

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Ahmed Draia Adrar
Faculté Des Sciences et de Technologies
Département Des Sciences et Technologie



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master En Génie Civil

Option :Construction Civil et Industrielle

Présenté Par :

Bendahir fadila

Elfodda Khadra

THEME

**CARACTERISATION THERMO-PHYSIQUE DES
MATERIAUX LOCAUX A BASE D'ARGILE**

Soutenu Le 24/05/2017Devant un membre de jury composé de :

Dr. SEMCHA abdelaziz

président

Mr.BASSOUD abdelkader

Examineur

Mr. BADA Abdelmalek

Encadreur

Année Universitaire2016-2017

Remerciements

Nous remercions en premier lieu le Dieu ALLAH pour tout.

*Nous remercie en second mes appuis moraux mes parents
qui ont sacrifiés leur vie pour notre bien.*

*Nos remerciement les plus chaleureux et toute notre
reconnaissance à notre encadreur : Mr « BADA*

Abdelmalek » pour spéciaux conseils.

Pour leur soutien et leur aide.

*Nous remercions les membres de jury Dr.SEMCHA Abdeaziz
et Mr.BASSOUD Abdelkader qui nous font*

l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail

Sommaire

Résumé	I
Abstract	II
الملخص	III
Nomenclature	IV
Liste des figures	V
Liste des photos	IX
Liste des tableauxX
Introduction générale	XI
Problématique	XIII

Chapitre I : Analyse et synthèse bibliographique

I.1 Introduction	1
I.2 Analyse des travaux	1
I.2.1 E. Ouedraogo et al	1
I.2.2 Moro Olivier et al.....	3
I.2.3 Lahcen boukhattem	5
I.2.4 Akid et slimani.....	10
I.2.5 Soulimani et elhamal.....	11
I.2.6 Aziz et boukhechba.....	11
I.2.7 Boussaâdi et ben Ali.....	13
I.3 Conclusion	16

Chapitre II : Généralité sur les propriétés et les transferts thermiques

II.1 Introduction	17
II.2 Notion de chaleur	17
II.3 Le transfert de chaleur thermique	17
II.4 Les modes de transfert de chaleur.....	17
II.4 .1 Conduction	17
II.4.2 Convection	17
II.4.2.1 La convection naturelle.....	18
II.4.2.2 La convection forcée.....	18
II.4.2. 3 La convection mixte.....	18
II.4.3 Rayonnement	18
II.5Echangeur de chaleur	18
II.6 Les propriétés thermiques	19
II.6.1 Flux thermique	19
II.6.2 Densité de flux thermique	20
II.6.3 Effusivité thermique.....	20
II.6.4 Surfaces isothermes	20
II.6.5 Gradient de température.....	20
II.6.6 Conductivité thermique (λ)	21
II.6.7 Diffusivité thermique (a)	21
II.6.8 la capacité thermique.....	21
II.6.9 L'inertie thermique	21
II.3 Conclusion	22

Chapitre III : Techniques de mesure et caractérisation thermo - physique des matériaux

III.1 Introduction	23
III.2 Méthodes de détermination des propriétés thermique de matériaux	23
III.2.1 Méthode en régime permanent.....	23
III.2.1.1 Méthode de la plaque chaude gardée.....	23
III.2.1.2 Méthode de boîte	24
III.2.2 Méthode en régime transitoire	26
III.2.2.1 La méthode du fil chaud	26
III.2.2.2 Méthode « Laser Flash »	28
III.2.2.3 Méthode flash	29
III.2.2.3 Méthode de Parker.....	30
III.2.2.4 Méthode des temps partiels.....	31
III.2.2.5 Calorimètre à chute	32
III.3 Conclusion	33

Chapitre IV : Campagne expérimentale

IV.1 Introduction	34
IV.2 Définitions.....	34
IV.2.1 Argile.....	34
IV.2.2 Ciment.....	34
IV.2.3 Sable.....	35
IV.2.3.1 Le sable de dunes	35
IV.2.3.2 Sable concassé	35
IV.3 Matériaux utilisés.....	35

IV.4 Identification des matériaux utilisés	35
IV.4.1 Identification de sable.....	35
IV.4.2.1 Analyse granulométrique	35
IV.4.2.1.1 Matérielles utilisée	36
IV.4.2.1.2 Mode opératoire	36
IV.4.2 Identification d'argile.....	36
IV.4.2.1 Analyse granulométrique par sédimentométrie.....	36
IV.4.2.2 Limite de liquidité.....	38
IV.4.2.3 Limite de plasticité.....	40
IV.4.2.4 Etude du comportement plastique d'argile.....	41
IV.4.2.5 Estimation du potentiel de gonflement.....	41
IV.5 Essai thermique.....	41
IV.5.1 Formulation d'échenillent	41
IV.5.1.1 Mode opératoire.....	42
IV.6. Mesure La conductivité thermique	43
IV.7 Mesure La diffusivité thermique.....	44
IV.7.1 détermination La diffusivité thermique	45
IV.8 détermination la chaleur massique (C_p).....	45
IV.9 détermination la effusivité thermique.....	45
IV.10 Conclusion	45

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1 Introduction	46
V.2 Analyse granulométrique	46
V. 3 Résultat d'essai thermique	48
V.3.1 échantillons contient le sable concassé	48
V.3.1.1 La conductivité thermique	48
V. 3.1.2 La diffusivité thermique	51
V.3.1.3 L'effet de la masse volumique sur les propriétés thermo physique	54
V.3.1.4 Détermination de la chaleur spécifique	56
V.3.1.5 Détermination de l'effusivité thermique.....	57
V.3.2 échantillons contient le sable de dune	58
V.3.2.1 la conductivité thermique.....	58
V. 3.2.2 la diffusivité thermique	60
V.3.3 comparaison entre les deux types de sables.....	64
V.4 conclusion.....	67

Conclusion générale

Résumé

L'adoption de matériaux de construction modernes tels que le ciment, le béton et le mortier dans les zones désertiques conduit à une grande consommation de l'énergie pour assurer le confort thermique à l'intérieur du bâtiment. Pour diminuer ce phénomène de forte consommation, nous devons utiliser des matériaux possédant des caractéristiques appropriées vis-à-vis du climat de la région, et qui sont caractérisés par une bonne isolation thermique.

Dans notre travail, on va déterminer les propriétés thermo-physiques telles que la conductivité et la diffusivité thermiques d'un béton d'argile et étudier l'influence du degré de saturation sur ces propriétés. On fait les mesures sur deux types d'échantillon, l'un contient le sable concassé et l'autre contient le sable de dune. On trouve que ce dernier a une meilleure isolation thermique.

A partir des résultats expérimentaux, on remarque que la conductivité thermique et la diffusivité thermique du béton d'argile augmente à cause de l'augmentation du taux de saturation.

Mots clés :

Zone aride, consommation énergétique, béton d'argile, isolation thermique, taux de saturation.

الملخص

ان اعتماد مواد البناء الحديثة كالإسمنت، الخرسانة و الملاط في المناطق الصحراوية أدى الى الاستهلاك الكبير للطاقة من أجل توفير الراحة الحرارية داخل المبنى، و للحد من هذه الظاهرة يتوجب علينا استعمال مواد ذات خصائص ملائمة مع مناخ المنطقة و التي تمتاز بخاصية العزل الحراري.

في عملنا هذا قمنا بتحديد الخصائص الفيزيائية كالناقلية الحرارية و التدفق الحراري للخرسانة الطينية و دراسة تأثير الرطوبة على هذه الخصائص. حيث قمنا بالقياس على نوعين من العينات، واحدة تحتوي على الرمال المسحوق و الاخرى تحتوي على رمال الكثبان. في الاخير توصلنا الى ان هذه الاخيرة عازلة على الاولى.

انطلاقا من النتائج التجريبية وجدنا ان الناقلية الحرارية و التدفق الحراري تزداد بزيادة نسبة الرطوبة.

الكلمات المفتاحية : منطقة جافة، استهلاك طاقي، الطين، العزل الحراري، نسبة التشبع.

Abstract

The adoption of modern building materials such as cement, concrete and slurry in the desert areas led to the large consumption of energy.

From In order to provide thermal comfort inside the building and to reduce this phenomenon we must use materials with characteristics suitable to the climate of the region, which has the characteristic of thermal insulation.

In this work, we determined the physical properties such as thermal conductivity and the thermal flow of clay concrete and study the effect of moisture on these properties. We measured two types of samples, one containing sand powder and the other containing sand dunes. In good order we concluded that the latter buffer on the first.

Based on the experimental results we found that thermal conductivity and thermal flow increase with increasing humidity.

Keywords: Arid zone, energy consumption, clay concrete, thermal insulation, saturation rate.

Nomenclature

R_t : Lecture de l'éprouvette A au temps t

R_B : Lecture de l'éprouvette B (Eprouvette témoin)

W : teneur en eau.(%)

W_L : limite de liquidité (%)

W_p : limite de plasticité (%)

I_p : indice de plasticité (%)

ρ : masse volumique (kg/m³)

ρ_w : Masse volumique de l'eau..... (kg/m³)

ρ_s masse volumique des grain solide..... (kg/m³)

m: masse (Kg)

T : Temps (s)

T : température (°C, K)

V_s : Volume de la suspension 1L..... (L)

λ : Conductivité thermique (W/m.K)

C_p : Chaleur spécifique(kJ/m³.K), (J/kg.K)

C : capacité thermique (J/K)

ϕ : Flux thermique(w)

Φ : densité de flux(W/m²)

a: diffusivitéthermique(m²/s)

e: Epaisseur d'échantillon.....(cm)

E : effusivitéthermique(W/m².K.s^{-0,5})

q_1 : Pertes latérales dans B1.....(°C)

\dot{q} : Puissance émise par C.....(w)

T_c : température de face supérieure d'échantillon.....(°C)

T_f : température de face supérieure d'échantillon.....(°C)

T_B :température de boîte.....(°C)

T_a : température de l'ambient.....(°C)

A :aire des faces d'échantillon.....(m²)

Liste des figures

Chapitre I

Fig.I.1 Résistance à la compression en fonction de l'âge des BTC.....	02
Fig. I. 2 courbe représente la résistance à la compression varie en fonction de la teneur en ciment.....	04
Fig. I. 03 Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en ciment.....	05
Fig. I.04 Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur Volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire.....	06
Fig. I.05 Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur Volumique en eau du sable.	06
Fig. I.06 Variation de la diffusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire.	07
Fig. I.07 Variation de la diffusivité thermique en fonction de la teneur volumique En eau du sable.	07
Fig. I.08 Variation de la chaleur massique en fonction de la teneur volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire.....	08
Fig. I.09 Variation de la chaleur massique en fonction de la teneur volumique en eau du sable.	08
Fig. I.10 Variations de l'effusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire.	09
Fig. I.11 Variations de l'effusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau du sable.	09
Fig. I.12 Variation de la conductivité thermique en fonction de masse volumique.....	10
Fig. I.13 Variation de la conductivité thermique en fonction de l'épaisseur L'élévation d'épaisseur améliorée la résistance thermique d'échantillon.....	11
Fig. I.14 La courbe comparaison la variation de la conductivité thermique de différent échantillon on fonction de la teneur en eau.....	12
Fig.I.15 La courbe comparaison la variation de la conductivité thermique de différent échantillon on fonction de la température.....	12
Fig. I.16 Résistance à la compression en fonction de % de ciment et la chaux.....	14

