'essai :

1. Peser une masse M_s de l'échantillon sec.
2. Placer cet échantillon dans l'eau jusqu'à une masse constante pendant 24h.
3. Retirer l'échantillon de l'eau et essuyer chaque grain.
4. Peser à nouveau l'échantillon et noter M_a la nouvelle masse.

Le coefficient d'absorption (A_b) est défini par la relation

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} 100$$

M_s : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

M_a : masse de l'échantillon imbibé p.



Figure II-7 : essai Coefficient d'absorption

Source l'auteur

Tableau II-4 : la Coefficient d'absorption des différentes classes de concassage de Lous

		M_a	M_s	A_b	$A_b \text{ moy}$
Type 15/25	Echantillon 1	107.24 g	90.72 g	18.20%	17.44%
	Echantillon 2	105.93 g	90.85 g	16.59%	
	Echantillon 3	107.26 g	91.26 g	17.53%	
Type 08/15	Echantillon 1	104.06 g	90.12 g	15.46%	15.38%
	Echantillon 2	101.97 g	89.42 g	14.03%	
	Echantillon 3	105.24 g	90.20 g	16.67%	
Type 03/08	Echantillon 1	49.18 g	45.05 g	9.16%	9.91%
	Echantillon 2	50.74 g	45.45 g	11.63%	
	Echantillon 3	49.30 g	45.25 g	8.95%	

II.1.4 Synthèse des résultats :

Le Tableau 11 regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais physiques effectués sur les différentes classes de concassage de Lous

Tableau II-5:tableau récapitulatif pour les caractéristiques des différentes classes de concassage de Lous

	ρ_{ap}	ρ_{abs}	A_b
Type 15/25	1.144 g/cm 3	2.38 g/cm 3	17.44%
Type 8/15	1.097 g/cm 3	2.38 g/cm 3	15.38%
Type 3/8	1.045 g/cm 3	2.38 g/cm 3	9.91%

II.2 Détermination des caractéristiques physiques et mécaniques du plâtre

II.2.1 Masse volumique apparente du plâtre [32]:

La masse volumique apparente d'un corps est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un corps par unité de volume y compris les vides et les pores. Pour les matériaux pulvérulents (poudreux) et granulaires, la masse volumique apparente peut encore être appelée masse volumique en vrac.

A) Matériels utilisés :

- Récipient cylindrique de volume 1 litre.
- Un entonnoir monté sur un trépied.
- Une règle métallique.
- Une main écope.
- Une balance.

B) Mode opératoire :

- Peser le récipient de volume 1 litre vide (m_0).
- Verser le plâtre au travers de l'entonnoir jusqu'à refus et sans le tasser.
- Retirer l'entonnoir.
- Araser l'excès de plâtre à l'aide d'une règle métallique.
- Peser le récipient rempli (m_1).
- Calculer la masse de l'échantillon ($m = m_1 - m_0$).
- Répéter la mesure trois fois.
- Calculer la masse volumique apparente.

La masse volumique apparente est calculée en divisant la masse du plâtre par son volume (1 litre). Elle s'exprime en (kg/m^3).

$$\rho_{\text{app}} = \frac{m_p}{V_{\text{app}}}, \quad [\text{Kg}/\text{m}^3]$$

ρ_{app} : Masse volumique apparente, Kg/m^3 .

m_p : Masse du plâtre, kg.

V_{app} : Volume du plâtre dans le récipient, m^3 .



Figure II-8 : essai de masse volumique
de plâtre
Source l'auteur

Tableau II-6: la masse volumique apparente des différents échantillons de plâtre local

	M_p	V_{app}	ρ_{ap}	P_{app} moy
Echantillon 1	1004 g	785 cm ³	1.278 g/cm ³	1.279 g/cm ³
Echantillon 2	1010 g	785 cm ³	1.286 g/cm ³	
Echantillon 3	1000 g	785 cm ³	1.273 g/cm ³	

II.2.2 Masse volumique absolue [32] :

La masse volumique absolue d'un corps est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un corps par unité de volume absolu sans les vides et les pores.

Matériels utilisés :

- Le densimètre Le Chatelier
- Un liquide inerte vis-à-vis du ciment (alcool à brûler de préférence, à défaut l'eau).
- Une balance.
- Un entonnoir à long col.
- Une tige métallique.
- Une spatule

Mode opératoire :

- Remplir le densimètre avec le liquide inerte (d'alcool à brûler) jusqu'au niveau zéro ($V_0 = 0$). Utiliser à cet effet l'entonnoir à long col pour éviter de mouiller les parois intérieures du densimètre.
- Peser 60 g de plâtre (mp)
- Introduire à l'aide de la spatule la masse de plâtre en évitant de laisser la poudre se déposer sur les parois. Si des amas de plâtre se forment, désobstruer l'intérieur du densimètre à l'aide d'une tige métallique.
- Lire le niveau du volume du plâtre (V_1).
- Répéter cette manipulation trois fois.
- Calculer la masse volumique absolue à l'aide de la formule suivante

$$\rho_{abs} = \frac{m_p}{V_1} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

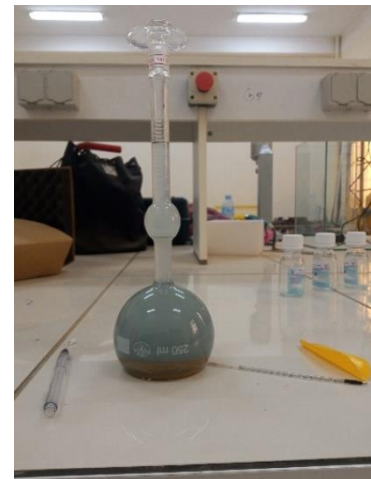


Figure II-9: essai de masse volumique
absolu de plâtre
Source l'auteur

ρ_{app} : Masse volumique absolue, g/cm³

m_p : Masse du plâtre, g

V_1 : Volume du plâtre, cm³.

Tableau II-7 : la masse volumique absolue des différents échantillons de plâtre local

	M_p	V₁	ρ_{abs}	P _{abs} moy
Echantillon 1	60 g	22.4 cm ³	2.678 g/cm ³	2.698 g/cm ³
Echantillon 2	60 g	22.2 cm ³	2.702 g/cm ³	
Echantillon 3	60 g	22.1 cm ³	2.714 g/cm ³	

II.2.3 Finesse par tamisage [32]:

La granulométrie du plâtre est une caractéristique importante, car elle permet de classer le plâtre (fin ou gros).

Matériels utilisés :

- Tamis de 400 (μm) N° 0,4
- Un récipient pour peser le plâtre
- Une balance de précision (0,1 g)
- Une main écope
- Chronomètre

Mode opératoire :

- Peser 60 g de plâtre (m_p)
- Tamiser avec un tamis 400 (μm) N°0,4
- Arrêter le tamisage lorsque la masse du tamisât sera inférieure à 1 g/mn,
- Peser le refus, gr
- Calculer le pourcentage du refus à l'aide de la formule suivante (m_R)

$$R = \frac{m_R}{m_p} 100 (\%)$$

R : Refus en %, s'est exprimé la finesse de mouture.

m_R : Masse du refus en g

m_p : Masse de l'échantillon en g

Déduire le pourcentage du tamisât $T = 100 - R, (\%)$

Tableau II-8: la finesse par tamisage des différents échantillons de plâtre local

	M_P	M_R	R%	T%
Echantillon 1	60 g	5.92 g	9.86	90.14
Echantillon 2	60 g	5.00 g	8.33	91.67
Echantillon 3	60 g	5.30 cm 3	8.83	91.17
	FM (%)		9.11%	

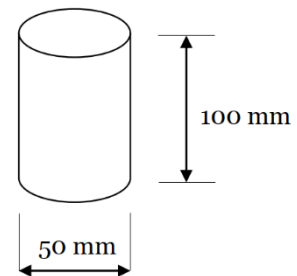
II.2.4 Consistance normale du plâtre :

L'essai pour déterminer la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de plâtre de consistance normale.

La quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance normale varie de 50 à 70 (%) en moyenne de la masse de la poudre de plâtre.

Matériels utilisés :

- Moule de Soutard : Cylindre de 50 mm de diamètre et de 100 mm de hauteur.
- Plaque en verre sur laquelle sont imprimés des cercles de diamètre de 6 à 20 cm avec un pas de 1 cm.
- Balance.
- Récipient en porcelaine.
- Truelle pour malaxage.
- Main écope.



Moule de Soutard

Figure 28 moule de soutard [32]

Mode opératoire :

- Humidifier la surface intérieure du cylindre et la plaque en verre avec une éponge
- Placer le cylindre de Soutard au centre de la plaque en verre
- Peser 300 g de plâtre
- Peser une masse d'eau égale à 50 % de la masse de plâtre et la verser dans le récipient en porcelaine.
- Verser le plâtre dans le récipient en porcelaine en le saupoudrant à une vitesse régulière.
- Malaxer soigneusement pendant 30 secondes.
- Laisser reposer la pâte pendant 60 secondes.
- Malaxer une deuxième fois la pâte pendant 30 secondes.

- Verser la pâte dans le moule de Soutard et araser l'excédent à l'aide d'une règle métallique. La durée de ces deux opérations ne doit pas dépasser 30 s.
- Soulever verticalement le cylindre ; la pâte s'écoule et forme une galette de diamètre d .
- Mesurer le diamètre moyen de la galette dans deux directions perpendiculaires
- ✓ Si le diamètre d est égale à 12 cm, on dit que la consistance de la pâte est normale.
- ✓ Si le diamètre d est inférieur à 12 cm, il faut refaire l'essai en augmentant la quantité d'eau en relation avec la valeur du diamètre obtenue.
- ✓ Si le diamètre est supérieur à 12 cm, il faut refaire l'essai en diminuant la quantité d'eau en relation avec la valeur du diamètre obtenue
- Noter la quantité d'eau ayant donnée la consistance normale du plâtre.

Tableau II-9: la consistance des différents échantillons de plâtre local

	M_P	M_w	Quantité d'eau, %	Etalement d , cm
Echantillon 1	300 g	150 g	50	8
Echantillon 2	300 g	180 g	60	15



Figure II-10: essai de consistance du plâtre

Source l'auteur

II.2.5 Essai de prises [32] :

Le plâtre est un matériau à prises rapides. Il est nécessaire de connaître les temps de prises pour pouvoir le mettre en place avant qu'il ne commence à perdre sa maniabilité.

Temps de prise : Le temps qui s'écoule entre le début du gâchage et le durcissement du plâtre.

