

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master

Spécialité : Génie Civil

Option : ETUDE ET CONTROLE BATIMENTS ET ROUTES

Thème :

**Production des panneaux isolants « FOAM OUARGLA STONE » pour
le revêtement extérieur à base des matériaux locaux**

Présenté par :

BENZAID Mohamed Achraf

Devant le jury composé de :

-Chahed Ali Haider	MCB	Université de Ouargla	Président
-Benzerari Selma	MAA	Université de Ouargla	Examinatrice
-Chaib Hachem	MCA	Université de Ouargla	Encadreur

Promotion 2023-2024

Remerciements

Je tiens d'abords à remercier Allah le tout miséricordieux de m'avoir donné la patience , le courage et la volonté qui m'ont permis d'accomplir ce modeste travail de recherche .

Je remercie mon encadreur Mr Chaib Hachem pour sa disponibilité et son aide précieuse, je remercie Mr Ali kcherid technicien du laboratoire du département « Génie civil » pour son aide et son soutien .

Je remercie aussi Mr kriker abdelwahed le doyen de faculté des sciences appliquées qui nous a facilité le trajectoire de recherche avec tous les moyens pédagogiques.

Je remercie l'ensemble des enseignants et les employés du département de Génie civil et d'hydraulique pour Leurs aides et leurs soutiens.

Mes remerciements les plus tendres à mes parents qui m'ont beaucoup aidé et soutenu pendant toutes les années de mes études ; que je leur exprime toute ma reconnaissance.

Je remercie ma femme qui était à mes cotés avec ses vifs encouragements et son soutien infini .

Dédicace

Avec tout l'amour éternel ; avec l'intensité de mes sentiments , je dédie ce mémoire à mes chers parents et mes chères sœurs qui n'ont pas cessé de m'orienter et m'encourager.

A ma femme qui m'a marqué avec sa patience.

A ma fille Rajoua

Résumé

L'isolation thermique est considérée parmi les grands problèmes que souffrent le secteur du bâtiment en raison des différences de températures entre les régions diverses du monde et notamment en Algérie, avec son impact direct sur la durabilité de la bâtisse ainsi que sur le confort des habitats, on vise à travers cette recherche dont l'objet est de créer des panneaux isolants composés de couche de polystyrène expansé et de mortier de sable des dunes pour minimiser au maximum la transmission et la perméabilité thermique sans marginaliser l'aspect esthétique de la bâtisse.

Après l'étude des caractéristiques mécaniques et thermiques on a pu arriver à une isolation assez parfaite qui prend en considération le coût d'énergie, le côté esthétique attirant et de la facilité de l'utilisation du notre produit.

La présente étude a confirmé l'efficacité du produit et son apport considérable dans la protection de la bâtisse, tout en assurant une meilleure préservation du patrimoine culturel dans le domaine de la construction et d'une manière moderne et économique.

Mots clés : sable des dunes, polystyrène expansé, résine acrylique, confort thermique

ملخص

يعتبر العزل الحراري من أكبر المشاكل التي يعاني منها ميدان البناء نظرا لتباين درجات الحرارة حسب المناطق المختلفة في العالم وفي الجزائر بصفة خاصة ومدى تأثير ذلك على ديمومة المبنى وعلى راحة الساكنة، نسعى من خلال هذا البحث والمتمثل في صفائح العزل الحراري المشكلة من طبقة البولسترين الممدد وطبقة من ملاط رمل الكتبان الى الوصول لتقليص النفاذية الحرارية دون التفريط في الجانب الجمالي للبناءية.

بعد دراسة الخصائص الميكانيكية والحرارية توصلنا الى عزل مقبول جدا يراعي الكلفة الطاقوية إضافة الى الجانب الجمالي الأخاذ ومدى سهولة استعمال المنتج، هذه الدراسة اكدت فعالية منتجنا وحمائته للمنشأة مع ضمان بلوغ المحافظة على الموروث الثقافي للبناء بطريقة عصرية وغير مكلفة.

كلمات مفتاحية: رمل الكتبان، البولسترين الممدد، الراتنج المائي، الراحة الحرارية

Abstract

Thermal insulation is considered one of the major issues facing the construction sector due to temperature differences between various regions of the world, particularly in Algeria. This directly impacts the durability of buildings and the comfort of their habitats. The objective of this research is to create insulated panels composed of expanded polystyrene layers and dune sand mortar to minimize thermal transmission and permeability while maintaining the aesthetic aspect of the building.

After studying the mechanical and thermal characteristics, we have achieved a nearly perfect insulation that takes into account the cost of hydrocarbons, as well as an attractive aesthetic aspect and ease of product use. This study confirms the effectiveness of our product and its significant contribution to protecting buildings, ensuring the best cultural preservation in a modern and economical manner.

key words : dune sand, expanded polystyrene, acrylic resin, thermal comfort

Remerciements	I
Dédicace	II
Résumé	II
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	4
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1. Introduction	6
I.2 historique de revêtement extérieur des bâtiments	6
I.2.1 L'antiquité	6
I.2.2 Le moyen âge	7
I.2.3 La renaissance	8
I.2.4 La révolution Industrielle	9
I.2.5 L'époque moderne et contemporaine	10
I.3 Données climatiques de la ville de Ouargla	11
I.3.1 Le confort	12
I.3.2 Le Confort thermique	12
I.3.3 Analyse Climatique de la ville de Ouargla	12
I.3.4 Caractéristiques climatiques de la ville de Ouargla	14
I.3.4.A Température	14
I.3.4.B La précipitation	14
I.3.4.C Le vent	15
I.3.4.D L'humidité	15
I.4 Consommation énergétique dans la région de Ouargla	15
I.4.1 Nombre des abonnées	16
I.4.2 Consommation énergétique	16
I.5. Conclusion	17
Chapitre II : Méthodes et matériels	
II.1. Introduction	19
II.2. Le sable des dunes	19
II.2.1. Les caractéristiques du sable des dunes	19
II.2.1.1. Masses volumiques	19
II.2.1.2. Analyse minéralogique du sable des dunes	19
II.2.1.3. Analyse granulométrique du sable des dunes	20
II.2.1.4. Equivalent de sable	21
II.2.1.5. Analyse chimique du sable des dunes.	22
II.3. La résine acrylique	23
II.3.1. caractéristiques et avantage de la résine acrylique	24
II.3.2. Données techniques	24
II.4. Le polystyrène expansé	25
II.5. Conclusion	28
Chapitre III : Résultats et interprétations	
III.1. Introduction	31
III.2. Production des panneaux Foam Ouargla Stone	31
III.2.1 Caractéristiques des matériaux composants de la couche de protection	34
III.2.1.A La masse volumique apparente	34
III.2.1.B L'essai de compression	35
III.2.2. Confection des panneaux Foam Ouargla stone	36

Sommaire

III.3. Réalisation des prototypes et l'expérience thermique effectuée	39
III.3.1. Réalisation des prototypes	40
III.3.2. L'expérience thermique effectuée sur les prototypes	41
III.4. Résultats et interprétations	42
III.4.1. Caractéristiques thermiques des matériaux composants des prototypes	42
III.4.2. L'influence de la température sur prototype A1	43
III.4.3. L'influence de la température sur prototype A2	45
III.4.4. L'influence de la température sur prototype A3	47
III.5. Conclusion	51
Conclusions et recommandations	53
Références bibliographiques	54

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I : Synthèse bibliographique	
Tableau I.1 : Nombre des abonnés	16
Tableau I.2 : Consommations énergétiques.	16
Chapitre II : Méthodes et matériels	
Tableau II.1 : Résultat de l'analyse granulométrique.	20
Tableau II.2 : Composition Chimique de sable.	23
Chapitre III : Résultats et interprétations	
Tableau III.1 : Résultats des poids volumiques.	35
Tableau III.2 : Résultats de l'essai de compression en Mpa.	35
Tableau III.3 : Les éléments constructifs des prototypes.	41
Tableau III.4 : Tableau d'abréviation.	42
Tableau III.5 : Les températures enregistrées durant la journée du 25/07/2023 du prototype A1.	43
Tableau III.6 : Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype A1.	44
Tableau III.7 : Les températures enregistrées durant la journée du 25/07/2023 du prototype A2.	45
Tableau III.8 : Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype A2.	46
Tableau III.9 : Les températures enregistrées durant la journée du 25/07/2023 du prototype A3.	47
Tableau III.10 : Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype A3	48
Tableau III.11 : Les températures enregistrées durant la journée du 25/07/2023 des prototypes A1, a2 et P3	49
Tableau III.12 : Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure des prototypes A1, A2 et A3.	50

Liste des Figures

Liste des figures

Chapitre I : Synthèse bibliographique	
Figure I.1 : Façade à l'époque Egyptienne	6
Figure I.2 : Façade à l'époque Grecque.	7
Figure I.3 : Façade à l'époque Romaine.	7
Figure I.4 : Façade à l'époque Moyen Age.	8
Figure I.5 : Le palais de Palazzo Rucellai à Florance.	9
Figure I.6 : Le palais de Crystal Palace à Londres.	10
Figure I.7 : Le Gratte-Ciel Bordj Khalifa à Dubai.	11
Figure I.8 : Carte de l'Algérie (Situation de la ville de Ouargla)	13
Figure I.9 : Les zones climatiques d'été. Source (ENAG.1993).	13
Figure I.10 : Température mensuelle moyenne de la région de Ouargla.	14
Figure I.11 : Précipitation mensuelle moyenne de la région de Ouargla.	15
Chapitre II : Méthodes et matériels	
Figure II.1 : Diffractogramme du sable des dunes.	20
Figure II.2 : Courbe de l'analyse granulométrique.	21
Figure II.3 : Essai équivalent de sable.	22
Figure II.4 : Pourcentage des composants chimiques du sable des dunes.	23
Figure II.5 : Résine acrylique marque <<MIDY>> locale commercialisée en Algérie.	23
Figure II.6 : La texture de la résine acrylique marque <<MIDY>>.	24
Figure II.7 : Polystyrène expansé sous forme bloc.	26
Figure II.8 : Agrandissement pour découvrir les pellicules de polystyrène expansé.	28
Chapitre III : Résultats et interprétations	
Figure III.1 : Machine CNC à chaud	31
Figure III.2 : Les dimensions de la machine CNC à chaud.	32
Figure III.3 : Mesure des composants.	33
Figure III.4 : Type de malaxage manuel.	33
Figure III.5 : La texture de la pâte pour la couche de protection.	34
Figure III.6 : Les échantillons obtenus.	34
Figure III.7 : Résultat des poids volumiques.	35
Figure III.8 : Résultat de l'essai de compression en Mpa .	36
Figure III.9 : L'échantillon après l'essai de compression.	36
Figure III.10 : Mode de découpage plasma.	37
Figure III.11 : Les résultats de l'essai de l'ultra son.	38
Figure III.12 : Les dimensions finales des panneaux.	38
Figure III.13 : Le prototype basic du panneau obtenu.	39
Figure III.14 : La manière de montage des panneaux sur murs.	39
Figure III.15 : Prototype A1.	40
Figure III.16 : Prototype A2.	40
Figure III.17 : Prototype A3.	41
Figure III.18 : La conductivité thermique des matériaux composants les prototypes.	42
Figure III.19 : La résistance thermique des matériaux composants les prototypes.	43
Figure III.20 : L'influence de la température sur A1.	44
Figure III.21 : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du prototype A1	45

Liste des Figures

Figure III.22 : L'influence de la température sur A2.	46
Figure III.23 : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du prototype A2.	47
Figure III.24 : L'influence de la température sur A3.	48
Figure III.25 : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du prototype A3.	49
Figure III.26 : L'influence de la température sur les prototypes A1, A2 et A3.	50
Figure III.27 : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur des prototypes A1, A2 et A3.	51

Introduction générale

Introduction générale

Dans le domaine de la construction et de l'ingénierie civile, l'efficacité énergétique et le confort acoustique des bâtiments sont des aspects essentiels à prendre en considération pour assurer des environnements intérieurs sains, durables et agréables. Les revêtements de bâtiment jouent un rôle crucial dans la recherche des solutions innovantes pour améliorer à la fois l'isolation thermique et phonique des structures.

La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment représente une part significative de la demande totale en énergie. Améliorer l'isolation thermique des bâtiments est donc essentiel pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre associées. De plus, le confort acoustique est devenu une préoccupation majeure, en particulier dans les environnements urbains densément peuplés.

