

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

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

**Faculté des Hydrocarbure et des énergies renouvelables et de Science de la Terre et
de l'univers**

Département des énergies renouvelables



Mémoire de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: sciences et techniques

Filière: Energie renouvelable

Spécialité: Energies Renouvelables en
mécanique

Présenté par:

SAHLI Hossine

BENNACER Adnane

Thème

Etude expérimentale d'un mur à isolation intégré

Soutenu publiquement le: 10/06/2018

Devant le jury

Mr. MAAMMEUR Hossine

Pr. Président

UKM Ouargla

Dr. KHODIR Nouredine

Examineur

UKM Ouargla

Mr. NECIB Hiechem

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

Année Universitaire 2017/2018

Dédicas

Je dédie ce travail

A mes parents pour leur patience, encouragement, soutien et surtout leur amour que Dieu les protège et les offrent une longue vie.

A mes très chers frères et soeurs

A toute ma famille

A tous mes ami(e)s sans exception.

A la promotion de la 2ème année master énergie renouvelable 2017/2018

A tous (es) qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite.

Hossine

Remerciement

*Avant tout, nous remercions **ALLAH** de mon avoir donné le courage,
la patience et la chance d'étudier et suivre,*

*Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre
profonde gratitude et nos vifs remerciements à*

*Mon promoteur **Mr. NECIB Hichem**, pour ses orientations, ses
précieux conseils et sa contribution dans l'élaboration de ce travail.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
l'accomplissement de ce travail,*

*Je exprime mes remerciements aux cadres et agents des laboratoires
énergie renouvelable Surtout Hamid et Djamel, laboratoire de géologie
de université KASDI Merbah Ouargla.*

Nous tenons également à remercier:

Tous nos enseignants du Département d'énergie renouvelable,

Nous tenons, enfin, à remercier les Honorables Membres du

jury, d'avoir accepté de juger ce travail, le Président

Mr. MAAMOUR Hocine** et **Mr. KHODIR Noureddine

comme examinateur.

Sommaire

Dédicace	I
Remerciement	II
Sommaire	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	X
Liste des Notations	XI
Introduction générale	1

Chapitre I: Confort thermique

1. Introduction	3
2. C'est quoi un confort thermique ?	3
3. Les différents paramètres de confort thermique	4
4. Les aspects du confort thermique	5
4.1. Les phénomènes de transfert	6
4.1.1. Conduction	6
4.1.2. Convection	6
4.1.3. Rayonnement	6
5. Les éléments de confort thermique	7
5.1. Eléments environnementaux	7
5.1.1. La température de l'ambiante	7
5.1.2. La température des parois (T_p)	7
5.1.3. L'humidité relative de l'air (HR)	7
5.1.4. La vitesse de l'air	8
5.2. Eléments humain	8
5.2.1. La tenue vestimentaire	8
5.2.2. Le métabolisme	8
6. Le climat dans le sud Algérien	9

Sommaire

Chapitre II: Production du Briques

1. Introduction	11
2. Matière première utilisé (les Argile)	11
2.1. Définition	11
2.2. Extraction	11
2.3. Façonnage	12
2.4. Séchage	12
2.5. Cuissons	14
3. Conclusion	17

Chapitre III: Etude expérimentale

1. Introduction	18
2. Préparation de nos essais	18
2.1. Les étapes de préparation d'Argile	18
2.2. Préparation de (Aristidapungens Desf) Drine	23
2.3. Préparation d'échantillon (mélange Drine-argile)	25
2.4. Préparation de L'isolation thermique	27
3. Le matérielle utilisé	28
4. Résultats et discussions	31
4.1. Pourcentage de Drine	31
4.2. Mesure de La masse volumique	32
4.3. La conductivité thermique λ	36
4.4. Le Flux thermiques	39
4.5. Diffusivité thermique	42
4.6. Capacité thermique	44
4.7. Conclusion numérique de nos essais	45
5. Étude économique	46
5.1. Conservation de l'énergie	46

Sommaire

5.2. Les paramètres utilisés dans les calculs	48
6. Conclusion	54
Conclusion général	55
Références	58

Chapitre I: Confort thermique

Figure I-1: Phénomène de transfert	6
Figure I-2: Echange thermique du corps humain	9
Figure I-3: Table climatique d'Ouargla	10

Chapitre II: Production de Brique

Figure II-1 extraction de l'argile	12
Figure II-2 Coupage de brique moulé	12
Figure II-3 schéma d'un séchoir tunnel de brique	13
Figure II-4: Ventilateurs destinés au brassage de l'air à l'intérieur du séchoir	14
Figure II- 5: Schéma simplifié d'un Four tunnel	15
Figure II- 6: Briques cuis a la sortie de la Four tunnel	15
Figure II- 7: Schéma détaillé de fonctionnement d'un four tunnel	16
Figure II- 8: Brûleurs à haute vitesse dans un four tunnel	16
Figure II- 9: Schéma général de l'opération de production de briques	17

Chapitre III: Etude expérimentale

Figure III-1:Gisement d'argile de Blidet Amor à Ouargla	18
Figure III-2:Argile purifiée	19
Figure III-3: Argile broyé et non broyé	19
Figure III-4: L'Argile fermenté	20
Figure III-5: Argile pétrisse	20
Figure III-6: Le moule utilisé	21
Figure III-7:Argile dans le moule	21
Figure III-8:Echantillon sèche	22
Figure III-9:l'interface du four utilisé	22
Figure III-10:Des échantillons cuits et prêts à l'emploi	23

Liste de Figure

Figure III-11: Drine dans la nature	24
Figure III-12: Agro-ecological zones of Algeria	24
Figure III-13: Drine sec	25
Figure III.14: Drine écrasé	25
Figure III-15: Les différentes quantités des Drine	26
Figure III-16: les 3 pâtes avec différent quantités de Drine	26
Figure III-17: Les échantillons préparés avant de mettre dans le four	27
Figure III-18: échantillon isolé	27
Figure III-19: les thermocouples utilisés	28
Figure III-20: balance électronique	28
Figure III-21: Bécher	29
Figure III-22: Le four utilisé	29
Figure III-23: Armfie ld HT10X30	
Figure III-24: dispositif expérimentale (Armfield HT10C)	30
Figure III-25: ensemble expérimental	31
Figure III-26: L'opération de mesure de la masse volumique	32
Figure III-27: La variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de Drine	34
Figure III-28: réduction de La masse volumique	35
Figure III-29 : dispositif expérimentale HT11C	36
Figure III-30: la conductivité thermique en fonction du pourcentage de Drine	38
Figure III-31 : la réduction de la conductivité thermique	39
Figure III-32 : flux thermique en fonction du pourcentage de Drine	41
Figure III-33 : réduction de flux de chaleur	42
Figure III-34 : Diffusivité thermique en fonction du pourcentage de Drine	43
Figure III-36: capacité thermique en fonction du pourcentage de Drine	45
Figure III-37 : densité de flux (Q_e) en fonction du pourcentage de Drine	49

Liste de Figure

Figure III-38 : cout énergie économie en fonction du pourcentage de Drine	49
Figure III-39 (a, b, c, d) : les couts d'énergie utilisé, couts supplémentaire et couts total	50-52
Figure III-40 : cout totale en fonction du pourcentage de Drine	53
Figure III.41 : cout supplémentaire en fonction du pourcentage de Drine	53

Liste des Tableaux

Tableaux III-1: Pourcentage du Drine dans chaque échantillon	32
Tableaux III-2: Résultats de mesure la masse volumique ρ	33
Tableaux III-3: Résultats de mesure de la masse volumique ρ (Kg/m ³)	34
Tableaux III-4: les masses volumiques	36
Tableaux III-5: conductivité thermique moyenne et réduction de la conductivité thermique	37
Tableaux III-6 : la conductivité thermique	37
Tableaux III-7: Résultats de mesure flux thermique moyen et réduction de flux thermique moyen	40
Tableaux III-8: le flux thermique en fonction du pourcentage de Drine	40
Tableaux III-9: Résultats des essais	45
Tableaux III.10: paramètre économique	47
Tableaux III-11: calcul du PWF	47
Tableaux III-12: calcul prix brique modifie	49

Liste des notation

m: La masse	(kg)
V: volume	(m ³)
e: épaisseur	(m)
A: surface	(m ²)
n: temps	(s)
i: les noeuds suivant l'axe horizontal x	
T: température	(°C)
dT : la variation température	(°C)
dx : la variation de longueur	(m)
a: Diffusivité thermique	(m ² /s)
c : la capacité thermique massique	(J.kg-1.K-1)
Qc: charge annuelle de transmission de refroidissement	(kWh /m ²)
Umur : coefficients de transmission thermiques	(W.m-2.K-1)
CDD: c'est l'écart entre l'ambiante et la chambre	(C°)
Ec: énergie consommé	(kwh/m ²)
Pwf (Pb): période de récupération des facteurs de valeur actuelle	(années)
i: Taux d'intérêt	
g: Taux d'inflation	
Romain	
λ: Conductivité thermique	(w/m.k)
ρ: La masse volumique	(kg.m-3)
φ: flux thermique	(w)

Introduction générale

Les régions désertiques de notre pays sont caractérisées par un climat extrême et une sécheresse en été et froides et sèches en hiver car le climat de cette région est caractérisé par un hiver frais de Décembre à Février et une période estivale caractérisée par des températures élevées de Mai à Octobre.

Aujourd'hui, dans le sud de l'Algérie, le béton armé a montré sa déception de donner un environnement sain et confortable, car la résistance thermique du béton est faible. La plupart des bâtiments, résidentiels ou industriels, sont des systèmes dont la consommation d'énergie est importante s'ils veulent assurer un confort thermique acceptable. Pour améliorer le confort thermique dans une zone chaude comme Ouargla, l'utilisation de la climatisation est inévitable ce qui augmente la consommation d'énergie.

Par conséquent, la création d'un environnement confortable dans les locaux dans cette région nécessite une forte consommation d'énergie en été à cause des climatiseurs dont le nombre croît année après année.

Nous devons donc trouver des solutions qui réduisent cette consommation au moindre coût. Ceux-ci comprennent l'isolation thermique des bâtiments en utilisant des matériaux disponibles dans cette région. Ceci est fait en utilisant des matériaux de construction avec des propriétés d'isolation thermique améliorées pour aider à réduire la facture d'électricité en été avec le moindre coût de construction.

L'objectif de notre étude est d'améliorer les caractéristiques thermiques de la brique cuite et cela par l'insertion d'une plante, disponible dans le désert de la région de Ouargla (Drine), dans l'argile, pour assurer un certain confort dans les habitats avec le moindre coût. En plus des caractéristiques physiques du nouveau matériau de construction, plusieurs paramètres ont été étudiés tel que : la quantité de Drine insérée dans l'argile, le prix de Drine, le prix de la nouvelle brique, le payback...etc.

Trois essentiels chapitres ont été présentés dans ce mémoire :

- Le chapitre I présente des généralités sur le confort thermique, les normes de confort thermique et un aperçu sur le climat en Algérie.

Introduction générale

- Le chapitre II est consacré à l'explication des techniques de production de la brique cuite dont on a effectué plusieurs visites à l'usine pour le réaliser.

- Le chapitre III présente la phase expérimentale de notre travail, elle est divisée en deux parties, la première partie est la fabrication des échantillons en argile mélangé avec plusieurs taux de Drine. Cette partie est réalisée pour trouver les nouvelles caractéristiques physiques du matériau de construction amélioré. Tandis que la deuxième partie est consacrée à une étude économique pour montrer l'efficacité et la rentabilité du nouveau matériau de construction ainsi que de décider la quantité optimale du Drine insérée dans chaque brique pour avoir le moindre coût de construction et le maximum coût d'énergie économisé.

Ce document se termine par une conclusion générale dont on résume l'essentiel de notre étude.

1. Introduction

Le rôle premier d'un bâtiment est de protéger ses occupants des rigueurs du climat extérieur. Un bâtiment confortable assure à ses habitants un climat intérieur agréable et peu dépendant des conditions extérieures, notamment météorologiques et acoustiques [1].

La gestion optimale de l'énergie, quoique très importante du point de vue de son impact sur l'environnement, intervient en deuxième priorité, lorsque que les conditions de confort sont satisfaites [2].

Les exigences actuelles peuvent être classées en plusieurs catégories, qui interagissent entre elles: exigences de confort thermique, exigences de qualité d'air, besoins en éclairage, protection acoustique et exigences en termes de consommation d'énergie [3].

Il doit être clair que les besoins des occupants passent avant les exigences énergétiques. Le bâtiment est d'abord construit pour assurer le bien-être de l'occupant, et non pour économiser de l'énergie. Il n'est toutefois pas correct de gaspiller l'énergie, notamment parce que la pollution qui en résulte est nuisible à l'occupant [4].

Il faut toutefois insister sur le fait qu'un bon confort n'implique pas automatiquement une grande consommation d'énergie. Par une planification intelligente et intégrée, il est parfaitement possible d'assurer une excellente qualité d'environnement intérieur avec une très faible consommation d'énergie. [4]

2. C'est quoi un confort thermique ?

La notion de confort thermique est le plus souvent appliquée à l'être humain, bien qu'elle puisse s'appliquer à tout être vivant. En effet, la vie - et spécialement l'activité métabolique assurant les fonctions vitales - n'est possible que dans une certaine plage de température, qui varie d'une espèce à l'autre. Il existe cependant des conditions d'ambiance optimales qui seront ressenties par l'individu comme celle d'un état de confort thermique [5].

3. Les différents paramètres de confort thermique

Le confort thermique se compose de 6 paramètres:

- 1) La température de l'air.
- 2) La température radiative moyenne (Nous échangeons également de la chaleur par rayonnement avec les parois qui nous entourent).
- 3) L'humidité ambiante correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression [6].
- 4) La vitesse de l'air: il provoque les échanges de chaleur par convection, donc le plus vite la vitesse de l'air le plus en va sensé les échanges de chaleur
- 5) Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36.7°C
- 6) l'habillement: représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.