Fig. I.17 la conductivité thermique en fonction de % de ciment et la chaux (Argile 1).....14

Fig. I.18 La résistance à la compression en fonction de % de ciment et la chaux (argile2)....15

Fig. I.19 La conductivité thermique en fonction de % de ciment et la chaux (argile 2).....15

Chapitre III

Fig. III.1-: Schéma de principe de la méthode de la plaque chaude gardée.....23

Fig III.2: Vue générale de la cellule de mesure " la méthode des boîtes.....24

Fig.III.3 : Boîte de mesure de la conductivité thermique.....25

Fig.III.4 Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud26

Fig III.5 Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud28

Fig III.6 principe de méthode laser flash.....29

Fig III.7. Schéma de principe de la méthode flash.....30

Fig III.8 Courbe théorique de la température réduite de la face arrière.31

Fig III.9: Courbe théorique de la température réduite de la face arrière32

Fig III.10 Calorimètre à chute pour la mesure de la capacité thermique.....33

Chapitre IV

Fig IV.01: courbe de limite de liquidité d'argile.45

Chapitre V

Fig V.01: courbe d'analyse granulométrique de sable concassé.....47

Fig V.02: courbe d'analyse granulométrique de sable de dune.....48

Fig V.03: courbe de la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%)argile + (80%)sable).....49

Fig V.04 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%)sable+(8%) ciment)50

Fig V.05 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation

((18%)argile+(74%)sable+(8%) ciment) et ((20%)argile+(80%)sable).....	50
FigV.06 : thermogramme de variation de température en fonction de temps pour mesure la diffusivité thermique ((20%) argile +(80%) sable).....	52
FigV.07 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%) argile+(80%)sable).....	52
FigV.08 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%)sable+(8%) ciment).....	53
FigV.09 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%) sable+(8%)) ciment et ((20%) argile+(80%)sable).....	53
FigV.10 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.....	54
FigV.11 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.....	54
FigV.12 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.....	54
FigV.13 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.....	56
FigV.14 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%)argile+(80%)sable).....	58
FigV.15 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%)sable+(8%) ciment).....	59
FigV.16 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%)sable+(8%)) ciment) et ((20%)argile+(80%)sable).....	59
FigV.17 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%)argile+(80%)sable).....	60
FigV.18 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%)sable+ (8%)ciment) et ((20%)argile+(80%)sable).....	60

FigV.19 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+(74%)sable+(8%)) cimentet ((20%)argile(80%)sable).....	61
FigV.20 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.....	61
FigV.21 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.....	61
FigV.22 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.....	63
FigV.23 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.....	63
FigV.24 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%)argile+(80)sable).....	64
FigV.25 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation (argile+sable+ ciment).....	65
FigV.26 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation (argile+sable).....	65
FigV.27 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation (argile +sable+ ciment).....	66

Liste des photos

Chapitre II

photo.II.01 photo d'échangeur à tube unique.....	19
photo.II.02 : photo L'échangeur à faisceaux tubulaires	19

ChapitreIV

photo.IV.01 : photo de composants de mélange.....	36
photo.IV.02 : photo de moulage et démoulage d'échantillons.....	38
PhotoIV.03: limite de plasticité.....	40
photo.IV.05 : photo de moulage et démoulage d'échantillons. (auteures)	42
photo.IV.04 : photo de composants de mélange. (auteures).....	43

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Propriétés thermo physiques des blocs de terre comprimée.....03

Chapitre IV

Tableau IV.01: d'Analyse granulométrique par sédimentométrie.....37

Tableau IV.02 : résultats de limite de liquidité d'argile.....38

Tableau IV.03: résultats de limite de plasticité d'argile.....40

Tableau IV.04: les résultats des calculs.....40

Tableau IV.05: Etude du comportement plastique.....41

Tableau IV.06 : Estimation du potentiel de gonflement, O'NELL ET POORMOAYED (1980).....41

Tableau IV.07 : Mélange 01: argile +sable.....42

Tableau IV.08 : Mélange 02 : argile +sable +ciment..... 42

Chapitre V

Tableau V.01 : analyse granulométrique de sable concassé.....46

Tableau V.02 : analyse granulométrique de sable de dune.....47

Tableau V.03 : résultats obtenu par l'appareille EI 700.....49

Tableau V.04 : les résultats relèvent à partir de thermogramme.....52

Tableau V.05 : propriété thermophysique d'un bloc de terre d'argile. (Sable concassé).....57

Tableau V.06 : résultats obtenu de l'appareille EI 700.....58

Tableau V.07: propriété thermophysique d'un bloc de terre d'argile (sable de dune).....64

Introduction générale

Dans la filière du bâtiment, la recherche d'économies d'énergie permet d'atteindre depuis long temps le stade du bâtiment passif c'est-à-dire sans chauffage central, ou encore du bâtiment basse consommation. Leur performance énergétique a atteint un tel niveau qu'il n'y a pratiquement plus besoin d'énergie pour les chauffer ou les éclairer. Les enjeux se sont maintenant déplacés sur l'énergie grise : il y a beaucoup d'énergie grise incorporée dans les matériaux et dans la construction du bâtiment. Elle représente de 25 à 50 ans de consommation du bâtiment.[1]

Les récentes statistiques de consommation d'énergie en Algérie indiquent que la demande d'énergie et la consommation annuelle d'énergie ont considérablement augmenté. Le bâtiment, notamment le secteur résidentiel, ont le plus grand impact sur cette croissance. Dans l'avenir, il est prévu que la consommation d'énergie dans le secteur publique est susceptible d'augmenter considérablement.[1]

De nombreuses régions d'Algérie, principalement les zones sahariennes, connaissent d'importantes variations de température du climat extérieur, tant journalières que saisonnières. Ce qui implique qu'il faut chauffer les logements durant la saison froide et les climatiser durant la saison chaude. La consommation d'énergie sera importante, tant en hiver qu'en été. [2] Ceci est le résultat de l'utilisation des matériaux de construction modernes qui ne sont pas conformes au climat de la région, comme le fer, béton et parpaing. Avec elle, a une haute résistance mécanique, mais il ne fournit pas, le confort thermique et ne contribuent pas à l'économie d'énergie.

L'isolation thermique est l'une des stratégies adoptées lors de construction des logements permettant d'accroître l'isolation thermique et de réduire la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation. L'utilisation des isolants thermiques dans la construction des nouveaux bâtiments est la meilleure solution pour réduire la consommation en énergie liés au confort thermique dans les secteurs tertiaire et résidentiel. Telle que le matériau terre, il est caractérisé par sa disponibilité, puisqu'on le prend sur place pour construire. Cela n'empêche pas de sélectionner le site convenable pour prélever la terre, le type de mise en œuvre approprié, tout en tenant compte des données climatiques, sociales et architecturales.

Parmi les avantages de la terre crue, nous pouvons aussi souligner le peu d'énergie qu'elle nécessite sa mise en oeuvre, ses qualités esthétiques et une bonne inertie thermique, celle-ci permet d'avoir un habitat frais en été et qui conserve la chaleur en hiver. Mais le problème des constructions en terre, c'est qu'elles souffrent d'un déficit en résistance, d'une fissuration systématique due au retrait et se heurtent aux problèmes liés à leur sensibilité à l'eau. Pour une utilisation optimale et appropriée pour ces matériaux, et la sécurité des utilisateurs, ces matériaux doivent répondre à certaines normes. Notamment elles concernent les propriétés mécaniques. Dans cette étude nous déterminons les propriétés thermophysiques de bloc de terre qui est dépende à plusieurs facteurs, y compris la conductivité thermique (λ) qui caractérise uniquement ces performances isolantes et la résistance thermique (R) qui a une relation linéaire avec les performances isolantes.

Objective du travail (Problématique)

La question de l'utilisation rationnelle de l'énergie s'est imposée ces dernières années, pour faire face à l'accroissement de son coût et aux conséquences catastrophiques sur l'environnement, d'une utilisation abusive. Tous les secteurs sont concernés et doivent être impliqués.

La région d'Adrar est caractérisée par un Climat, chaud et sec en été, froid et sec en hiver et les matériaux utilisés dans ce région sont le béton ou le mortier qui présentent de mauvaises propriétés thermiques. Donc les installations de chauffage ou de climatisation dans ces régions dévorent une quantité importante d'énergie pour assurer des conditions de confort thermique à l'intérieur des bâtiments. Le calcul des besoins énergétiques dépend fortement des propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment, qui sont constituées de matériaux de construction, qui sont généralement, des milieux poreux capables d'absorber, de contenir et d'échanger de l'humidité. Pour ces raisons, nous avons fait des recherches sur des matériaux locaux alternatives.

L'exploitation de matériaux locaux dans différents domaines reste la meilleure solution pour affronter les problèmes qui sont provoqués par l'utilisation des matériaux artificiels sur tout ce qui concerne la consommation énergétique dans le bâtiment.

La connaissance de tous les matériaux n'est pas possible, mais le choix ne doit pas, pour autant, être le fait du hasard, celui d'une croyance injustifiée ou, simplement, celui de l'écoute des arguments des marchands de matériaux qui plaident souvent plus pour leur porte-monnaie que pour la réalité des faits. Elle doit simplement résulter de la prise en compte des caractéristiques qui doivent être contrôlées et de préférence certifiées, afin de vérifier si les matériaux retenus sont en mesure de remplir le rôle qui leur est dévolu ou non. Pour être en mesure de juger de leur utilité réelle d'un point de vue thermique, il n'y a pas d'autre solution que de connaître les caractéristiques thermo physiques qui influencent principalement leur qualité d'isolation, mais aussi d'inertie par transmission et par absorption.

La détermination des propriétés thermo physiques usuelles telle que la conductivité, la diffusivité thermique et la chaleur spécifique contribue à une meilleure connaissance du comportement thermique des matériaux utilisés dans un grand nombre de domaines à savoir, domaine de génie civil, construction et isolation, industrie, agriculture, et aussi dans le domaine de poterie, pharmaceutique et ce est notre objectif de ce travail.



Chapitre I

Analyse et synthèse bibliographique

I.1 Introduction

Compte tenu des exigences des matériaux de construction modernes de cout élevés et de consommation importants d'énergies, les spécialistes sont allés à la construction en terre et l'utilisation des matériaux locaux avec les derniers développements technologiques qu'il a connu au cours des dernières années.

L'utilisation de La terre comme matériau de construction suscite l'intérêt de divers spécialistes (Architectes, ingénieurs, etc....) pour ses diverses qualités techniques et esthétiques.

Aujourd'hui il existe des moyens d'utiliser la terre sous les climats tempérés et des Architectes et ingénieurs s'emploient à revaloriser ce matériau pour ses indéniables Qualités plastiques et thermiques, comme l'adobe, le pisé, brique de terre comprimée, ils ont résisté à la chaleur, facilitée d'entretien, faible répercussions environnementales, moindre ponction sur les ressources naturelles.