Les revêtements de bâtiment modernes offrent désormais des fonctionnalités avancées qui vont au-delà de leur aspect esthétique. Certains produits intègrent des propriétés isolantes thermiques et acoustiques, ce qui peut avoir un impact significatif sur les performances globales des bâtiments.

Dans notre recherche, on se concentre sur l'évaluation d'un produit de revêtement spécifique pour les bâtiments, avec objectif principal d'analyser son influence sur l'isolation thermique et phonique. L'importance de cette étude réside dans la nécessité croissante de développer des bâtiments avec efficacité sur le plan énergétique et en offrant un confort acoustique optimal.

Le travail est présenté comme suit :

- Chapitre 1 : présenter des généralités sur l'historique de revêtement des bâtiments à travers le temps, ainsi qu'une présentation des propriétés climatiques de la zone d'étude et la consommation énergétique.
- Chapitre 2 : ce chapitre est consacré aux méthodes d'essais et aux caractéristiques physico-chimiques du matériau utilisé.
- Chapitre 3 : présenter les résultats et les interprétations, après l'analyse.

Le travail de recherche se terminera par une conclusion et des recommandations afin de développer une perspective distinguée sur ce matériau en vue de le valoriser.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.

Le monde actuel se trouve très impressionné devant ce qu'atteignent les recherches dans le domaine du bâtiment, des structures construites d'une façon très attirantes avec des façades qui traduisent des aspects architecturaux nettement avancés.

Dans ce chapitre, on s'est trouvé dans l'obligation de présenter un bref passage sur l'historique qu'a connu le traitement des façades au long des ères antiques et contemporaines, dont une part sera consacrée à l'examen des données climatiques de la région de Ouargla.

I.2. Historique de revêtement extérieur des bâtiments.

I.2.1. L'Antiquité.

Les premières techniques de traitement des façades remontent à l'Antiquité, notamment avec les civilisations égyptienne, grecque et romaine. Les Égyptiens utilisaient des pierres massives pour leurs constructions monumentales, souvent taillées et polies pour créer des surfaces lisses. Les Grecs préféraient le marbre et la pierre calcaire, qu'ils utilisaient pour ériger des temples et des bâtiments publics ornés de sculptures et de frises.

Les Romains, quant à eux, ont innové avec le stuc, un mélange de chaux, de sable et de l'eau, appliqué sur des structures en brique. Le stuc permettait de créer des finitions lisses et décoratives, souvent peintes ou sculptées avec des motifs complexes. Des exemples emblématiques de cette période incluent le Panthéon et les thermes romains, qui montrent l'utilisation avancée du stuc pour des finitions à la fois esthétiques et protectrices.[1]



Figure I.1. Façade à l'époque Egyptienne.[2]



Figure I.2. Façade à l'époque grecque.[3]



Figure I.3. Façade à l'époque Romaine.[4]

I.2.2. Le moyen Âge.

Au Moyen Âge, les techniques de traitement des façades ont évolué avec l'utilisation de crépi et de plâtre. Les églises et les cathédrales gothiques étaient ornées de sculptures, de vitraux et de motifs en relief. Le crépi et le plâtre étaient utilisés pour protéger les murs et offrir une surface décorative. Les maisons à colombages, courantes dans les villes médiévales, combinaient

une structure en bois avec des remplissages en torchis ou en brique, créant des façades distinctives.

Les châteaux et les forteresses utilisaient des matériaux locaux, comme la pierre et la brique, pour leurs murs épais et défensifs. Les façades étaient souvent austères mais pouvaient être embellies avec des détails architecturaux tels que les arcs, les moulures et les sculptures.[5]

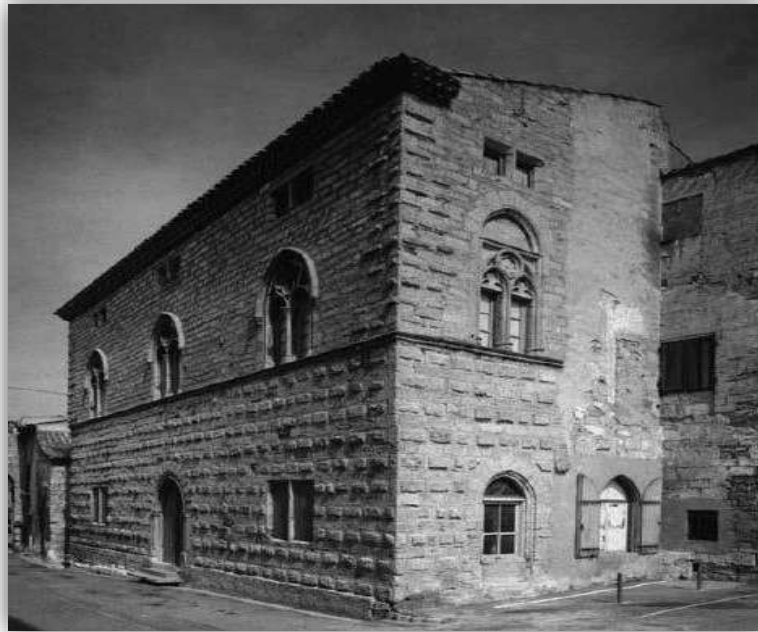


Figure I.4. Façade à l'époque du moyen âge.[6]

I.2.3. La renaissance.

La Renaissance a apporté un renouveau dans le traitement des façades, avec une redécouverte des principes classiques de l'architecture. Les façades des bâtiments de cette période étaient symétriques et proportionnées, utilisant des matériaux nobles comme la pierre taillée et le marbre. Les architectes tels qu'Alberti et Palladio ont introduit des éléments classiques comme les colonnes, les frontons et les corniches dans leurs conceptions.

Les palais et les églises de la Renaissance, comme le Palazzo Rucellai à Florence et la Basilique Saint-Pierre à Rome, illustrent l'utilisation de la pierre pour créer des façades monumentales et richement décorées. Les techniques de construction et de revêtement ont été perfectionnées, permettant des finitions plus précises et durables.[7]



Figure I.5. Le palais de Palazzo Rucellai à Florence [8]

I.2.4. La révolution Industrielle.

L'ère industrielle a introduit des matériaux nouveaux comme le fer, l'acier et le verre. Ces matériaux ont permis la construction de façades plus légères et transparentes. Les gratte-ciel de Chicago et de New York, au début du XXe siècle, illustrent cette transition. Les techniques de construction se sont modernisées, et l'usage de matériaux industriels a ouvert la voie à des conceptions plus audacieuses.

Les bâtiments comme le Crystal Palace à Londres et la Tour Eiffel à Paris montrent comment le fer et le verre ont transformé l'architecture. Les façades de ces structures étaient fonctionnelles mais également esthétiques, mettant en valeur la nouvelle technologie.[9]



Figure I.6. Le palais de Crystal Palace a Londres. [10]

I.2.5.L' époque Moderne et Contemporaine.

Le XXe siècle a vu l'essor des façades en verre et en acier, popularisées par le mouvement moderniste. Des architectes comme Le Corbusier, Mies van der Rohe et Walter Gropius ont adopté des façades minimalistes, favorisant la transparence et la fonctionnalité. Les murs-rideaux en verre, soutenus par des structures en acier, sont devenus emblématiques de cette période.

Aujourd'hui, les matériaux de façade incluent des composites métalliques, des panneaux en aluminium, et des systèmes de façade double peau. Ces innovations offrent des solutions esthétiques, énergétiques et environnementales améliorées, répondant aux exigences de durabilité et de performance thermique. Les bâtiments contemporains, comme le siège d'Apple à Cupertino et le Bordj Khalifa à Dubaï, montrent l'intégration de technologies de pointe dans le traitement des façades. [11]



Figure I.7.Le gratte-ciel Bordj Khalifa à Dubaï. [12]

I.3. Données climatiques de la ville de Ouargla.

Le climat comme phénomène physique, est le résultat d'un grand nombre d'éléments qui se combinent entre eux. Il est l'une des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs.[13]

Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont :

- Le soleil (radiations)
- La température
- L'humidité
- Le vent
- Les précipitations (pluies, neiges.) [13]

Etant donné que les conditions climatiques peuvent varier d'une journée à une autre ou d'une année à une autre ; il est nécessaire de tenir compte des variations à partir de leurs moyennes pour une vision plus claire et plus réaliste [13]

I.3.1. Le confort.

Le confort est un état d'esprit qui exprime une satisfaction de son environnement ; le sujet ne peut pas dire s'il veut avoir plus chaud ou plus froid, l'homme essaie de limiter l'amplitude des sensations de désagrément en développant des processus de régulation comportementale et adaptative. [13]

Le confort ne dépend pas seulement de la température mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant.[13]

I.3.2. Le Confort thermique.

Le confort thermique représente un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique, il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement.[13]

ASHRAE (American society of heating and refrigerating and air conditioning engineers) le définit comme la sensation d'équilibre de contentement par l'individu envers les conditions thermiques.[13]

En effet, Le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant. Pour qu'une personne se sente confortable, trois conditions doivent être réunies :

- Le corps doit maintenir une température interne stable.
- La production de sueur ne doit pas être trop abondante et la température moyenne de la peau doit être confortable.
- Aucune partie du corps ne doit être trop chaude ni trop froide (inconfort local)[13]

I.3.3. Analyse Climatique de la ville d'Ouargla.

La ville d'Ouargla s'étend sur une superficie de 163233 Km² et se trouve à une latitude de 31°57N et longitude de 5°21'E, et à 146 mètres d'altitude, à une distance de 780 km d'Alger.[13]



Figure I.8. Carte de l'Algérie (situation de la ville de Ouargla). [13]

D'après la classification donnée par Recommandation Architecturale, la ville d'Ouargla appartient à la zone climatique E4 en été et H3c en hiver, qui possède deux saisons principales comme indiqué aux figures. [13]

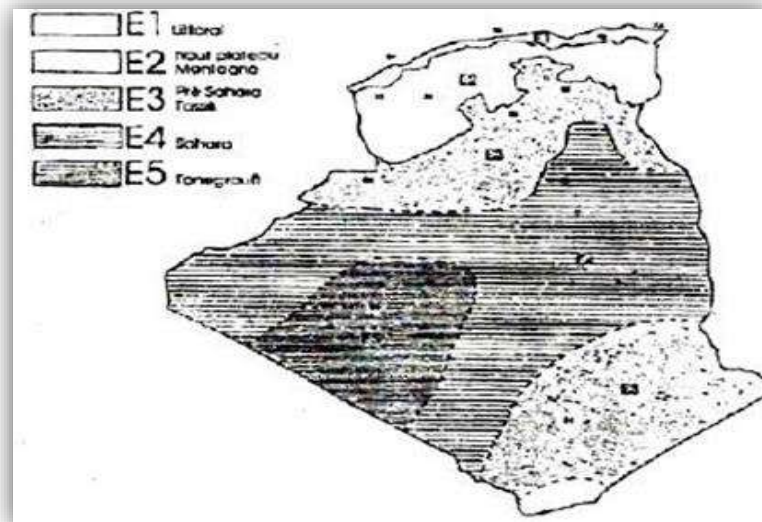


Figure I.9. Les zones climatiques d'été .Source : (ENAG,1993). [13]

I.3.4. Caractéristiques climatiques de la ville d'Ouargla.

I.3.4.A. La Température.