4. Les aspects du confort thermique

Les interactions entre l'homme et l'environnement se déroulent selon trois mécanismes :

- L'aspect physique: concerne les différents transferts de chaleur entre l'homme et l'environnement (conduction ; convection ; rayonnement).
- L'aspect physiologique: s'intéresse au fonctionnement des récepteurs sensoriels et comment l'information est intégrée.
- L'aspect psychologique: est l'interaction entre les caractéristiques physiques de l'environnement et leurs résultantes sensorielles chez l'individu.

Sur un plan physique, le confort thermique correspond à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance. Il dépend de la sensibilité (aspect psychosociologique), de l'habillement, du métabolisme et de l'activité physique de chaque individu, d'une part, mais aussi de la température de l'environnement (air, parois), des mouvements d'air, et de l'humidité, d'autre part. Au-delà d'un certain niveau de déséquilibre, l'individu va ressentir de l'inconfort, notamment parce qu'il va devoir réagir pour réduire ce déséquilibre [7].

Tout être vivant dégage de la chaleur, cependant certains sont capables de réguler leur température corporelle par des moyens physiologiques, les homéothermes (cas de l'être humain) et d'autres non (le hétérothermes ou poïkilothermes).

Les premiers disposent donc d'une meilleure capacité de survie (capacité d'adaptation) alors que les seconds peuvent difficilement s'adapter [7].

Le corps d'un individu va chercher à rétablir l'équilibre par différentes réactions demandant un certain effort : des réactions comportementales et des réactions physiologiques [7].

4.1. Les phénomènes de transfert

4.1.1. Conduction

La conduction thermique est un mécanisme de transfert de chaleur par diffusion qui se produit essentiellement à travers un solide opaque ou entre deux matériaux en contact dont les faces sont soumises à des températures différentes. L'élément le moins chaud absorbe l'excédent de chaleur de l'autre, jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Ce phénomène s'effectue par l'agitation moléculaire et la collision entre les molécules voisines possédant des énergies cinétiques différentes [8].

4.1.2. Convection

La convection est un mécanisme de transmission de la chaleur par circulation d'un fluide (air, eau, etc.), qui la véhicule à un milieu plus froid. Elle est provoquée par une

variation de température ou de pression. C'est un phénomène qui s'applique donc aux fluides ou aux interfaces solide-fluide [8].

4.1.3. Rayonnement

Pendant que le transfert de l'énergie par la conduction et la convection exige la présence d'une matière, le rayonnement est un processus par lequel la chaleur est émise sous forme d'ondes électromagnétiques. Le rayonnement se produit plus efficacement, à travers un vide [8].

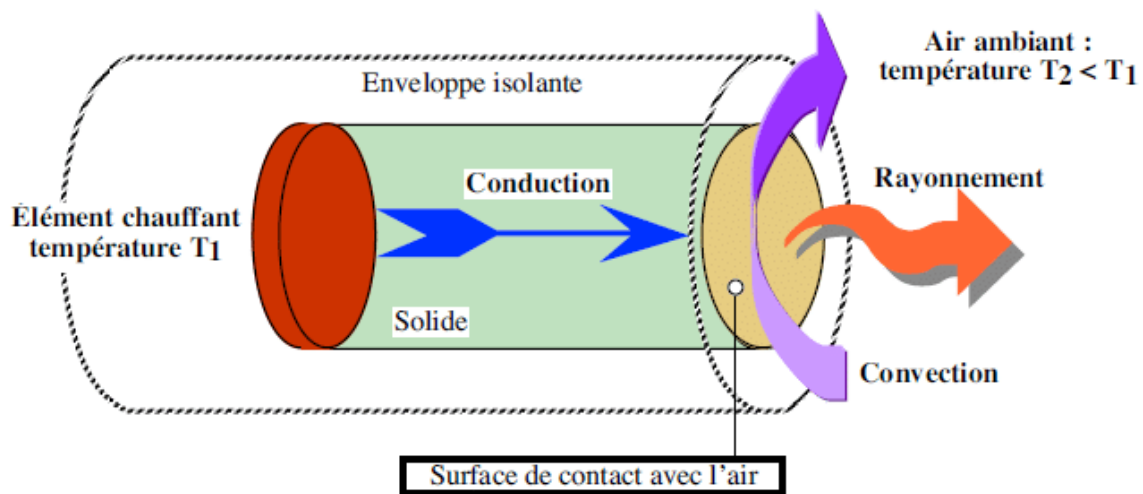


Figure I-1: Phénomènes des transferts

5. Les éléments de confort thermique

5.1. Eléments environnementaux

5.1.1. Température de l'ambiante :

Il intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'homme au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Généralement, pour évaluer le confort thermique dans le bâtiment, la température ambiante de l'air est couplée par d'autres paramètres climatiques tels que : la vitesse d'air, l'humidité, prendre tout seule peut induire en erreur et ne donne pas une idée précise sur le confort thermique. La température ambiante altère la sensation de chaleur, lorsque le niveau de l'humidité est élevé et la vitesse de l'air faible, la sensation d'humidité de la peau augmente également avec la température ambiante. Mais sous des conditions, faible humidité et une vitesse de l'air élevée, la peau peut rester sèche même à des températures fortes (malgré

l'augmentation de la sueur). La température de l'air ambiant ou température sèche est mesurée par un thermomètre au bulbe sec (thermomètre doit être aplati pour éviter l'influence du rayonnement), l'intervalle de confort va généralement de 18 à 25° C [9].

5.1.2. Température des parois (Tp)

Moins de 4° de différence avec l'air ambiant: est utilisée dans le calcul des échanges radiatifs des grandes longueurs d'onde entre l'individu et l'environnement. La température des parois couplée à la température de l'air donne une idée sur le confort ressentie (appelée aussi température résultante sèche ou température opérative), cette dernière se détermine selon l'équation suivante [9].

$$T_{rs} = \frac{T_a + T_p}{2} \quad (I.1)$$

5.1.3. Humidité relative de l'air (HR)

L'humidité relative par définition est : « le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température » [1]. L'humidité détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur (relative à la différence entre les tensions de vapeur d'eau de l'air ambiant et celle de la peau). Dans le cas où le corps humain n'atteint pas à évaporer toute la sueur, une couche liquide se forme sur la peau (peau humidifiée). Les réactions physiologiques et sensorielles dû à l'humidité sont relevés lorsque la vitesse de l'air augmente. Entre 30% et 70% elle pèse peu sur la sensation du confort thermique. [9]

5.1.4. Vitesse de l'air

La vitesse de l'air influe sur les échanges convectifs et évaporatifs, à l'intérieur des bâtiments ces vitesses demeurent limitées et ne dépassent pas 0,20m/s. Toutefois elle est responsable à l'apparition de gêne chez l'occupant, lié à la présence de courants d'air froids ou chauds [9].

5.2. Eléments humain

5.2.1. Tenue vestimentaire

Elle représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Les vêtements constituent une deuxième barrière thermique après la peau, ils influencent sur les échanges de chaleur convective et radiative [9].

5.2.2. Métabolisme

Il s'agit de la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7 °C. Lorsqu'une personne est en mouvement, un métabolisme de travail correspondant à son activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos [9].



Figure I-2: Echange thermique du corps humain

6. Climat dans le sud Algérien

Dans le désert algérien, le climat est caractérisé par l'aridité et la chaleur pendant les longs mois d'été, et il devient progressivement plus chaud et plus sec comme vous allez vers le sud; en hiver, la zone la plus chaude se trouve dans l'extrême sud (où la température diurne reste autour de 25/27 degrés), et en été entre le 24e et le 30e parallèle, parce que à l'extrême sud dans cette saison les ramifications de la mousson africaine apportent un peu de bancs de nuages et des averses occasionnelles. Les pluies sont très rares partout, au-dessous de 100 mm par an, et souvent de 50 mm Les rares pluies viennent sous forme d'averse, et sont plus probables en hiver dans le nord, et comme mentionné en été dans l'extrême sud [10].

Le ciel est presque toujours clair, et cela favorise l'amplitude thermique entre la nuit et le jour, qui est souvent autour de 20 degrés. Pendant l'hiver, la température peut descendre au-dessous du zéro pendant la nuit, bien que légèrement (de deux ou trois degrés), tandis que les jours restent doux [10].

- **Le climat en Ouargla**

Le climat dominant d'Ouargla est de type désertique. Au cours de l'année, il n'y a pratiquement aucune précipitation en Ouargla. Cet emplacement est classé comme (BWh par Köppen et Geiger). En moyenne la température à Ouargla est de 22.3 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteints 45 mm [11]

Entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 9 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 23.6 °C. 34.3 °C font du mois de Juillet le plus chaud de l'année. Au mois de Janvier, la température moyenne est de 10.7 °C. Janvier est de ce fait le mois le plus froid de l'année, entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 9 mm, entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 23.6 °C [11].

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	10.7	13.4	16.5	21.5	25.4	31.5	34.3	33.4	29.7	23.2	16.4	12.1
Température minimale moyenne (°C)	4.3	6.7	9.5	13.9	18	23.5	25.7	25.1	22.2	16	9.8	5.9
Température maximale (°C)	17.2	20.1	23.5	29.1	32.9	39.5	42.9	41.8	37.2	30.4	23.1	18.3
Température moyenne (°F)	51.3	56.1	61.7	70.7	77.7	88.7	93.7	92.1	85.5	73.8	61.5	53.8
Température minimale moyenne (°F)	39.7	44.1	49.1	57.0	64.4	74.3	78.3	77.2	72.0	60.8	49.6	42.6
Température maximale (°F)	63.0	68.2	74.3	84.4	91.2	103.1	109.2	107.2	99.0	86.7	73.6	64.9
Précipitations (mm)	6	4	6	4	2	0	0	0	2	4	8	9

Figure I-3: Table climatique d'Ouargla [11]

1. Introduction:

Maison, école, mosquée ou n'importe quel bâtiment tous sont construits du même élément: la Brique. Par conséquent elle est un élément très important dans notre vie car elle nous sépare des conditions climatiques non confortables par des enveloppes construites généralement en double murs séparés par un vide de 5 cm.

Nous pouvons obtenir les Briques en prenant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température de frittage. Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction [12].

2. Matière première utilisée (les Argile):

2.1. Définition

Roches composées principalement de silicates en feuillets (Phyllosilicates) d'Al, plus ou moins hydratés. Les plus abondants des roches sédimentaires: 50% des sédiments (69 % des sédiments continentaux) [13], [14]. Constituants principaux des sols. La décomposition des roches primaires (éruptives) tel que granite, causé par action chimique (oxydation, carbonations...), action physique (variation de température l'action d'eau, de gel, érosion) [15].

2.2. Extraction

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques : décapeuse, pelles Chargeuses ...etc.

La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses voir figure (II-1).



Figure II-1 extraction de l'argile

2.3. Façonnage

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage voir figure (II-2) [15], [16], [17], [18].



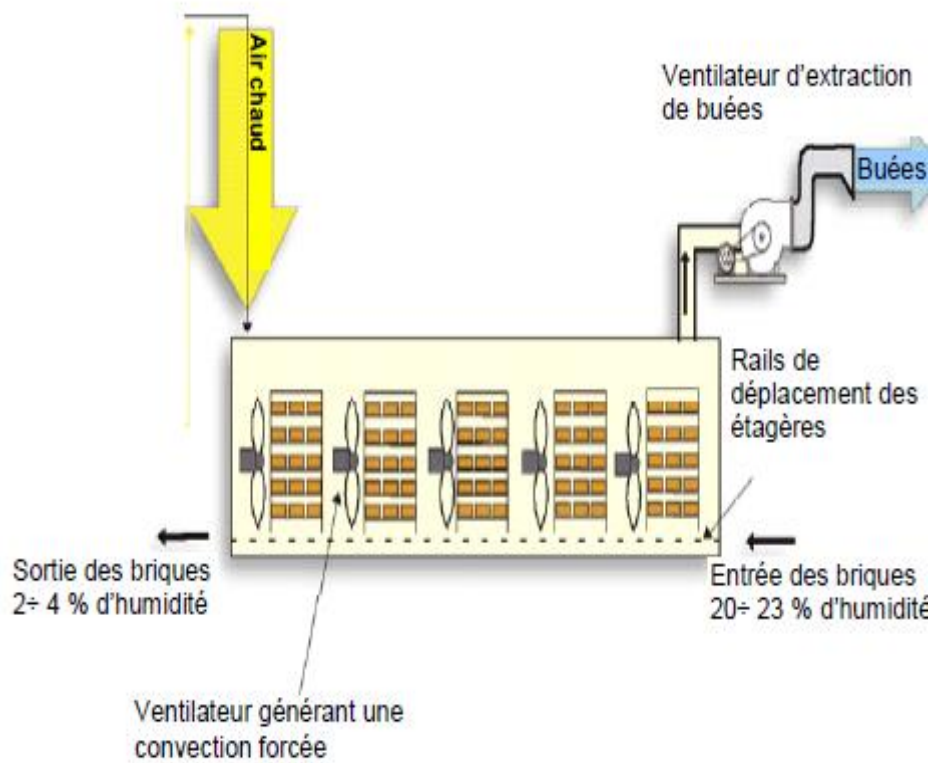
Figure II-2 Coupage de brique moulé

2.4. Séchage

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimés en pourcentage par rapport au poids sec). Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau, par des séchoirs bien réglés.

Chapitre II: Production de Briques

L'énergie consommée varie de 3.5×10^6 à 4.10×10^6 J/Kg d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessite une consommation d'énergie électrique de 6 à 13 KWh. voir les figures (II-3 et II-4).



Source : Gouvernement d'Andalousie

Figure II-3 schéma d'un séchoir tunnel de brique



Figure II-4: Ventilateurs destinés au brassage de l'air à l'intérieur du séchoir

2.5. Cuissons

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour Devenir ensuite une brique de terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est à dire que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850° et 1200°C selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement

Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classer en deux catégories principales : les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu.

Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

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

Chapitre II: Production de Briques

- jusqu'à 200° C environ, évacuation de l'eau résiduelle courant le séchage
- de 200 à 450° C, décomposition de matière organique de 450 à 650° C, décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution
- de 650 à 750° C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires)
voir les figures (II-5, II-6, II-7 et II-8) [15], [16], [17].