I.2 Analyse des travaux

I.2.1 E. Ouedraogo et al [3]

Ce travaille présent une étude sur caractérisation mécanique et thermo physique des blocs de terre comprimée stabilisée au papier (cellulose) et/ou au ciment. Ou a suivent la variation de ces propriétés en fonction du matériau ajoutée (papier, ciment), pour cela, il suit la méthodologie à suivre :

Identification du sable et l'argile à partir des essais en laboratoire représenté par :

- L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions de grains de différentes tailles d'un matériau. Elle s'effectue par tamisage (tamis à maille carrée) pour des grains de diamètre supérieur à 80 μ m, et par sédimentométrie pour les grains les plus fins.
- Limite d'Atterberg sont des caractéristiques géotechniques conventionnelles d'un sol qui marquent les seuils entre le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique, et le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide. L'indice de plasticité (I_p) définit l'étendue du domaine plastique. Il est particulièrement important car il indique l'étendue de la gamme des teneurs en eau entre lesquelles le sol reste plastique .Il permet d'apprécier la quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon.

Après l'identification, il doit être malaxé avant la confection et le séchage des blocs. L'ajout des stabilisants se fait lors du malaxage. Les blocs de terre comprimée stabilisée comportent en masse 4 % de ciment et/ou 0,78 % de papier et le reste en matériau terre. Ces différents blocs ont été caractérisés afin de déterminer quelques propriétés mécaniques et thermo physiques.

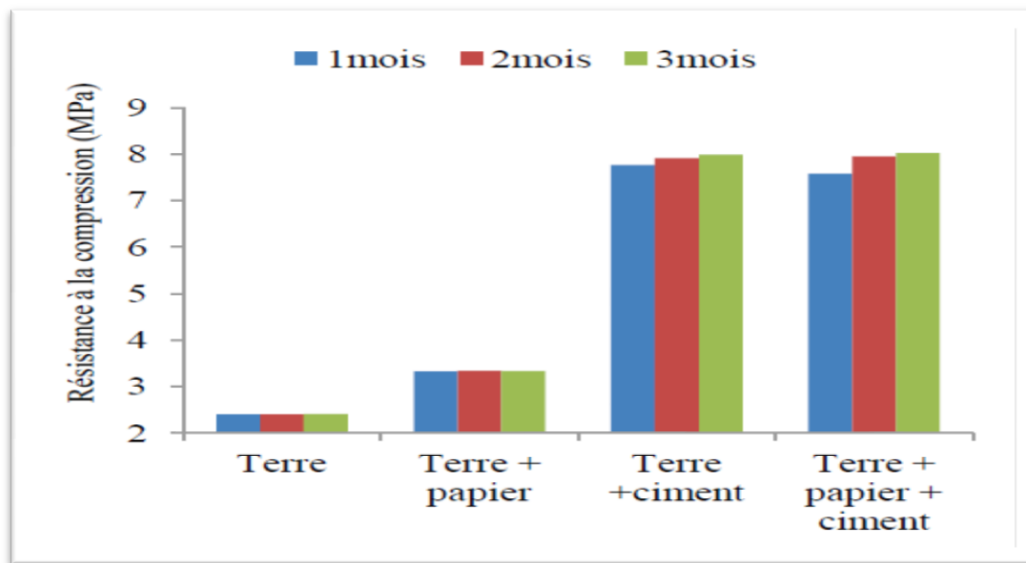


Fig.I.1 : -Résistance à la compression en fonction de l'âge des BTC [3]

Les essais de compression ont été réalisés 30 jours après la confection des blocs. Ces blocs avaient une teneur moyenne de 1,3%. Les valeurs des résistances varient de 2,399 à 7,765 MPa. Lorsqu'on incorpore à la terre du papier (cellulose), du ciment et du mélange ciment-papier, les valeurs des résistances sont améliorées respectivement de 38,75%, 223,54% et 215,5%. Nous remarquons que le papier qui est une matière organique retarde la prise du ciment au début mais à partir du second mois de cure, il contribue à améliorer les résistances. La faible augmentation des valeurs des résistances des blocs contenant du ciment avec le temps est essentiellement due au fait que la réaction pouzzolanique se poursuit, il s'agit d'une réaction dont la cinétique est lente [4]. Après 28 jours de cure, l'évolution des propriétés mécaniques des blocs est peu significative.

Tableau I.1 : Propriétés thermo physiques des blocs de terre comprimée [3]

Propriétés	Terre	Terre + papier	Terre + ciment	Terre + papier + ciment
λ (W.m-1. K-1)	0,556 \pm 0,006	0,490 \pm 0,004	0,671 \pm 0,009	0,588 \pm 0,006
C (MJ. m-3.K-1)	2,602 \pm 0,034	2,778 \pm 0,025	2,925 \pm 0,038	2,842 \pm 0,026
ρ (kg. m-3)	1835,450 27,532	\pm 1745,340 26,175	\pm 1959,760 \pm 28,392	1820,470 \pm 27,207
Cp (kJ.kg-1.K-1)	1,417 \pm 0,018	1,592 \pm 0,014	1,492 \pm 0,019	1,561 \pm 0,014
E (J. s-1/2.m-2.K-1)	1202,291 10,720	\pm 1164,555 \pm 10,341	1398,155 12,873	\pm 1285,095 12,301
α (10-7 m2.s-1)	2,140 \pm 0,023	1,767 \pm 0,016	2,360 \pm 0,034	2,180 \pm 0,023

D'après ces résultats on observe que le bloc (terre + papier) a une bonne isolation thermique car a conductivité thermique inférieure aux autres blocs.

Ils expliquent l'augmentation de la conductivité thermique avec l'ajout du ciment par le fait que le ciment constitué de fines, réduit le nombre de pores dont la conductivité est relativement faible.

Le bloc terre-papier a une meilleure isolation thermique par rapport aux autres blocs par ce que il a une faible diffusivité thermique et les blocs stabilisés au ciment a une diffusivité thermique grande donc le ciment a une mauvaise propriété thermique.

I.2.2 Moro Olivier et al [5]

Ce travail présente une étude de l'influence de ciment sur les propriétés thermomécaniques d'argile. Les échantillons destinés à cette étude, sont réalisés à partir d'une matière première de base composée en proportion massique de 80 % d'argile et de 20 % de sable. L'argile et le sable sont d'abord mélangés à sec pour former la matière première de base. A ce mélange, on ajoute différentes proportions de ciment portland CEM IIB (CPJ 32,5) dans des teneurs allant de 0 à 15 %. A chaque mélange de ces trois constituants à sec. Le mélange ainsi constitué est malaxé jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.

Deux types d'échantillons ont été réalisés pour cette étude.

Pour les mesures de la résistance à la compression des blocs de dimensions $22 \times 11 \times 8 \text{ cm}^3$ sont réalisés à l'aide d'une presse manuelle de type Terstaram permettant de faire un compactage statique. Afin de déterminer la conductivité thermique des blocs, des échantillons de petites tailles ($30 \times 30 \text{ mm}^2$) dont l'épaisseur varie entre 5 et 2 mm les résultats obtenir présent dans les figures suivants.

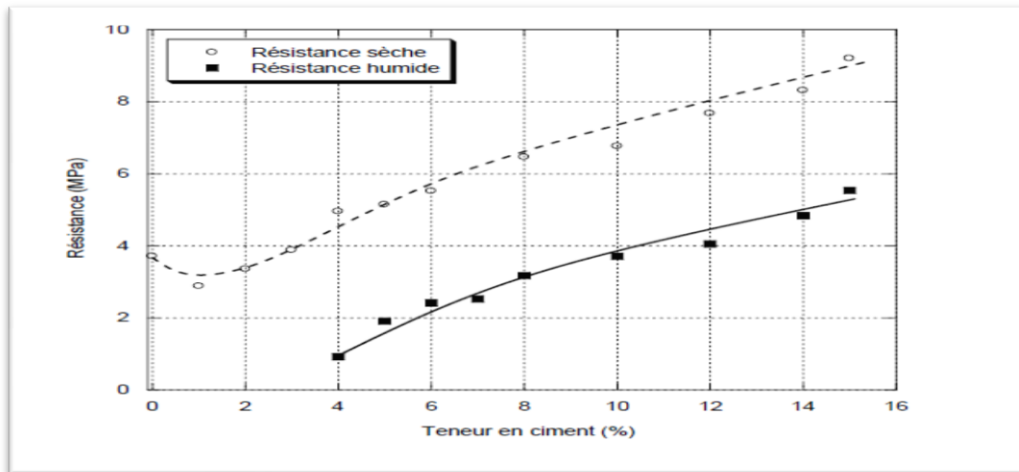


Fig. I. 2 : courbe représente la résistance à la compression varie en fonction de la teneur en ciment. [5]

Pour la compression par voie sèche, la résistance baisse entre 0 et 2 % de ciment. Elle varie de 3,7 MPa à 3,2 MPa en passant par 2,9 MPa pour 1 % de ciment. A partir de 3 % de ciment la résistance croît. Elle passe d'environ 3,8 MPa à 9 MPa. Pour les blocs humides, entre 0 et 3%, la résistance n'a pu être déterminée car les blocs sont totalement ou partiellement dissous sous l'action de l'eau au bout de 4 jours d'immersion. Les premières valeurs de résistance sont obtenues à partir de 4 % de ciment. Ici, la résistance croît. Elle passe de 0,92 à 5,5 MPa. La comparaison de la courbe de « résistance sèche » à la courbe de « résistance humide » montre que pour une même teneur en ciment, la « résistance sèche » est supérieure à la « résistance humide ». Cette différence de résistance constatée dans de nombreuses études relatives à la stabilisation des blocs de terre ou d'argile est liée à la pression exercée par l'eau au niveau des pores et à la dissolution partielle des probables zones non stabilisées dans les blocs immergés. L'immersion des blocs montre qu'il faut une teneur seuil en ciment de 4 % pour pouvoir mesurer des résistances humides. Les résultats montrent également que pour les sols à dominance argileuse, une teneur trop faible en ciment peut fragiliser ces matériaux.