La température moyenne mensuelle est de 37°C en juillet, le mois le plus chaud d'été et 13.5°C en janvier, le mois le plus froid d'hiver.[13]

L'amplitude peut dépasser la valeur de 10°C, et atteindre une moyenne de 16°C, dans certains cas une valeur extrême de 20°C, tandis que l'amplitude moyenne annuelle, est de 12°C en juillet.[13]

En juillet et août les valeurs moyennes minimales des températures oscillent autour de 31°C, mais les valeurs de la température moyenne maximale varient entre 41°C et 43°C dans certains cas elles atteignent ou dépassent 49°C.[13]

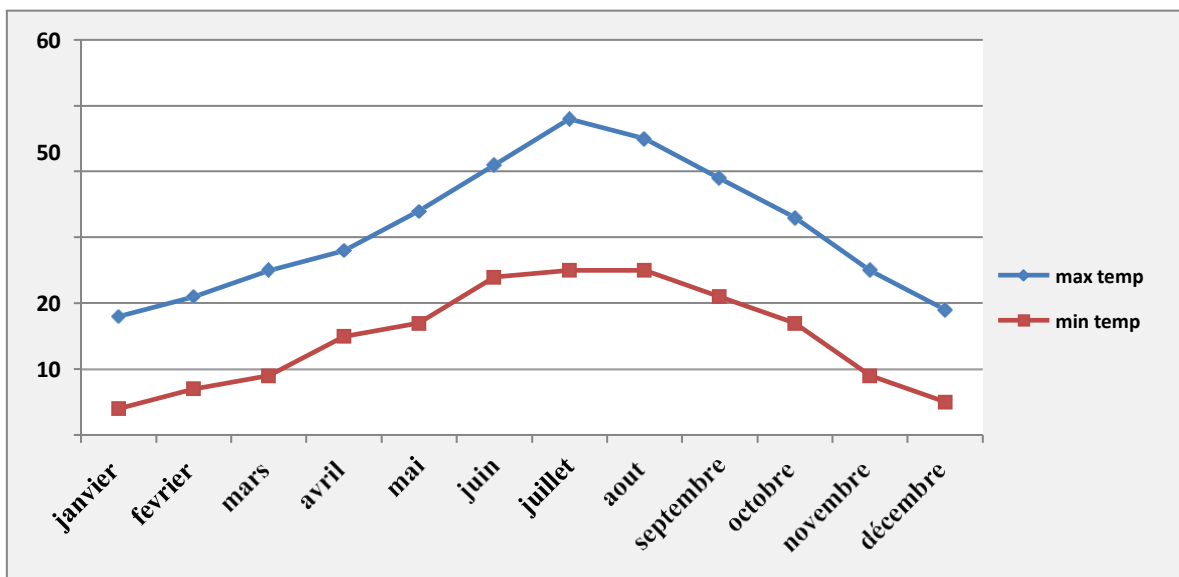


Figure I.10. Température mensuelle moyenne de la région de Ouargla 2019. [13]

I.3.4.A. La précipitation

Les précipitations sont irrégulières. La zone passe par une période sèche qui dure plus de 6 mois allant de mai à septembre.[13]

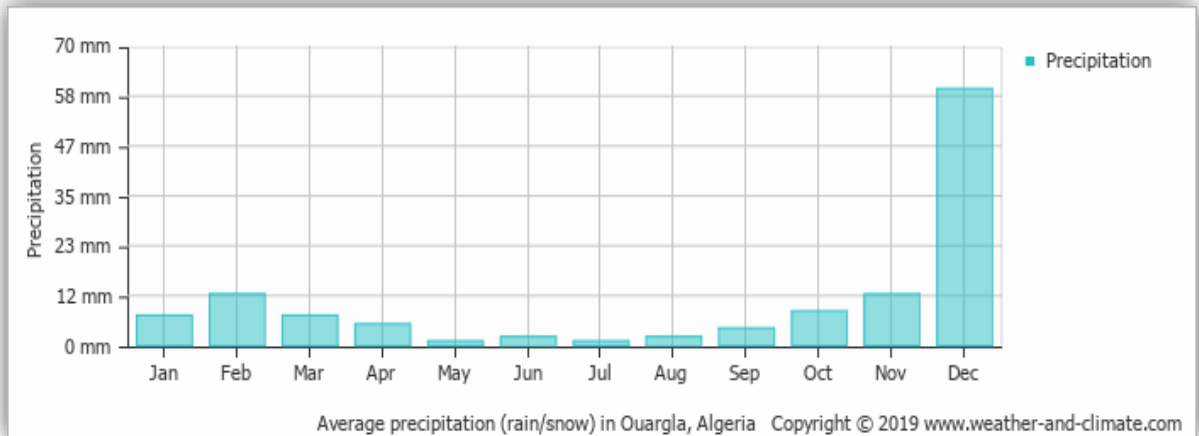


Figure I.11. Précipitation mensuelle moyenne de la région de Ouargla [13]

I.3.4.C. Le vent.

Les vents les plus forts dont la vitesse dépasse 25 m/s en mois de janvier jusqu'au mois de mai tandis qu'ils ne dépassent pas les 20 m/s en mois de juillet.[13]

I.3.4.D. L'humidité.

Sachant que le climat de la région d'Ouargla est sec, le taux d'humidité ne varie pas remarquablement d'une année à l'autre.

Pendant la période de froid, l'humidité varie entre 80% et 85% en mois de décembre, tandis que pendant la période d'été l'humidité diminue aux environs de 10% ce qui engendre de grandes températures. [13]

On peut conclure que Le climat d'Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. [13]

I.4. la Consommation énergétique dans la région d'Ouargla.

Etant donné que les villes et les agglomérations du bassin de Ouargla faisant partie de la région des oasis connue par ses grandes chaleurs notamment les mois de juin jusqu'à septembre dont la température atteint ses apogées dépassant le 48°C les horaires de pic à l'ombre, cela se répercute directement sur la consommation électrique, en effet ce phénomène climatique engendre une forte demande en électricité causant une charge financière lourde outre les

problèmes et les pannes techniques au niveau des réseaux d'alimentation ainsi qu'au niveau des grandes installations électriques (transformateurs, et postes d'alimentation)

I.4.1. Nombre des abonnés.

Tableau I.1. Nombre des abonnés [14]

Année	Nombre des abonnés
2021	104337
2022	105352
2023	108069

I.4.2. La Consommation énergétique.

Tableau I.2. Consommation énergétique [14]

Trimestre	Consommation
Premier	340.09 GWh
Deuxième	350,27 GWh
Troisième	689.66 GWh

Les données fournies par la direction d'énergie et mines de la wilaya de Ouargla indiquées aux tableaux font montrer clairement que la consommation du troisième trimestre de l'année représente presque le double de la consommation du premier ou du deuxième trimestre de la même année, trouvant son explication dans la forte demande enregistrée durant les mois d'été causée par les besoins d'utilisation accrue des moyens de climatisation et refroidissement face au grandes chaleurs dont l'état actuel des constructions et des bâtisses ne peut pas les supporter. A cet égard il demeure nécessaire de réfléchir sur les ajustements qui pourront toucher le mode de construction existant et maintenir un niveau de confort acceptable à la fois, chose qui sera réalisable une fois nous optons comme choix l'utilisation de matériaux de constructions adoptés avec les conditions climatiques de la région.

I.5. Conclusion.

En conclusion, on peut conclure à travers cet aperçu historique que l'être humain est toujours en position de s'adapter avec son environnement en introduisant des techniques et utilisant son intelligence, son expérience acquise et sa créativité à fin de réaliser des habitations originales avec des moyens et ressources purement locaux et disponibles .

Chapitre II : Méthodes et matériels

Chapitre II : Méthode et Matériels

II.1. Introduction.

Les panneaux isolants pour le revêtement extérieur des bâtiments est un mélange composé de polystyrène expansé et une couche de protection composé du sable des dunes et de la résine acrylique. Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition de ces panneaux.

II.2. Le sable des dunes.

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivies d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée. Pour notre étude on a utilisé le sable des dunes de Ain EL Beida (OUARGLA).[15]

II.2.1. Les caractéristiques du sable des dunes.

II.2.1.1. Masses volumiques.

Les résultats des essais de la masse volumique apparente ρ_a et la masse volumique absolue ρ_s de sable est :

$$\rho_a = 1471 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 2564 \text{ kg/m}^3 \text{ [15]}$$

II.2.1.2. Analyse minéralogique du sable des dunes.

Suivant des mesures menées à partir de diffractogramme figure (II-1), qui a été effectué au niveau du laboratoire de physique à l'université de OUARGLA, on peut constater ce qui suit [15]

:

- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %.
- Le gypse se trouve sous forme des grains fins de couleur blanchâtre avec un pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvés avec des pourcentages faibles au tour de 10 % [15]

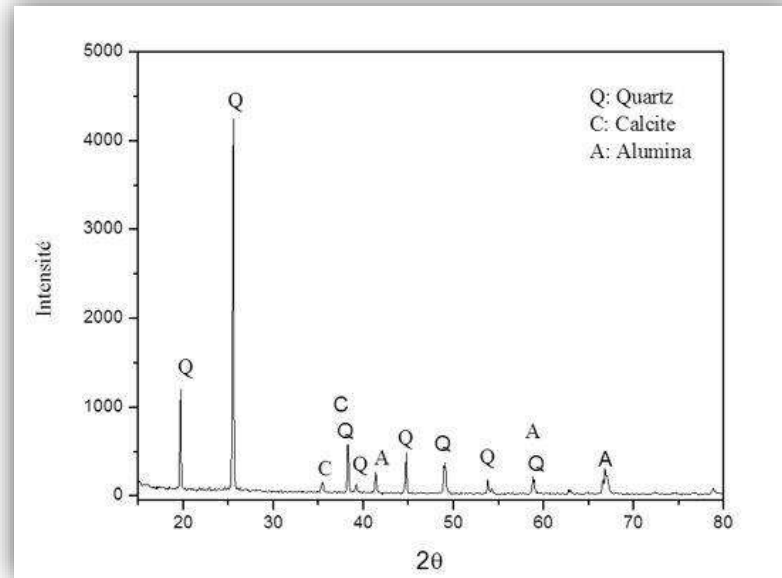


Figure II.1. Diffractogramme du sable des dunes [15]

II.2.1.3. Analyse granulométrique du sable des dunes. NFP 94-056

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

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. [15]

Tableau II.1. Résultat de l'analyse granulométrique [15]

Ouverture de tamis	Refus cumulé en %	Tamisât en %
5	0	100
2	0	100
1	0	100
0,4	6.47	94
0,2	69.52	30
0,1	95.49	5
0,08	96.29	4

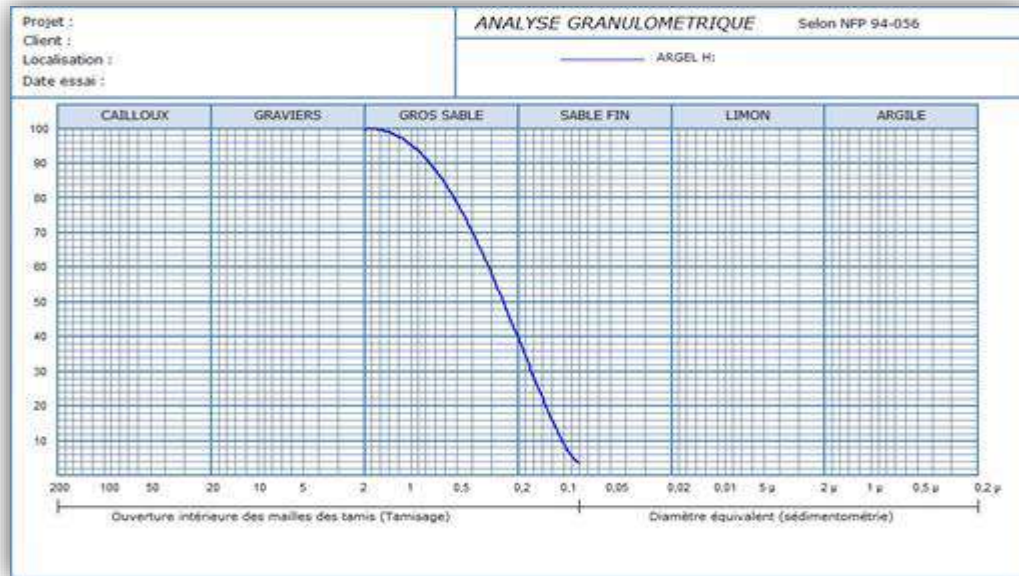


Figure II.2. Courbe de l'analyse granulométrique [15]

Nous pouvons dire que le sable a une granulométrie très serrée.

II.2.1.4. Equivalent de sable.