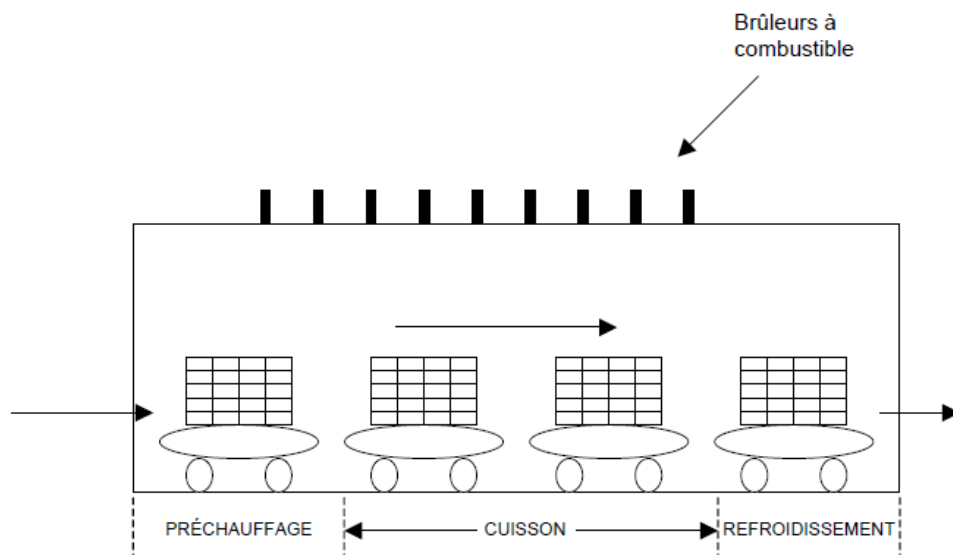


Figure II- 5: Schéma simplifié d'un Four tunnel



Figure II- 6: Briques cuis a la sortie de la Four tunnel.

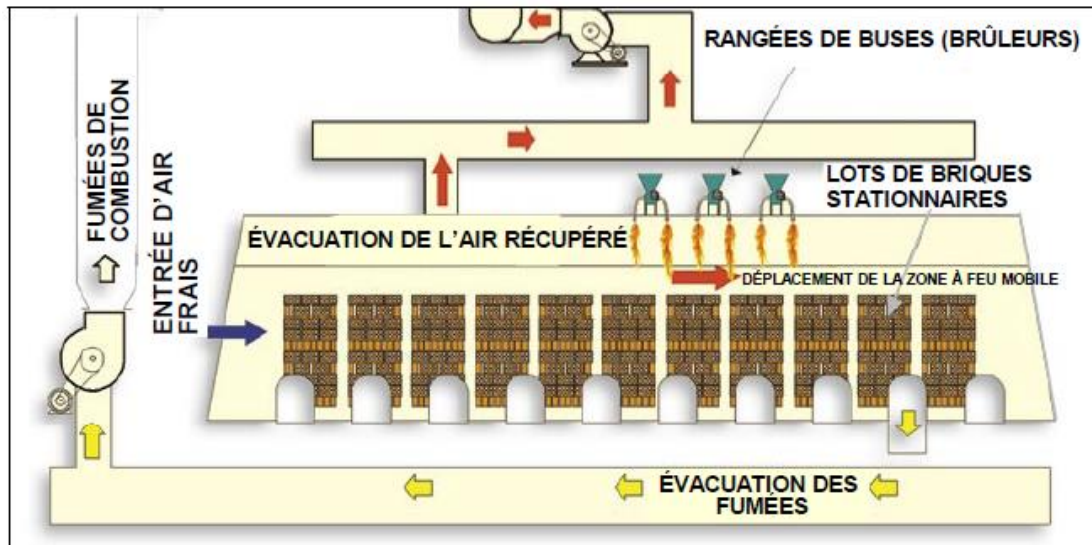


Figure II- 7: Schéma détaillé de fonctionnement d'un four tunnel.



Figure II- 8: Brûleurs à haute vitesse dans un four tunnel

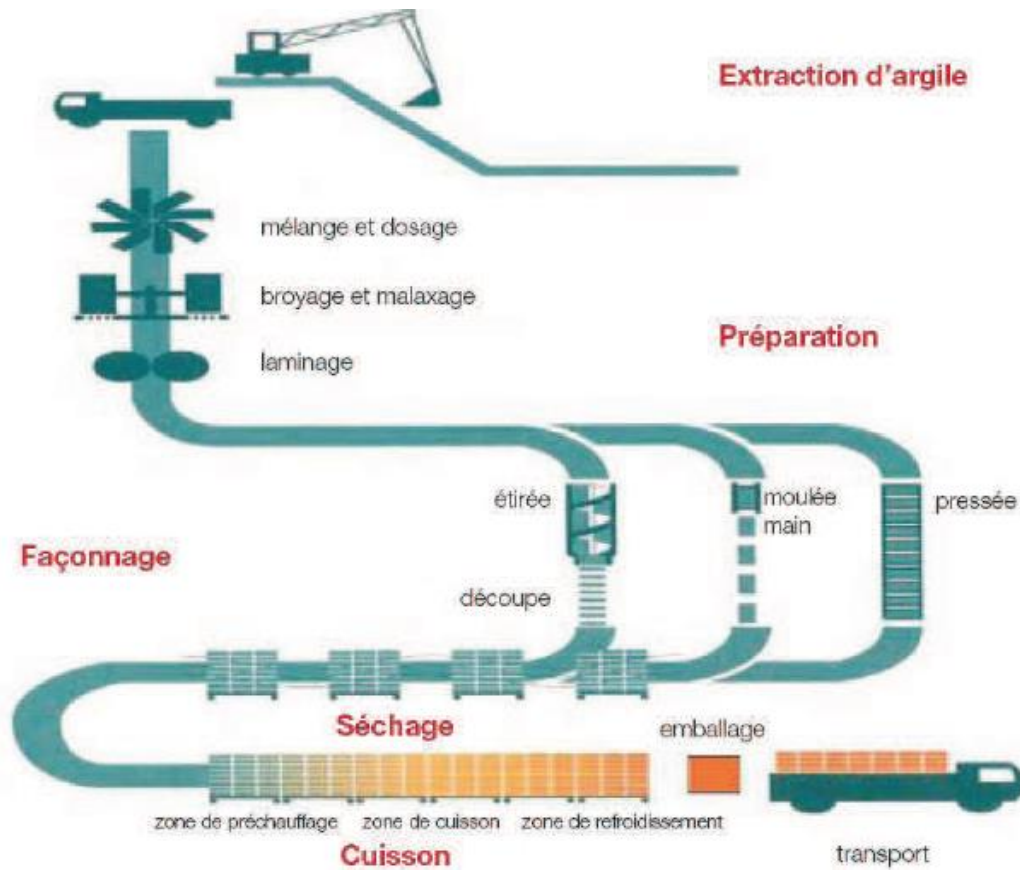


Figure II- 9: schéma général de l'opération de production de briques

3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini l'argile de manière simplifiée et les étapes de la transformer en briques:

- **Extraction:** dans lequel la matière première est extraite des lieux de sa présence dans la nature.
- **Façonnage:** L'étape dans laquelle l'argile est purifiée et formée.
- **Séchage:** L'argile en forme de brique est insérée dans un séchoir à tunnel.
- **Cuissons:** C'est la dernière étape où les briques séchées sont cuites dans un four tunnel.

1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter notre travail expérimental selon les étapes suivantes:

- Définition des différents dispositifs utilisés dans les essais expérimentaux.
- L'exposition et la discussion des résultats obtenus.
- Etude technico-économique pour montrer la rentabilité de cette étude.

2. Préparation de nos essais

Avant de commencer l'étude expérimentale, il faut d'abord donner des informations bien détaillées sur tous ce qui concerne notre expérience

2.1. Les étapes de préparation d'Argile

a) La matière première utilisée a été récupérée après extraction des lieux désignés pour sa collecte, (Figure III-1) montre un gisement d'argile dans la nature.



Figure III-1:Gisement d'argile de Blidet Amor à Ouargla

b) Purification de l'argile et exclusion des blocs de pierre et des corps étrangers (voir Figure III.2).



Figure III-2: Argile purifiée

c) Broyer les grosses pierres et les rendre aussi petites que possible afin de faciliter le processus de pétrissage (voir Figure III-3).



Figure III-3: Argile broyé et non broyé

d) La pâte est conservée pendant une période d'un ou deux jours, pendant laquelle l'eau est distribuée et répartie uniformément entre les granules d'argile, les particules d'argile se dissolvent en petits granules, ce qui rend la pâte plus élastique et devient malléable. Après le processus de fermentation, le processus de pétrissage se fait en pétrissant les gros morceaux d'argile par les mains (voir les Figure III-4 et III-5).



Figure III-4: L'Argile fermenté



Figure III-5: Argile pétrissée

e) Après avoir préparé la pâte d'argile, elle est moulée sous forme cylindrique dans des tubes de 2,5 cm de diamètre et de 3 cm de longueur. La pâte ou le mélange est inséré dans les moules avec compression manuelle. L'argile moulée est laissée pendant une demi-heure environ pour séchée et qu'il soit facile de le sortir du moule. Le moule est retiré de l'argile qui est formée et laissée sur le sol sécher au soleil pendant une journée. (Voir figure III-6, III -7 et III-8)



Figure III-6: Le moule utilisé



Figure III-7: Argile dans le moule



Figure III-8:Echantillon sèche.

f) Les échantillons sont cuits afin de gagner en dureté. Ce processus est réalisé dans un four spécial, dont sa température maximale peut dépasser 800°C. Dans cette étape, la température augmente progressivement jusqu'à 850 °C dans un four programmable, et ça pendant une durée de 51 min. après le séchage les échantillons sont maintenues enfermés dans le four durant l'étape de refroidissement qui dure a peu prêt une journée pour ne pas avoir des fissures à cause du choc thermique (voir figure III-9)



Figure III-9:l'interface du four utilisé



Figure III-10: Des échantillons cuits et prêts à l'emploi

2.2. Préparation du(Aristidapungens Desf) Drine

- **Aristidapungens Desf) Drine**

C'est une plante vivace très robuste en famille des **Poacées**, il devient le nom scientifique **stipagrostis pungens (Desf)** de Winter.Elle dépasser 1 mètre de haute. Feuilles très rigides, fines et piquantes à l'extrémité, enroulées en long et pouvant parcourir plusieurs mètre superficie. Inflorescence commence de petits épis secondaires ou épillets. Les formations azonales à Stipagrostis pungens (Drine) et à halophytes: 0.5 million d'ha [19].

Le "Drine" est une plante des dunes, mais il est présent partout au Sahara, là, ou il y a présence de surfaces ensablées, le plus souvent, elle constitue de vastes steppes homogènes. Vue sa disponibilité, c'est la plante le plus broutée par les dromadaires D'ailleurs, elle est fauchée et fait l'objet d'un commence pour alimenter les autres animaux d'élevage en stabulation. C'est un excellent pâturage [20].

L'obtention du Drine n'était pas facile, il fallait sortir en plein désert et consacré une longue journée pour l'acquérir voir figure (III-11)



Figure III-11: Drine dans la nature [21]

Après la collecte du Drine, il est exposé au soleil pendant quelques jours (plus d'une semaine) jusqu'à qu'il soit bien sèche. (Voir figure III-13)

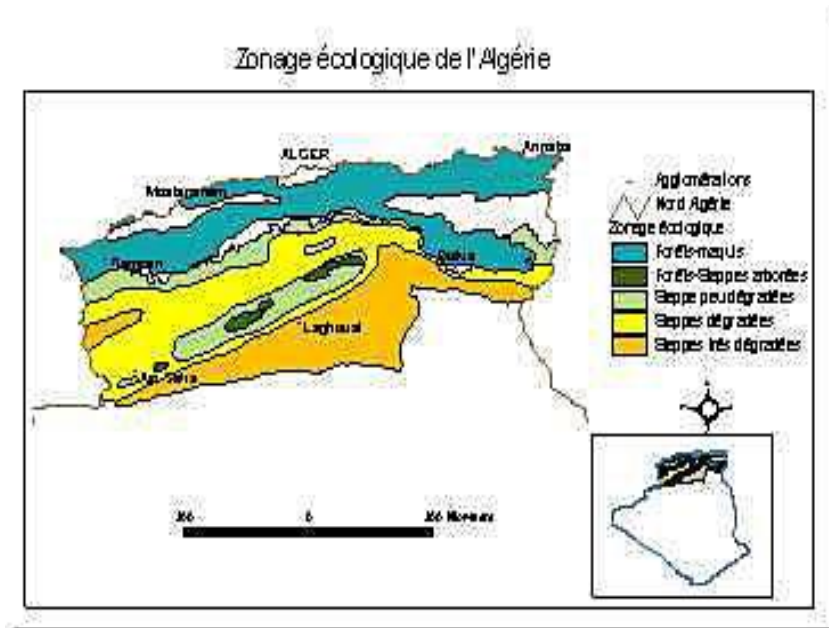


Figure III-12: Agro-ecological zones of Algeria [22]



Figure III-13:Drine sec

Après le processus de séchage, nous coupons le séchoir en petits morceaux et enlevons les morceaux durs et les racines et broyons-le autant que possible Voir figure (III-14).



Figure III.14: Drine écrasé

2.3. Préparation d'échantillon (mélange Drine-argile)

Nous avons divisé le Drine en trois types de proportions différentes Le premier groupe contient une quantité relativement importante de Drine Le deuxième groupe contient une quantité moyenne de Drine Le troisième groupe contient une petite quantité de Drine Voir figure (III-15).



Figure III-15: Les différentes quantités des Drine

Ensuite, nous mélangeons les quantités de Drine, chacun avec de la pâte d'Argile pour obtenir trois pâtes. Voir figure (III-16)



Figure III-16: les 3 pâtes avec différent quantités de Drine.

La pâte obtenue sera traitée de la même manière que précédemment expliqué dans la partie [2.1 (e et f)].



Figure III-17: Les échantillons préparés avant de mettre dans le four

2.4. Préparation de L'isolation thermique

Pour une meilleure isolation nous avons choisi le polystyrène avec une forme de carrée de 7.2cm longueur et 3 cm d'épaisseur, et la création d'un trou au milieu de l'isolateur avec un diamètre de 2,5cm et une épaisseur de 3 cm, afin de mettre les échantillons de test au milieu Voir figure (III-18).