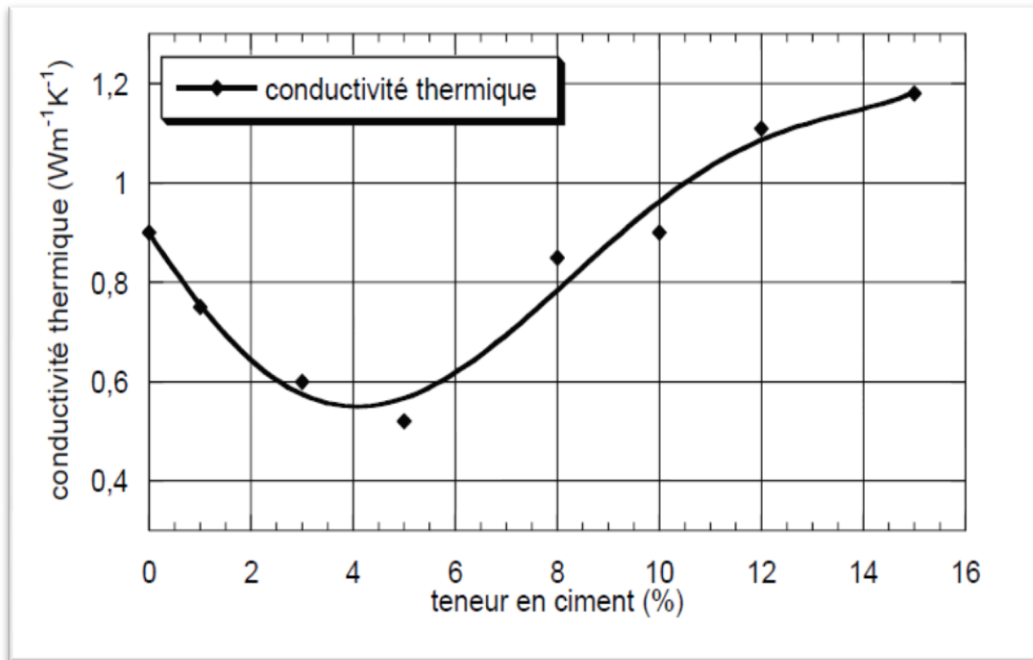


Fig. I. 3 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en ciment.[5]

On observe que la conductivité thermique augmente lorsque le teneur de ciment supérieur à 5%, mais il est faible dans l'intervalle [0%-5%] de teneur de ciment. La baisse de la conductivité thermique pourrait être liée à l'augmentation de la quantité de pores ou à l'augmentation du diamètre des pores occasionnée par une mauvaise répartition du ciment. En effet, on estime que pour cet intervalle la quantité de ciment est insuffisante pour favoriser la mise en place d'une structure homogène.

I.2.3 Lahcen boukhattem [6]

Il fait une étude expérimentale de caractérisation thermo physique de matériaux suivant: mortier, limon silteux, limon beige, limon calcaire et le sable. La caractérisation est faite par la méthode des boîtes du régime permanent et transitoire. La chaleur massique et l'effusivité thermique, du matériau sont également calculées.

.il détermine des propriétés thermophysique des sols limoneux. Ces sols limoneux ont été identifiés selon la classification LCPC. Les résultats sont les suivants :

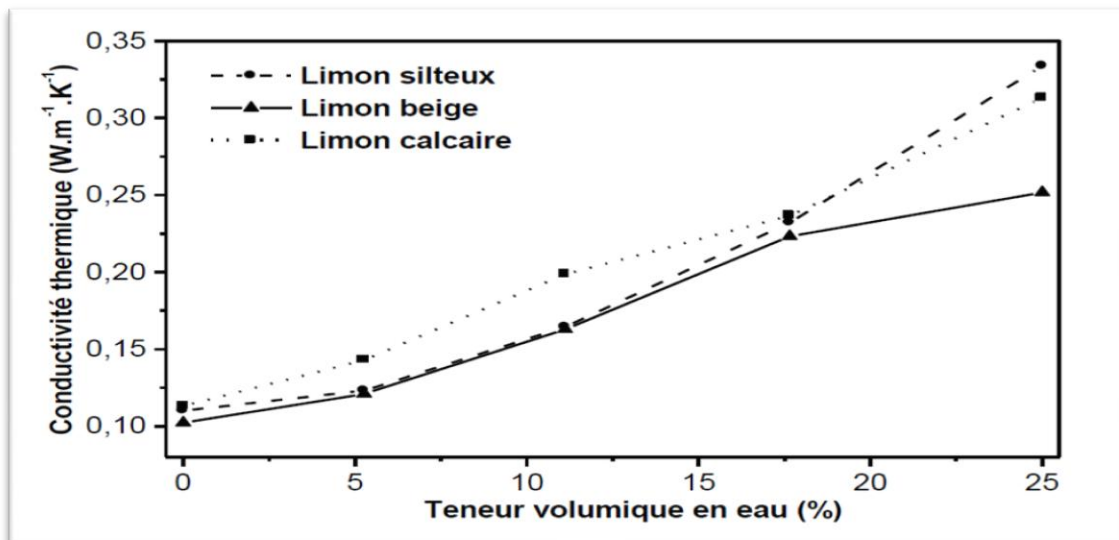


Fig. I.04 Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur Volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire. [6]

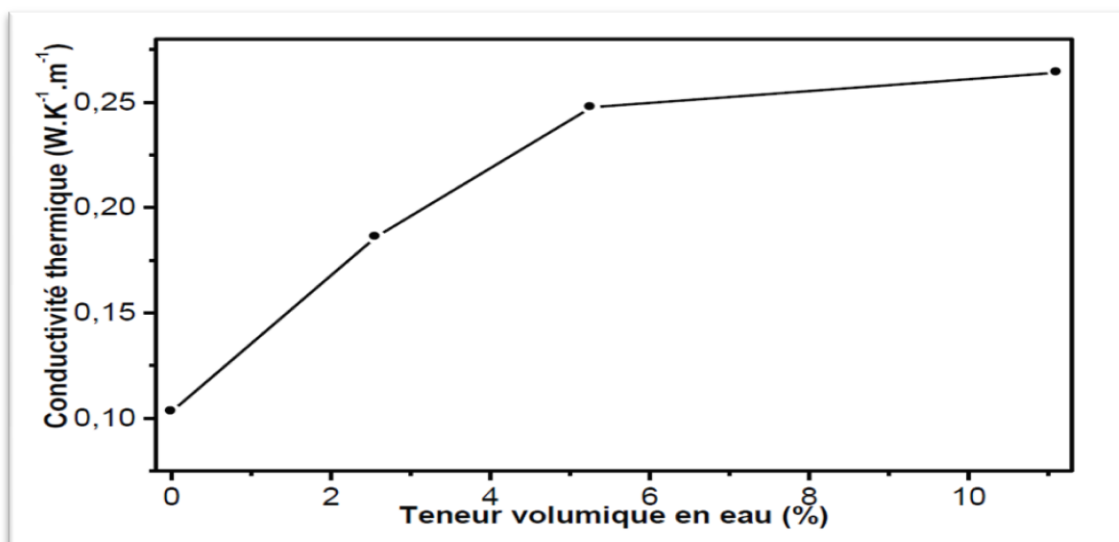


Fig. I.05 Evolution de la conductivité thermique en fonction de la teneur Volumique en eau du sable. [6]

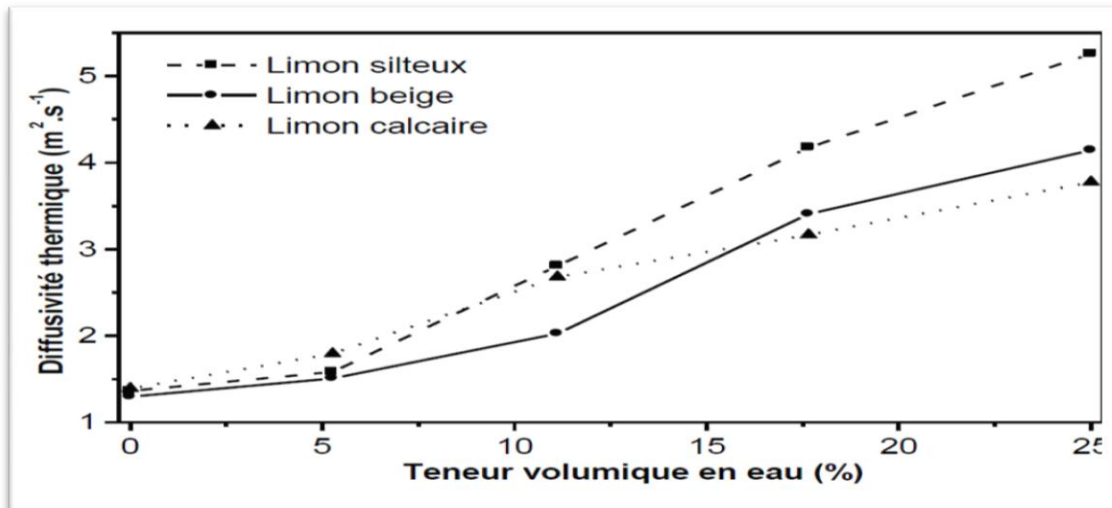


Fig. I.06 Variation de la diffusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire. [6]

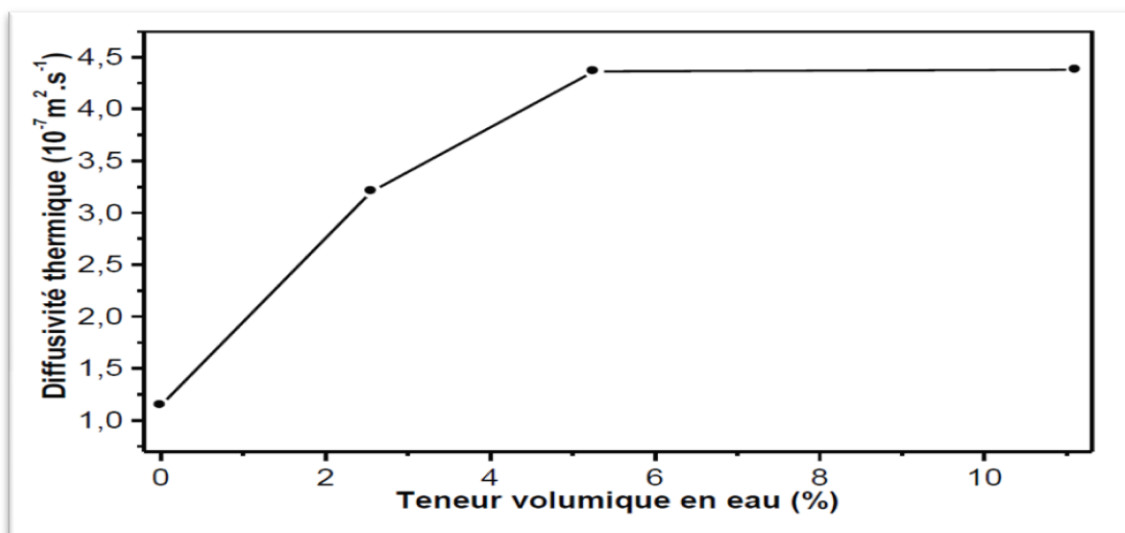


Fig. I.07 Variation de la diffusivité thermique en fonction de la teneur volumique En eau du sable. [6]