Cet essai, utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie celui-ci, l'essai est effectué sur fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, on laisse reposer le tout au bout de 20 minutes et on mesure les éléments suivants : [15]

- hauteur h1 : sable propre +éléments fins (floculant).
- hauteur h2 : sable propre seulement.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Piston	93.80 %
Visuel	97.40 %

Donc, ce sable est très propre et acceptable pour la composition de béton et de mortier.[15]

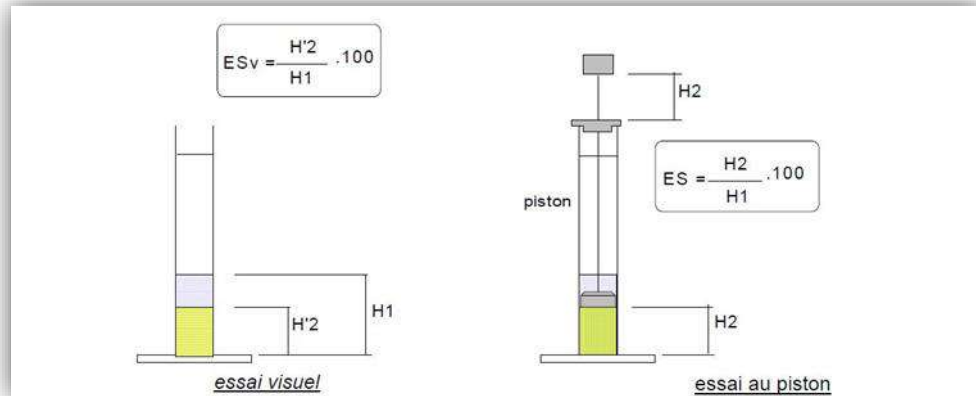


Figure II.3 : Essai équivalent de sable. [15]

II.2.1.5. Analyse chimique du sable des dunes.

Le tableau (II.2) montre les pourcentages des composants chimiques du sable des dunes, cette analyse est réalisée au laboratoire LTP Sud de Ouargla.[15]

Tableau II.2. Composition chimique du sable.

Composants	Pourcentages %
Fe 2O ₃ - AL ₂ O ₃	0,25
SO ₄ Ca , 2H ₂ O	2,78
SO ₄	0,51
Ca CO ₃	1,30
Insoluble	93,23
Na cl	0,77
Perte au Feu	1,16

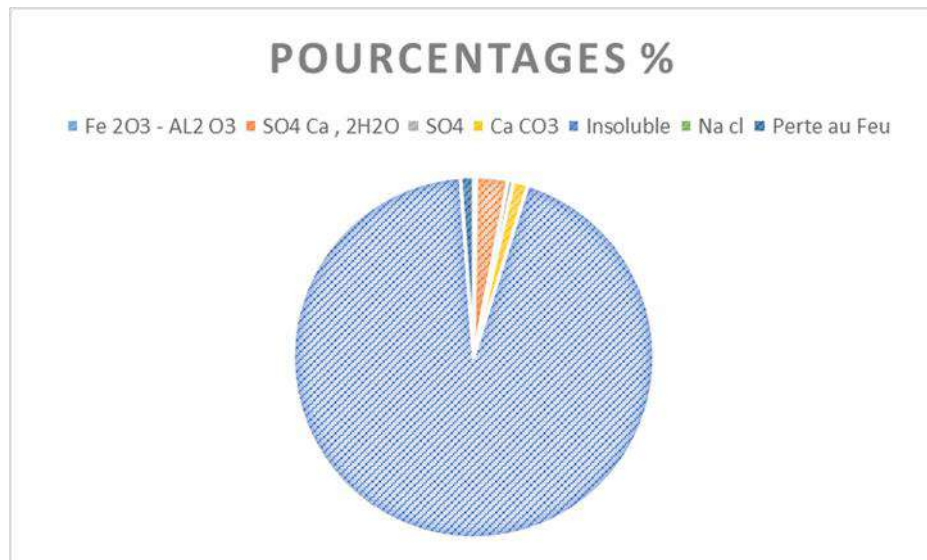


Figure II.4. Pourcentages des composants chimiques du sable des dunes.

II.3. La résine acrylique

La résine acrylique de renfort pour plâtre, utilisée dans les industries des composites, du bâtiment et de la reproduction. Il s'agit d'un système polymère, acrylique/résine minérale mono-composant, à base d'eau, qui peut être lamifié, coulé et injecté manuellement et au pistolet lorsqu'il est mélangé à un plâtre ou à un mortier. Ses utilisations principales comprennent les éléments architecturaux structurels et décoratifs, les systèmes de construction, les moulages de reproduction, les revêtements de mousse, et les outils et les prototypes [16]



Figure II.5. Résine acrylique marque « MIDY » locale commercialisée en Algérie



Figure II.6. La texture de la résine acrylique marque « MIDY »

II.3.1. Caractéristiques/avantages de la résine acrylique.

- Facile à utiliser avec des rapports de mélange simples.
- Faible viscosité, facilité de mélange.
- Base aqueuse - nettoyage des outils à l'eau.
- Liquide blanchâtre, peut être pigmenté et chargé.
- Résistant au feu.
- Faible odeur.
- Respect de l'environnement, très basse toxicité.
- Excellente résistance.
- Utilisable à des températures proches de 0°C (avec augmentation du temps de prise). [16]

II.3.2. Données techniques.

Apparence : liquide blanchâtre.

Densité : L'essai consiste à creuser une cavité, à recueillir et peser la totalité du matériau extrait, puis à mesurer le volume de la cavité à l'aide d'un densitomètre à membrane. L'appareil est doté d'un piston qui, sous l'action de l'opérateur, refoule un volume d'eau dans une membrane étanche qui épouse la forme de la cavité. Une tige graduée permet de lire directement le volume. Cet essai permet de déterminer la bonne mise en œuvre des matériaux.[16]

Densité : 1.02 g/cm³

Viscosité (25°C) : Les méthodes de mesure de la viscosité actuellement utilisées dans la production actuelle comprennent le viscosimètre, le tube de viscosité à bille tombante, le tube de viscosité à bulles, ...etc. Connaître la viscosité de solubilité de la résine permet de comprendre ses propriétés.

Viscosité : 50 MPa.s

Ratio mix (en poids) : 50% de résine (soit 1kg de résine liquide pour 2kg de plâtre).

Temps de démoulage : entre 5 – 12 h selon la charge utilisée.

Durcissement complet : 7 jours.

Température d'utilisation : 20-25°C.

Température minimum : 0°C avec une augmentation du temps de prise.[16]

II.4. Le polystyrène expansé.

Le polystyrène est un polymère aromatique synthétique fabriqué à partir du monomère styrène, dérivé des produits pétroliers (Le benzène, l'éthylène). Le polystyrène peut être solide ou moussé. Le polystyrène est un thermoplastique transparent et incolore, couramment utilisé pour la fabrication d'isolants en mousse ou en aggloméré, et un type d'isolant en vrac constitué de petites billes de polystyrène. Les mousses de polystyrène contiennent de 95 à 98% d'air. Les mousses de polystyrène sont de bons isolants thermiques et donc souvent utilisées comme isolants de bâtiment, par exemple dans les coffrages isolants en béton et les systèmes de construction en panneaux isolés structurels. Le polystyrène expansé (EPS) et le polystyrène extrudé (XPS) sont tous les deux fabriqués à partir de polystyrène, mais l'EPS est composé de petites billes de plastique qui sont fusionnées et le XPS est confectionné à partir d'un matériau fondu pressé sous forme de feuilles. Le XPS est le plus souvent utilisé comme isolant en mousse.[17]

Le polystyrène expansé (EPS) est une mousse rigide et résistante à cellules fermées. Les applications du bâtiment et de la construction représentent environ les deux tiers de la demande de polystyrène expansé. Il est utilisé pour l'isolation des murs (creux), des toits et des sols en béton. En raison de ses propriétés techniques telles que son faible poids, sa rigidité et sa facilité de formage, le polystyrène expansé peut être utilisé dans une large gamme d'applications, par exemple des plateaux, des assiettes et des boîtes à poisson. [17]



Figure II.7. Polystyrène expansé sous forme bloc [18]

❖ Fiche technique

Famille du matériau : Plastiques

Applications/Domaines possibles : Le PSE peut être utile à la réalisation de terrasses, certains PSE peuvent être également utilisés en toiture, les emballages d'appareils fragiles en PSE et isolation thermique des bâtiments sous forme expansé ou extrudé.

Mode de présentation/Formes/Dimensions... : Le polystyrène expansé se présente sous forme de blocs légers à forme variable. Il est sculptable en n'importe quelle forme.

Procédés de fabrication : La fabrication du polystyrène expansé est effectuée par expansion à la vapeur d'eau de gouttes de polystyrène pour former un isolant à structure cellulaire fermée, rempli de pentane résultant de l'expansion de la bille. Les billes sont composées de monomère styrène

Lieu de fabrication/Origine : « En 2014, les capacités de production de polystyrène étaient de 7,661 millions de tonnes par an en Asie, dont 2,3 millions de tonnes par an en Chine et 818 000 tonnes par an au Japon, 2,736 millions de tonnes par an en Amérique du Nord, 2,262 millions de tonnes par an en Europe. Le polystyrène expansé a été inventé par hasard en 1944 par Ray Mc Intire (1919-1996) un chimiste travaillant pour Dow Chemical., Il fut commercialisé sous le nom de Styrofoam et utilisé à l'origine comme isolant thermique pour les bâtiments. »

Unité : « m² »

Coût du matériau : Le cout de fabrication d'un mètre carré de PSE à 10 cm d'épaisseur s'élève approximativement à 1000 DA en toutes taxes.

Caractéristiques techniques

Composition : Le Polystyrène expansé (PSE) est un plastique, dont la composition est à 98% d'air ce qui lui confère des propriétés de protection contre les chocs et d'isolation thermique

Aspect : « Le PSE se présente sous forme de bloc composé de perles de PS pré-expansé collées les unes aux autres par système d'injection sous pression d'un gaz, ce qui le rend un matériau très léger, rigide et avec une surface assez lisse »

Solide/Liquide/Souplesse : Solide

Réfraction de la lumière : L'indice de réfraction du PS : $n = 1.5916$

Masse volumique : 15 kg/m³

Densité : 0.015

Résistance mécanique/traction/compression/flexion/cisaillement : Une résistance à la traction de 30 à 100 Mpa

Module d'élasticité/rigidité : 2400 N/mm²

Conductivité thermique : Une conductivité thermique de 0.17W/m.K

Dilatation/Retrait thermique : Son coefficient de dilatation thermique est de 0.70

Conducteur électrique : Le PSE n'est pas un conducteur électrique

Coefficient d'absorption acoustique : Possède une capacité d'absorption de 52 à 57 dB

Isolant acoustique : Oui

Classement au feu/Indice de fumée : Bien qu'imperméable et étanche à l'eau, le PSE est vulnérable au feu, en cas d'incendie il libère du CO₂, de la vapeur d'eau, du monoxyde de carbone, des suies ainsi que des vapeurs très toxiques pour l'homme. Classement au feu A1 (Euroclass E ou B)

Hydrophile/étanche/solubilité/porosité/perméabilité : « Bonne étanchéité, bonne imperméabilité, insoluble et non poreux »

Consigne d'entretien : Ne nécessite pas d'entretien particulier.

Caractéristiques environnementales et sanitaires :

Durée de vie : L'air emprisonné dans la structure en « nid d'abeille » (alvéolé) lui confère une bonne stabilité dans le temps

Recyclage : Le polystyrène est 100% recyclable, mais il est longtemps resté peu intéressant à valoriser en raison de son volume (98% de Gaz pour 2% de matière valorisable)

Classification déchets : 15 01 02 Emballages en matières plastiques

Contact alimentaire : Oui [19]

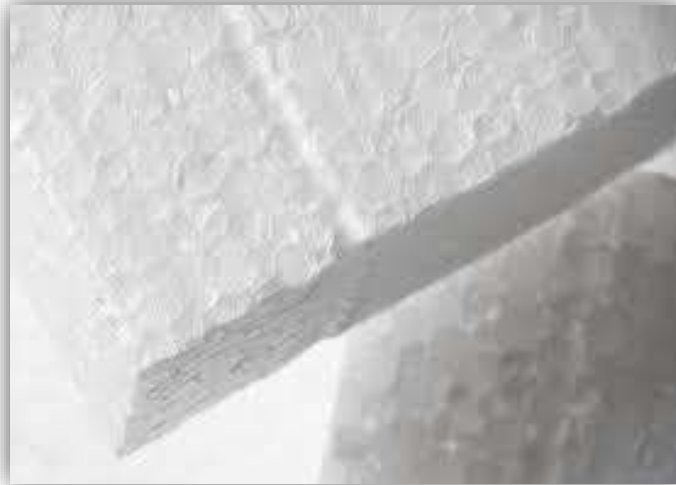


Figure II.8. Agrandissement pour découvrir les pellicules de polystyrène expansé [20]

II.5. Conclusion.