Début de prise : Est le moment où le plâtre commence à cristalliser

Fin de prise : Est le moment où la pâte de plâtre n'est plus utilisable, le plâtre achève son durcissement

Matériels utilisés :

- Appareil et aiguille de Vicat : Appareil formé d'un petit moule tronconique et d'une tige coulissante munie à son extrémité d'une aiguille ou d'une sonde de consistance de diamètre 10mm ; permet de caractériser la consistance de la pâte de ciment que l'on met dans le moule et de repérer le début de prise de cette pâte.
- Balance
- Récipient en porcelaine
- Règle métallique
- Chronomètre
- Pinceau

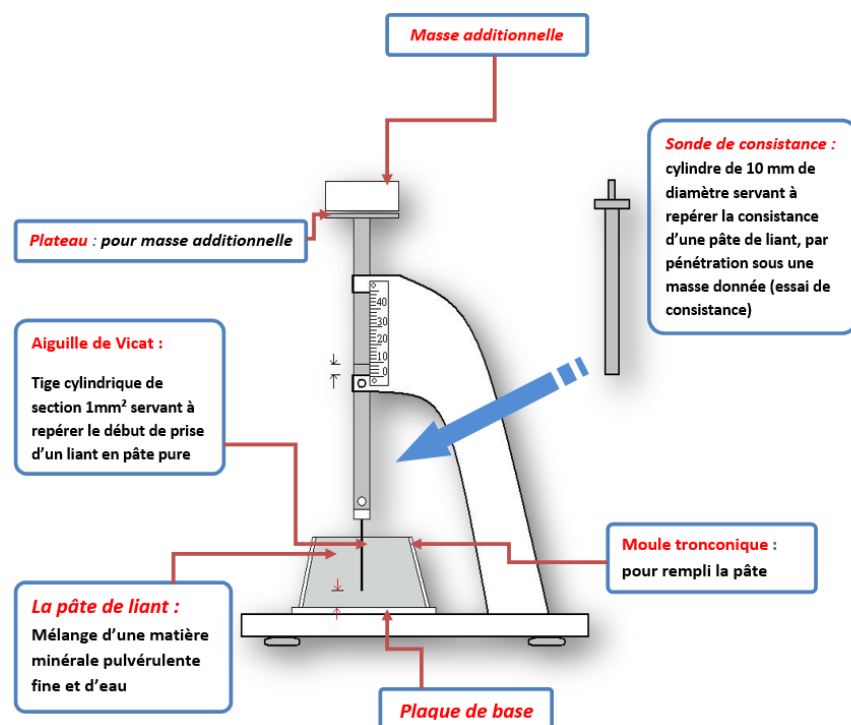


Figure II-11:différente composante d'appareil Vicat

Mode opératoire :

- Graisser la surface intérieure du moule tronconique et son support en verre.
- Peser 200 g du plâtre.
- Peser la quantité d'eau correspondant à la consistance normale du plâtre (masse de plâtre 200 gr).
- Verser l'eau dans le récipient en porcelaine.
- Verser la poudre de plâtre en la saupoudrant à une vitesse régulière et noter l'instant de gâchage t_0 (heure et minute).

- Emplir le moule tronconique posé sur le support en verre avec la pâte de plâtre. Araser l'excès de pâte à l'aide d'une règle métallique par un mouvement de va et vient perpendiculairement à la surface supérieure du moule. La durée de cette opération ne doit pas dépasser 30 secs.
- Placer l'ensemble de la plaque en verre et du moule sur la platine de l'appareil de Vicat.
- Baisser l'aiguille de Vicat au contact de la plaque en verre et ajuster le réglet au niveau zéro.
- Placer l'aiguille au contact de la pâte en position d'attente (bloquer par la vis)
- Débloquer l'aiguille et laisser s'enfoncer dans la pâte.
- A l'arrêt lire la distance de qui sépare la pointe de l'aiguille et le fond du moule Vicat.
- Répéter l'opération d'enfoncement et l'enlèvement de l'aiguille tous les 30 secondes jusqu' à ce que l'aiguille ne touche pas le fond ($h=1 \text{ mm}$) c'est le début de prise (D_p).
- Continuer l'opération d'enfoncement jusqu'au en changement à chaque fois le place d'enfoncement jusqu'au moment où l'aiguille ne s'enfonce seulement de 1 mm ($h=39 \text{ mm}$) c'est la fin de prise.

Tableau II-10:le début et la fin de prise des différents échantillons de plâtre local

	M_p	D_p(min)	F_p(min)
Echantillon 1	300 g	15 :47	18 :00
Echantillon 2	300 g	16 :32	17 :52
	Moy	16 :09	17 :56



Figure II-12 : Essai de prises par l'appareil Vicat

Source l'auteur

II.2.6 Résistance à la compression et à la flexion [32] :

Les caractéristiques mécaniques de plâtre aussi très important, pour les déterminer, il faut suivre les processus suivants :

Matériels utilisés :

- Moules 4x4x16 cm.
- Récipient métallique pour le gâchage du plâtre.
- Une main écope.
- Truelle de maçon.
- Une balance.
- Une presse hydraulique pour essais de flexion trois points et compression.
- Pinceau.



Figure II-13: les éprouvettes après le coulage de plâtre dans le moule 4*4*16

Source l'auteur

Mode opératoire :

- Nettoyer, monter et graisser le moule prismatique 4.4.16 cm.
- Peser 900 g de plâtre.
- Peser la quantité d'eau correspondant à la consistance normale du plâtre (masse de plâtre 900 gr).
- Verser l'eau dans le récipient.
- Verser la poudre de plâtre en la saupoudrant à une vitesse régulière pendant 30 s.
- Laisser reposer pendant 60 s.
- Malaxer une deuxième fois pendant 30 s.
- Remplir le moule et araser l'excès de pâte à l'aide d'une règle métallique par un mouvement de va et vient perpendiculairement à la surface supérieure du moule. La durée de cette opération ne doit pas dépasser 30 s.
- Conserver les éprouvettes dans le moule pendant au moins 24 heures.
- Décoffrer et conserver les éprouvettes à l'abri de l'eau.
- Déterminer les résistances en flexion et en compression à l'âge de 28 jours.

II.2.6.1 Essai de traction par flexion :

L'essai de traction par flexion est réalisé selon le schéma suivant (trois points) sur trois éprouvettes.

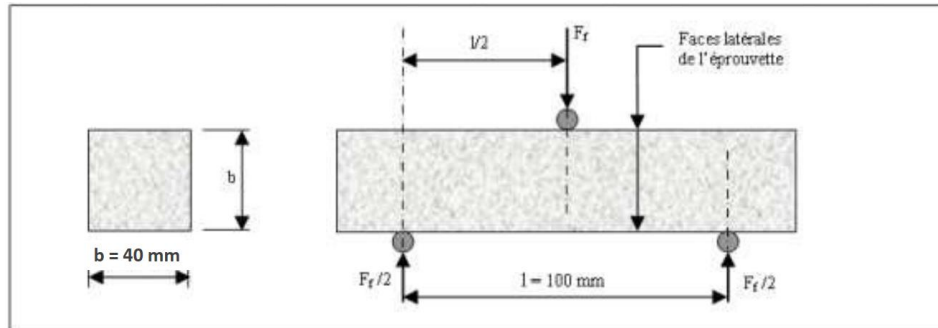


Figure II-14: Essai de traction par flexion trois points [32]

La résistance en traction par flexion est calculée par la relation suivante

$$\sigma_{f28} = \frac{3}{2} \times \frac{F_l}{b^3} (N/mm^2, MPa)$$

Avec :

σ_f : Contrainte de flexion en N/mm² ou MPa (1N/mm² = 1 MPa)

F : Charge de rupture en N

L : Distance entre appuis (l = 100 mm)

b : Largeur et hauteur de l'éprouvette (b = 40 mm)

Tableau II-11:essai de traction par flexion des différents échantillons de plâtre local

	b(mm)	L(mm)	σ_f (MPa)	$\sigma_{f moy}$ (MPa)
Echantillon 1	40	100	4.82	3.31
Echantillon 2			2.78	
Echantillon 3			2.33	



Figure II-15: écrasement des éprouvettes dans l'essai traction par flexion

Source l'auteur

II.2.6.2 Essai de compression :

L'essai de compression est réalisé selon le schéma suivant sur six demi- éprouvettes récupérées après l'essai de traction par flexion.

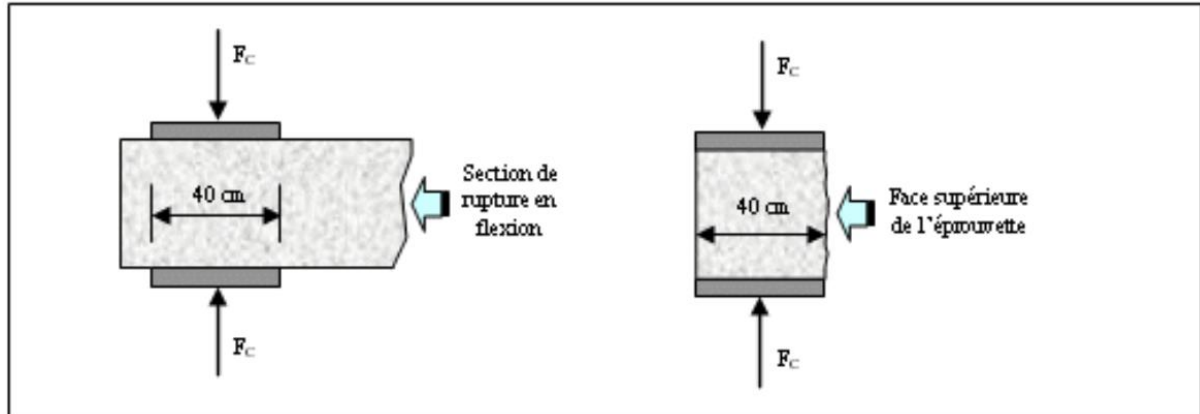


Figure II-16: Essai de compression [32]

La résistance en compression est calculée par la relation suivante :

$$\sigma_{c28} = \frac{F}{S} (N/mm^2, MPa)$$

σ_c : Contrainte de compression en N/mm^2 ou MPa ($1N/mm^2 = 1 MPa$).

F : Charge de rupture en N.

S : Surface de chargement ($S = b \times b = 40 \times 40 = 1600 mm^2$).

Tableau II-12: essai de compression des différents échantillons de plâtre local

	S(mm ²)	σ_c (MPa)	σ_c moy (MPa)
Echantillon 1	1600	5.62	5.67
Echantillon 2		5.64	
Echantillon 3		5.76	



Figure II-17: écrasement des éprouvettes dans l'essai d'compression

Source l'auteur

II.2.7 Synthèse des résultats :

Le (**Tableau II-13**) regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais effectués sur le plâtre local d'EL-oued :

Tableau II-13: tableau récapitulatif les caractéristiques du plâtre local d'EL-oued

ρ_{ap} (g/cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	FM%	Consistance normal %	D _p (min)	F _p (min)	σ_f MPa	σ_c MPa
1.279	2.698 g/cm ³	9.11%	50% quantité d'eau de poids de plâtre	16 :09	17 :56	3.31	5.67

II.2.8 Caractéristiques chimiques :

II.2.8.1 Analyse par Diffraction des Rayons X (DRX)

L'analyse par diffraction de rayons X a été effectuée grâce à un diffractomètre de type « PROTO » (**Figure II.18.**) sur des échantillons broyés et tamisés à 80 μ m. Les diffractogrammes sont des intensités de phases (pic) en fonction de l'angle de diffraction 2θ . Le programme de diffraction de rayons X adopté est $2\theta : 15^\circ$ - 70° et est en fonction de la nature de l'échantillon.



Figure II-18: Diffractomètre de type « PROTO ».

Source l'auteur

Cette analyse, révèle la présence prépondérante compositions chimiques suivantes (**Figures II.19**).