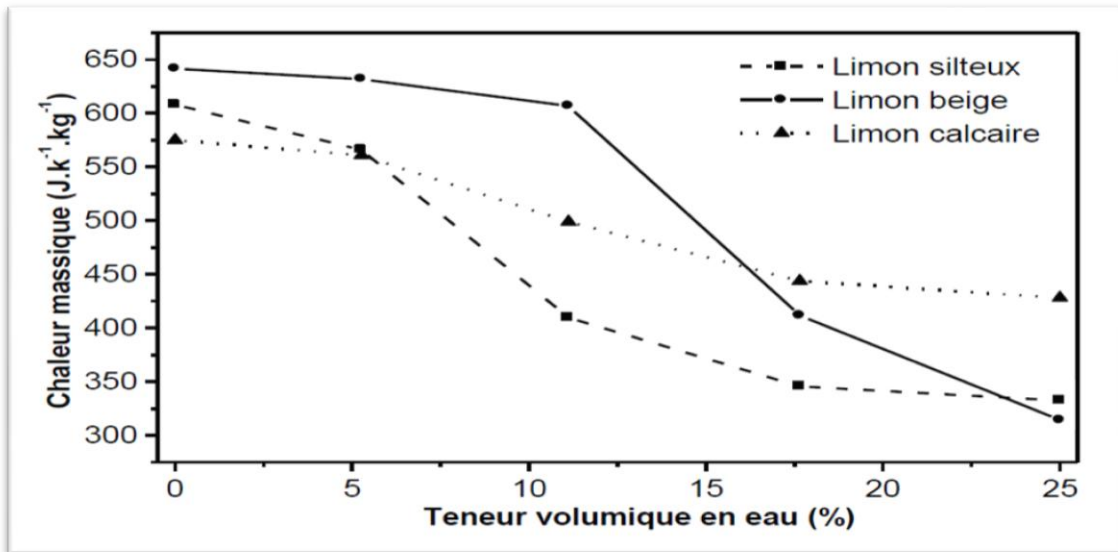


Fig. I.08 Variation de la chaleur massique en fonction de la teneur volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire. [6]

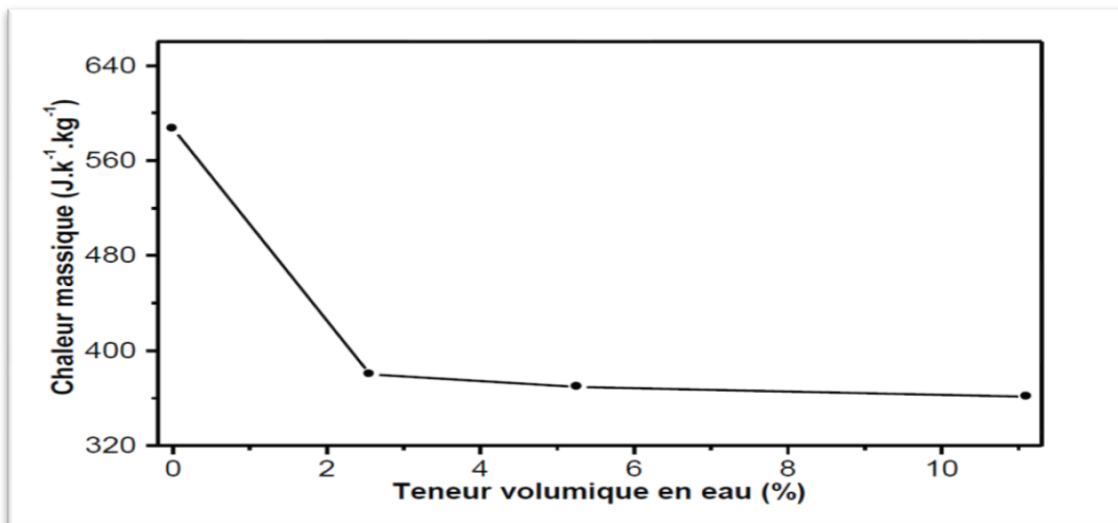


Fig. I.09 Variation de la chaleur massique en fonction de la teneur volumique en eau du sable. [6]

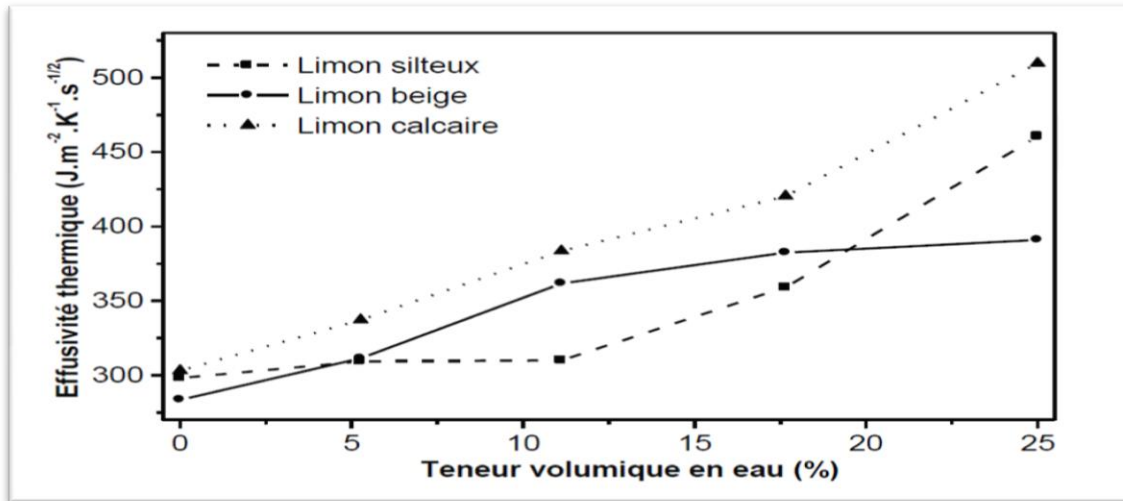


Fig. I.10 Variations de l'effusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau de limon silteux, limon beige et limon calcaire. [6]

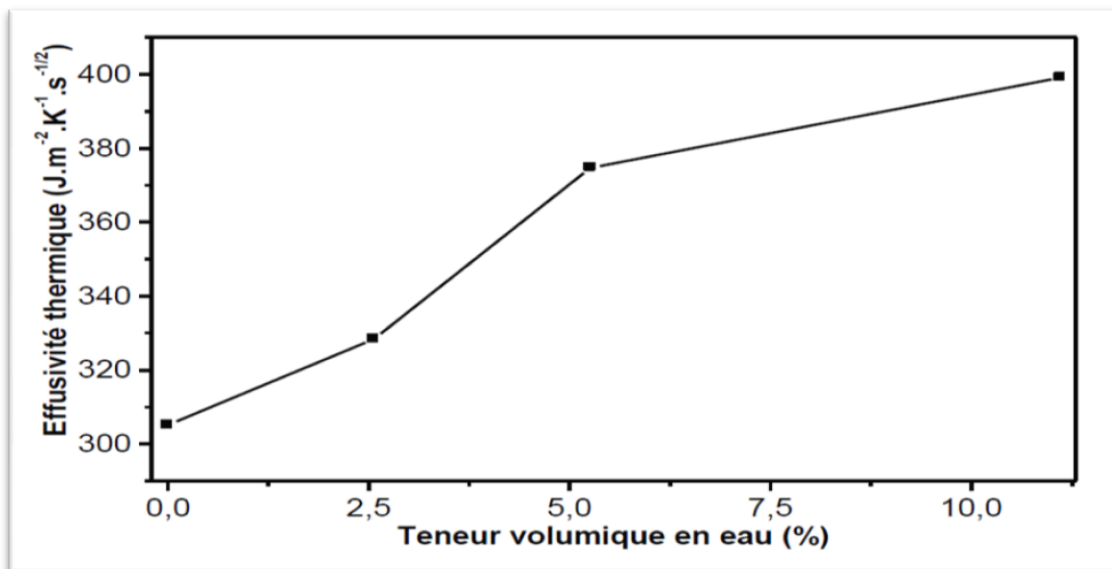


Fig. I.11 Variations de l'effusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau du sable. [6]

A la lumière des résultats expérimentaux obtenus, par la méthode des boîtes du régime permanent et régime transitoire, on peut constater que: la caractérisation thermophysique des sols limoneux prélevés des différents sites de la région d'Agadir: limon silteux, limon beige, limon calcaire et le sable. Sont fortement influencés par le pourcentage de l'eau dans le matériau. En effet, la conductivité thermique, la diffusivité thermique et l'effusivité thermique

croissent en fonction de la teneur volumique en eau. En revanche, la chaleur massique évolue dans le sens opposé aux trois grandeurs précédentes.

I.2.4 Akid et slimani [7]

Ce travail présente un modèle de l'influence du taux de fibre sur la conductivité thermique du bloc de terre. Où ils adoptent la méthodologie suivante :

- Identification des matériaux utilisés
- Préparation d'échantillons : trois types contiennent différentes quantités de fibre de moule (35X35X3, 5cm³)
 - 1- 25% argile + 75% sable
 - 2- 37,5% argile + 50% sable + 12,5%
 - 3- 25% argile + 50% sable + 25%

Après séchage ils mesurent la conductivité thermique de chaque échantillon par l'appareil H112N. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures suivantes :

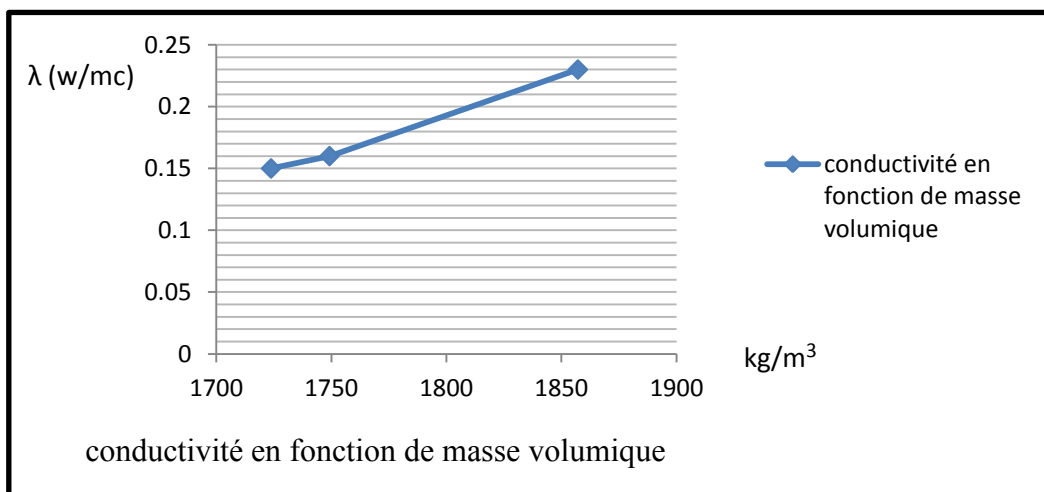


Fig. I.12 Variation de la conductivité thermique en fonction de masse volumique. [7]

Grâce à cette courbe on observe que la conductivité thermique augmente par l'augmentation de la masse volumique. Cela est dû à elle, moins de masse par rapport au volume du plus poreux (soit en quantité soit en taille) et par conséquent un manque de masse volumique et ceci est réalisé en fibre de palmier, ce qui conduit à une diminution de la conductivité