Vu la disponibilité abondante d'un élément important dans la production de notre produit d'étude actuellement faiblement utilisé et ne pose nullement un problème de rareté même à long terme dans notre pays possédant un immense territoire sablonneux, le sable des dunes présente un matériau très efficace vu ses caractéristiques mécaniques avec sa composition qui assure une capacité thermique acceptable.

La résine acrylique et le polystyrène expansé, matériaux transformés dans des usines nationales spécialisés à partir des déchets pétroliers dégagés des grands complexes des hydrocarbures implantés dans les différentes régions du pays

On remarque à travers l'examen des fiches techniques de ces deux produits, que leurs caractéristiques mécaniques et thermiques sont à haut niveau sur l'échelle d'acceptabilité.

Chapitre III : Résultats et interprétations

Chapitre III résultats et interprétations

III.1. Introduction.

Ce chapitre consacré à l'étude expérimentale de ce projet à travers lequel on détermine les caractéristiques thermomécaniques des matériaux par la confection des prototypes en vue de faire la comparaison et découvrir l'influence de ce produit de revêtement ce qui nous aide à évaluer sa capacité réelle de l'isolation thermique

Par la suite on procède à l'analyse des résultats obtenus à la fin de l'essai réalisé sous forme de graphes, ces derniers nous permettent de connaître l'efficacité du matériau qui répond à cette exigence.

III.2. Production des panneaux Foam Ouargla stone

Le polystyrène expansé acquis du marché sous forme de blocs de différentes dimensions est exposé en première phase à un découpage à l'aide d'une machine CNC à chaud et selon les mesures suivantes : 60 cm de longueur, 60 cm de largeur et 3 cm d'épaisseur. Le produit obtenu prendra une forme de plaque à différents motifs présélectionnés en pièces autobloquantes. Les nouvelles pièces seront couvertes par une couche de protection composée d'un mélange de résine acrylique locale et de sable des dunes, la préparation de ce dernier passera par les étapes suivantes :



Figure III.1.Machine CNC à chaud [21]

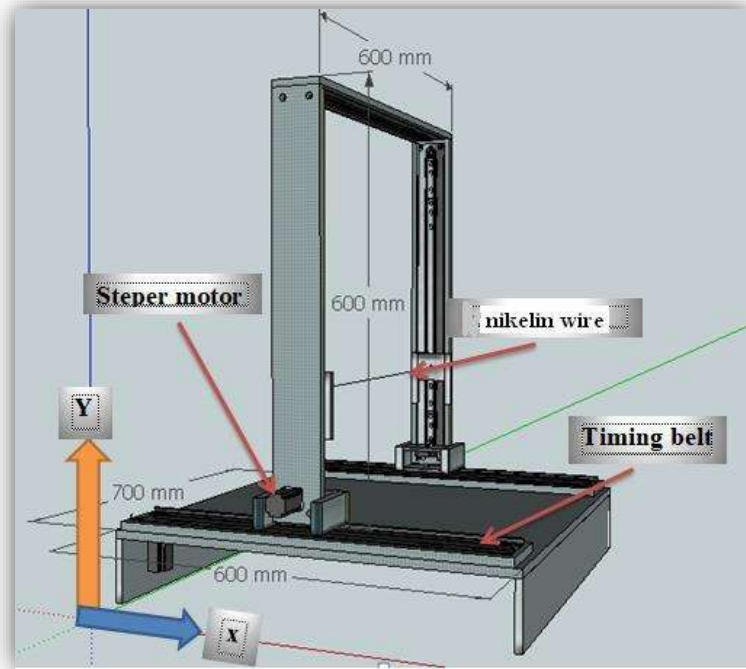


Figure III.2. Les dimensions de la machine CNC à chaud [22]

Pour obtenir les échantillons avec de différentes variantes :

Variante 1 :

On pèse une quantité de 1237.5 g (99%) de sable des dunes et on ajoute 12,5 g de résine acrylique (1%) avec une quantité de 20% d'eau qui égale 250g, cette quantité totale permet d'obtenir 3 échantillons cylindriques de diamètre 5 cm et 10 cm d'hauteur.

Variante 2 :

On pèse une quantité de 1225g (98%) de sables des dunes et on ajoute 25 g de résine acrylique (2%) avec une quantité de 20% d'eau qui égale 250 g, cette quantité totale permet d'obtenir 3 échantillons cylindriques de diamètre 5 cm et 10 cm d'hauteur.

Variante 3 :

On pèse une quantité de 1200g (97%) de sable des dunes et on ajoute 37,5 g de résine acrylique (3%) avec une quantité de 20% d'eau qui égale 250g, cette quantité totale permet d'obtenir 3 échantillons cylindriques de diamètre 5 cm et 10 cm d'hauteur.

Variante 4 :

On pèse une quantité de 1200 g (96%) de sable des dunes et on ajoute 50 g de résine acrylique (4%) avec une quantité de 20% d'eau qui égale 250g, cette quantité totale permet d'obtenir 3 échantillons cylindriques de diamètre 5 cm et 10 cm d'hauteur.

Variante 5 :

On pèse une quantité de 1187,5g (95%) de sable des dunes et on ajoute 62,5 g de résine acrylique (5%) avec une quantité de 20% d'eau qui égale 250g, cette quantité totale permet d'obtenir 3 échantillons cylindriques de diamètre 5 cm et 10 cm d'hauteur.



Figure III.3. Mesure des composants.



Figure III.4. Type de malaxage manuel.



Figure III.5. La texture de la pâte pour la couche de protection.



Figure III.6. Les échantillons obtenus.

Tous les échantillons de la pâte obtenus subissent les essais suivants :

Essais de poids volumique.

Essai de compression.

NB : à cause de faible pourcentage de liant hydraulique (résine acrylique), on ne peut pas obtenir les échantillons de variation 1.

III.2.1. Caractéristiques des matériaux composant la couche de protection.

III.2.1.A. La masse volumique.

C'est le rapport entre la masse d'un corps et l'unité de volume apparent (y' compris les vides). Elle est exprimée en (g/cm^3 , Kg/m^3 , t/m^3). Le principe de cette mesure consiste à remplir un récipient avec un volume intérieur connu et de peser la quantité de matériau correspondant.[13]

- Laisser l'échantillon sécher.
- Tirer l'échantillon du moule.
- Noter la masse M d'échantillon pesé

- Mesurer les dimensions de l'échantillon pour avoir le volume réel.
- Refaire l'opération 3 fois pour valider l'essai.
- La masse volumique est déterminée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Tableau III.1. Résultats des poids volumiques.

Les variantes	Résultats (kg/m³)
E2	1476,17
E3	1556,43
E4	1638,54
E5	1576,39

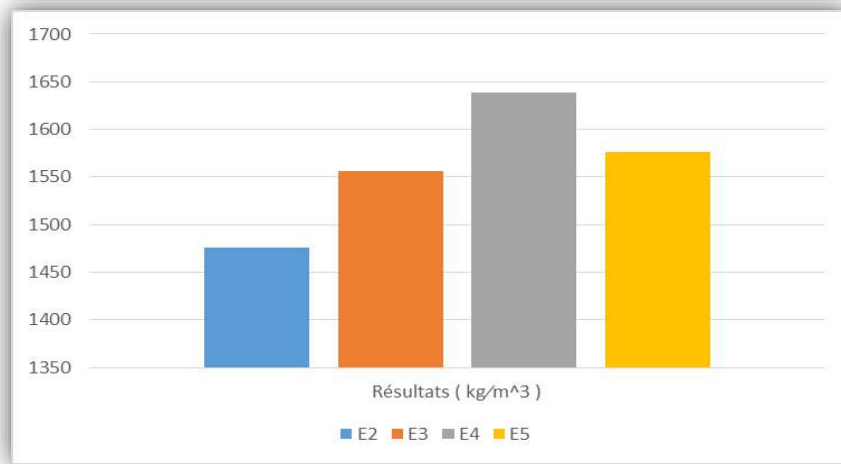


Figure III.7. Résultats des poids volumiques.

III.2.1.B. Essai de compression.

L'essai de compression sur les échantillons des variantes précédentes est présenté par le tableau et le diagramme suivants :

Tableau III.2. Résultats de l'essai de compression en Mpa.

Les variantes	Résultats (Mpa)
E2	0,67
E3	0,95
E4	1,46
E5	2,08

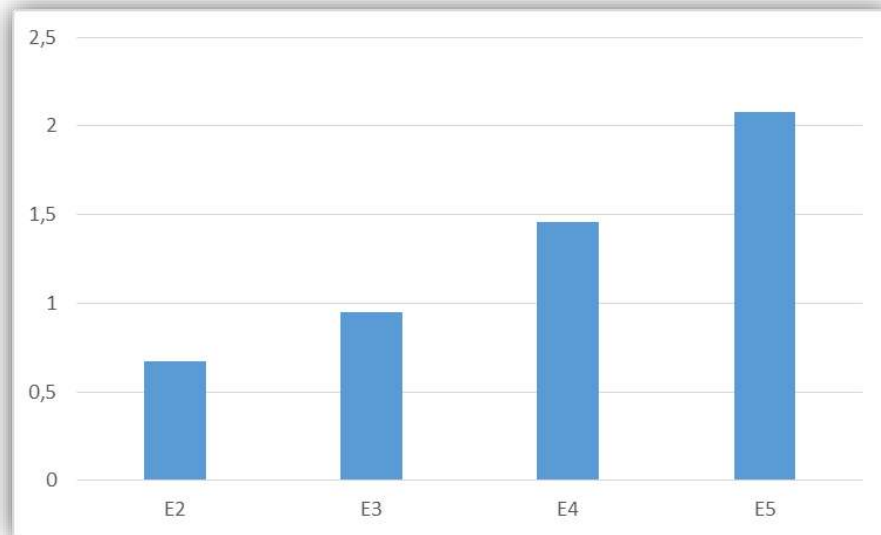


Figure III.8. Résultats de l'essai de compression en Mpa.



Figure III.9 : L'échantillon après l'essai de compression

III.2.2. Confection des panneaux FOS .

Pour obtenir les panneaux dans l'état final on suit les étapes suivantes :

Après avoir les résultats des échantillons on à choisir les composants de la pâte ayant obtenu les résultats les plus performants

- Mettre une quantité de 3800 g (95 %) de sable des dunes dans un appareil mélangeur électrique et on ajoute 200g (5 %) de résine acrylique avec une quantité de 20 % d'eau qui égale 800 g.
- Mélanger le tout pendant un quart d'heure en vue d'obtenir la texture appropriée.
- Après avoir les panneaux à travers la machine CNC à chaud et à l'aide d'un moule métallique préparé par découpage plasma d'une tôle d'épaisseur de 10 mm au minimum et qui devrait être conforme aux dimensions de la coupe transversale de la plaque polystyrène précédente en ajoutant une marge de 3-6 mm sur les ancienne dimension, cette marge représente l'épaisseur de la couche de protection.

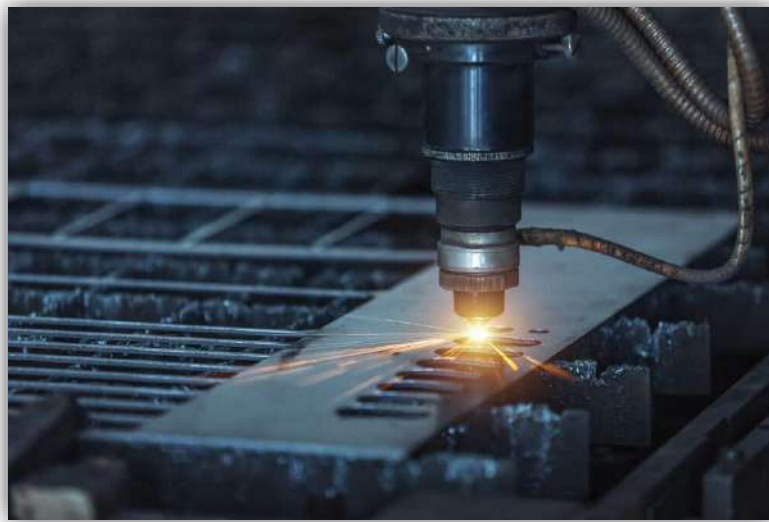


Figure III.10. Mode de découpage plasma [23]

- Mettre la pâte sur la surface extérieure de la plaque polystyrène expansé et en passant le moule sur toute la surface en vue d'obtenir la plaque polystyrène expansé couverte d'une couche de protection.
- Une fois séchée, la plaque est exposée à l'air libre pendant 24 h de temps, la plaque sera prête à l'utilisation. Après avoir les résultats des essais de l'ultra son sur des échantillons de 20×20 cm de panneau.