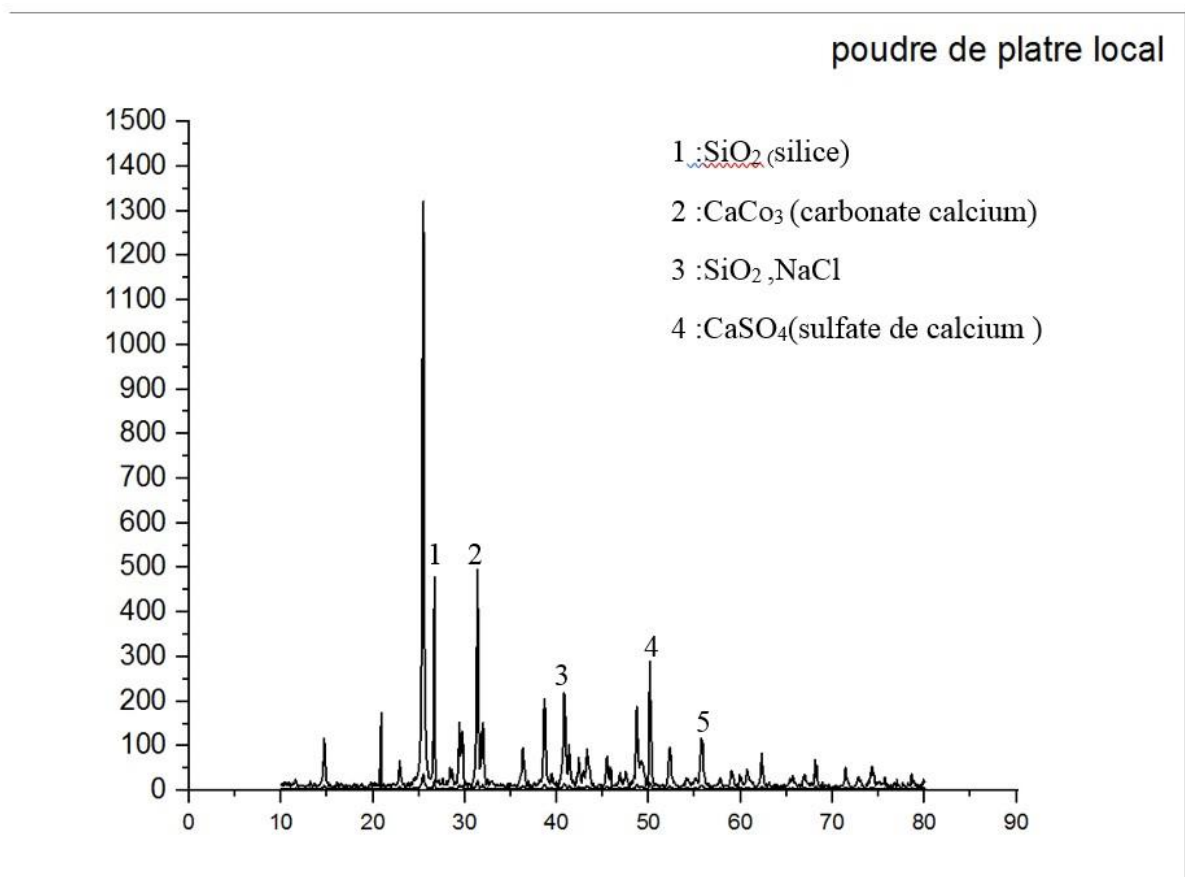


Figure II-19: Analyse chimique par DRX du plâtre local

Source de l'auteur d'après logiciel originelab (2018), Xpert highscore Plus 2023

II.3 Les essais pour détermination des Caractérisations de composite à base des matériaux locaux :

II.3.1 Préparation d'échantillon

Afin de mieux mélanger entre le matériau local d'oued souf celle susmentionné, pour former un brique sur la base auquel très performant, la mélange s'effectuée dans un récipient en porcelaine avec des différentes proportion entre le plâtre et le concassage de lous (Granulat), celle-ci aussi, avec différentes proportions entre leur dimension de ces clases, on propose les compositions dans après calcule les déférentes poids de chaque composition, on mélange selon le mode opératoire suivant :

- Peser quantité du plâtre correspondant le volume de coulage.
- Peser la quantité d'eau correspondant à la consistance normale du plâtre avec le concassage de lous.

- Mélanger entre la poudre du plâtre et le granulat, jusqu'à devenu parfaitement homogène.
- Verser l'eau dans le récipient en porcelaine.
- Verser le mélange de plâtre et granulat en la saupoudrant à une vitesse régulière.
- Malaxer soigneusement pendant 30 secondes
- Laisser reposer la pâte pendant 60 secs
- Malaxer une deuxième fois la pâte pendant 30 secondes

Après malaxage, le matériau est introduit dans des moules de (40×40×160) mm³ pour les essais programmés dans notre étude. La mise en place du mélange se fait par coulage de presque la moitié du moule avec une légère vibration et une frappe de 30 coups. Ensuite on continue le coulage de la deuxième moitié du moule avec une vibration de 30 coups. L'excès de béton de plâtre⁴ est éliminé par arasement. Les éprouvettes sont démoulées après 24 h et les échantillons sont conservés jusqu'au jour de l'essai dans la même salle où la température est maintenue à (25 °C ± 5°C) et l'humidité relative à (50% ± 10%).

Tableau II-14: la première composition entre les matériaux locaux de EL-oued

le poids de granulat= Poids du plâtre	Le pourcentage de quantité de Granulat			
	Type de granulat	D (15/25)	D (8/15)	D (3/8)
	Composition 1	30%	60%	10%
	Composition 2	34%	33%	33%
	Composition 3	00%	60%	40%

Tableau II-15: la deuxième composition entre les matériaux locaux de EL-oued

le poids de granulat =1.5 de Poids du plâtre	Le pourcentage de quantité de Granulat			
	Type de granulat	D (15/25)	D (8/15)	D (3/8)
	Composition 1	30%	60%	10%
	Composition 2	34%	33%	33%
	Composition 3	00%	60%	40%

⁴ Béton de plâtre : ou on mélange entre le plâtre comme un liant avec granulat (gravats du bâtiment : briques, tuiles ou béton concassés.) c'est thème valorise en 2020, le Pavillon de l'Arsenal.

La composition pour g=p : (M_w, M_p, M_G) :

Composition 1 :

M_w = 0.5M_p (la quantité d'eau pour l'hydratation du plâtre).

M_w = 0.30 A_{b (15/25)} M_G + 0.60 A_{b (8/15)} M_G + 0.1 A_{b (3/8)} M_G (La quantité d'eau nécessaire pour absorber le granulat lorsqu'il est sec). M_G = M_p Alors l'équation devient :

M_w = [0.30 A_{b (15/25)} + 0.60 A_{b (8/15)} + 0.1 A_{b (3/8)}] M_p, Sachant que {A_{b (15/25)} = 17.44%, A_{b (8/15)} = 15.38%, A_{b (3/8)} = 9.91%} donc l'équation devient

$$M_w = [0.30 \times 0.17 + 0.60 \times 0.15 + 0.10 \times 0.09] M_p \quad M_w = 0.15 M_p$$

$$M_{wt} = 0.15 M_p + 0.5 M_p = 0.65 M_p.$$

$$V_T = V_p + V_G + V_w.$$

$$V_T = \frac{M_p}{\rho_p} + \frac{M_G}{\rho_G} + \frac{M_w}{\rho_w} \quad \text{alors} \quad V_T = \frac{M_p}{\rho_p} + \frac{M_p}{\rho_G} + 0.65 \frac{M_p}{\rho_w} \quad \text{donc} \quad V_T = \left[\frac{1}{\rho_p} + \frac{1}{\rho_G} + \frac{0.65}{\rho_w} \right] M_p \quad \text{donc}$$

$$V_T = \left[\frac{\rho_G \times \rho_w + \rho_p \times \rho_w + 0.65(\rho_p \times \rho_G)}{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w} \right] M_p$$

$$M_p = \frac{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w \times V_T}{\rho_G \times \rho_w + \rho_p \times \rho_w + 0.65(\rho_p \times \rho_G)}$$

Composition 2 :

Pour la deuxième composition la référence sera dans la quantité d'absorption d'eau par le granulat donc :

$$M_w = 0.34 A_{b (15/25)} M_G + 0.33 A_{b (8/15)} M_G + 0.33 A_{b (3/8)} M_G$$

$$M_w = [0.34 \times 0.17 + 0.33 \times 0.15 + 0.33 \times 0.09] M_p \quad M_w = 0.137 M_p$$

$$M_{wt} = 0.137 M_p + 0.5 M_p = 0.637 M_p$$

$$M_p = \frac{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w \times V_T}{\rho_G \times \rho_w + \rho_p \times \rho_w + 0.637(\rho_p \times \rho_G)}$$

Composition 3:

$$M_w = 0.00 A_{b (15/25)} M_G + 0.60 A_{b (8/15)} M_G + 0.40 A_{b (3/8)} M_G$$

$$M_w = [0.00 \times 0.17 + 0.60 \times 0.15 + 0.40 \times 0.09] M_p \quad M_w = 0.126 M_p$$

$$M_{wt} = 0.126 M_p + 0.5 M_p = 0.626 M_p$$

$$M_p = \frac{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w \times V_T}{\rho_G \times \rho_w + \rho_p \times \rho_w + 0.626(\rho_p \times \rho_G)}$$

La composition pour g=1.5p : (M_w, M_p, M_G) :

Composition 1 :

M_w = 0.5M_p (la quantité d'eau pour l'hydratation du plâtre).

M_w = 0.30 A_{b (15/25)} M_G + 0.60 A_{b (8/15)} M_G + 0.1 A_{b (3/8)} M_G (La quantité d'eau nécessaire pour absorber le granulat lorsqu'il est sec). Sachant que M_G = 1.5 M_p Alors l'équation devient :

M_w = [0.30 A_{b (15/25)} + 0.60 A_{b (8/15)} + 0.1 A_{b (3/8)}] 1.5M_p, Sachant que {A_{b (15/25)} = 17.44%, A_{b (8/15)} = 15.38%, A_{b (3/8)} = 9.91%} donc l'équation devient

$$M_w = [0.30 \times 0.17 + 0.60 \times 0.15 + 0.10 \times 0.09] 1.5 M_p \quad M_w = 0.225 M_p$$

$$M_{wt} = 0.225 M_p + 0.5M_p = 0.725 M_p.$$

$$V_T = V_p + V_G + V_w.$$

$$V_T = \frac{M_p}{\rho_p} + \frac{M_G}{\rho_G} + \frac{M_w}{\rho_w} \quad \text{alors} \quad V_T = \frac{M_p}{\rho_p} + 1.5 \frac{M_p}{\rho_G} + 0.65 \frac{M_p}{\rho_w} \quad \text{donc} \quad V_T = \left[\frac{1}{\rho_p} + \frac{1.5}{\rho_G} + \frac{0.65}{\rho_w} \right] M_p \quad \text{donc}$$

$$V_T = \left[\frac{\rho_G \times \rho_w + 1.5 \rho_p \times \rho_w + 0.65 (\rho_p \times \rho_G)}{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w} \right] M_p$$

$$M_p = \frac{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w \times V_T}{\rho_G \times \rho_w + 1.5 \rho_p \times \rho_w + 0.725 (\rho_p \times \rho_G)}$$

Composition 2 :

Pour la deuxième composition la référence sera dans la quantité d'absorption d'eau par le granulat donc :

$$M_w = 0.34 A_{b (15/25)} M_G + 0.33 A_{b (8/15)} M_G + 0.33 A_{b (3/8)} M_G$$

$$M_w = [0.34 \times 0.17 + 0.33 \times 0.15 + 0.33 \times 0.09] 1.5M_p \quad M_w = 0.205 M_p$$

$$M_{wt} = 0.205 M_p + 0.5M_p = 0.705 M_p$$

$$M_p = \frac{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w \times V_T}{\rho_G \times \rho_w + 1.5 \rho_p \times \rho_w + 0.705 (\rho_p \times \rho_G)}$$

Composition 3:

$$M_w = 0.00 A_{b (15/25)} M_G + 0.60 A_{b (8/15)} M_G + 0.40 A_{b (3/8)} M_G$$

$$M_w = [0.00 \times 0.17 + 0.60 \times 0.15 + 0.40 \times 0.09] 1.5M_p \quad M_w = 0.189 M_p$$

$$M_{wt} = 0.189 M_p + 0.5M_p = 0.689 M_p$$

$$M_p = \frac{\rho_p \times \rho_G \times \rho_w \times V_T}{\rho_G \times \rho_w + 1.5 \rho_p \times \rho_w + 0.689 (\rho_p \times \rho_G)}$$

II.3.2 Essai de Variations dimensionnelles (NF P15 433) :

Le retrait est mesuré conformément à la norme NF P15 433. L'essai consiste à mesurer la variation de la longueur entre deux faces opposées d'éprouvettes prismatiques (40×40×160) mm, équipées de plots métalliques à chaque extrémité. La mesure se fait à l'aide d'un appareil spécifique muni d'un comparateur digital qui permet le suivi de sa longueur



Figure II-20: Dispositif de mesure de retrait

Source l'auteur

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon de longueur $L = 160$ mm. Soit $dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré : $l = L + dl(t)$

Soit $l(t_0)$ la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera :

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même bloc de moules. Les éprouvettes ont été conservées à l'air libre et les mesures ont été effectuées dans les conditions ambiantes du laboratoire.