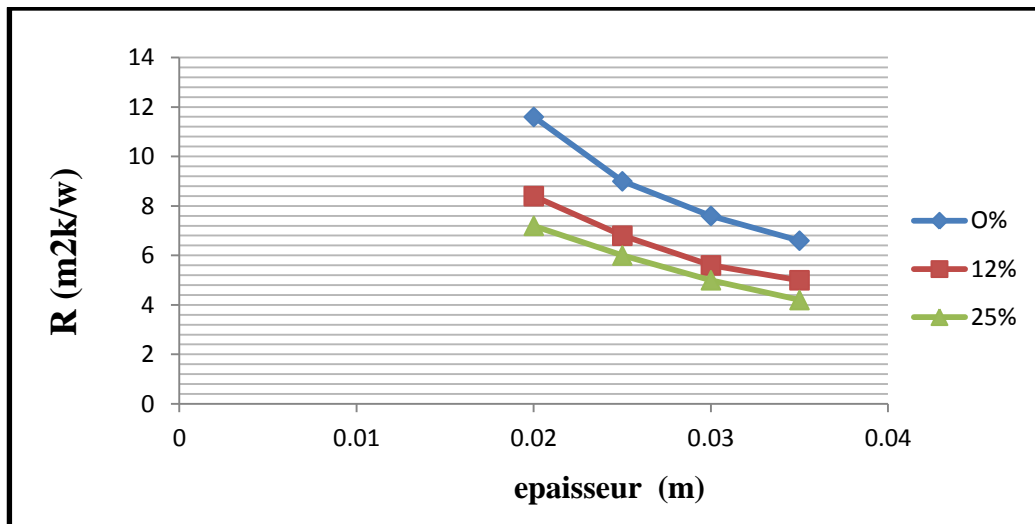


Fig. I.13 Variation de la conductivité thermique en fonction de l'épaisseur

L'élévation d'épaisseur amélioré la résistance thermique d'échantillon. [7]

I.2.5 Soulimani et elhamal [8]

En raison de la vie culturelle de voir Le délaissement des technique constructives anciennes et les matériaux locaux qui a une performance thermique devant le nouveau technique constructif et nouveau matériau (béton, acier) qui répondre les besoins des logements sociaux. Est-ce que il est possible d'assurer un bon niveau de confort tout en sauvegardent la richesse architecturale qui fait la singularité de l'architecture en terre par l'utilisation des matériaux locaux ?

Pour cela, Ils font une étude thermique sur une maison d'argile, ils prélevant un échantillon de ce maison et Mesure la conductivité thermique par l'appareil H112N .les résultats obtenir est $\lambda = 30 \text{ w/mk}$.

I.2.6 Aziz et boukhechba [9]

Ce travail représente l'effet de la température et l'humidité sur la conductivité thermique du béton argileux. Ces facteurs dans les matériaux de construction modifient considérablement les caractéristiques fondamentales de béton au sens argile.

Donc ils varient les valeurs de la température et d'humidité du béton argileux et observer leur impact sur la conductivité thermique du ce béton, Selon la méthodologie de ce qui suit : Identification d'échantillon argile (Adrar et Timimoune) et sable, l'argile par l'essai Analyse

granulométrie par sédimentométrie et la limite d'Atterberg par appareil de Casagrand et sable par Analyse granulométrique par tamisât

Ils préparé le mélange sable +argile+7%de ciment, et mesure la conductivité thermique selon la variation de température et teneur en eau. Les résultats obtenus présent dans les figures:

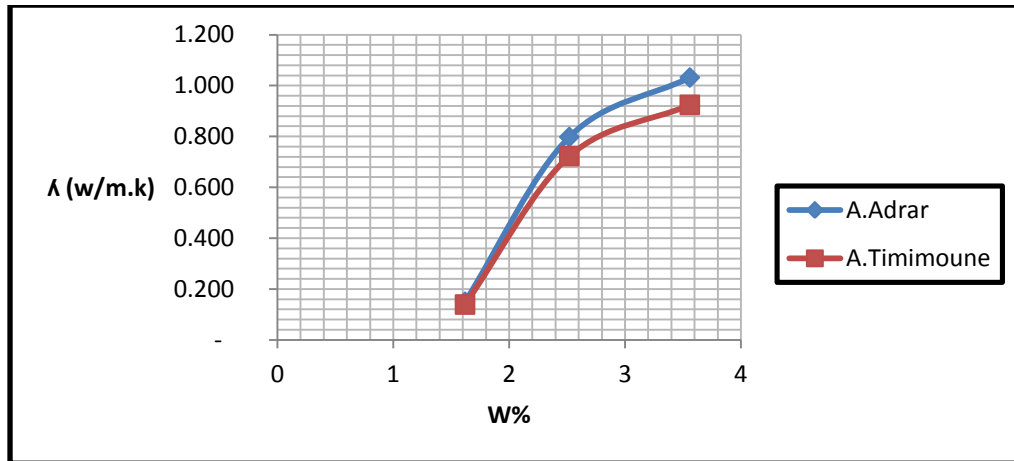


Fig. I.14 La courbe comparaison la variation de la conductivité thermique de différent échantillon on fonction de la teneur en eau. [9]

Sur cette figure on observe que la conductivité thermique prend la valeur $0,130 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ pour la teneur en eau d'échantillon 1.5 % , ensuit on remarque que lorsque la teneur en eau d'échantillon augmenté à la valeur 2,52 % la conductivité thermique d'échantillon augmenté à la valeur $0,72 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$, ensuite augmenté a la valeur $0,924 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ pour 3,56 % de teneur en eau, donc la variation de la conductivité liée à la variation de teneur en eau .

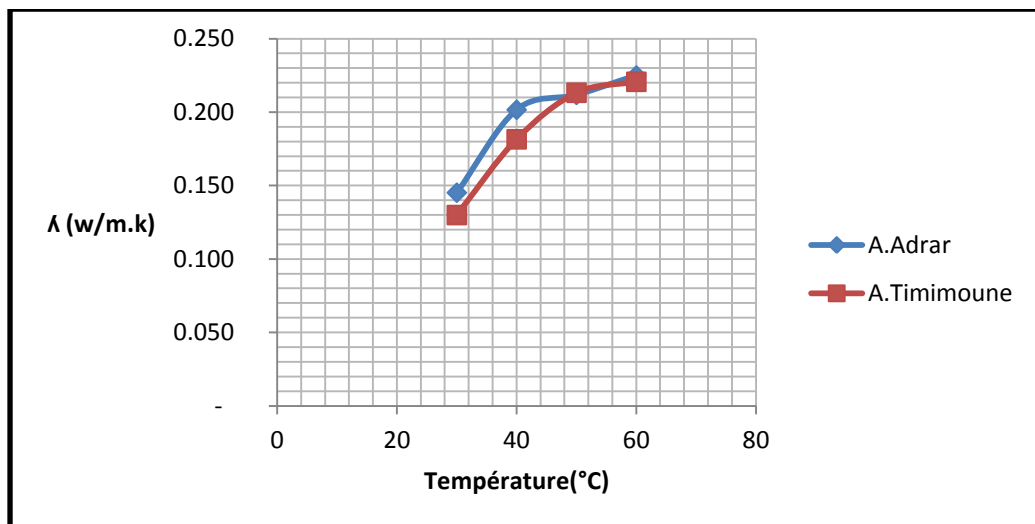


Fig.I.15 La courbe comparaison la variation de la conductivité thermique de différent échantillon on fonction de la température.[9]

- On remarque que la température égale 30° la conductivité de d'échantillon d'argile Adrar égale $0,140 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ et échantillon d'argile Timimoune égale $0,13 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$,ensuit les deux courbes croitre mais la courbe d'argile d'Adrar plus augmenté et rapide par rapport la courbe d'argile Timimoune.
- On observe ensuite quand la valeur de température égale 60°C La valeur de conductivité d'échantillon d'argile d'Adrar $0,225 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ élevée par rapport la valeur de conductivité d'échantillon d'argile Timimoune $0,221 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ donc la conductivité de échantillon d'argile Adrar le plus élevée par rapporte l'échantillon d'argile Timimoune.
- On remarque la courbe la conductivité thermique augment pour augmentation de la teneur en eau et la température, et la valeur de conductivité d'argile Adrar plus élève que d'argile Timimoune donc d'argile Timimoune une bonne isolation d'une argile Adrar. Cette déférence relie a la nature des éléments constituent d'échantillon.

I.2.7 Boussaâdi et ben Ali [10]

Ce travail représente la détermination la résistance mécanique et thermique d'un bloc de terre à base d'argile stabilise au ciment et l'étude la variation de ces propriétés en fonction de dosage de ciment et d'autre adition (chaux, sable, etc.), selon la méthodologie suivant :

L'essai Analyse granulométrique par sédimentométrie d'argile (Timimoune et Adrar) et Analyse granulométrique par tamisât pour le sable ainsi que la Essais des limites d'Atterberg (la limite de liquidité, la limite de plasticité Indice de plasticité et Limite de retrait) en fin connu la propriété physique d'argile utilise.

Pour l'étude de variation des propriétés mécanique et thermique en fonction des deux ajouts.

Ils prélaient deux types de moule :

- Moule cylindrique de la dimension (6x12) pour l'essai de compression.
- Moule cubique (30x30x3.5). Pour mesure la conductivité thermique.

Chaque fois en variante l'ajoute et taux : sable +argile, sable +argile +5% chaux, sable +argile +8% chaux , sable +argile +5% ciment , sable +argile +8% ciment.

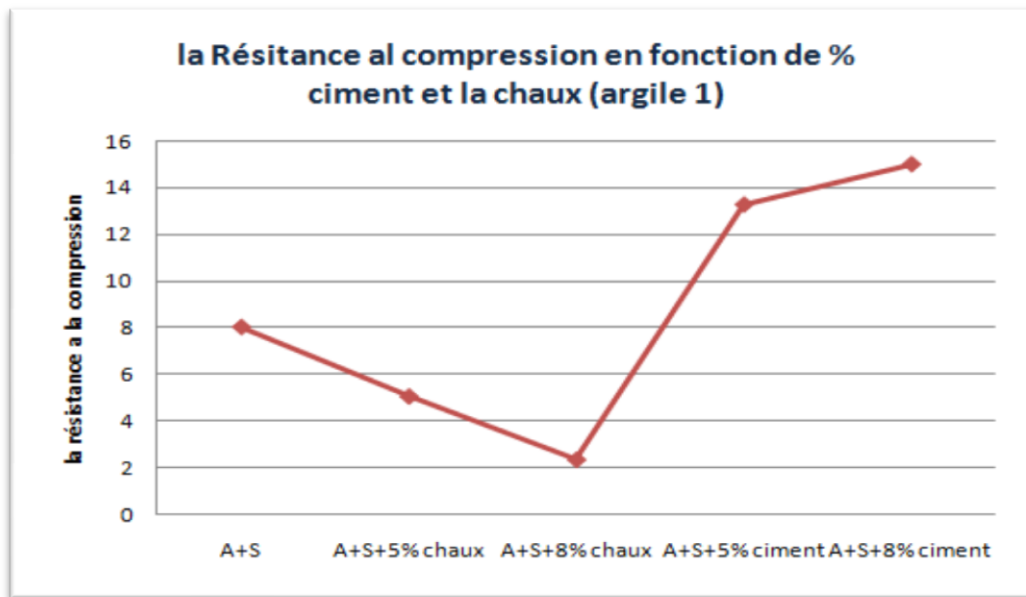


Fig. I.16 Résistance à la compression en fonction de % de ciment et la chaux (Argile Adrar) [10]