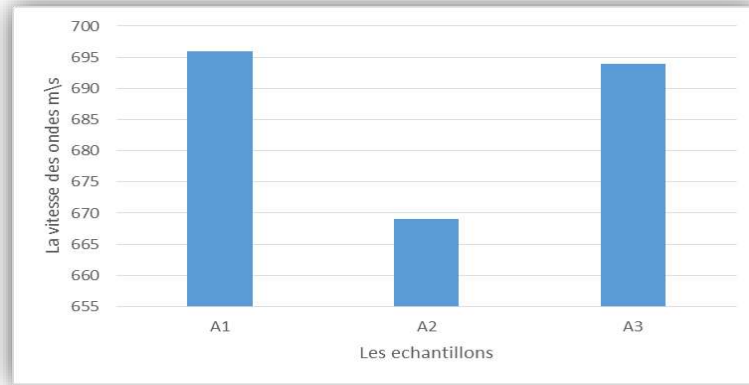


Figure III.1. Les résultats de l'essai de l'ultra son

- Les figures jointes illustrent les dimensions finales de panneau obtenu, son prototype basic et les manières de son montage sur les murs à l'aide de ciment colle disponible sur le marché sous référence de C++ .

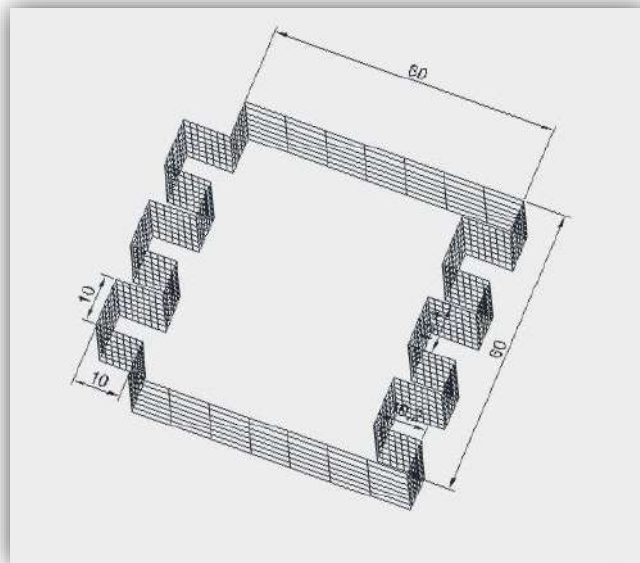


Figure III.12. Les dimensions finales des panneaux.



Figure III.13. Le prototype basic du panneau obtenu



Figure III.14. La manière de montage des panneaux sur mur [24]

Pour étudier l'efficacité de l'isolation thermique des panneaux, nous avons mené une expérience thermique, qui est la suivante :

III.3. Réalisation des prototypes et l'expérience thermique effectuée.

III.3.1. Réalisation des prototypes.

On a réalisé 3 prototypes dans le lieu précédemment situé afin de mesurer la température intérieure et extérieure

Le prototype A1

1 – Construire un prototype de dimensions 1 mètre sur 1 mètre, sur 1 mètre de hauteur, en brique rouge de 15 cm et sans bardage extérieur avec une dalle en béton armé d'épaisseur de 10 cm.



Figure III.15. Prototype A1.

Le prototype A2

2- Construire un deuxième prototype avec les mêmes dimensions que le précédent, en utilisant les mêmes matériaux, recouvert avec l'enduit de ciment



Figure III.16. Prototype A2.

Le prototype A3

2- Construire un troisième prototype avec les mêmes dimensions que le précédent, en utilisant les mêmes matériaux, recouvert avec des panneaux isolants obtenus



Figure III.17. Prototype A3.

Tableau III.3. Les éléments constructifs des prototypes

Les prototypes	Les dimensions	Type des parois	Type de dalle	Revêtement
A1	(1×1×1) m	Briques de terre cuites	Béton armé	Aucun
A2	(1×1×1) m	Briques de terre cuites	Béton armé	Enduit de ciment
A3	(1×1×1) m	Briques de terre cuites	Béton armé	Panneau FOS

III.3.2. L'expérience thermique effectuée sur les prototypes.

Afin de répondre à une problématique thermique énigmatique, il devient nécessaire de réaliser des simulations à l'aide d'outils comme des prototypes qui sont indispensables pour obtenir des résultats quantifiables significatifs. Pour y parvenir, nous devons intégrer deux paramètres cruciaux qui revêtent une importance particulière dans les contextes thermiques. Ces paramètres concernent deux grandeurs thermiques : la température, qui caractérise les propriétés

thermiques du matériau, et la chaleur, plus précisément la grandeur thermique absorbée. Le deuxième paramètre concerne le temps, noté T, étant donné que la température de l'environnement extérieur fluctue continuellement tout au long du jour et de la nuit selon un cycle de 24 heures, les conditions thermiques au sein d'une pièce restent toujours variables. Tous ces paramètres, dont la température et l'humidité, subissent des variations. Pour une période déterminée de l'année (on considère la période la plus chaude), nous enregistrons les caractéristiques de comportement thermique du système (température et humidité), donc il est essentiel d'utiliser les trois prototypes pour obtenir des résultats significatifs. Les deux paramètres cruciaux à considérer sont la température, qui influence les propriétés thermiques du matériau, et la quantité de chaleur absorbée, ainsi que le temps (T). La température extérieure varie sur un cycle de 24 heures, impactant ainsi les conditions thermiques intérieures, notamment la température et l'humidité. En analysant la période la plus chaude de l'année, nous enregistrons le comportement thermique du système sur une durée déterminée.

III.4. Résultats et interprétations.

III.4.1. Caractéristiques thermiques des matériaux composant les prototypes.

Tableau III.4. Tableau d'abréviation

Composant	Code
Brique de terre cuites	C1
Enduit de ciment	C2
Polystyrène expansé FOS	C3

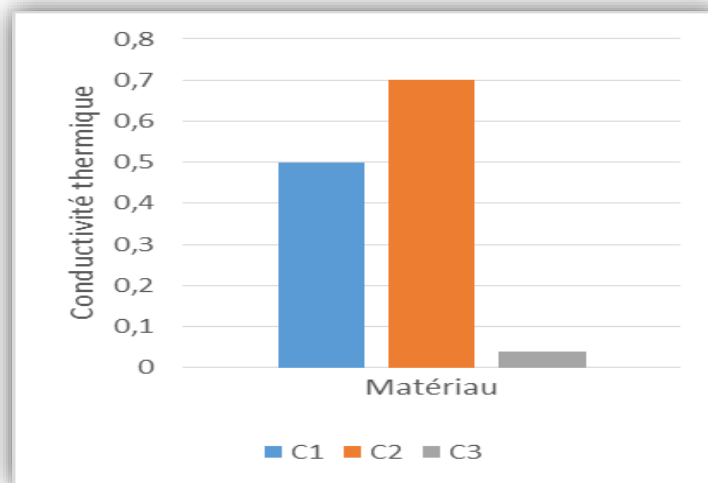


Figure III.18. La conductivité thermique des matériaux composant les prototypes.

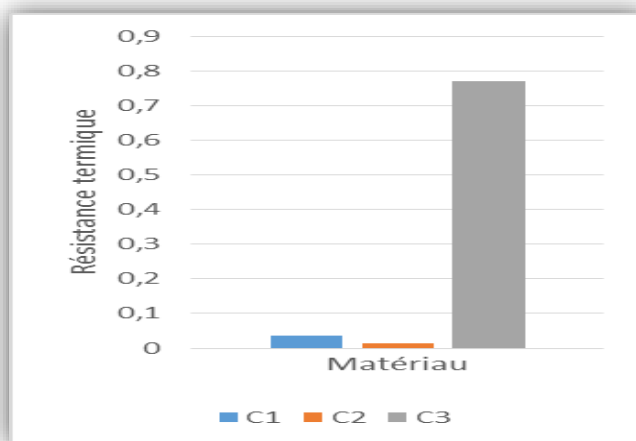


Figure III.19. La résistance thermique des matériaux composant les prototypes.

III.4.2. L'influence de la température sur le prototype A1.

Tableau III.5 Les températures enregistrées durant la journée du 25-07-2023 du prototype A1

Heure	Température extérieure en C°	Température intérieure en C°	Confort Min en C°	Confort Max en C°	HR %
08:00	33,9	38,1	24	30	14
09:00	36,2	38	24	30	14
10:00	39,1	40,9	24	30	12
11:00	45,8	44,8	24	30	11
12:00	50,1	48,6	24	30	11
13:00	53,3	50,7	24	30	13
14:00	56,2	54,4	24	30	11
15:00	57,5	54,6	24	30	11
16:00	55,3	53,9	24	30	12
17:00	53,3	51,3	24	30	11
18:00	48,6	47,1	24	30	11
19:00	45,3	44,6	24	30	11
20:00	43,7	42	24	30	13

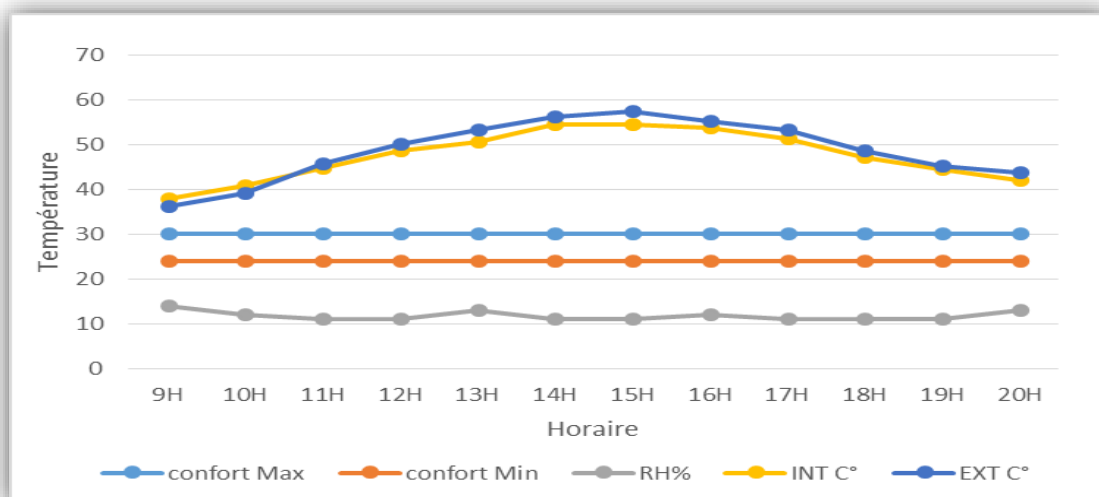


Figure III.20. L'influence de la température sur A1

D'après l'observation du graphe dans le tableau III.5, on constate que la température intérieure augmente progressivement de 38 à 55 °C en réponse à l'élévation de la température extérieure de 38 à 58 °C. Durant les premières heures, la température intérieure dépasse celle de l'extérieur en raison de la dalle en béton qui retient la chaleur.

Tableau III.6. Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype A1.

Heure	T.ext C°	T . int C°	$\Delta T1$
08:00	33,9	38,1	-4,2
09:00	36,2	38	-1,8
10:00	39,1	40,9	-1,8
11:00	45,8	44,8	1
12:00	50,1	48,6	1,5
13:00	53,3	50,7	2,6
14:00	56,2	54,4	1,8
15:00	57,5	54,6	2,9
16:00	55,3	53,9	1,4
17:00	53,3	51,3	2
18:00	48,6	47,1	1,5
19:00	45,3	44,6	0,7
20:00	43,7	42	1,7

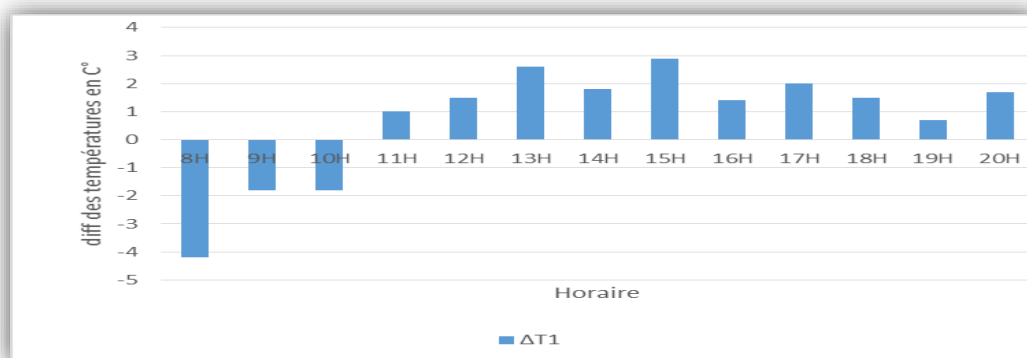


Figure III.21. La différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur du prototype A1

D'après la figure III.21, le prototype A1 présente un écart thermique significatif, atteignant près de 3 °C. Cela indique que les murs en brique ont empêché la chaleur de pénétrer à l'intérieur. Les matériaux utilisés dans A1 ont démontré des propriétés isolantes, assurant une isolation thermique acceptable.