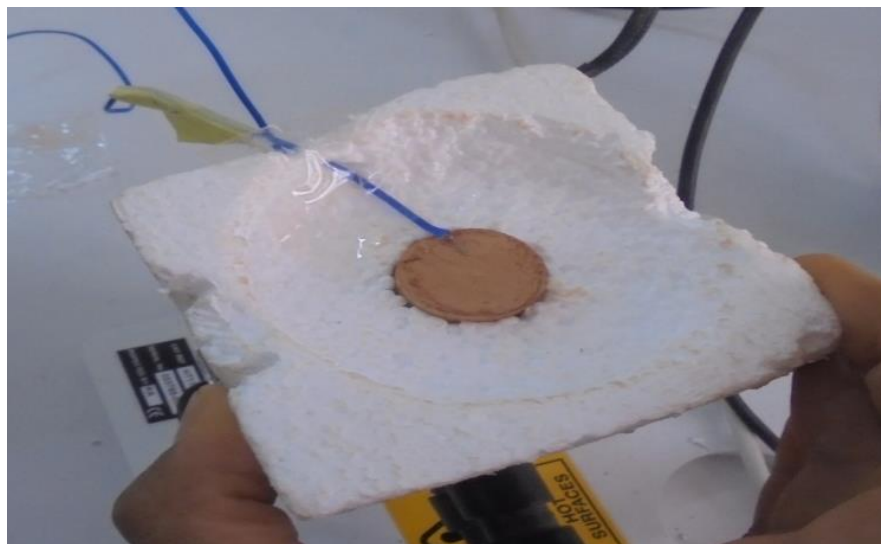


Figure III-18: échantillon isolé

3. Le matériel utilisé

a) *Thermocouples:*

On à utiliser des thermocouples de type K avec d'une marge d'erreur ($\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0.4\%$). Voir figure (III-19)



Figure III-19: les thermocouples utilisés

b) *balance électronique:* avec une précision de (1/1000).

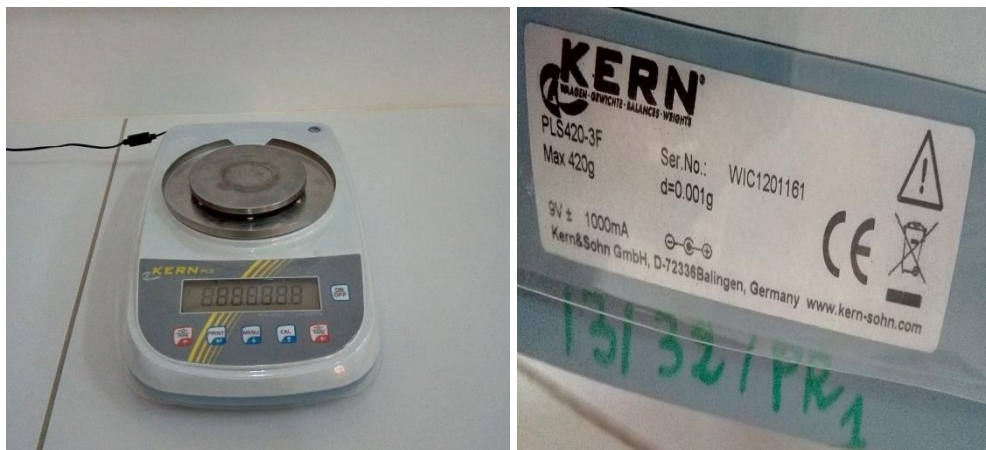


Figure III-20: balance électronique

c) **Bécher**: Le bécher présenté dans la (figure III-21) est utilisé pour mesurer la masse volumique des échantillons



Figure III-21: Bécher

d) **Four**: le four présenté dans la (figure III-22) est de marque **Nabertherm** il présente les caractéristiques suivantes:

- Il a une résistance électrique de 3.5 KW
- Il peut atteindre une température de 1200 °C
- Il peut être programmé pour varier la température en fonction du temps

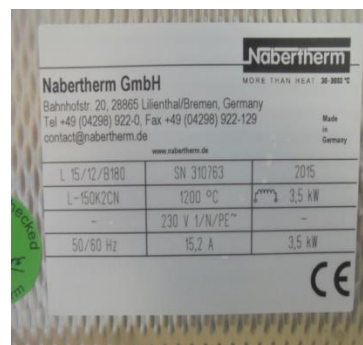


Figure III-22: Le four utilisé

e) *Unité d'acquisition des données (Armfield HT10X)*: est une unité de service commandée par ordinateur, qui prend en charge plusieurs accessoires. Ceux-ci fournissent une large gamme de démonstrations dans les modes de transfert de chaleur, les facteurs qui affectent le transfert de chaleur, et certains des problèmes associés voir figure (III-23).



Figure III-23: Armfield HT10X

f) *Dispositif expérimental (Armfield HT11C)* : conçu pour démontrer l'application de l'équation de Fourier à la simple conduction en régime permanent et transitoire dans une dimension voir la (Figure III-24).



Figure III-24: dispositif expérimentale (Armfield HT10C)

g) *Dispositif expérimental avec l'acquisition des données:*

La figure III-25 représente le dispositif expérimental utilisé dans notre travail, il est composé de: l'unité Armfield HT11C couplé avec un circuit ouvert de refroidissement par l'eau, une unité d'acquisition des données (Armfield HT10X) et un ordinateur pour faciliter d'analyse des données.



Figure III-25:ensemble expérimental

4. Résultats et discussions

À chaque mesure expérimentale deux échantillons ont été testés et une moyenne et calculée afin de minimiser les erreurs de mesures

4.1. Pourcentage de Drine

On a considéré la masse de l'échantillon (100 % argile) (21,5475 g) comme une référence pour calculer les pourcentages de Drine dans chaque échantillon par une relation relative:

$$\frac{(m_{\text{argile}} - m_x)}{m_{\text{argile}}} \times 100 \quad (\text{III.1})$$

m_x : La masse des échantillons (Argile+Drine).

Tableaux III-1: Pourcentage du Drine dans chaque échantillon

échantillons	Expérience		masse moyen (g)	Pourcentage du Drine
	m ₁	m ₂		
Argile	22,868	20,227	21,5475	0%
mélange (argile, Drine 1)	18,285	18,987	18,636	13,50%
mélange (argile, Drine 2)	18,556	17,711	18,1335	15,84%
mélange (argile, Drine 3)	15,663	16,559	16,111	25,23%

Le tableau (III-1) représente les différentes masses des échantillons et montre les pourcentages de Drine d'après les calculs de l'équation (III.1).

4.2. Mesure de La masse volumique:

La masse volumique, dont le symbole est ρ , est une propriété caractéristique qui représente la quantité de matière (masse) qui se trouve dans un espace (une unité de volume) donné [23].

Elle est déterminée par le rapport $\rho = \frac{m}{V}$

m : La masse en (kg)

V : Est son volume en (m^3)

ρ : La masse volumique s'exprime en ($kg.m^{-3}$)

En plus de la masse de chaque échantillon obtenue par la pesé de ces derniers, le volume des échantillons est mesuré expérimentalement par le déplacement de l'eau (voir figure III-26).



Figure III-26: L'opération de mesure de la masse volumique

Le tableau (III-2) montre la mesure de la masse, volume, la masse volumique et réduction de la masse volumique des échantillons en fonction du pourcentage du Drine pour chaque échantillon:

Tableaux III-2: Résultats de mesure la masse volumique ρ

Pourcentage Drine (%)	Expérience 1				m moyen (kg)	V Moyen (m ³)	ρ (kg/m ³)	réduction de la masse volumique moyenne (%)
	1		2					
	m ₁ (kg)	V ₁ (m ³)	m ₂ (kg)	V ₂ (m ³)				
0,00%	22,868 .10 ⁻³	11 .10 ⁻⁹	20,227 .10 ⁻³	10 .10 ⁻⁹	21,5475 .10 ⁻³	10,5 .10 ⁻⁹	2052,14	0
13,50%	18,285 .10 ⁻³	9,8 .10 ⁻⁹	18,987 .10 ⁻³	11 .10 ⁻⁹	18,636 .10 ⁻³	10,4 .10 ⁻⁹	1791,92	12,680
15,84%	18,556 .10 ⁻³	11 .10 ⁻⁹	17,711 .10 ⁻³	11 .10 ⁻⁹	18,1335 .10 ⁻³	11.10 ⁻⁹	1648,5	19,669
25,23%	15,663 .10 ⁻³	10 .10 ⁻⁹	16,559 .10 ⁻³	9,8 .10 ⁻⁹	16,111 .10 ⁻³	9,9 .10 ⁻⁹	1627,37	20,699

Le tableau (III-3) montre la variation de la masse volumique des échantillons en fonction du pourcentage de Drine.

Tableaux III-3: Résultats de mesure de la masse volumique ρ (Kg/m³)

Drine %	0,00%	13,50%	15,84%	25,23%
ρ_{moyen} (Kg/m ³)	2052,14	1791,92308	1648,5	1627,37

La figure (III-27) montre la variation de masse volumique en fonction du pourcentage de Drine. Constate que la masse volumique est diminuée chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté la masse volumique atteint jusqu'a **1627,37 (kg/m³)** pour une teneur de Drine de **25,23%**

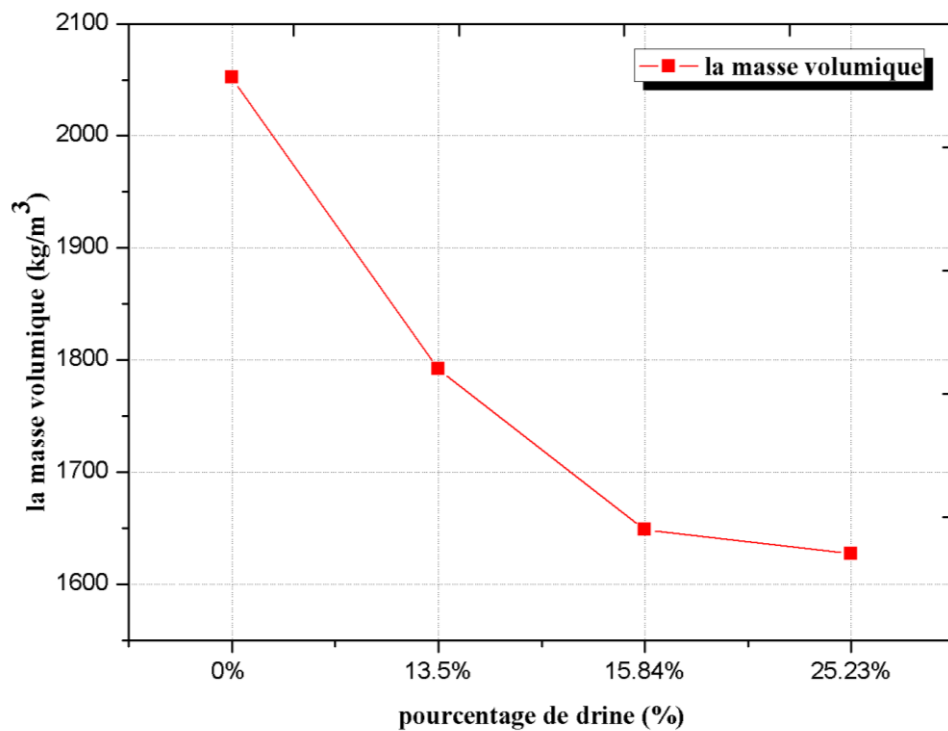


Figure III-27: La variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de Drine

La figure (III-28) montre La variation de la réduction de la masse volumique en fonction du pourcentage de Drine. On constate que la réduction de la masse volumique est

améliorée chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté. La réduction atteint jusqu'à **20,699 %** pour une teneur de Drine de **25,23%**.

Le pourcentage de réduction de la masse volumique est calculé à partir la relation suivante

$$\frac{\rho_{argile} - \rho_x}{\rho_{argile}} \times 100 \quad (III.2)$$

ρ_x : Masse volumique des échantillons (Argile+Drine)

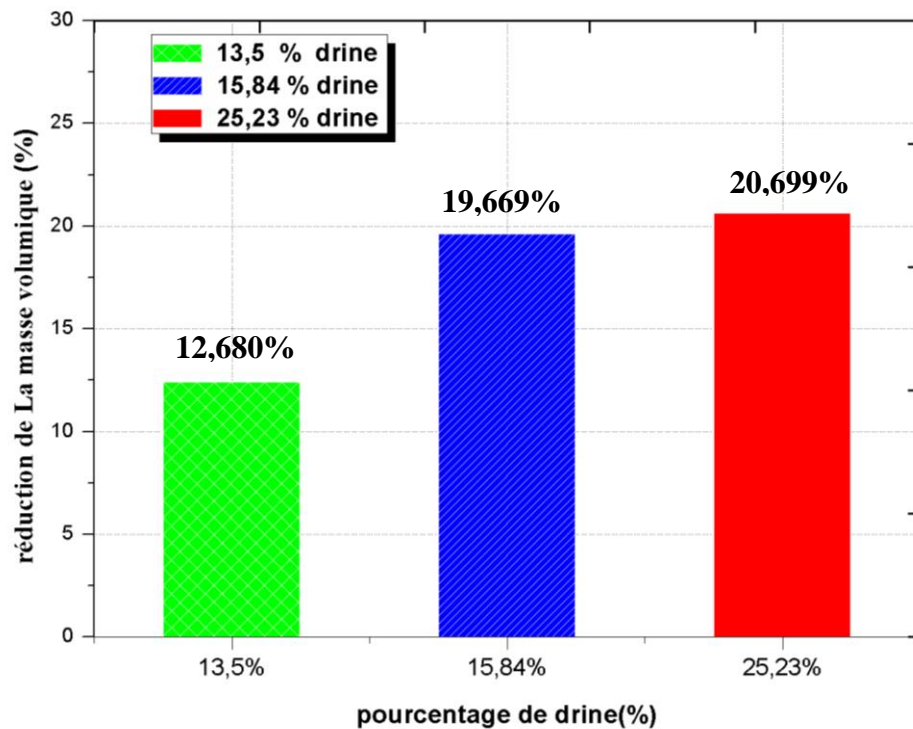


Figure III-28: réduction de La masse volumique en fonction du pourcentage de Drine

Remarque:

Pour calculer la masse volumique, le volume de l'argile est mesuré de deux façons différentes:

- Par le déplacement de l'eau pour nos échantillons (Argile sec)
- Géométriquement pour une brique réel

Le tableau (III-4) représente une comparaison entre la masse volumique de nos échantillons (Argile sec) et d'une brique réel

Tableaux III-4: les masses volumiques

Mesure	masse volumique (kg/m ³)
Echantillons	2085.32
Brique réel	2052.14

4.3. conductivité thermique λ :

La conductivité thermique est obtenue par une formule empirique qui dépend du flux de chaleur, la surface, température, la formule s'établit comme suit :

$$\varphi = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad (\text{III.3})$$

$$\varphi_{2-3} = \varphi_{4-5} \quad (\text{III.4})$$

$$\frac{\lambda_1 \times A \times (T_2 - T_3)}{e_1} = \frac{\lambda_2 \times A \times (T_4 - T_5)}{e_2} \quad (\text{III.5})$$

$$\lambda_2 = \frac{e_2}{e_1} \times \left(\frac{T_2 - T_3}{T_4 - T_5} \right) \times \lambda_1 \quad (\text{III.6})$$

λ_1 : Conductivité de la cuivre 128(w/m.k) (c'est la conductivité indiquée dans le guide de l'appareil).

e_1, e_2 : épaisseur de la cuivre, épaisseur des échantillons (argile, mélange argile-Drine)

A_1, A_2 : surface de la brasse, échantillons (m²)

λ_2 : Conductivité thermique d'échantillons (w/m.k)



Figure III-29 : dispositif expérimentale HT11C.