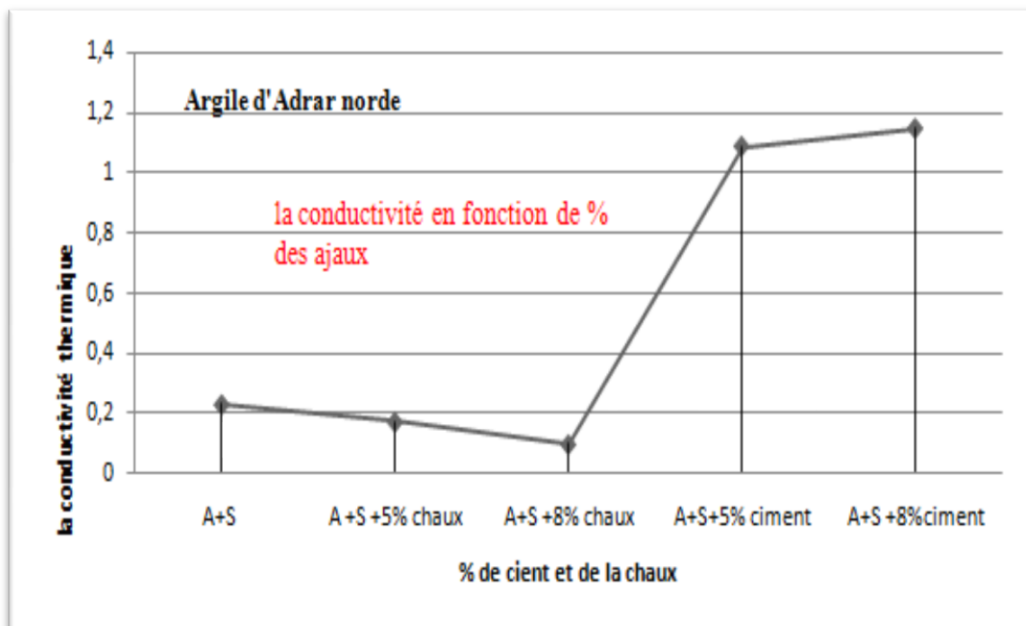


Fig. I.17 la conductivité thermique en fonction de % de ciment et la chaux (Argile Adrar).[10]

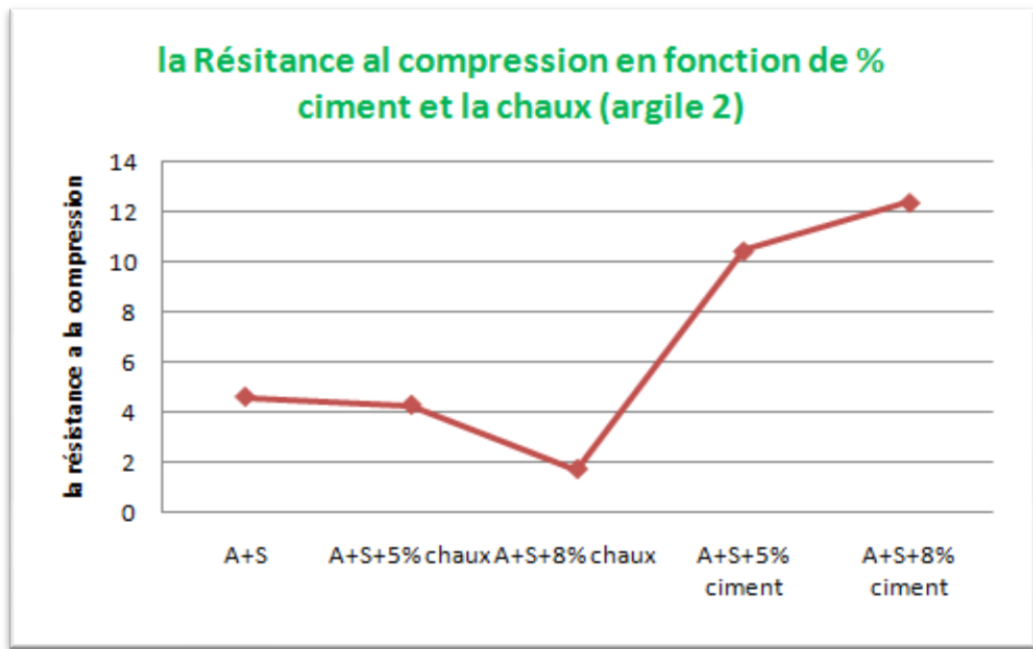


Fig. I.18 La résistance à la compression en fonction de % de ciment et la chaux (Argile Timimoune). [10]

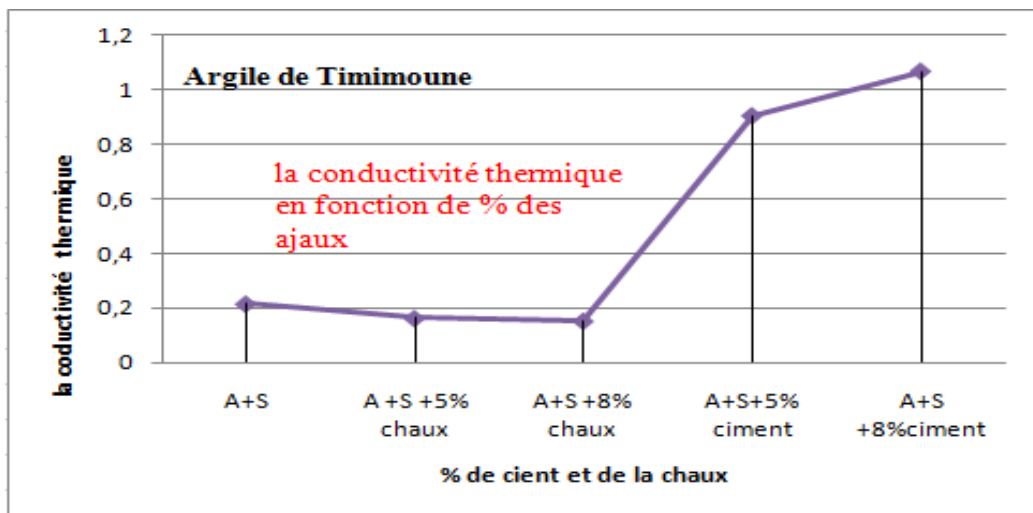


Fig. I.19 La conductivité thermique en fonction de % de ciment et la chaux (Argile Timimoune). [10]

Le mélange (argile+sable) a une bonne résistance thermique car la valeur de la conductivité thermique est petite.

La brique stabilisée avec la chaux donne une bonne résistance thermique, pour atteindre la valeur de 0,17 et 0.10 W/mK (argile d'Adrar).

On observe mélange sable + argile +chaux a une bonne résistance thermique mais la résistance mécanique faible par ce que la propriété chimique d'argile et la chaux ne pas permet d'obtenir une cohésion donc il y a isolation thermique d'une parte et faible la résistance mécanique.

Le mélange argile+ sable +ciment a une bonne résistance mécanique mais une faible résistance thermique car le ciment est un lient hydraulique a une bonne cohésion entre les grains ainsi que le remplissage des vides.

Généralement on remarque que le comportement thermique d'argile de Timimoune est meilleur que l'argile d'Adrar Nord.

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre on représente des travaux effective relie à la propriété thermo – mécanique des matériaux des constructions au niveau locale et mondial, et on résume le résultat qui ils trouvé.

Les chercheur chercher à des nouveaux matériaux de construction caractérisé par la résistance mécanique pour assurer la durabilité d'ouvrage, et une bon isolation thermique pour cela ils stabilisent les matériaux terre par des ajouts tell que, ciment papier, fibre et étudier leur caractéristique tell que la résistance, la conductivité thermique dépende a plisseur paramètre comme (épaisseur, teneur en eau, la température, composent de mélange).

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a grey shadow effect on the top and left edges.

Chapitre II

**Généralité sur les propriétés et
les transferts thermiques**

II.1 Introduction

Habituellement les corps à des échanges des chaleurs entre eux, résultants a la déférence de températures entre ces corps, ce phénomène appelée transfert thermique, est un transfert d'énergie microscopique désordonnée, il a deux notions fondamentale : la température et la chaleur.

La température caractérise l'état d'un corps ; la chaleur exprime un échange énergie.

Dans ce chapitre on parle sur les propriétés thermiques et les modes de transfert de chaleur.

II.2 Notion de chaleur [11]

C'est une forme d'énergie au même titre que le travail d'un système de forces au cours d'un déplacement. On ne peut donc pas parler de la chaleur d'un corps, ni même de la chaleur contenue dans un corps, car la prise en compte d'une quantité de chaleur Q implique une situation évolutive. Il s'agit forcément d'un échange d'énergie entre plusieurs corps (ou entre plusieurs domaines d'un même corps) au cours d'un laps de temps déterminé. L'unité est le Joule [J].

II.3 Le transfert de chaleur thermique [12]

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur, est un transfert d'énergie microscopique désordonné. Cela correspond en réalité à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique. L'exemple le plus courant de situation mettant en jeu un transfert thermique est le système constitué de deux corps en contact et ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud cède de l'énergie sous forme de chaleur au corps le plus froid. Il y a transfert thermique entre les deux corps.

II.4 Les modes de transfert de chaleur

II.4 .1 Conduction [11]

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température.

$$q = -\lambda \text{ grad}T \quad (\text{II-1})$$

T : température (K) ;

λ : conductivité thermique ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) ;

q : vecteur densité de flux thermique ($\|q\|$ s'exprime en W.m^{-2}).

II.4.2 Convection [13]

Ce mode de transfert est spécifique aux fluides. En plus du transfert de chaleur par conduction toujours présent dans la matière, il y a dans les fluides un transfert de chaleur

provoqué par l'écoulement du fluide, c'est à dire par le mouvement d'ensemble des particules qui le composent. On classe généralement la convection en trois catégories : la convection naturelle, la convection forcée, et la convection mixte.

II.4.2.1 La convection naturelle

Il y a convection naturelle lorsque le mouvement du fluide est uniquement dû à la poussée d'Archimède induite par les variations de masse volumique au sein du fluide, lesquelles sont la conséquence des variations spatiales de température. L'air chaud, plus léger, tend alors à monter, alors que l'air froid descend. Ce mécanisme se produit dans des situations très diverses : il est responsable de l'homogénéisation de la température dans une pièce d'habitation (transfert de chaleur du radiateur vers les parties froides de la pièce), mais également des courants marins ainsi que de la circulation générale de l'atmosphère terrestre.

II.4.2.2 La convection forcée

Dans la convection forcée, le fluide doit son mouvement à une cause extérieure (pompe, ventilateur, agitateur, etc.). En convection forcée proprement dite, la poussée d'Archimède est négligeable devant les forces servant à mettre le fluide en mouvement. C'est le cas, par exemple, du Refroidissement des moteurs à combustion interne : la pompe à eau pousse le liquide de refroidissement à travers le moteur, puis dans l'échangeur.