III.4.3. L'influence de la température sur prototype A2.

Tableau III.7. Les températures enregistrées durant la journée du 25-07-2023 de prototype A2

Heure	T ext en C°	T int en C°	Confort min en C°	Confort max en C°	HR %
8:00	33,9	37,2	24	30	14
9:00	36,2	36,9	24	30	14
10:00	39,1	40,2	24	30	12
11:00	45,8	43,9	24	30	11
12:00	50,1	48	24	30	11
13:00	53,3	49,9	24	30	13
14:00	56,2	54	24	30	11
15:00	57,5	53,9	24	30	11
16:00	55,3	53	24	30	12
17:00	53,3	50,9	24	30	11
18:00	48,6	46,7	24	30	11
19:00	45,3	44	24	30	11
20:00	43,7	42	24	30	13

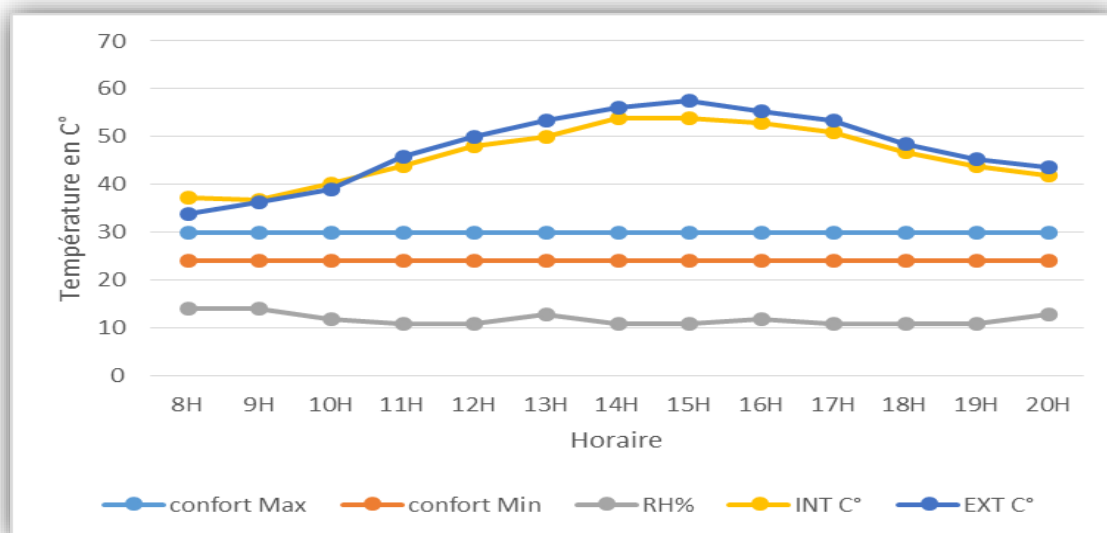


Figure III.22.L'influence de la température sur A2.

L'observation du graphe dans le tableau III.7 révèle que la température intérieure augmente de 36 à 54 °C en réponse à la hausse de la température extérieure de 33 à 57 °C. Durant les premières heures, la température intérieure dépasse celle de l'extérieur en raison de l'accumulation de chaleur par la dalle en béton.

Tableau III.8. Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype A2.

Heure	T ext en C°	T int en C°	ΔT_2
8:00	33,9	37,2	-3,3
9:00	36,2	36,9	-0,7
10:00	39,1	40,2	-1,1
11:00	45,8	43,9	1,9
12:00	50,1	48	2,1
13:00	53,3	49,9	3,4
14:00	56,2	54	2,2
15:00	57,5	53,9	3,6
16:00	55,3	53	2,3
17:00	53,3	50,9	2,4
18:00	48,6	46,7	1,9
19:00	45,3	44	1,3
20:00	43,7	42	1,7

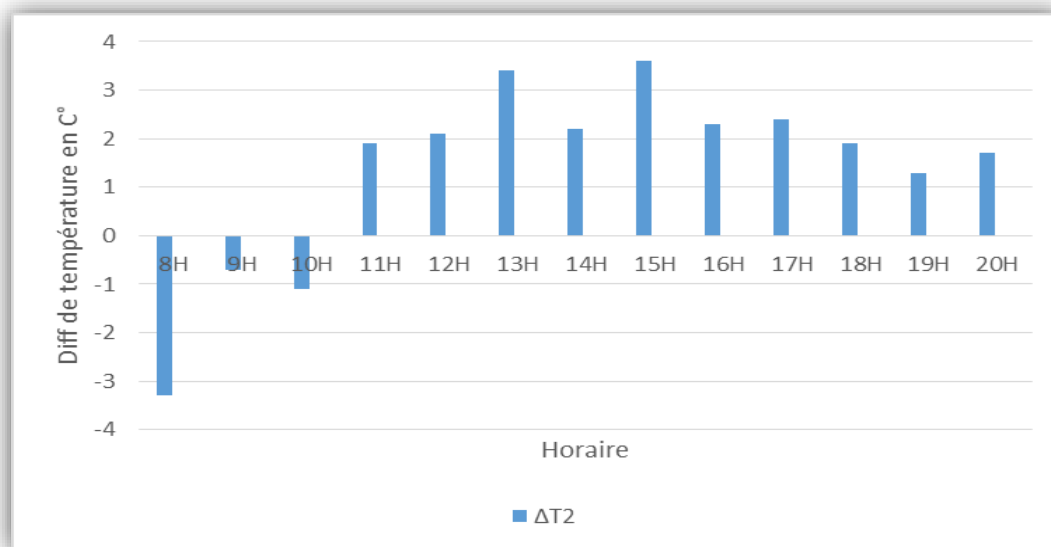


Figure III.23. La différence de température entre l’intérieur et l’extérieur du prototype A2.

Les résultats de la figure III.23 montrent que, durant les premières heures, la température intérieure dépasse celle de l'extérieur. Cela s'explique par l'absorption de chaleur par la dalle en béton, malgré la présence d'une couche d'enduit de ciment sur les murs.

III.4.4. L’influence de la température sur le prototype A3

Tableau III.9. Les températures enregistrées durant la journée du 25-07-2023 de prototype A3.

Heure	T. ext en C°	T. int en C°	Confort Min en C°	Confort Max en C°	HR %
8:00	33,9	30,5	24	30	14
9:00	36,2	32	24	30	14
10:00	39,1	33	24	30	12
11:00	45,8	40	24	30	11
12:00	50,1	43	24	30	11
13:00	53,3	45	24	30	13
14:00	56,2	47	24	30	11
15:00	57,5	49	24	30	11
16:00	55,3	47,5	24	30	12
17:00	53,3	45,5	24	30	11
18:00	48,6	41	24	30	11
19:00	45,3	39	24	30	11
20:00	43,7	36	24	30	13

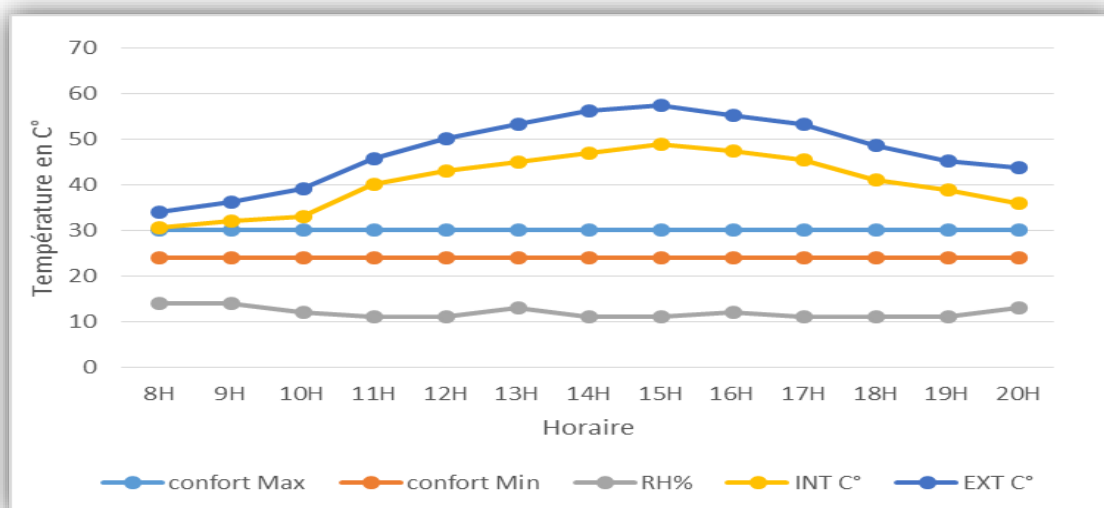


Figure III.24.L'influence de la température sur A3.

La figure III.24 révèle que, dans le prototype A3, la température intérieure reste constamment inférieure à celle de l'extérieur tout au long de la journée. Initialement, la différence est faible, mais elle s'accroît progressivement pour arriver à 9,2 °C. Cette performance est attribuée à l'efficacité thermique des panneaux FOS, qui offrent une bonne résistance thermique.

Tableau III.10. Résumé de la différence entre la température intérieure et la température extérieure du prototype A3.

Heure	T ext en C°	T int en C°	ΔT2
8 :00	33,9	30,5	3,4
9 :00	36,2	32	4,2
10 :00	39,1	33	6,1
11 :00	45,8	40	5,8
12 :00	50,1	43	7,1
13 :00	53,3	45	8,3
14 :00	56,2	47	9,2
15 :00	57,5	49	8,5
16 :00	55,3	47,5	7,8
17 :00	53,3	45,5	7,8
18 :00	48,6	41	7,6
19 :00	45,3	39	6,3
20 :00	43,7	36	7,7

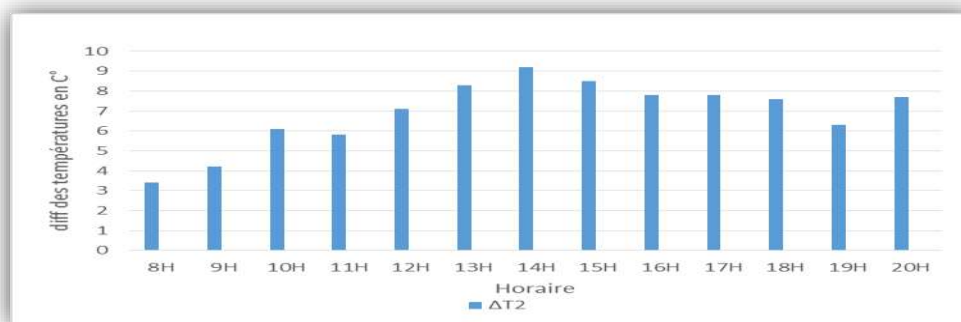


Figure III.25. La différence de la température entre l’intérieur et l’extérieur du prototype A3.

Selon les résultats de la figure III.25 Dès les premières heures, la température interne du prototype A3 est inférieure à la température externe, ce qui est directement lié au matériau utilisé pour le revêtement de ce prototype, confirmant un bon comportement d’isolation thermique. À partir de 13h, la différence de température commence à augmenter jusqu’à atteindre 9°C vers 14h, ce qui peut réduire la climatisation et économiser de l’électricité grâce à la fonction d’isolation thermique des panneaux FOS.

- L’influence de la température sur les prototypes A1, A2 et A3

Tableau III.11. La température enregistrée durant la journée du 25-07-2023 des prototypes A1, A2 et A3.