II.3.3 Essai d'absorption d'eau par immersion totale :

L'absorption par immersion totale consiste à déterminer le poids final après saturation et cela pour calculer le volume des vides (porosité) du notre composite. Cet essai est effectué selon une méthode simple ; les éprouvettes sont pesées après leur passage à l'étuve à 70°C d'où elles ne sont retirées qu'après stabilisation de leur poids (soit P_s), ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau (20°C ± 5°C) jusqu'à saturation du matériau, puis retirées et pesées (soit P_h). Les valeurs sont prises par la moyenne de trois pesées par éprouvettes de chaque composition. La capacité d'absorption d'eau est donnée par la formule suivante :

$$A\% = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s} \right) \times 100$$



Figure II-21: essai d'absorption d'eau par immersion totale

(Source l'auteur)

II.3.4 Essai d'absorption d'eau par capillarité :

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des éprouvettes de composites à matériaux locaux, non saturées, mises en contact avec l'eau sans pression hydraulique. Avant les mesures des taux d'absorptions, les éprouvettes sont préconditionnées selon les recommandations de la procédure AFREM. L'essai a été réalisé sur des éprouvettes de (40 × 40 × 160 mm). Le protocole de cet essai consiste à sécher des éprouvettes prismatiques à l'étuve à 105 ± 50°C pendant 72 heures. Les surfaces latérales des éprouvettes sont ensuite imperméabilisées à l'aide d'une matière plastique étanche, et ce pour assurer la remonter unidirectionnelle de l'eau par capillarité. Les éprouvettes sont ensuite pesées, soit M_0 . Les mêmes éprouvettes sont posées dans un récipient sur leurs faces les plus petites (40 × 40 mm), et séparées d'au moins 1 cm de son fond. Le récipient est ensuite rempli en eau jusqu'à ce que

les éprouvettes soient partiellement immergées (environ 5 mm). Il faut noter que le niveau d'eau doit rester constant tout au long de l'essai. Les éprouvettes sont retirées et pesées à des moments précis. L'essai est terminé après 24 heures. Le taux d'absorption par capillarité est défini par la relation suivante :

$$i(t) = \frac{M(t) - M(0)}{\rho_w \cdot A}$$

Avec :

i(t) : Quantité d'eau absorbée par unité de surface (mm) ;

M(t) : Masse de l'échantillon humide à l'instant en grammes ;

M(0) : Masse initiale de l'échantillon à l'état sec en grammes ;

A : Section de la base de l'éprouvette en mm ;

ρ_w : Masse volumique de l'eau liquide (1 g/cm).



Figure II-22: Essai d'absorption d'eau par capillarité

Source d'auteur

II.3.5 Essai de résistance à la compression (NF P18 406) :

La résistance à la compression est mesurée sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (40×40×160) mm à raison de trois éprouvettes par composition. Cet essai a été réalisé à l'aide d'une presse hydraulique de type « CONTROLS » à double quadrant ayant une capacité maximale de 1500 kN. Les éprouvettes ont été centrées entre les deux plateaux sur les faces latérales de moulage. Après la mise en marche de l'appareil, la charge augmente automatiquement à une vitesse constante (2.5 kN/s) permettant aux plateaux de comprimer l'éprouvette jusqu'à la rupture. La valeur de la résistance à la compression est donnée par :

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

Avec :

F_c : Force de compression.

A : Surface transversale de l'éprouvette.

II.3.6 Essai ultrasonique EN 12504-4 (EN 12504-4, 2004):

Cet essai est réalisé suivant la norme EN 12504-4 (EN 12504-4, 2004), le principe de l'essai est qu'une impulsion de vibrations longitudinales est produite par un transducteur électroacoustique maintenu en contact avec une surface de composite de matériaux locaux sous test. Après avoir parcouru une longueur de chemin connue dans le composite de matériaux locaux, l'impulsion de vibrations est convertie en un signal électrique par un deuxième transducteur et des circuits de synchronisation électroniques permettent de mesurer le temps de transit de l'impulsion. Dans cette étude, nous avons testé des éprouvettes cylindriques 40*40*160 mm séchées jusqu'à masse constante dans l'étuve à 45°C, trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation. Ces mesures sont faites aux échéances 7, 28 et 60 jours.

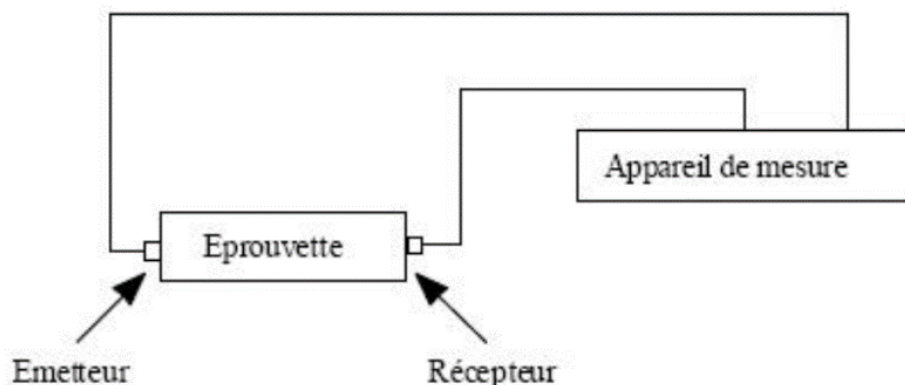


Figure II-23: principe de travail d'Essai ultrasonique

Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran. Ou procède au calcul de la vitesse ultrasonique par l'application de la relation suivante :

$$V=L/T(\text{m/s})$$

L : longueur de l'éprouvette

T : temps nécessaire à une impulsion ultrasonore pour se déplacer du transducteur émetteur au transducteur récepteur.

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers les compositions de matériaux locaux

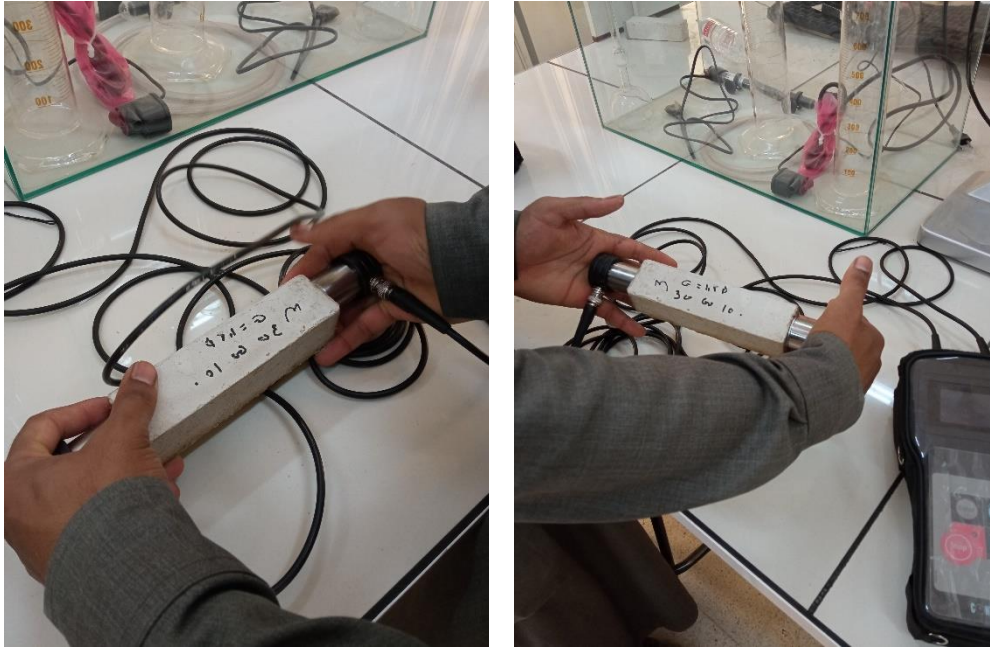


Figure II-24: Essai ultrasonique

Source l'auteur

Une relation générale entre la qualité des compositions de matériaux locaux et la vitesse de diffusion des impulsions est décrite au tableau suivant :

Tableau II-16: Qualité des compositions de matériaux locaux en fonction de la vitesse de la propagation des ondes ultrasonique.

Qualité	Vitesse de propagation (m /s)
Excellente	Supérieur à 4200
Bonne	3700-4200
Douteuse	3200-3700
Mauvaise	2500-3200
Très mauvaise	Inférieure à 2500

II.3.7 Résistance à la traction par flexion (NF P15-471) :

C'est l'essai le plus couramment utilisé pour détermination la résistance de flexion, il consiste à briser en flexion une éprouvette prismatique de coté (a) et de longueur (4a) avec une charge applicable sue cette éprouvette P.

L'essai est exécuté sur des éprouvette (4*4*16). La machine d'essai contrôle à une capacité de 5000 KN et une vitesse de chargement de 0,1 MPa par seconde

$$R_f = \frac{1,5 \times P \times L}{a^3}$$

Rf : la résistance en flexion en Newtons par millimètre carré ou en MPa.

a : le coté de la section carré du prisme en millimètres.

P : la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en Newtons.

L : la distance entre les appuis en millimètres.

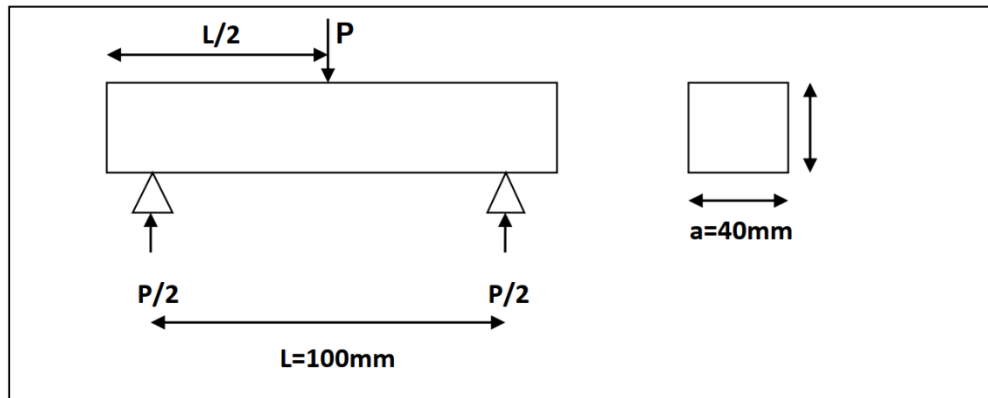


Figure II-25: dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion.

Source l'auteur d'après présentation graphique

Mode opératoire :

- 1) Placez l'éprouvette de la machine de résistance à la flexion.
- 2) Pousser le bouton avant le poids coulissera jusqu'à la rupture de l'éprouvette, la vitesse automatique de mise en charge est de $50 + 10\text{N/s}$ et les deux demis-prisme obtenus sont conservé pour l'essai de compression.
- 3) Relever la force de rupture sur l'échelle (0-5000N).
- 4) Pousser le bouton arrière reviendra à son point de départ.
- 5) Renouveler l'essai sur les deux autres éprouvettes.

II.3.8 Résistance à la compression (NF P18-406) :

L'essai de la compression s'effectue après avoir l'essai de traction par flexion. Cette dernière rend l'éprouvette de deux parties égales. Cet essai est réalisé sur un appareil de compression fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux plateaux. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie supérieure vers le bas jusqu'à la rupture. Les éprouvettes de compression sont des parallélépipèdes de dimensions $(4 \times 4 \times 16)\text{ cm}^3$, qui sont préparées à partir des éprouvettes de flexion, l'éprouvette est centrée entre deux plateaux métalliques de façon que l'axe vertical de l'éprouvette est coïncidé avec l'axe des blocs de chargement. La charge est appliquée à l'éprouvette de manière continue avec une vitesse environ de 5KN/mm .

$$\sigma_c = \frac{P_c}{S}$$

σ_c : Contrainte de compression.

P_c : La charge de rupture à la compression.

S : Section transversale de l'éprouvette ($S = a * a$).