Le tableau (III-5) montre la mesure de la conductivité thermique moyenne, réduction de la conductivité thermique moyenne en fonction de pourcentage de Drine pour chaque échantillon.

Tableaux III-5: conductivité thermique moyenne et réduction de la conductivité thermique

Pourcentage drine(%)	Expérience		λ moyen (w/m.k)	réduction de la conductivité thermique (%)
	λ ₁	λ ₂		
0,00%	0,94	1,12	1,03	0,00%
13 ,50%	0,92	0,92	0,92	10,74%
15,84%	0,8	0,78	0,79	23,78%
25,23, %	0,71	0,69	0,7	32,13%

On a considéré la conductivité thermique dans le cas ou (100% argile) (1.03 w/m.k) comme une référence pour calculer le pourcentage de réduction de la conductivité thermique pour chaque pourcentage.

La réduction de la conductivité thermique est calculée par la formule suivante :

$$\frac{\lambda_{\text{argile}} - \lambda_x}{\lambda_{\text{argile}}} \times 100 \quad (\text{III.7})$$

Le tableau (III.6) présente la variation de la conductivité thermique des échantillons en fonction de pourcentage % de Drine.

Tableaux III-6 : la conductivité thermique

Pourcentage Drine %	0,00%	13,50%	15,84%	25,23%
λ (W/m.k)	1,03	0,92	0,79	0,7

La figure (III-30) montre la variation de la conductivité en fonction du pourcentage de de Drine dans les échantillons.

On a remarquons une diminution de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation du Pourcentage de Drine.et la Conductivité thermique atteint jusqu'à **0,7** (w/m.k) pour une teneur de Drine de **25,23%**.

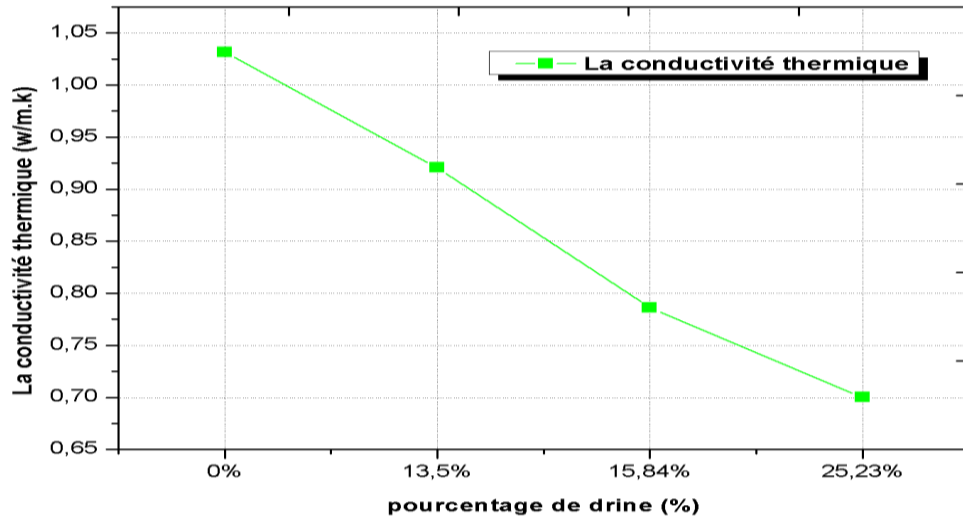


Figure III-30: la conductivité thermique en fonction du pourcentage de Drine

La figure (III-31) montre la variation de la réduction de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de Drine dans les échantillons. On constate que la réduction de la conductivité thermique est diminuée chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté. La réduction en conductivité thermique atteint jusqu'à **32,13%** pour une teneur de Drine de **25,23%**.

Le pourcentage de réduction de la conductivité thermique est calculé à partir la relation suivante:

$$\frac{(1.03 - \lambda x)}{1.03} \times 100 \quad (III.8)$$

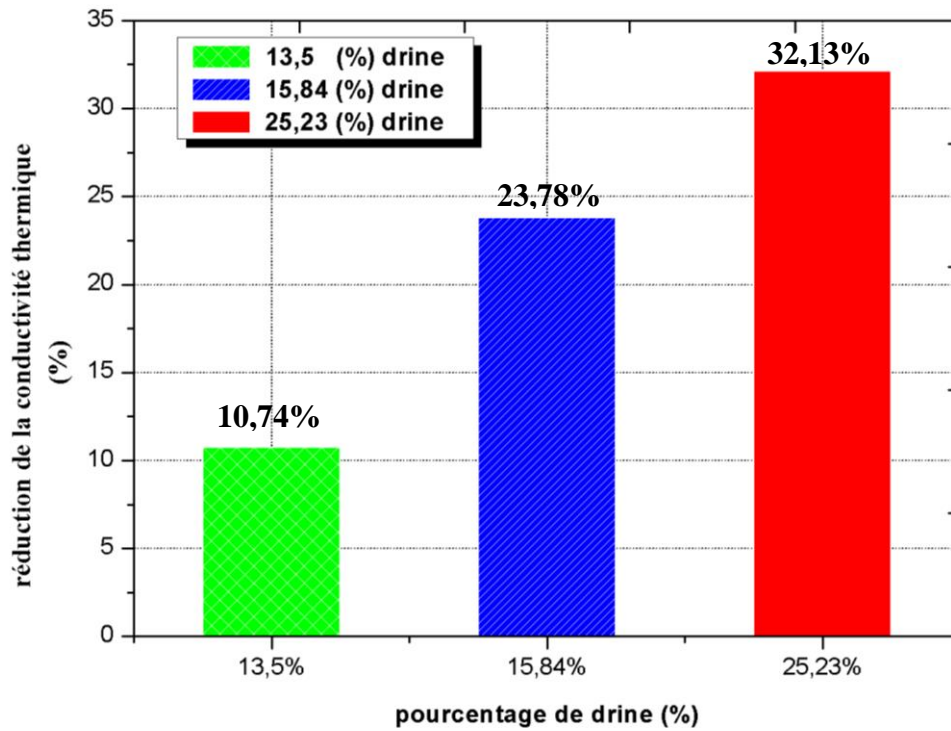


Figure III-31: la réduction de la conductivité thermique en fonction du pourcentage de Drine

4.4. Flux thermiques

Le flux thermique ou flux de chaleur, souvent noté, entre deux milieux de températures différentes correspond au transfert thermique qui s'écoule par unité de temps entre les deux milieux [24] :

$$\varphi = -\lambda s \frac{dt}{dx} \quad (\text{III.9})$$

Le tableau (III-7) montre les mesures des températures à l'extrémité de nos échantillons et les calculs de flux thermique moyen et réduction du flux thermique moyen en fonction du pourcentage de Drine pour chaque échantillon.

Tableaux III-7: Résultats de mesure flux thermique moyen et réduction de flux thermique moyen

Pourcentage de drine	les mesures	($T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}$)	λ (w/m.k)	e (m)	A (m ²)	Flux de chaleur (w)	Réduction du flux (%)
0%	mesure 1	84,5	1,03	0,03	0,00045	1,332	0,00%
	mesure2	86,8					
	Moyen	85,6					
13,50%	mesure 1	91,2	0,92	0,03	0,00045	1,261	5,65%
	mesure2	90,4					
	Moyen	90,8					
15,84%	Mesure 1	88	0,79	0,03	0,00045	1,057	26,02%
	Mesure2	90,3					
	Moyen	89,1					
25,23%	mesure 1	94,2	0,7	0,03	0,00045	0,988	34,89%
	Mesure 2	92,9					
	Moyen	93,5					

Le tableau (III-10) montre la variation du flux thermique en fonction du pourcentage de Drine dans les échantillons.

Tableaux III-8: le flux thermique en fonction du pourcentage de Drine

Pourcentage Drine (%)	0,00%	13,50%	15,84%	25,23%
φ (w)	1,332	1,261	1,057	0,988

La figure (III-32) montre la variation du flux thermique en fonction du pourcentage de Drine dans les échantillons .On constate que la flux thermique diminué chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté. Le flux thermique atteint jusqu'à **0,988** pour une teneur de Drine de **25,23%**.

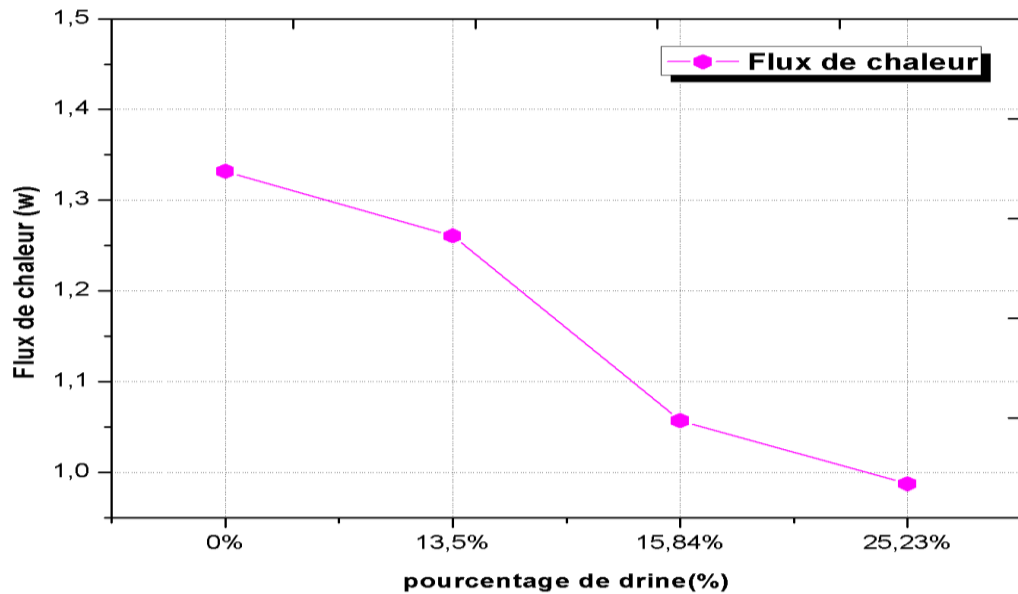


Figure III-32 : flux thermique en fonction du pourcentage de Drine

La figure (III-33) montre la variation de la réduction du flux en fonction du pourcentage de Drine. On constate que la réduction du flux thermique est améliorée chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté.

La réduction en flux thermique atteint jusqu'à **34,89%** pour une teneur de Drine de **25,23%**.

Le pourcentage de réduction du flux de chaleur est calculé à partir de la relation suivante:

$$\frac{(\varphi_{\text{argile}} - \varphi_x)}{\varphi_{\text{argile}}} \times 100 \quad (\text{III.10})$$

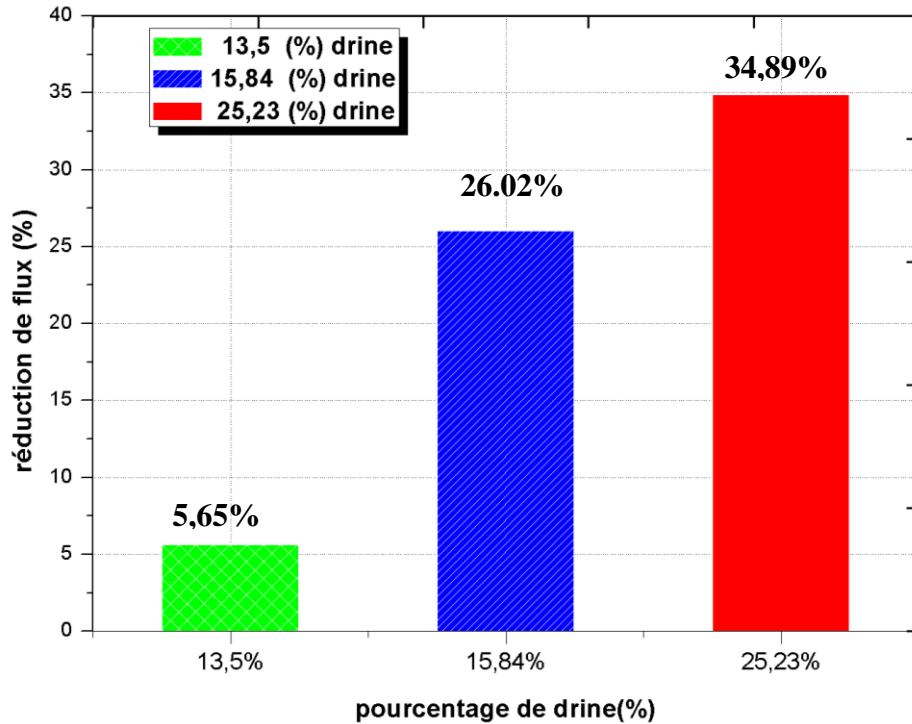


Figure III-33 : réduction de flux de chaleur en fonction du pourcentage de Drine

4.5. Diffusivité thermique

La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à accumuler la chaleur (capacité thermique) [25].