Heure	T ext en	T int P1	T int P2	T int P3	Confort		HR%
	C°	en C°	en C°	en C°	min	en max en	
					C°	C°	
8:00	33,9	38,1	37,2	30,5	24	30	14
9:00	36,2	38	36,9	32	24	30	14
10:00	39,1	40,9	40,2	33	24	30	12
11:00	45,8	44,8	43,9	40	24	30	11
12:00	50,1	48,6	48	43	24	30	11
13:00	53,3	50,7	49,9	45	24	30	13
14:00	56,2	54,4	54	47	24	30	11
15:00	57,5	54,6	53,9	49	24	30	11
16:00	55,3	53,9	53	47,5	24	30	12
17:00	53,3	51,3	50,9	45,5	24	30	11
18:00	48,6	47,1	46,7	41	24	30	11
19:00	45,3	44,6	44	39	24	30	11
20:00	43,7	42	42	36	24	30	13

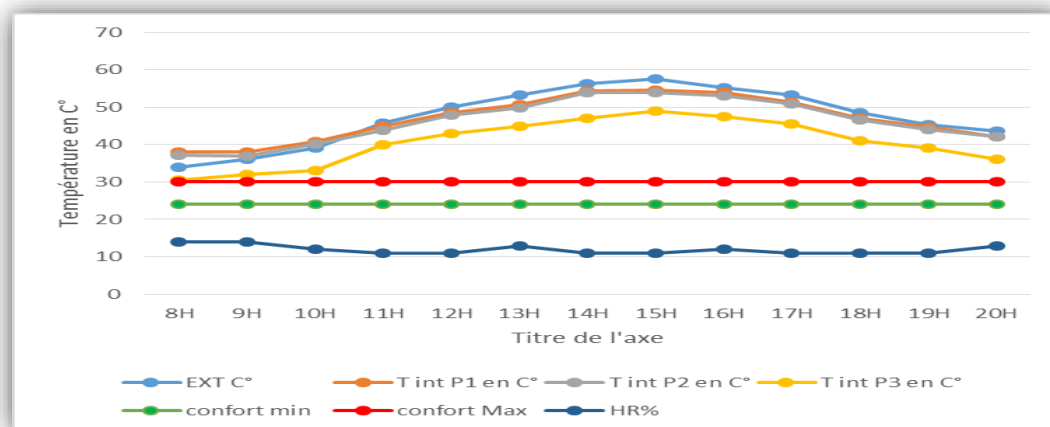


Figure III.26.L'influence de la température sur les prototypes A1, A2, A3.

- Pour le prototype. A1, nécessite une consommation énergétique élevée à cause de l'utilisation de climatisation apparemment pendant toute la journée
- Pour le prototype. A2, nous offre des résultats qu'on peut considérer mieux que le prototype précédent.
- Pour le prototype A3, le revêtement des murs avec des panneaux FOS nous offre des résultats très acceptable qui aboutissent à un confort thermique efficace par rapport aux les autres prototypes réalisés.

Tableau III.12. Résumé de la différence de la température intérieure et la température extérieure des prototypes A1, A2 et A3

Heure	$\Delta T1$	$\Delta T2$	$\Delta T3$
8:00	-4,2	-3,3	3,4
9:00	-1,8	-0,7	4,2
10:00	-1,8	-1,1	6,1
11:00	1	1,9	5,8
12:00	1,5	2,1	7,1
13:00	2,6	3,4	8,3
14:00	1,8	2,2	9,2
15:00	2,9	3,6	8,5
16:00	1,4	2,3	7,8
17:00	2	2,4	7,8
18:00	1,5	1,9	7,6
19:00	0,7	1,3	6,3
20:00	1,7	1,7	7,7

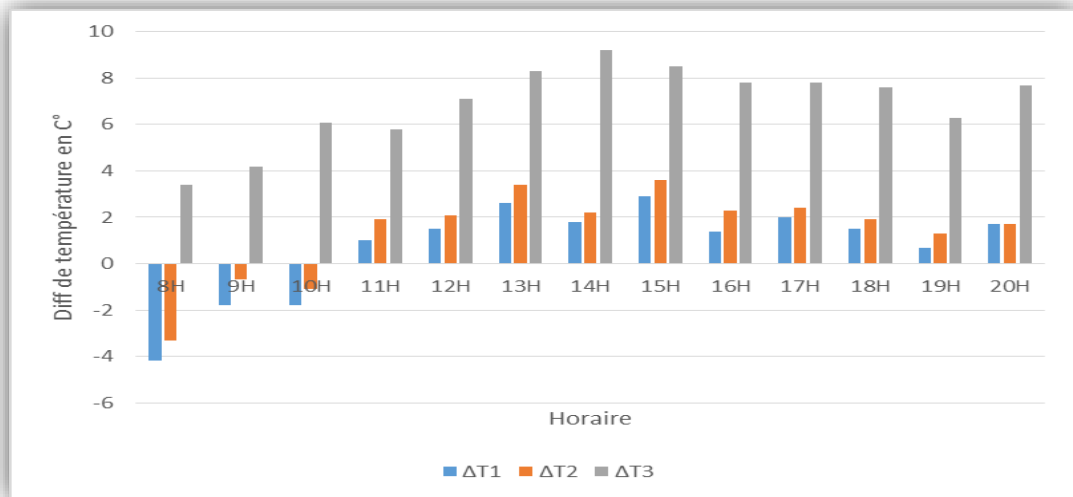


Figure III.27. La différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur des prototypes (A1, A2 et A3).

D'après la figure III.27 on écrit les remarques suivantes :

- **Pour le prototype A1**

De 08h:00 à 10h:00 la différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur du P1 est notée des valeurs négatifs de -4,2 à -1,8 C°.

De 11h:00 à 20h:00 la différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur du P1 est positif et arrive jusqu'à 2,9 C°.

- **Pour le prototype A2**

De 08h:00 à 10h:00 la différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur du P2 est notée des valeurs négatifs de -3,3 à -0,7 C°.

A partir de 11h00 on remarque une faible différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur du P2 avec une valeur maximale de +3,6°C.

- **Pour le prototype A3**

De 8h :00 à 14h :00 00 la différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur du P3 est toujours positif de +3,4 à +9,2°C.

A partir de 14h00 00 la différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur du P3 est restée stable avec une moyenne de +7,8°C.

III.5. Conclusion

L'objectif de cette recherche est de valorisé un produit purement local adapté aux conditions architecturales et climatiques de la région, dans le souhait de préserver le patrimoine local avec ses diversités sociales, culturelles et cultuelles. Enfin, cette étude nous permettra de dire que le matériau local élu dans notre recherche qui est les panneaux isolants pour le revêtement extérieur des bâtiments « FOAM OUARGLA STONE » comporte positivement avec les données climatiques de la région, en pouvant sa grande efficacité en isolation thermique par rapport aux matériaux ordinaire de revêtement tels que l'enduit de ciment, la céramique, le marbre et les pierres taillés, qui sont largement utilisés nos jours.

Conclusions et recommandations

A la fin de ce modeste travail de recherche, on peut tirer les enseignements suivants :

- Au long de l'ensemble des époques de toutes les civilisations de l'antiquité à nos jours, l'être humain a fait recours à la nature en vue d'obtenir et de sélectionner le matériau le plus convenable pour répondre à ses besoins en construction, ce choix de matériau reflète vaguement le degré de sa réflexion et traduit le niveau de ses expériences acquises.
- La zone d'étude objet de notre recherche est censée parmi les régions les plus chaudes et sèches en Algérie et au monde et connue par ses ressources abondantes en sable de dunes, obtenir des résultats satisfaisants dans l'introduction de ce matériau dans la construction locale va permettre sa généralisation sur tout le territoire du pays, ainsi qu'inciter les opérateurs économiques à l'exporter en dehors du pays.
- La grande homogénéité et adhérence entre les facteurs composant les panneaux de revêtement extérieur des bâtiments FOAM OUARGLA STONE (sable des dunes, polystyrène expansé et la résine acrylique) ont rendu le produit plus performant aux différents niveaux : thermique, mécanique, phonique et esthétique, confirmé par les analyses des essais thermomécaniques.

Les résultats obtenus à la fin de cette recherche que j'espère qu'ils soient encourageant auront une place néanmoins importante dans le cadre de la stratégie de la valorisation des matériaux locaux, il serait judicieux d'encourager et de soutenir de telles recherches en vue de mieux exploiter ce matériau et de vulgariser son utilisation imminente par tous les intervenants dans le domaine du bâtiment tout en visant de le rendre disponible sur le marché et à des prix compétitifs.

Références bibliographiques

- [1] Adam, Jean-Pierre. *La construction Romaine: matériaux et techniques*. Eyrolles, 1989.
- [2] [en ligne] [consulté le 22.02.2024] disponible à l'adresse : <https://www.rtb.be/article/les-pierres-de-l-egypte-ancienne-10998256>
- [3] [en ligne] [consulté le 22.02.2024] disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/Temple_grec
- [4] [en ligne] [consulté le 22.02.2024] disponible à l'adresse : <https://www.worldhistory.org/trans/fr/2-1741/les-5-sites-romains-les-plus-importants-du-sud-de/>
- [5] Viollet-le-Duc, Eugène. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. B. Bance, 1854.
- [6] [en ligne] [consulté le 12.03.2024] disponible à l'adresse : <https://www.btp-cours.com/essai-sur-la-pierre-dans-la-construction-des-demeures-meridionales-au-moyen-age/>
- [7] Ackerman, James S. *Palladio*. Penguin Books, 1991.
- [8] [en ligne] [consulté le 15.03.2024] disponible à l'adresse : https://en.wikipedia.org/wiki/Palazzo_Rucellai#/media/File:Palazzo_Rucellai.jpg
- [9] Frampton, Kenneth. *Modern Architecture: A Critical History*. Thames & Hudson, 1980.
- [10] [en ligne] [consulté le 20.03.2024] disponible à l'adresse : <https://panoramadelart.com/analyse/crystal-palace>
- [11] Herzog, Thomas, et al. *Facade Construction Manual*. Birkhäuser Architecture, 2004.
- [12] [en ligne] [consulté le 22.03.2024] disponible à l'adresse : https://www.tripadvisor.com/AttractionProductReview-g295424-d13305109-Burj_Khalifa_At_the_Top_entry_with_Fountain_Boardwalk-Dubai_Emirate_of_Dubai.html
- [13] KHERFI.A ,ABBAS.A « Etude thermique des prototypes confectionnés par des briques à la base du plâtre traditionnel Timchemet (période d'été) » Mémoire de master Université de Ouargla , Mai 2020.
- [14] Direction de l'énergie et des mines wilaya d'Ouargla, Données sur l'énergie électrique cas de la wilaya d'Ouargla.
- [15] SAADA.R,OTHMANI.« Etude des caractéristiques Physique-Mécanique du Pisé (cas région de Ouargla) » Mémoire de Master Université de Ouargla, Mai 2019
- [16] [en ligne] [consulté le 25.04.2024] disponible à l'adresse : https://www.prodemmia.fr/sites/default/files/catalogue/fiche_techniques/prodemmia_ft_resine_a_crylprod10_liquide.pdf
- [17] [en ligne] [consulté le 28.04.2024] disponible à l'adresse : [Qu'est-ce-que-le-polystyrène-expansé - EPS - Définition \(thermal-engineering.org\)](http://Qu'est-ce-que-le-polystyrène-expansé-eps-Definition-thermal-engineering.org)
- [18] [en ligne] [consulté le 01.05.2024] disponible à l'adresse : <https://www.lettre-polystyrene.fr/news/quest-ce-que-le-polystyrene-expense-pse/>

Références Bibliographiques

[19] [en ligne] [consulté le 28.04.2024] disponible à l'adresse : <https://materiautheque-laplace.second-degre.ac-normandie.fr/spip.php?article29>

[20] [en ligne] [consulté le 01.05.2024] disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-polystyrene-expande-10104/>

[21] [en ligne] [consulté le 09.05.2024] disponible à l'adresse : <https://www.cnc-multitool.com/cnc-hot-wire-cutting-machine-craft-series-cut3000s.html>

[22] [en ligne] [consulté le 09.05.2024] disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/figure/Wire-CNC-Cutter-design_fig5_346047377

[23] [en ligne] [consulté le 09.05.2024] disponible à l'adresse : <https://www.labbe-france.fr/nos-moyens-de-fabrication/decoupe/>

[24] [en ligne] [consulté le 30.03.2024] disponible à l'adresse : <https://www.expert-ravalement.fr/realiser-isolation-exterieure-polystyrene/>