Mode opératoire

- 1) Positionner le dispositif de compression sur la machine de résistance à la compression.
- 2) Placer le demi-éprouvette sur le dispositif de compression.
- 3) Relever la force de rupture F_c (pour chaque demi-éprouvette)

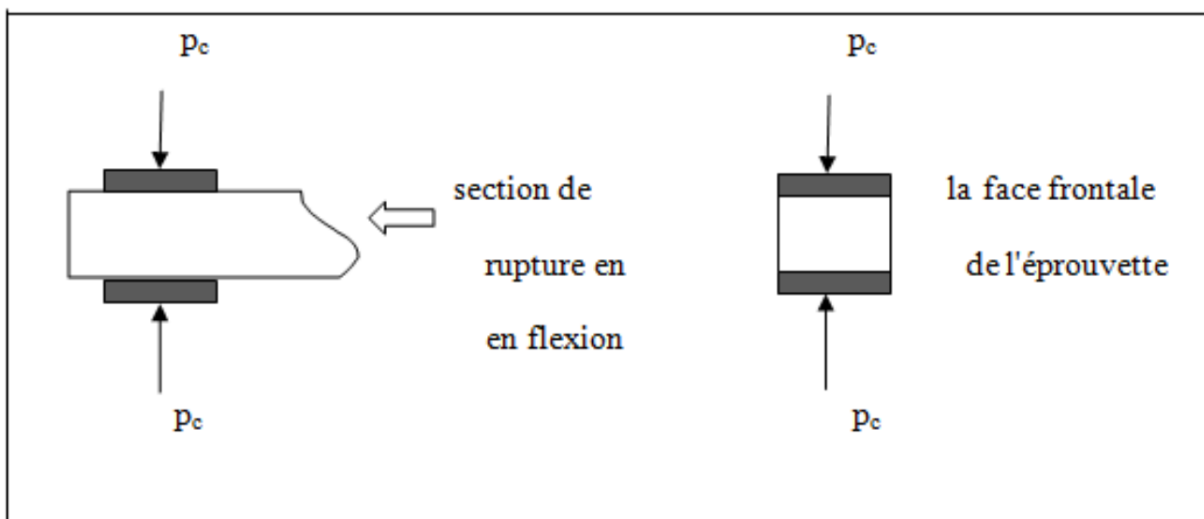


Figure II-26: dispositif pour l'essai de compression [35]

II.3.9 Caractéristiques thermiques :

De nombreuses méthodes de mesure des caractéristiques thermiques des matériaux s'appuient donc sur la détermination d'un champ de température dans des échantillons de géométrie connue, en imposant des conditions aux limites constantes ou variables avec le temps.

II.3.9.1 Essais d'une sonde Hot Disk TPS 500 (TPS : Transient Plane Source) :

Est une technique proposée pour des études de transport thermique de matériaux solides la méthode est pratique et très rapide car aucune forme particulière n'est requise pour l'échantillon testé et la taille de cet échantillon est relativement limitée. En plus de sa rapidité et de la facilité

d'utilisation, le principal avantage de cette technique est la possibilité de la détermination simultanée de la conductivité thermique, de la diffusivité thermique ainsi que la capacité thermique des échantillons à partir d'un seul enregistrement



Figure II-27: Procédé de l'essai de la sonde Hot Disk TPS

Source google image

II.3.9.2 Essai d'une méthode manuelle :

Cet essai est très simple, qui nous a donné une idée à propos de comportement de composition des matériaux locaux dans la variation chaleur qui consister sur la calcule de champ thermique par un thermomètre après subir les échantillons à une température constante à long de tempe d'expérience dont au cours on prend la température de face inferieure et la face supérieure des échantillons dans chaque 30 min.

Mode opératoire

- 1) Positionner les échantillons dans un plaque chauffé par un source de chaleur.
- 2) Mesurer la température de deux faces de l'échantillon pour évaluation Δ_t en entre deux dans un chaque 30 min jusqu'à 4 h.
- 3) Après 4 h, on lève l'échantillons et on pose dans un milieu tiède (la température ambiante) et remesurer la décharge de chaleur des échantillons dans un chaque 30 min.

4) Tercer le diagramme de variation de température.



Figure II-28: Procédé de l'essai d'une méthode manuelle

Source l'auteur

Conclusion :

Nous avons exposé dans ce chapitre les différentes méthodes de caractérisation physique et mécanique des matériaux utilisés dans notre projet de recherche (les granulats, le plâtre) ainsi que les résultats obtenus.

En deuxième partie de ce chapitre, les techniques expérimentales qui ont été utilisées pour la détermination des différents paramètres étudiés ont été présentées. Pour toutes ces techniques, nous avons présenté les procédures détaillées. Enfin, on note que les résultats présentés dans ce chapitre contribueront, sans aucun doute, à la bonne interprétation des résultats obtenus lors de la présente étude.

Chapitre III :

Résultats et interprétations

III. Chapitre III : Résultats et interprétations

Introduction :

Nous nous intéresserons dans ce chapitre aux caractéristiques mesurées pour chacun échantillons étudiés. Dans ce chapitre, représenter aussi les différents résultats obtenus par tous essais cités précédemment et de déterminent les meilleurs résultats de composition de matériaux locaux de la région d'EL-oued pour établir un brique procède des propriétés majestueuses.

III.1 Variations dimensionnelles :

Les variations dimensionnelles ont été analysées par le suivi du retrait de chaque composition des matériaux locaux étudiés dans le temps jusqu'à 14 jours. Les valeurs de retrait ainsi obtenus sont données dans le **Tableau III.1**, et illustrées par la Figure III.1.

Tableau III-1 : retrait de chaque composition des matériaux locaux

P=G	(D _G)15/25=30%	(D _G) 15/25=34%	(D _G) 15/25=00%
	(D _G) 8/15=60%	(D _G) 8/15=33%	(D _G) 8/15=60%
	(D _G) 3/8=10%	(D _G) 3/8=33%	(D _G) 3/8=40%
ε(retrait mm/m)	1.519	2.980	2.466
G=1.5 p	(D _G)15/25=30%	(D _G) 15/25=34%	(D _G) 15/25=00%
	(D _G) 8/15=60%	(D _G) 8/15=33%	(D _G) 8/15=60%
	(D _G) 3/8=10%	(D _G) 3/8=33%	(D _G) 3/8=40%
ε(retrait mm/m)	1.056	2.131	3.700

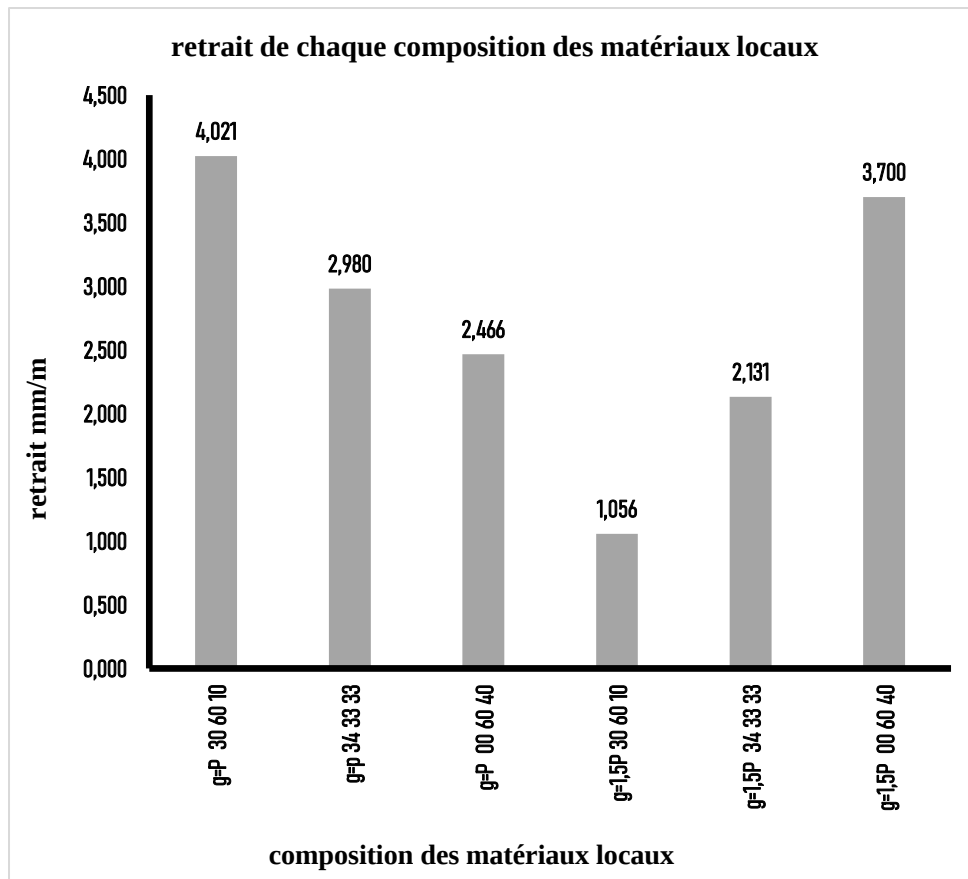


Figure III-1: Evolution du retrait de chaque composition des matériaux locaux

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

D'après les résultats obtenus, on remarque que la composition qui ayant une faible retrait c'est la composition (g=1.5P avec la variation de dimensionnement de granulat de Lous (D G) 15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8=10%) et on remarque aussi, Plus la quantité de granulat de LOUS est grande par rapport le plâtre, plus le retrait est faible.

Alors, la meilleure composition des matériaux locaux pour établir notre brique qui a un meilleur comportement vis-à-vis le retrait, c'est la composition (g=1.5P avec la variation de dimensionnement de granulat de Lous (D G) 15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8=10%).

III.2 Absorption d'eau par immersion totale :

Nous sommes intéressés par cette caractéristique afin de connaître le comportement des différentes composition des matériaux locaux en présence d'eau, La capacité d'absorption d'eau donne une idée sur la présence des pores. Les valeurs de coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des différents types de composition des matériaux locaux étudiés sont rapportées dans le **Tableau III.2** et illustrées par la Figure III.2.

Tableau III-2: Absorption d'eau par immersion de chaque composition des matériaux locaux

P=G	(D _G)15/25=30% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=10%	(D _G) 15/25=34% (D _G) 8/15=33% (D _G) 3/8=33%	(D _G) 15/25=00% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=40%
Ab (%)	19,46	21,05	19,59
G=1.5 p	(D _G)15/25=30% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=10%	(D _G) 15/25=34% (D _G) 8/15=33% (D _G) 3/8=33%	(D _G) 15/25=00% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=40%
Ab (%)	10,56	11,87	11,90

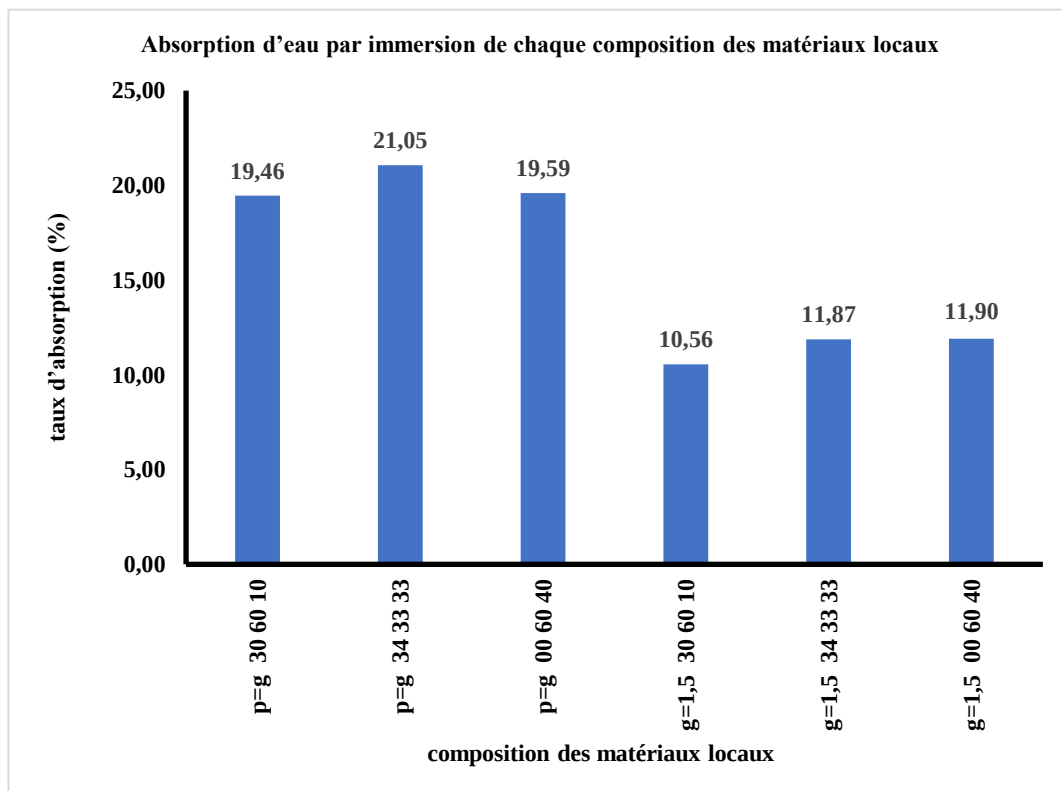


Figure III-2: Absorption d'eau par immersion de chaque composition des matériaux locaux

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

D'après les résultats obtenus, on constate que : Plus la quantité de granulat de Lous est élevée par rapport le plâtre, plus le taux d'absorption d'eau est faible., le coefficient d'absorption d'eau détériore en fonction d'augmentation du pourcentage de granulat de Lous due à la nature de matériau de plâtre est poreux par rapport le granulat de la rose de sable. Ce

résultat est expliqué que l'ajoute de granulat de Lous est contribué à diminuer les vides dans la matrice.