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (\text{III.11})$$

Dans cette expérience on à calculer la diffusivité thermique pour un régime transitoire de la température et cela par l'utilisation d'une méthode numérique (méthode implicite):

$$a = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n \times \left[\frac{\Delta x^2}{\Delta t} \right]}{T_{i-1}^{n+1} + 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}} \quad (\text{III.12})$$

n: temps

i: les nœuds suivant l'axe horizontal x

T: température

La figure (III-34) montre la variation de la diffusivité thermique en fonction de pourcentage de Drine dans les échantillons. On constate que la Diffusivité thermique est diminué chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté.

La diffusivité thermique atteint jusqu'à **1,715E-07** (m²/s) pour une teneur de Drine de **25,23%**.

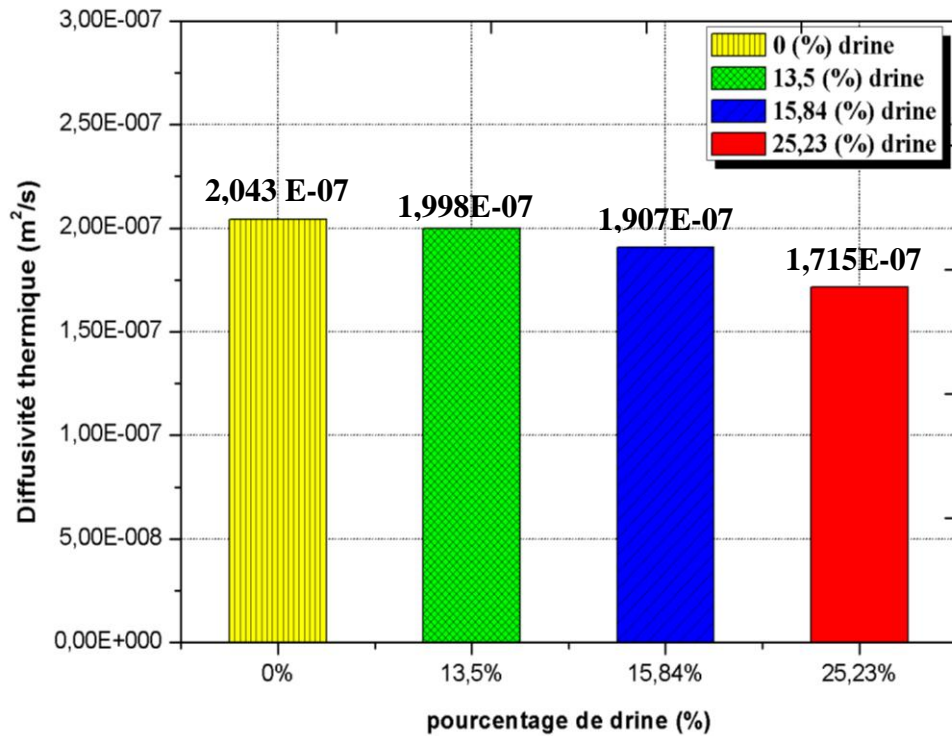


Figure III-34 : Diffusivité thermique en fonction du pourcentage de Drine

4.6. Capacité thermique

On appelle capacité thermique massique la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K. Elle s'exprime en (J.kg-1.K-1) ou (cal.kg-1.K-1) [26].

$$c = \frac{\lambda}{\rho \cdot a} \tag{III.13}$$

a: Diffusivité thermique m²/s

λ: est la conductivité thermique du matériau (en [W·m⁻¹·K⁻¹])

ρ : la masse volumique du matériau (en $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$)

c : la capacité thermique massique du matériau (en $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$)

La figure (III-36) montre la variation de la capacité thermique en fonction du pourcentage de Drine. On constate que la capacité thermique est améliorée chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté.

La capacité thermique atteint jusqu'à **2758,9** (J/kg.k) pour une teneur de Drine de **25,23%**.

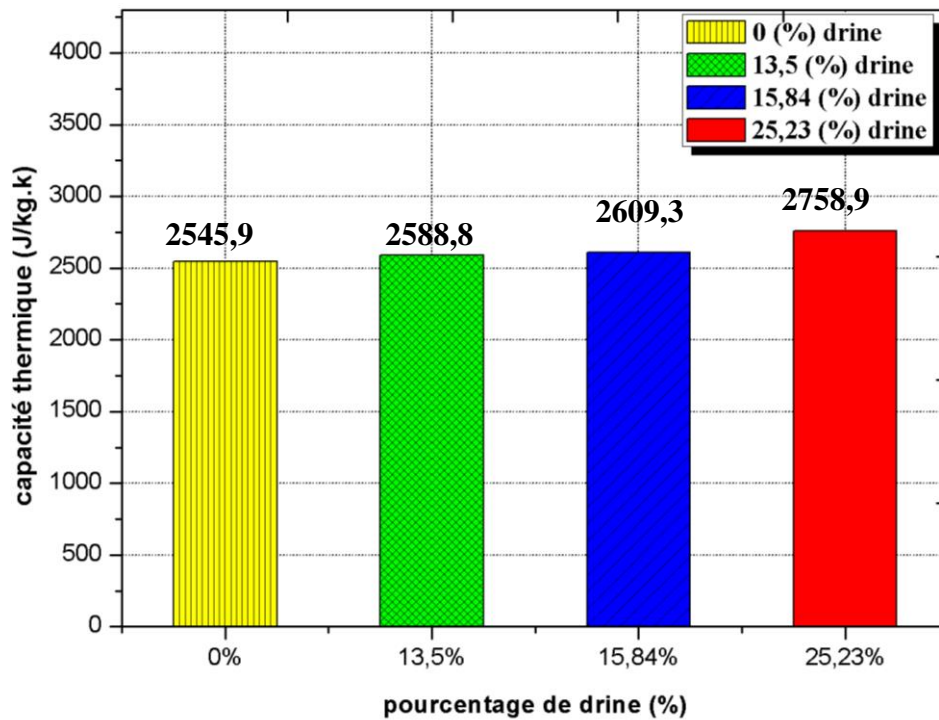


Figure III-36: capacité thermique en fonction du pourcentage de Drine

4.7 Conclusion numérique de nos essais

Tableaux III-9: Résultats des essais

Pourcentage de Drine	ρ (kg/m ³)	λ (w/m.k)	C (j/kg.k)	φ (w)	a m ² /s
0%	2052,1429	1.03	2545,9	1,332	2 ,04 E-07
13,50%	1791,9231	0,92	2588,8	1,261	2,00E-07
15,84%	1648,5	0,8	2609,3	1,057	1,91E-07
25,23%	1627,3737	0.7	2758,9	0,988	1,72E-07

λ : Conductivité thermique ; ρ : Masse volumique ; **C** : Capacité thermique ; et **a** : diffusivité, φ : flux thermique

L'analyse et l'interprétations des résultats de ces essais, nous ont permis de faire un choix adéquat de les échantillons qui répondra à certaines exigences à savoir:

L'isolation thermique, conductivité thermique et la capacité thermique et le flux thermique.

On propose d'étudier le comportement thermique des parois de différents compositions, afin d'identifier celles qui permettent la plus grande économie d'énergie dans le cas de conditionnement d'air pour les régions Sahariennes.

5. Étude économique

5.1. Conservation de l'énergie:

Des études ont montré que l'utilisation de l'énergie électrique pour la climatisation est la principale raison de la forte consommation d'énergie, car les matériaux de construction utilisés dans la plupart des bâtiments sont des murs en blocs de béton dépourvus de tout matériau d'isolation thermique. Changement externe, et cela conduira à des charges accrues de conditionnement et à une augmentation de la consommation d'énergie.

Afin de réduire le recours à la climatisation et d'obtenir un environnement thermique approprié pour la population, il existe de nombreux moyens de prendre en compte la

conception du bâtiment et la sélection des matériaux adaptés à la construction et au fonctionnement quotidien pour obtenir les performances thermiques appropriées aux coûts les plus bas.

L'étude vise à calculer la consommation d'énergie avec les propriétés physiques que nous avons étudiées au pare avant sur tout thermique, ce qui peut réduire la consommation d'énergie.

Les températures moyennes '25°C dans la chambre et 38 °C ' a l'ambiante ont été estimée entre la nuit et le jour dans une période de quatre mois où la chaleur est élevée 'Juin, Juliet, Aout, Septembre ' pour 122 jours.

Les équations utilisées dans le calcul économique [27]

$$Q_c = (24 * CDD * U_{mur}) / 1000 \tag{III.14}$$

Qc: charge annuelle de transmission de refroidissement (kWh /m2)

CDD: c'est l'écart entre l'ambiante et la chambre (38-25=13) (C°)

U mur: Résistance thermique(W/°c)

$$U_{mur} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda_b} + \frac{1}{h_e}} \tag{III.15}$$

$$Q_t = Q_c * 122 \tag{III.16}$$

$$E_c = \frac{Q_c}{COP} \tag{III.17}$$

Ec: énergie consommé

$$C_c = 4,812 * E_c \tag{III.18}$$

4,812= cout de 1 KWh d'électricité de troisième tranche [28].

$$pwf = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \{ i > g \quad r = \frac{i-g}{1+g}, i < g \quad r = \frac{g-1}{1+i} \} \tag{III.19}$$

$$Pwf = \frac{N}{1+i} \tag{III.20}$$

$$C_t = C_c * Pwf + \text{Cout supplémentaire} \tag{III.21}$$

$$\text{Cout Energie économie} = C_c(0\%) - C_c(x) \tag{III.22}$$

$$Pwf (Pb) = \text{Cout supplémentaire} - \text{Cout Energie économie} \quad (\text{III.23})$$

Pwf (Pb): période de récupération des facteurs de valeur actuelle (années)

$$\text{Cout Total} = \text{Cout supplémentaire} + Cc \quad (\text{III.24})$$

Dans notre pays :

$i = 8,2 \%$ (juin 2016) [29]

$g = 4 \%$ (30/10/2016) [29]

5.2. Les paramètres utilisés dans les calculs

Tableaux III.10: paramètre économique

Paramètre	Valeur
coût de l'électricité, C_e	4,812 DA/kW h
Coefficient de performance, COP	2.5
Durée de vie du bâtiment, N	30 ans
Taux d'intérêt, i	8.2 %
Taux d'inflation, g	4 %

Le tableau (III-10) donne les paramètres utilisés dans le calcul économique

Tableaux III-11: calcul du PWF.

	taux d'Inflation g	taux d'Intérêt i	n	r	PWF
$i > g$	0,04	0,082	30	0,0403846	17,2115666
$i < g$	0,082	0,04	30	0,0403846	58,726209
$i = g$	0,082	0,082	30		30,082

D'après les résultats du Tableaux (III-11), on remarque que la durée de calcul des couts d'énergie augmente de 30 jusqu'à 58,72 ans lorsque le taux d'inflation est plus élevé que le taux d'intérêt.

La figure (III-37) montre la variation de la densité de flux en fonction du Drine dans les échantillons. On constate que la densité de flux est diminuée chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté. La densité de flux atteint jusqu'à **0,54** (kwh/m²) pour une teneur de Drine de **25,23%**.

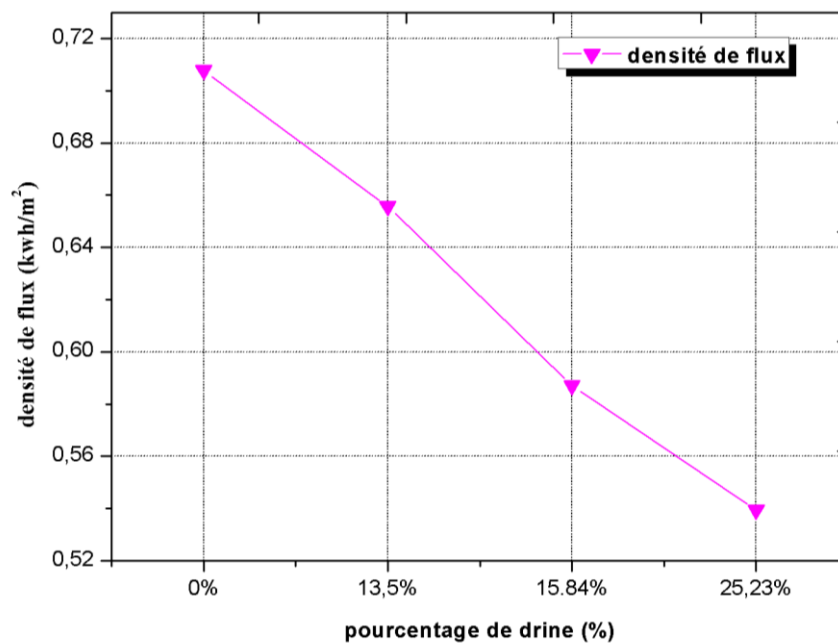


Figure III-37 : densité de flux (Q_e) en fonction du pourcentage de Drine.

La figure (III-38) montre la variation de Cout énergie économie en fonction du pourcentage de Drine . On constate que le cout d'énergie économisé est amélioré chaque fois que le pourcentage de Drine est augmenté. Le cout d'énergie économisé atteint jusqu'à **39,55(DA/m²)** pour une teneur de Drine de **25,23%**.