Alors, la meilleure composition des matériaux locaux pour établir notre brique qui a un meilleur comportement vis-à-vis l'absorption d'eau total, c'est la composition (g=1.5P avec la variation de dimensionnement de granulat de Lous (D G)15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8=10%).

III.3 Absorption d'eau par capillarité :

Le tableau III.3 et La Figure III.3, présente le comportement des différentes composition des matériaux locaux vis-à-vis la propriété d'absorption d'eau par capillarité

Tableau III-3: Absorption d'eau par capillarité de chaque composition des matériaux locaux

P=G	(D _G)15/25=30% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=10%	(D _G) 15/25=34% (D _G) 8/15=33% (D _G) 3/8=33%	(D _G) 15/25=00% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=40%
i(t) (mm)	10.52	11.61	14.48
G=1.5 p	(D _G)15/25=30% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=10%	(D _G) 15/25=34% (D _G) 8/15=33% (D _G) 3/8=33%	(D _G) 15/25=00% (D _G) 8/15=60% (D _G) 3/8=40%
i(t) (mm)	7.81	9.69	9.27

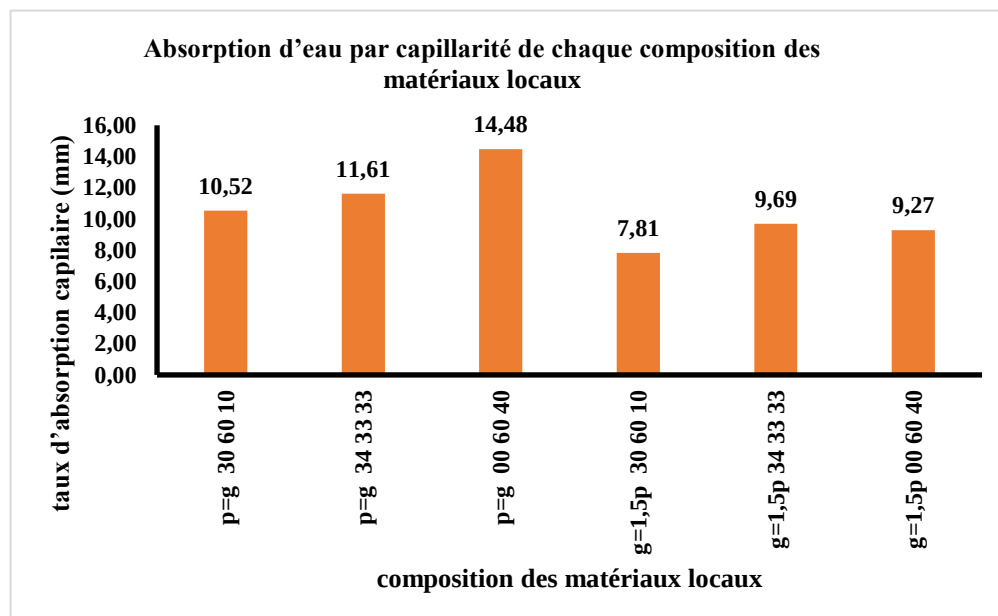


Figure III-3: Absorption d'eau par capillarité de chaque composition des matériaux locaux

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

D'après la figure III.3, on remarque que le taux d'absorptions sont compris entre 7,81 et 14,48 mm, pour toutes les compositions étudiées. et on remarque aussi que l'augmentation de granulats de Lous qui se provoque à diminuer le comportement de composition des matériaux locaux vis-à-vis l'absorption capillaire.

Le taux d'absorption capillaire est élevée dans la composition (P=G) par rapport la deuxième composition (G=1.5P), due à l'existence de plâtre avec certaine quantité, celui que est considéré un matériaux poreux par rapport le granulats de Lous .

Alors, la meilleure composition des matériaux locaux pour établir notre brique qui a un meilleur comportement vis-à-vis l'absorption capillaire, c'est la composition (g=1.5P avec la variation de dimensionnement de granulats de Lous (D G)15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G)3/8=10%

III.4 Essai ultrasonique :

L'essai ultrasonique qui permet mesurer la vitesse des ondes ultrasoniques à travers de chaque composition des matériaux locaux pour donnent une idée sur : défauts, vides, zones dégradées et fissures. Le (Tableau III.4) se rapporte la vitesse de propagation des ondes ultrason dans les différentes composition des matériaux locaux illustrées par la (Figure III.4)

Tableau III-4: La vitesse des ondes ultrasoniques à travers de chaque composition des matériaux locaux

P=G	(D _G)15/25=30%	(D _G) 15/25=34%	(D _G) 15/25=00%
	(D _G) 8/15=60%	(D _G) 8/15=33%	(D _G) 8/15=60%
	(D _G) 3/8=10%	(D _G) 3/8=33%	(D _G) 3/8=40%
V(m/s)	2067,45	1666,32	1592,21
G=1.5 p	(D _G)15/25=30%	(D _G) 15/25=34%	(D _G) 15/25=00%
	(D _G) 8/15=60%	(D _G) 8/15=33%	(D _G) 8/15=60%
	(D _G) 3/8=10%	(D _G) 3/8=33%	(D _G) 3/8=40%
V(m/s)	2198,18	2109,65	1977,75

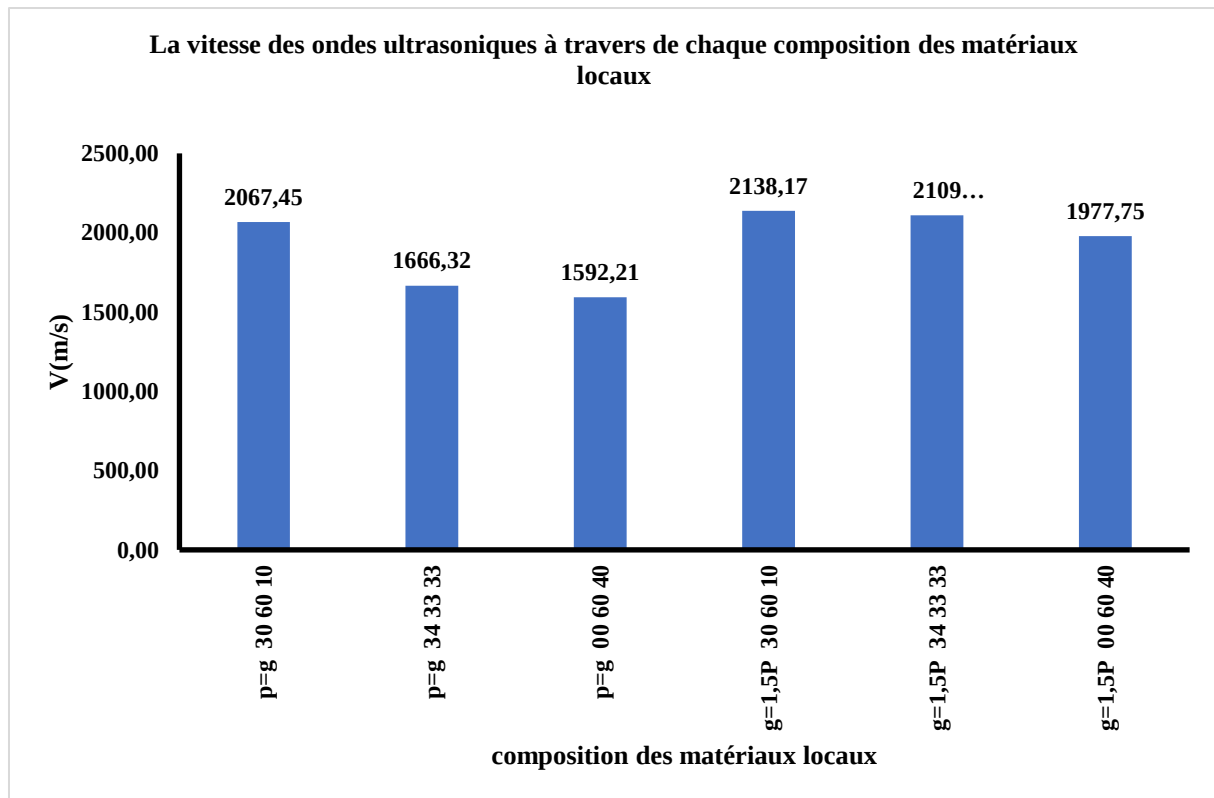


Figure III-4: La vitesse des ondes ultrasoniques à travers de chaque composition des matériaux locaux

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

D'après les résultats retenus on remarque que : la vitesse des ondes à travers de chaque composition des matériaux locaux est très mauvaise dans tous les propositions, ce qui confirme que notre composition est poreuse.

On remarque aussi, la quantité de granulats de Lous avec sa variation dimensionnelle joue un rôle très important dans la compacité de la composition des matériaux locaux.

Alors, dans notre cas la porosité de composition de matériaux locaux ne nous nuit pas, car nous cherchons à améliorer les propriétés thermiques, mais on voit que la différence entre la composition des matériaux locaux n'est pas considérable, donc la composition (g=1.5 P avec la variation de dimensionnement de granulats de Lous (D G) 15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8=10%) reste préférable pour établir notre brique.