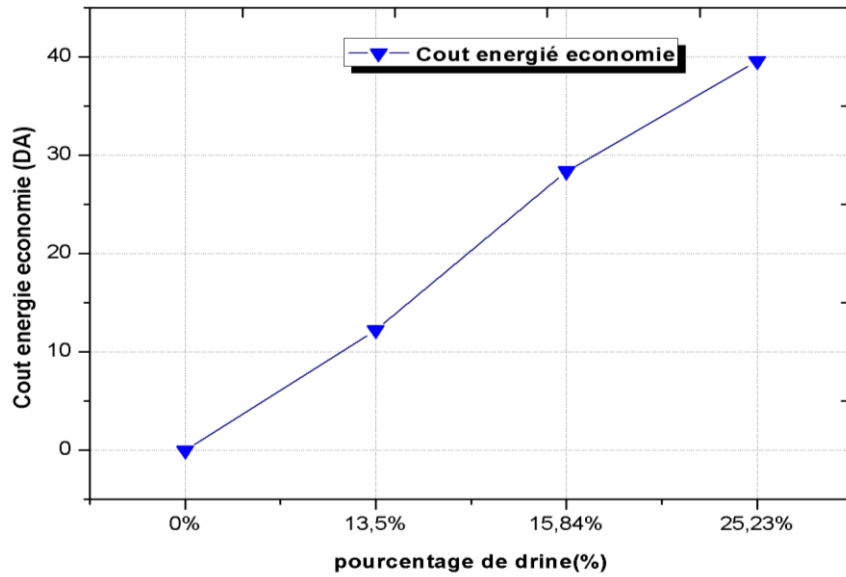


Figure III-38 : cout énergie économie en fonction du pourcentage de Drine

Le tableau (III.12) montre le prix des briques en fonction du pourcentage de Drine

On a remarqué que la brique Qui contient de **15,84 %** de Drine c'est le moins cher par rapport les autre avec prix de **22,09 (DA/m²)**.

Et aussi on remarque que les pourcentages (13,5 et 25,23) de Drine avez des prix supérieur de de la brique normale.

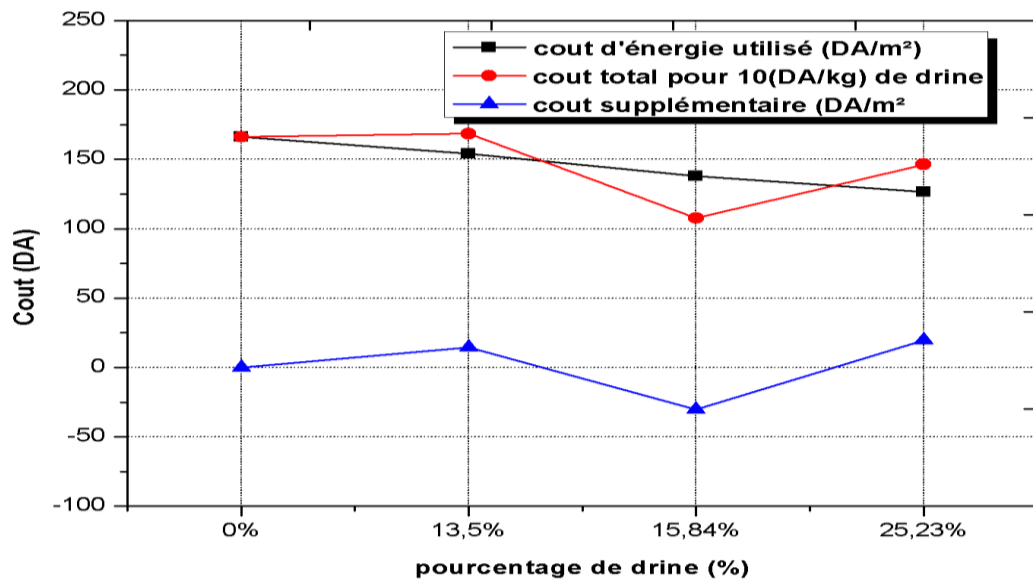
Tableaux III-12: calcul prix brique modifie

Pourcentage Drine(%)	masse (brique +Drine) kg	masse (Drine) kg	masse (brique) kg	prix Drine utilisé (DA)	prix brique utilisé(DA)	prix (DA)
0%	5,14	0	5,14		23,00	23,00
13,50%	4,49	0,6	3,89	6,06	17,37	23,43
15,84%	4,13	0,65	3,48	6,54	15,55	22,09
25,23%	4,02	1,01	3,01	10,14	13,45	23,59

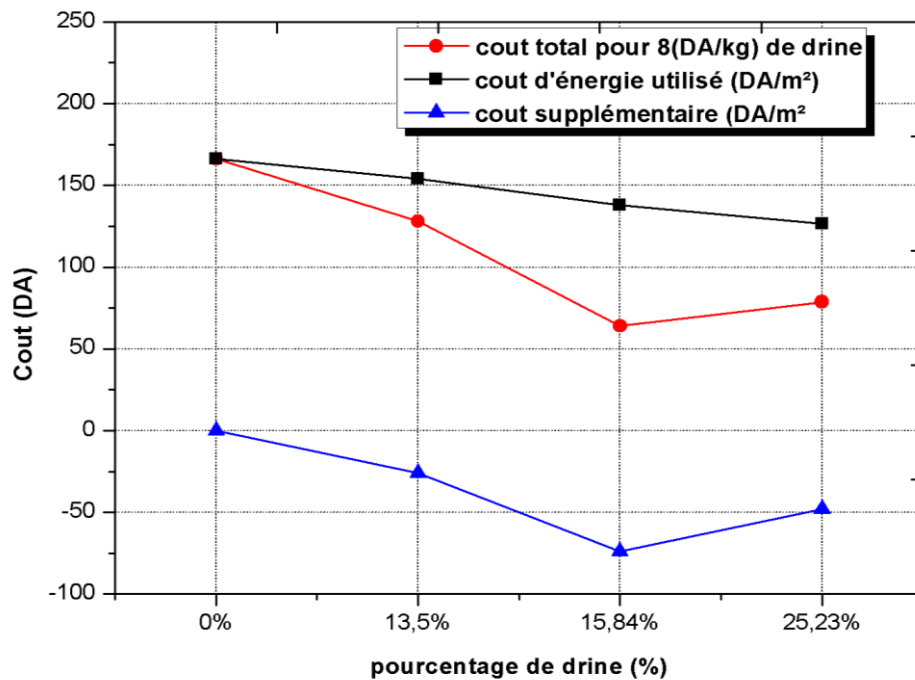
Pour une meilleure étude, nous avons imposé des différents coûts de Drine

(4, 6, 8,10) DA/kg Les résultats étaient les suivants:

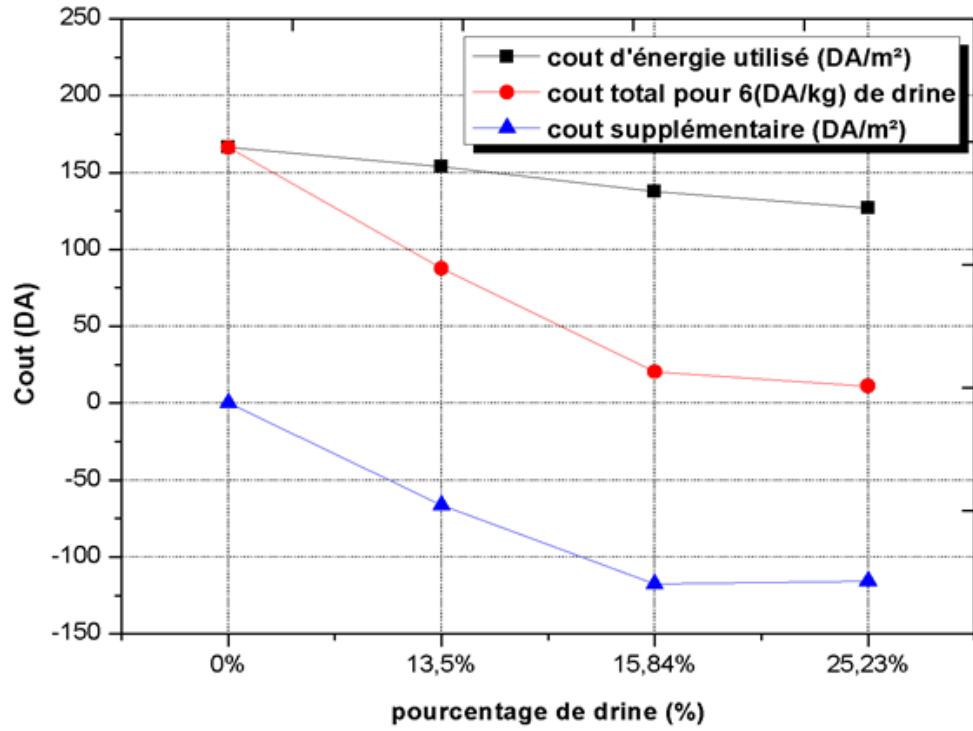
a)



b)



c)



d)

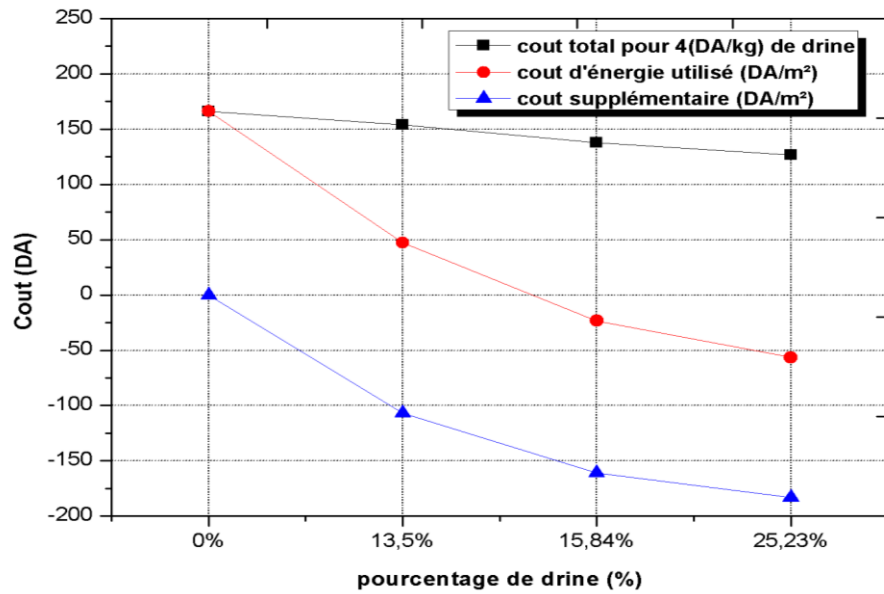


Figure III-39 (a, b, c, d) : les couts énergie utilisé, couts supplémentaire et couts total en fonction de pourcentage du Drine

D'après le figure (III-39). (a, b, c, d) on a remarquons le pourcentage **15,84** du Drine elle est la meilleure dans (a, b) Alors que le pourcentage **25,23** du Drine il est le meilleur dans (c, d),et que la diminution de cout de Drine affecte le cout supplémentaire et le cout total.

Le coût du Drine joue un rôle important dans la détermination de meilleur pourcentage de Drine.

La figure (III-40) montre la variation de cout total pour différents coûts de Drine en fonction de leur pourcentage.et on remarque que le coût de Drine joue un rôle important dans la détermination de meilleur pourcentage de Drine.

On remarque que le pourcentage 15,84 du Drine c'est le meilleure quand le cout est 10,8(DA) Alors que le pourcentage 25,23 de Drine il est le meilleur quand le cout est 6,4 (DA).

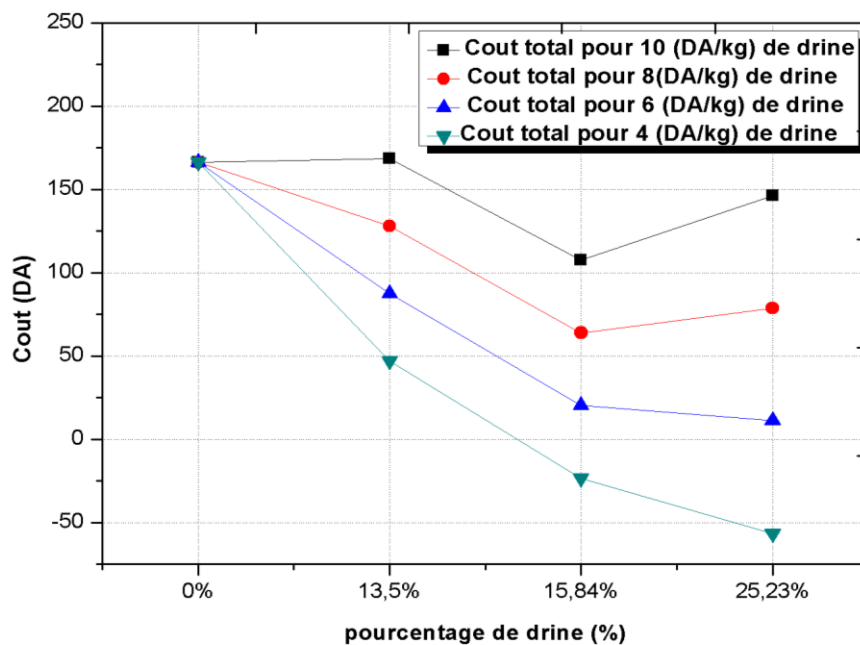


Figure III-40 : cout totale en fonction du pourcentage de Drine

La figure III.41 montre la variation du cout supplémentaire Des différents coûts en fonction du pourcentage de Drine. On a remarqué que le **15,84 %** du Drine c'est la meilleure dans le cout **10** et **8** (DA).Alors que le **25,23%** du Drine elle est la meilleur dans le cout **6** et **4** (DA).