III.5 Caractéristiques thermiques :

La figure (III.5) et (III.6) et le tableau (III.5) et (III.6), mentionnent les résultats de champ thermique entre les deux faces des échantillons des compositions des matériaux locaux avec les variations dimensionnelles de granulats de Lous :

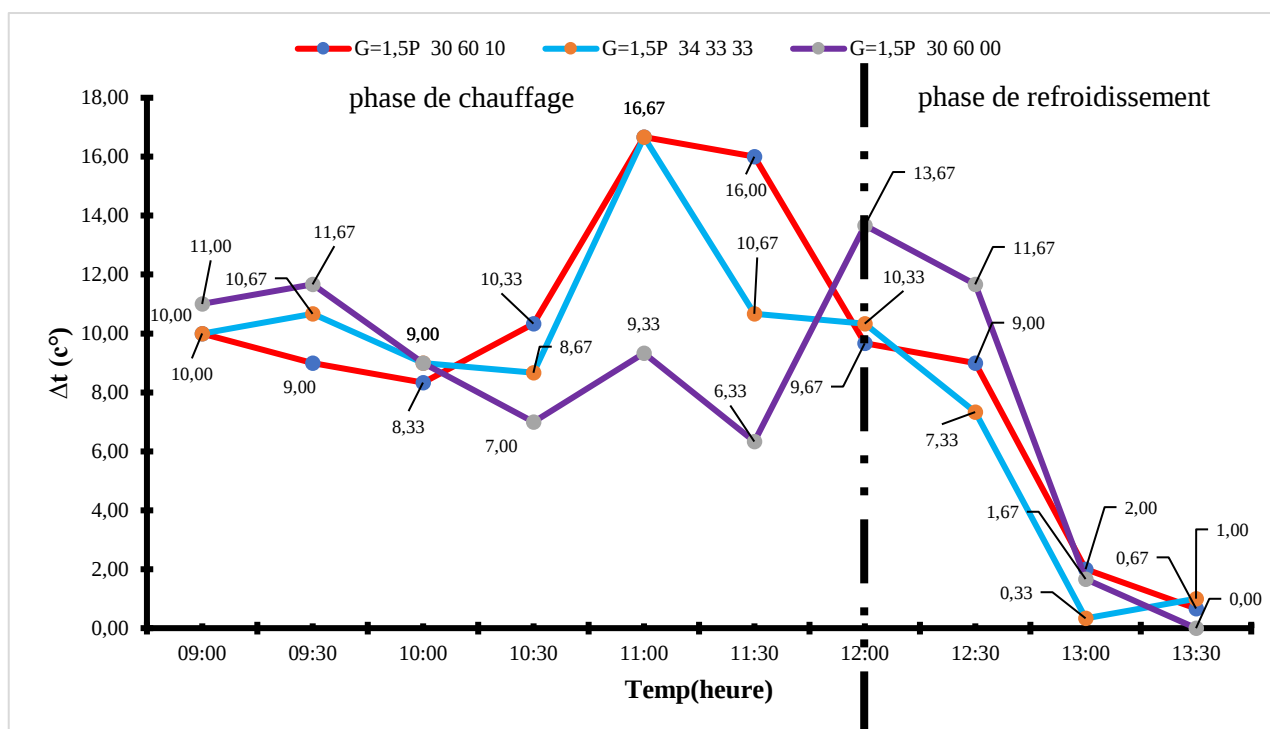


Figure III-5: la variation de chaleur des composition des matériaux locux (G=1,5 P) en fonction de Temp

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

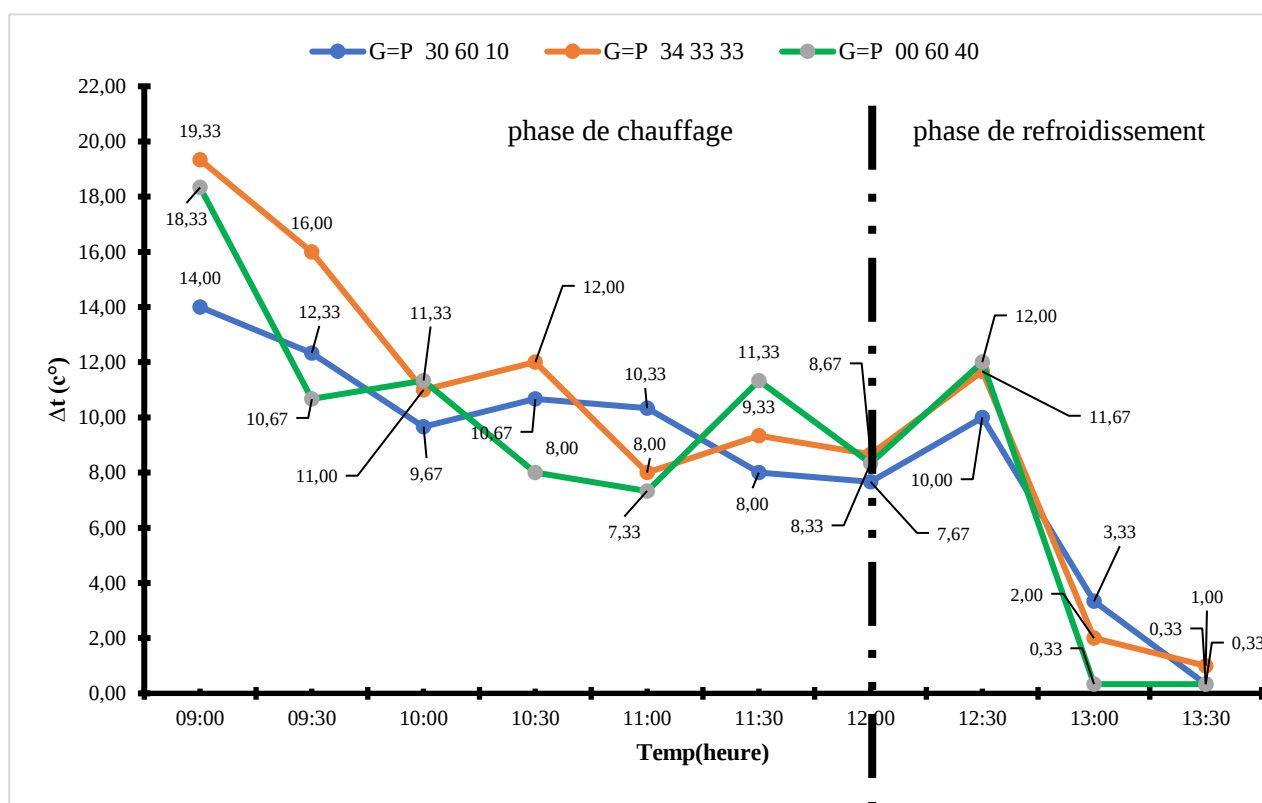


Figure III-6: la variation de chaleur des composition des matériaux locux (G=P) en fonction de Temp

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

Tableau III-5: la variation de chaleur de composition de matériaux locaux (G=1.5P) en fonction de temp

		G=1,5P 30 60 10				G=1,5P 34 33 33				G=1,5P 00 60 40			
		1	2	3	Δt moy	1	2	3	Δt moy	1	2	3	Δt moy
09:00	T _e	28	25	25	10,00	28	28	25	10,00	28	28	28	11,00
	T _i	35	36	37		37	37	37		39	39	39	
09:30	T _e	36	37	39	9,00	35	35	34	10,67	36	38	37	11,67
	T _i	45	46	48		47	47	42		51	47	48	
10:00	T _e	44	43	48	8,33	42	44	39	9,00	47	44	42	9,00
	T _i	49	55	56		52	53	47		56	51	53	
10:30	T _e	43	46	46	10,33	48	44	41	8,67	51	51	49	7,00
	T _i	52	55	59		56	53	50		58	56	58	
11:00	T _e	46	47	47	16,67	45	42	41	16,67	50	50	53	9,33
	T _i	62	63	65		60	60	58		61	60	60	
11:30	T _e	45	50	50	16,00	47	48	44	10,67	53	50	50	6,33
	T _i	64	64	65		60	58	53		59	54	59	
12:00	T _e	46	50	53	9,67	47	48	44	10,33	53	48	53	13,67
	T _i	53	57	68		59	58	53		66	62	67	
12:30	T _e	47	51	53	9,00	54	50	44	7,33	50	48	49	11,67
	T _i	55	61	62		59	58	53		65	55	62	
13:00	T _e	38	39	39	2,00	35	35	35	0,33	37	35	33	1,67
	T _i	40	41	41		36	35	35		39	37	34	
13:30	T _e	30	31	31	0,67	30	30	31	1,00	31	32	32	0,00
	T _i	31	31	32		31	31	32		31	32	32	

Tableau III-6: la variation de chaleur de composition de matériaux locaux (G=P) en fonction de temp

		G=P 30 60 10				G=P 34 33 33				G=P 00 60 40			
		1	2	3	Δt moy	1	2	3	Δt moy	1	2	3	Δt moy
09:00	T _e	28	28	28	14,00	25	25	25	19,33	25	25	25	18,33
	T _i	42	42	42		45	45	43		44	44	42	
09:30	T _e	38	37	36	12,33	35	35	35	16,00	38	39	39	10,67
	T _i	50	49	49		50	51	52		47	51	50	
10:00	T _e	41	41	41	9,67	41	40	41	11,00	41	42	43	11,33
	T _i	51	51	50		52	51	52		53	53	54	
10:30	T _e	41	41	41	10,67	41	40	39	12,00	42	43	44	8,00
	T _i	51	51	53		50	52	54		50	52	51	
11:00	T _e	41	41	42	10,33	44	42	42	8,00	44	42	42	7,33
	T _i	53	53	49		50	52	50		49	50	51	
11:30	T _e	41	41	42	8,00	41	42	42	9,33	41	41	41	11,33
	T _i	50	49	49		48	55	50		51	55	51	
12:00	T _e	39	40	40	7,67	39	40	40	8,67	39	39	42	8,33
	T _i	46	49	47		49	48	48		47	48	50	
12:30	T _e	38	37	37	10,00	38	36	38	11,67	38	39	40	12,00
	T _i	46	48	48		50	50	47		50	50	53	
13:00	T _e	30	30	30	3,33	30	31	32	2,00	33	34	33	0,33
	T _i	33	34	33		33	33	33		33	35	33	
13:30	T _e	28	28	29	0,33	28	28	28	1,00	28	28	30	0,33
	T _i	28	29	29		29	29	29		28	29	30	

D'après les résultats obtenus on remarque que : tous les résultats retenus sont proches entre eux avec une petite différence dans une quelconque composition. Ensuite l'augmentation de granulats de « Lous » qui conduit à l'amélioration du comportement de notre composite de matériaux locaux vis-à-vis du transfert de chaleur.

On constate que la composition des matériaux locaux nous a donné un bon résultat vis-à-vis du transfert de chaleur, car la variation de chaleur entre l'intérieure et l'extérieure est faible par rapport à l'épaisseur des éprouvettes par exemple dans le cas de composition de matériaux locaux ou (g=1.5P avec la variation de dimensionnement de granulats de Lous (D G) 15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8=10%) la valeur de variation de chaleur Δt est atteinte à 16,67 °C c'est-à-dire nous avons pu diminuer la chaleur de 50 °C vers 33,33 °C dans une épaisseur de 4 cm. En revanche, la décharge de chaleur est très rapide dans tous les cas. Cela nous assure que notre composite de matériaux locaux dégage rapidement la chaleur, cette caractéristique sera prodigieuse notamment dans le climat aride d'EL-oued.

L'essai qui donne une idée autour la conductivité thermique de notre composite de matériaux locaux surtout dans le cas ($g=1.5$ P avec la variation dimensionnelle de granulat de Lous (D G)15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8=10%), comme nous voyons la variation thermique qui reste entre $16,67\text{ C}^\circ$ et 16 C° pendant une heure, malgré l'épaisseur de l'échantillon 4 cm. Donc, nous pouvons dit que la conductivité thermique et la diffusivité thermique⁵ est convenable avec le climat aride

Alors, le meilleure composition des matériaux locaux pour établir nôtre brique qui a un meilleur comportement vis-à-vis la variation chaleur, c'est la composition ($g=1.5$ P avec la variation de dimensionnelle de granulat de Lous (D G)15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G)3/8 =10%).

III.6 Etude comparatives :

Cette étude est basée sur la comparaison de variation de chaleur entre un brique pleine de terre cuite commercialisé et un autre brique plein à base de matériaux locaux d'EL oued (après choisir le meilleure composant), les deux ayant la même géométrie ($16*10*4$) cm, après on applique le même mode opératoire de l'essai thermique par méthode manuelle (voire la page 65).

Le but de cette étude, pour donne une image comparative sur le comportement de notre brique à base de matériaux locaux par rapport le brique de terre cuite.



Figure III-7: la dispositive d'étude thermique

Source d'auteur

⁵ La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau à transférer la chaleur (énergie thermique) à travers ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (conductivité thermique) et de sa capacité à accumuler la chaleur (capacité thermique volumique).