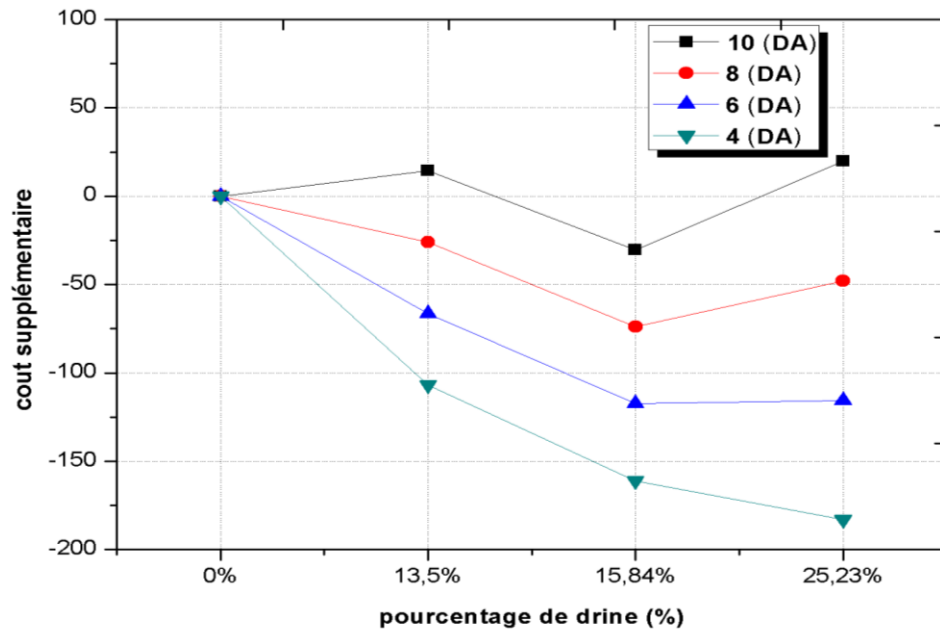


Figure III.41: cout supplémentaire en fonction du pourcentage de Drine

6. Conclusion

Dans cette étude, nous avons effectué plusieurs présentations et discuté du comportement thermique et mécanique et de divers tests thermiques. Effet de la conductivité thermique, du flux thermique et de la diffusion thermique. . Nous avons conclu que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation du pourcentage du Drine, avec des caractéristiques optimales, selon les aspects suivants:

- Côté technique (conductivité thermique et isolation thermique)
- Côté économique (prix de produit)

Conclusion générale

Dans l'Algérie et à l'absence d'un code de construction qui oblige les gens à isoler leurs maisons, les gains thermiques dues aux conditions climatiques un peu agressive, surtout pour les zones sahariennes, reste très élevés. Ce qui influe directement sur la consommation d'énergie électrique utilisée pour le refroidissement des espaces de vie et de travail.

L'objectif de notre étude est de créer un nouveau matériau pour la fabrication d'une nouvelle brique cuite avec de bonnes propriétés thermiques, en utilisant des matériaux locaux afin de réduire le prix de la brique ainsi que les couts de l'énergie utilisée pour la climatisation.

La plante choisie pour accomplir cet objectif est le Drine. Disponible en grande quantité en Algérie à un prix raisonnable, elles restent presque inexploitable.

Les paramètres étudiés dans ce mémoire sont:

- Paramètres thermiques et physique:
 - L'effet de la quantité de Drine sur la conductivité thermique du brique
 - L'effet de la quantité de Drine sur la chaleur spécifique de la brique
 - L'effet de la quantité de Drine sur la diffusivité thermique de la brique
 - L'effet de la quantité de Drine sur la masse volumique de la brique
- Paramètres économiques:
 - Etude économique et estimation du nouveau prix de la brique
 - Etude de l'augmentation du prix de Drine sur le prix de la brique et sur les gains énergétique
 - Effet des taux d'intérêt et d'inflation sur les prix globale de l'énergie consommée par la climatisation
 - Dans les cas où le prix de la nouvelle brique est plus élevé, on à calculer le nombre des années dans lesquelles on peut récupérer la somme d'argent supplémentaire pour la construction du bâtiment (payback)

Dans cette étude, on a préparé des modèles ou des échantillons avec plusieurs proportions en masse de Drine mélangées avec l'argile:

Conclusion générale

- échantillons de 0% Drine ;
- échantillons de 13.5 % Drine.
- échantillons de 15.84 % Drine.
- échantillons de 25.23 % Drine.

Les résultats obtenus ont montrés que :

a) Résultats de l'étude thermique ou technique:

1. L'échantillon de 0% ne présente aucune quantité de Drine, la conductivité thermique mesurée est de **1.03 w/m.k**, le flux de chaleur de **1.33 w** et la masse volumique de **2052.14 kg/m³** et capacité thermique de **2545.9 J/kg.k** et diffusivité thermique de **2,04 E-07 m²/s**.
2. L'échantillon de 13.5% Drine, la conductivité thermique mesurée est de **0,92 w/m.k**, le flux de chaleur de **1,26 w** et la masse volumique de **1791,92 kg/m³** et capacité thermique de **2588,8 J/kg.k** et diffusivité thermique de **2,00E-07 m²/s**.
3. L'échantillon de 15.84% Drine, la conductivité thermique mesurée est de **0,8 w/m.k**, le flux de chaleur de **1,057 w** et la masse volumique de **1648,5 kg/m³** et capacité thermique de **2609,3 J/kg.k** et diffusivité thermique de **1,91E-07 m²/s**.
4. L'échantillon de 25.23% Drine, la conductivité thermique mesurée est de **0,7 w/m.k**, le flux de chaleur de **0,988 w** et la masse volumique de **1627,37 kg/m³** et capacité thermique de **2758,9 J/kg.k** et diffusivité thermique de **1,72E-07 m²/s**.

b) Résultats de l'étude économique:

1. L'échantillon de 0% ne présente aucun confort thermique ; la densité de flux calculer est de **0.71 kWh/m²**, l'énergie consommée est de **34.54kwh/m²** et le cout de l'énergie économisée est de **0.00 DA** avec un cout supplémentaire de **0.00 DA** et un cout total de **166.20 DA/m²**. le prix d'un seul brique est estimé à **23 DA**.

Conclusion générale

2. L'échantillon de 13,5% présente un abaissement de densité du flux de **0,05 kWh /m²** et énergie consommée **2.54 kWh/m²** par rapport à l'échantillon de 0%. et augmentation de coût énergie économie de **12.22 DA** et coût supplémentaire de **14.45 DA** et coût total de **2.23 DA** et prix de une seule brique **0.43 DA** par rapport à l'échantillon de 0% de Drine.
3. L'échantillon de 15,85 % présente un abaissement de densité du flux de **0.12 kWh /m²** et énergie consommée **5.9 kWh/m²** et coût énergie économie **28.37 DA** et coût supplémentaire **-30.26 DA** et coût total **58.62 DA** et prix de une seule brique **0.91 DA** par rapport à l'échantillon de 0% drine.
4. L'échantillon de 13,5 % présente un abaissement de densité du flux de **0.17 kWh /m²** et énergie consommée **8.22 kWh/m²** par rapport à l'échantillon de 0% de drine. et augmentation de coût énergie économie de **39.55 DA** et coût supplémentaire de **19.72 DA** et coût total de **19.82 DA** et prix de une seule brique **23.59 DA** par rapport à l'échantillon de 0% Drine.

La variation de ces paramètres est due à la nature et le pourcentage de Drine dans les l'échantillon.

Le choix de la brique modifiée s'appuie sur les aspects suivants :

- aspect thermique (conductivité thermique, la masse volumique, capacité thermique diffusivité thermique).
- aspect économique (réduction des coûts de l'énergie consommée par la climatisation, le coût unitaire de la brique, et le payback).

Bien que la composante idéale de la conductivité thermique et de la masse volumique soit (25.23% Drine), les résultats de l'étude économique prouvent que 15.84 % de Drine est la meilleure brique qui donne le moindre payback.

Enfin, après les expériences réalisées au niveau des laboratoires d'énergies renouvelables, de production pétrolière et de géologie, on a conclu que le type qui a donné les meilleurs résultats dans le cas où le prix de Drine est élevé est l'argile avec un pourcentage en masse de Drine de 15,84 % par rapport à la masse totale de l'argile.

Conclusion générale

L'introduction de cette plante avec ce pourcentage dans l'argile a réduit la conductivité thermique de celle-ci à 0,8 w/m.k, la masse volumique à 1648,5 kg/m³ et le flux de chaleur à 1,057 w.

En fin de compte, l'Algérie doit utiliser des matériaux locaux d'un prix acceptable et les utiliser pour construire des isolants thermiques afin de réduire les coûts de construction et de réduire la consommation d'énergie.

Références

- [1] CLAUDE-ALAIN ROULET Revue économique et sociale 65 (2007) 181-195 (Roulet, 2007)
- [2] L'énergie au futur: propositions pour une politique responsable, (1997), Edition en bas, case postale 304, 1000 Lausanne 17 Suisse
- [3] Roulet CLAUDE-ALAIN, THERMIQUE DU BATIMENT, LAUSANNE, 1er janvier 2016.
- [4] Hidouri Khaoula, Confort thermique des bâtiments, (2012/2013), Université de Gabès
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Confort_thermique (consulter le 03 mai 2018)
- [6] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-humidite-air-14562/> (consulter le 03 mai 2018).
- [7] <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Confort%20thermique/fr-fr/> (consulter le 03 mai 2018.)
- [8] Melle BADECHE MOUNIRA, Impact de la loggia vitrée sur le confort thermique Dans la région de Constantine, Université de Mentouri Constantine année 2007/2008
- [9] D SAFFIDINE, Ambiance et confort thermique, 2010, univ de Biskra
- [10] <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie> (consulter le 15 mai 2018)
- [11] <https://fr.climate-data.org/location/3694/> (Consulter le 2 juin 2018).
- [12] "Fabrication de Briques" brochure proposé par la fédération belge de la Briques
- [13] MOREL R, (1996), Les sols cultivés. Lavoisier, Paris
- [14] TUCKER M.E. (1981), Sedimentary petrology, An introduction, Blackwell.
- [15] A. KOMAR, Matériaux et Elément de Construction, Edition MIR 1978.
- [16] L. ALVISET, Matériaux de Terre Cuite "Techniques de l'Ingénieur" 1994.
- [17] E OLIVER, Technologie des Matériaux de Construction, Edition ISBN 1976

- [18] M. L. LOUCEF, Mémoire de Magister "Elaboration de Brique Réfractaire à Base de la Dolomie de Ain Mimoun (INMC) Boumerdes 1997.
- [19] A. BOUZENOUNE, Les écosystèmes steppiques et saharienne.2003
- [20] S. BOUDJAD, A. HARFOUCHEH, W. CHETTAH, variabilité de caractères morphologiques et adaptifs à une échelle restreinte chez l'alfa (*stipa tenacissima* L), Journées Internationales sur la Désertification et le Développement Durable
- [21] Nesrine SAHRAOUI, Hafnaoui GOUTAR, Amélioration de l'efficacité thermique de l'enveloppe des habitats par l'utilisation des matériaux locaux, Univ De Ouargla, 2016
- [22] D. Nedjraoui, Country Pasture/Forage Resource Profiles, 2006
- [23] <http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/s1017.aspx> (consulté le 26-05-2018)
- [24] https://fr.wikipedia.org/wiki/Flux_thermique (consulté le 01-06-2018)
- [25] http://www.thermique-du-batiment.wikibis.com/diffusivite_thermique.php (consulté le 01-06-2018)
- [26] Fiche Thermique « Isolation thermique », Mairie de Paris, Edition de 5 (Novembre 2009)
- [27] formule (III-14, III-15 , III-16 , III-17 , III-18 , III-19 , III,20) N. Daouas / Applied Energy 88 (2011) 156–164 e journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy
- [28] <https://tradingeconomics.com/> (consulté le 12-05-2018)
- [29] www.algerie-focus.com Algérie Eco-Business (consulté le 15-05-2018)

Résumé

Le climat dans les régions sahariennes dans notre pays caractérise par un hiver froid et sec et un été très chaud. Les matériaux de construction utilisés dans ces régions sont le béton et le mortier de ciment Et des briques, qui présentent une mauvaise résistance thermique ce qui engendre d'énormes dépenses de la consommation énergétique de climatisation et de chauffage et Augmentation significative des coûts dans la construction. Pour remédier à ce problème il est nécessaire d'installer des matériaux isolants.

Cette étude est lancée dans le souci de produire des échantillons en argile ayant de bonnes propriétés thermiques pour limiter la consommation d'énergie et augmenter le confort thermique dans l'habitat.

L'objectif de cette étude est de préparer des échantillons en argile et les examiner par la suite à l'aide de certains essais thermiques. Nous avons réalisé quelques ces modèles en utilisant des ingrédients locaux (Drine) et nous avons utilisé quatre pourcentages allant de (0% à 25,23%) du poids du argile Les résultats ont montré que l'augmentation en pourcentage de drine est bénéfique pour l'amélioration. Des propriétés thermiques et Ainsi qu'une réduire de la consommation d'énergie.

Mots clés: Isolation thermique, Consommation d'énergie, confort thermique, brique en argile

Abstract

The climate in the Saharan regions in our country is characterized by a cold and dry winter and a very hot summer. The building materials used in these areas are concrete and cement mortar and bricks, which have poor thermal resistance which generates huge expenditure of energy consumption of air conditioning and heating and significantly increased costs in construction. To remedy this problem it is necessary to install insulating materials.

This study is launched in order to produce clay samples with good thermal properties to limit energy consumption and increase thermal comfort in the home.

The objective of this study is to prepare clay samples and then examine them with some thermal tests. We made some of these models using local ingredients (Drine) and we used four percentages ranging from (0% to 25.23%) the weight of the clay. The results showed that the increase in percentage of die is beneficial for improvement. Thermal properties and a reduction in energy consumption.

Keywords: Thermal insulation, Energy consumption, thermal comfort, Clay bricks

ملخص

يتميز المناخ في المناطق الصحراوية في بلادنا بشتاء بارد وجاف وصيف حار جدا. مواد البناء المستعملة في هذه المناطق هي من الخرسانة و ملاط الاسمنت و الطوب و التي لا تعطي مقاومة حرارية جيدة للمبنى مما ينتج عنه زيادة كبيرة في الاستهلاك الطاقوي من اجل التبريد والتدفئة وزيادة كبيرة في تكاليف في البناء، ومن اجل تجنب هذا المشكل وجب إضافة مواد عازلة .

في هذه الدراسة ن فكر في صنع عينات من الأجر الطيني لديه خصائص حرارية جيدة للمساهمة في تقليل استهلاك الطاقة وكذا تثمين الموارد المحلية لتحسين الراحة الحرارية في البنايات. الهدف من هذه الدراسة هو تحضير نماذج من الأجر الطيني واخضاعه لتجارب حرارية. قمنا بانجاز هذه النماذج وذلك باستخدام مواد محلية (نبات الدرين) وقمنا باستخدام اربعة نسب تتراوح بين (0% الى 25,23%) من وزن الاجر, واطهرت النتائج انه كلما زادت نسبة (الدرين) تحسنت الخصائص الحرارية وكذا تخفيض في الاستهلاك الطاقوي

الكلمات المفتاحية: العزل الحراري, استهلاك الطاقة, الراحة الحرارية, أجر الطين