Les résultats d'études comparatives entre les deux types de brique sont illustrés dans la figure (III.8)

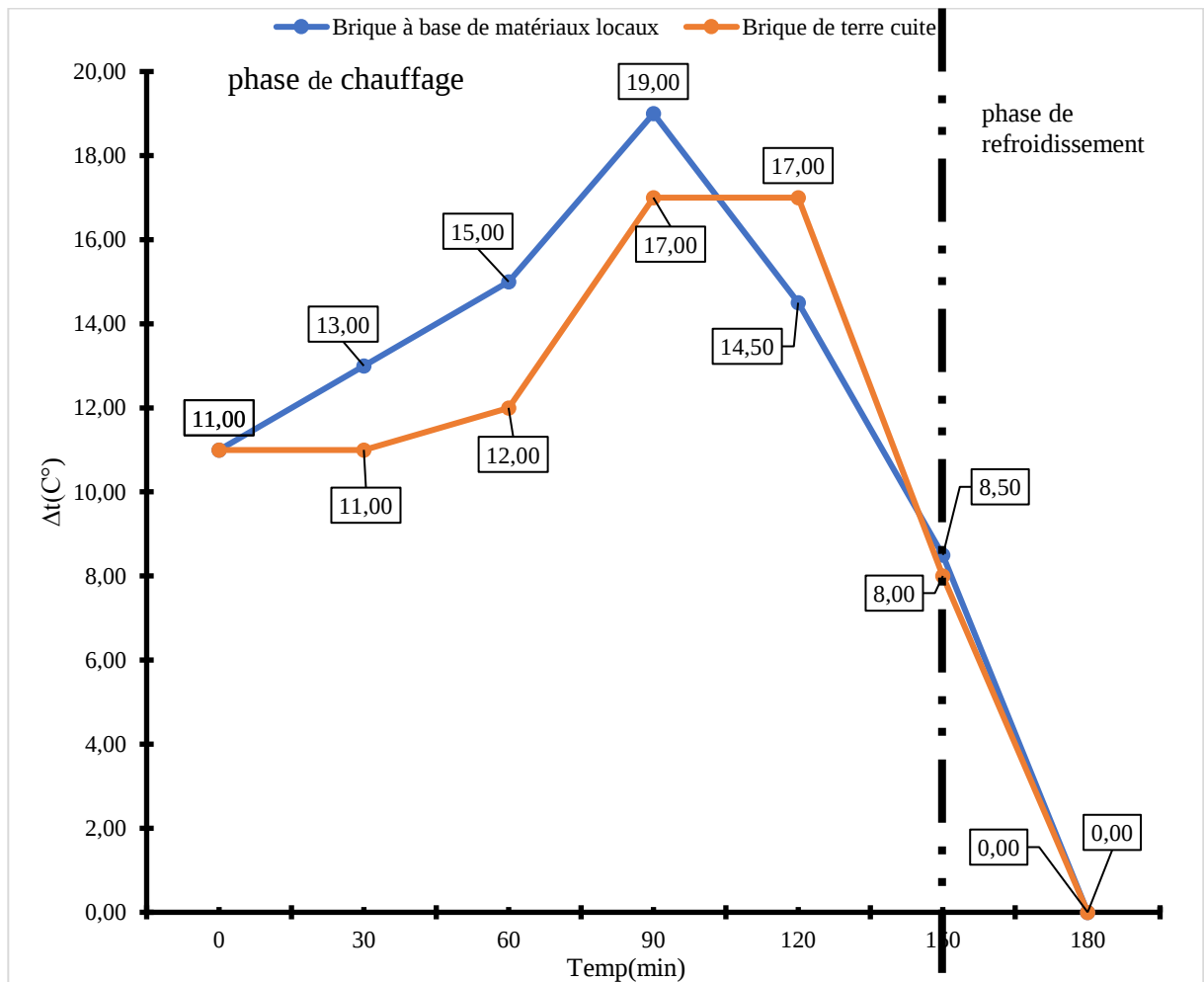


Figure III-8: la variation de transfert de chaleur de deux types de brique

Source l'auteur d'après logiciel Excel 2016

D'après les résultats obtenus on remarque que : le comportement de brique à base de matériaux locaux est meilleur que celui de la brique de terre cuite, à moins que la diffusivité thermique de la brique de terre cuite est un peu meilleure par rapport à la brique de terre cuite, Ceci est perceptible en la période entre les deux temps de (90 et 120 min).

On conclut que la brique à base des matériaux locaux sera un rôle très important dans le domaine de construction qui considère comme un élément de séparation plus qu'un élément d'isolant.

Conclusion :

Les études précédentes sont utiles pour donner des idées à propos de la composition des matériaux locaux d'EL-oued, d'après nous savons des différentes leurs caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques par des essais normalisés qui nous permettent de déduire des

résultats un peu satisfaisant pour imaginer tout le comportement de notre composite de matériaux locaux dans un différentes milieu notamment dans un climat aride, en fin de ce chapitre, on peut conclure les résultats suivants :

- ✓ Le meilleure composition des matériaux locaux pour établir nôtre brique, c'est (g=1.5 P avec la variation de dimensionnelle de granulat de Lous (D G)15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G)3/8 =10%).
- ✓ Nous avons imaginé comment employer le brique à base des matériau locaux dans le domaine de construction à partir de leur caractérisation.

Conclusion Générale :

Ce travail étudie la valorisation des matériaux locaux qui se trouve en appendance à la région d'EL-oued pour effectuer la protection environnementale par diminuer l'immersion de gaz CO₂ dans la nature afin de résoudre des problèmes économiques et techniques à partir de nous connaissons leurs caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques.

Cette étude a été effectuée en trois chapitres, une étude bibliographique, une caractérisation des matériaux utilisés et les essais nécessaires et à la fin une analyse et discussion des résultats obtenus. L'étude bibliographique a élucidé comment les matériaux locaux de la région d'oued sont formés et préparés à partir de l'extraction jusqu'à la confection depuis le stockage et l'utilisation dans le domaine de construction. Après on a abordé à tous ce qui est relié au plâtre et la brique pour donner une idée globale qui nous permet d'avoir des informations complémentaires à propos des matériaux locaux et elle constitue une image pour établir la brique à base des matériaux locaux. La caractérisation des matériaux utilisés donne une idée autour des propriétés physiques, chimiques et mécaniques des matériaux locaux pour faire une incorporation entre eux. A la fin du deuxième chapitre, on présente une série d'essais expérimentaux effectués sur le composite des matériaux locaux de la région d'EL-oued.

Après nous avons décortiqué tous les résultats obtenus de différents essais effectués à notre composition de matériaux locaux, on a pu conclure les points suivants :

- ✓ L'augmentation du pourcentage de granulats de Lous améliore un peu la caractéristique du plâtre local d'autant plus la porosité et le transfert de chaleur.
- ✓ Les comportements de notre composite des matériaux locaux sont très adéquats avec le climat aride.
- ✓ La brique à base des matériaux locaux jouera un rôle comme une isolation et séparation.
- ✓ La meilleure composition des matériaux locaux à partir de notre recherche est celle avec laquelle il sera établie la brique c'est (g=1.5 P avec la variation dimensionnelle de granulats de Lous (D G) 15/25=30%), (D G) 8/15=60%), (D G) 3/8 =10%).
- ✓ La brique à base des matériaux locaux est plus favorable que la brique de terre cuite surtout à la propriété thermique.

Grâce à ces recherches, nous espérons avoir contribué à valoriser les matériaux locaux de la région d'El-oued et donner une autre vision vers nos héritages constructifs, avec une méthode contemporaine pour créer une plateforme futuriste.

Recommandations

Pour le traitement des matériaux locaux d'El-oued, les connaissances et recommandations techniques suivantes doivent être prises en compte :

- ✓ Garder la même province de matériaux locaux de la rose de sable (Lous) et le plâtre local.
- ✓ Préserver de matériaux locaux soigneusement soit au cours de préparation d'échantillons et après le coulage à l'abris de l'humidité.
- ✓ La formulation des matériaux locaux doit être très étudié notamment la quantité d'eau.
- ✓ Il est très important de prendre en compte le côté pratique du traitement, comme l'application de simples forces de pression.

Enfin, il convient de noter qu'il est très important d'étudier l'impact des facteurs naturels et climatiques dans toute étude.

Bibliographie :

- [1] <http://www.futura-sciences.com>. [En ligne].
- [2] Centre scientifique et technique du bâtiment, «source Univ. Paris Est».
- [3] «sable, https://fr.wikipedia.org/wiki/la_rose_de,» [En ligne].
- [4] <http://www.stv.monde.net/>. [En ligne].
- [5] «Etude thermique d'une maison traditionnelle en Algérie, cas de Oued Souf 5ème Conférence Internationale des Energies Renouvelables».
- [6] materials, Books properties and tests of construction.
- [7] «laachache-messaaba, patrimoine ksourien d'el oued :entre defis et realites cas du ksar».
- [8] Hodna, « Morphologie et propriétés des gyps sols références».
- [9] Moubarak, Evolution des matériaux et des système de construction dans l'habitat désertique (Qabala.
- [10] antéludien, Notice technique: Travaux d'injection des anomalies liées à la dissolution du gypse, 10 janvier 2003.
- [11] le plâtre matériau noble, la Diren –ile-deFrance, 2000.
- [12] Omar, Azzouz et A. Haouat, «Substitution de gypse de plâtre par des pourcentages de poudre de marbre,» [En ligne]. Available: <https://doi.org/10.52502/ijfaema.v3i4.124>.
- [13] A. L. Lavoisier, «Extrait de deux mémoires sur le gypse lus a l'académie royale des sciences,» [http : //www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765, pah\\$ge.106-125..](http://www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765_pah$ge.106-125..)
- [14] L. CHASSEVENT , «–Ann. Chim., 6, 244-294, 1926».
- [15] Daligand et daniel, plâtre.
- [16] Dr. DJEDID, cours master 1 université HAMA LAKDER EL-OUED 2022-2023.
- [17] P, MEUKAM «Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation, Thèse doctorat,» université Yaoundé, Décembre 2004.
- [18] «Fiche technique Qualiremo, « La terre crue »,» Avril 2008. [En ligne]. Available: [www. tkTerreCrue.html](http://www.tkTerreCrue.html).
- [19] P . RICHARD, «Adobe » ,mémoire Maître en environnement ,Université de Sherbrooke, Canada, Octobre 2010.
- [20] M, MAKRI, «Projet GE12 Construction en terre » Technologie compiègme,» 2010.

- [21] M. DJOUHRI, Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla, 2007.
- [22] A. RHONE, « Le pisé » www.ageden.org,» Décembre 2010. [En ligne].
- [23] CRA Terre « Blocs de terre comprimée normes » Série Technologies.
- [24] CRA Terre EAG « Bloc de terre comprimée volume I » Manuel de production.
- [25] S, LIVERT, Bâtir un mur en briques de terre compressée, Février 2011.
- [26] Fiche technique matériaux http://oci.cstb.fr/simulation/choix_proc.asp.
- [27] I, AVLISSET, « Matériaux de terre cuite » Technique de l'ingénieur, 1994 ..
- [28] « www.la.refer.org », Matériaux de construction « Cours en ligne matériaux de construction ». [En ligne].
- [29] P, GIOVANNI, La brique fabrication et tradition constructives, édition EYROLLES, Octobre 2004.
- [30] R, DELEBECQUE, Éléments de Construction Bâtiment, Edition Delagrave, 1990.
- [31] M, VENUAT, Produits silico-calcaires, Technique de l'Ingénieur, 1994.
- [32] Pr, Mourad BEHIM, TP Liants Minéraux – Le plâtre, Département Génie Civil U - Annaba.
- [33] S. BRÊTEAU, « Saint-Lois. L'entreprise Terreal va exploiter une carrière d'argile à Amigny, » ouest-france, 29 09 2019.
- [34] S. BRÊTEAU, « Saint-Lois. L'entreprise Terreal va exploiter une carrière d'argile à Amigny, » ouest-france, 29 09 2019.
- [35] « Matériaux de construction « Cours en ligne matériaux de construction ». « www.la.refer.org »..
- [36] (NF P18-406).
- [37] Singh N.B, S; Middendorf, « Calcium sulphate hemihydrate hydration leading ».