II.4.2.3 La convection mixte

Il existe, comme précédemment, une cause externe au mouvement du fluide, mais insuffisante pour que la poussée d'Archimède puisse être négligée (régime de transition entre la convection libre et la convection forcée). C'est le cas des transferts de chaleur dans un habitacle d'automobile : l'air est soufflé dans l'habitacle par un ventilateur, mais la poussée d'Archimède n'est pas pour autant négligeable, surtout lorsqu'on se place loin des entrées d'air.

II.4.3 Rayonnement [13]

Dans une certaine gamme de longueurs d'ondes, l'émission d'une onde électromagnétique s'accompagne d'une baisse de l'énergie interne du système, alors que l'absorption provoque une augmentation de cette dernière. On parle alors d'échanges de chaleur par rayonnement thermique, ou de transferts radiatifs. En effet, lorsque deux surfaces sont mises en regard, et séparées par un milieu transparent (le vide ou de l'air), chacune émet un flux radiatif, dont une partie est absorbée par l'autre. Le flux émis étant proportionnel à la puissance 4 de la température absolue, la surface à température la plus élevée émet plus d'énergie qu'elle n'en absorbe, alors que c'est l'inverse pour la surface froide. Il y a par ce moyen transfert de chaleur de la surface chaude vers la surface froide.

II.5 Echangeur de chaleur [11]

Un échangeur de chaleur sert à transférer une puissance thermique d'un corps chaud vers un corps froid. Les deux corps sont le plus souvent des fluides en écoulement continu. On se limite

au cas simple de deux fluides séparés par une solide .pour plus de détails, on se reportera d'échangeurs de chaleur ou aux ouvrage de la bibliographie.

L'échangeur à la géométrie la plus simple est l'échangeur à tube unique. Comme représenté ci-dessous

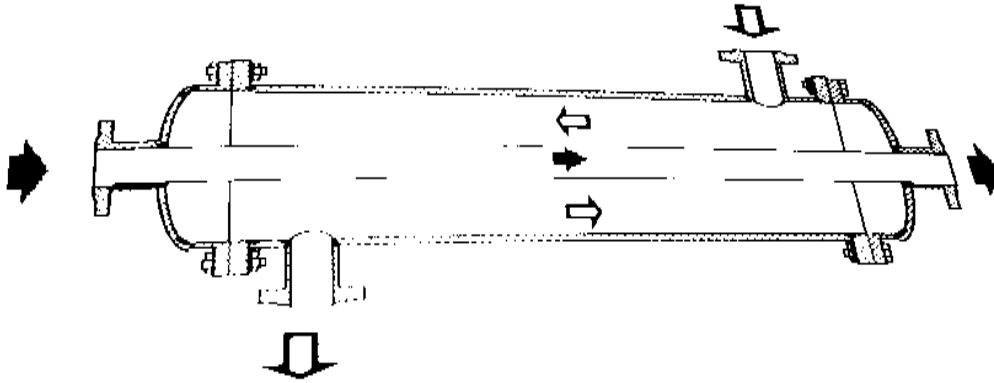


photo.II.01 photo d'échangeur à tube unique. [11]

L'échangeur à faisceaux tubulaires est constitué d'une grande quantité de tubes en parallèle fixés sur des plaques tubulaires débouchant dans des boîtes de distribution.

Autour du faisceau, une calandre permet la circulation du second fluide éventuellement étant dirigé par des chicanes.

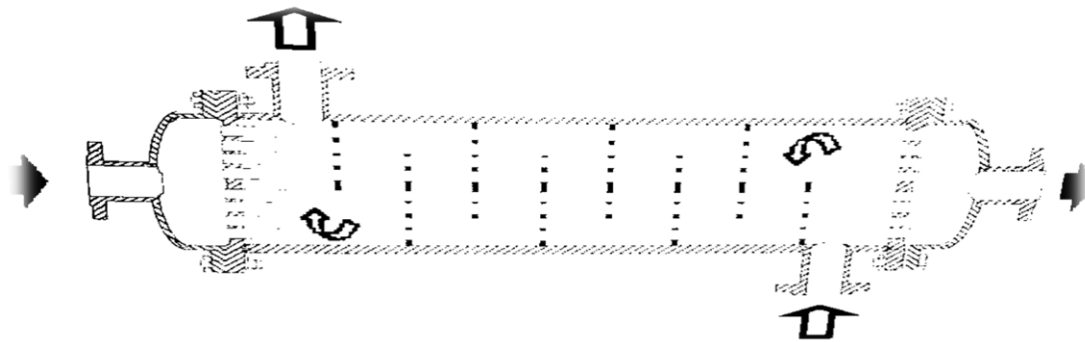


photo.II.02 : photo L'échangeur à faisceaux tubulaires. [11]

De nombreuses variantes de ce type d'échangeur existent selon nombre de passes des fluides extérieur et intérieur.

Les échangeurs a plaques ont connu un très grand développement ces dernier années du fait de leur compacité .ils sont réalisés soit par alternance de plaques planes et de plaques gaufrées en empilant des plaques nervurées assemblées par des tirants .chacune des plaques est percée de 4 trous permettant le raccordement a des collecteurs. Deux des trous sont munis de joints étanches et le raccordement se fait alternativement.

II.6 Les propriétés thermiques

II.6.1 Flux thermique [12]

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps. Le flux s'exprime en watt (W) ou en calorie par seconde (cal/s)

$$\varphi = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (\text{II-})$$

2)

II.6.2 Densité de flux thermique [12]

La densité de flux thermique (ou flux thermique surfacique), c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré (W/m^2).

$$\phi = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (\text{II-})$$

3)

Si la densité de flux est uniforme sur la surface considérée :

$$\phi = \frac{Q}{s} \quad (\text{II-})$$

4)

II.6.3 Effusivité thermique (E) [12]

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est donnée par ($\text{J.K}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}$), Elle est proportionnelle à la conductivité thermique et à l'inertie du matériau (plus précisément à leur racine carrée). L'effusivité décrit la rapidité avec laquelle un matériau absorbe ou cède la chaleur. Un matériau fortement effusif. Où

$$E = \sqrt{\lambda \rho c_p} \quad (\text{II.5})$$

Où

λ : Est la conductivité thermique du matériau (en [$\text{W}/\text{m.K}$])

ρ : La masse volumique du matériau (en [kg/m^3])

c_p : La capacité thermique massique du matériau (en [$\text{J}/\text{kg.K}$])

Elle s'exprime donc en ($\text{J.K}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}$)

II.6.4 Surfaces isothermes [14]

considérons dans un corps homogène un champ de température T défini en chaque point et à chaque instant par la fonction $T = f(x, y, z, t)$. x, y, z sont les variables spatiales, t est le temps dans tout le corps, on peut définir à l'instant t des surfaces qui constituent les lieux des points ayant la même température. Ce sont les surfaces isothermes.

Deux surfaces isothermes ne peuvent se couper car on aurait alors deux températures différentes en un même point ce qui est physiquement impossible.

II.6.5 Gradient de température [14]

Le gradient de température est le vecteur qui caractérise en un point donné la variation de la fonction température. Ce vecteur est en tout point normal à la surface isotherme passant par ce point.

II.6.6 Conductivité thermique (λ) [15]

La conductivité thermique est le flux de chaleur traversant un matériau d'épaisseur un mètre, pour une différence de température de 1K entre les deux faces entrante et sortante. Elle s'exprime en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. sa valeur permet de quantifier le pouvoir du matériau à conduire la chaleur (en termes d'amplitude).

II.6.7 Diffusivité thermique (a) [15]

La diffusivité thermique est une propriété dynamique du matériau car elle intervient dans les transferts en régime transitoire de température. elle caractérise l'aptitude d'un matériau à transmettre la chaleur (en terme de vitesse) elle s'exprime en m^2/s .

Ce paramètre est directement contenu dans l'équation de la chaleur simplifiée :

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (\text{II-6})$$

II.6.8 la capacité thermique (c) [15]

La capacité thermique traduit l'aptitude du matériau à absorber une quantité de chaleur (Q) et à s'échauffer (élévation de sa température) de ΔT :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (\text{II-7})$$

Dans la pratique, et pour définir une propriété du matériau indépendante de sa masse (m). On utilise la capacité thermique massique c qui s'exprime en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

$$C = \frac{C}{m} \quad (\text{II-8})$$

cette grandeur était anciennement appelée chaleur spécifique ou capacité calorifique pour la mesure, différents processus thermodynamiques peuvent être mis en œuvre : les plus usuels sont l'échauffement du matériau à pression constante : mesure de C_P (capacité thermique à pression constante) et l'échauffement à volume constant : mesure de C_V (capacité thermique à volume constant). ces deux grandeurs obtenues différemment sont reliées entre elles par le volume molaire v le coefficient d'expansion volumique α et le coefficient de compressibilité isotherme β pour le matériaux considéré à la température T :

$$C_p - C_v = \frac{\alpha^2 VT}{\beta} \quad (\text{II-9})$$

9)

II.6.9 L'inertie thermique [12]

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker l'énergie, traduite par sa capacité thermique. Plus l'inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur). Elle est utilisée en construction pour atténuer les variations de températures extérieures, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante à l'intérieur.

Deux types d'inertie existent, une inertie par absorption et une autre par transmission. Celle d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec l'effusivité de la paroi. Celle de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi.

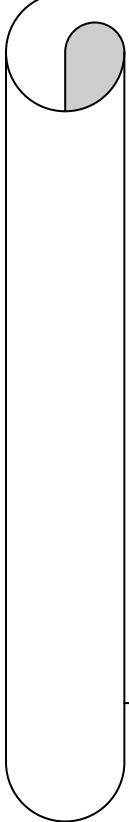
II.3 Conclusion

L'étude menée dans ce chapitre vise à exposer quelques propriétés thermophysiques ainsi que les transferts thermiques entre les différents matériaux qui se manifestent en trois modes, qu'ils sont la conduction qui est généralement présentée dans la matière, la convection entre les fluides et le rayonnement.



Chapitre III

**Techniques de mesure et
caractérisation thermo - physique des
matériaux**



III.1 Introduction

L'étude des propriétés thermiques des matériaux occupe une place très importante dans le cadre de la recherche sur les économies d'énergie dans l'habitat. On s'intéresse particulièrement aux problèmes d'isolation qui sont liés directement à la conductivité thermique des matériaux.

Il existe plusieurs méthodes de mesure de la conductivité et la diffusivité thermique en régime permanent tel que la méthode de la plaque chaude gardée, et en régime transitoire comme la méthode fil chaude et méthode flash.

III.2 Méthodes de détermination des propriétés thermique de matériaux

III.2.1 Méthode en régime permanent

III.2.1.1 Méthode de la plaque chaude gardée [12]

C'est une méthode de mesure stationnaire de la conductivité thermique des matériaux isolants. Son schéma de principe est représenté sur la figure III.1

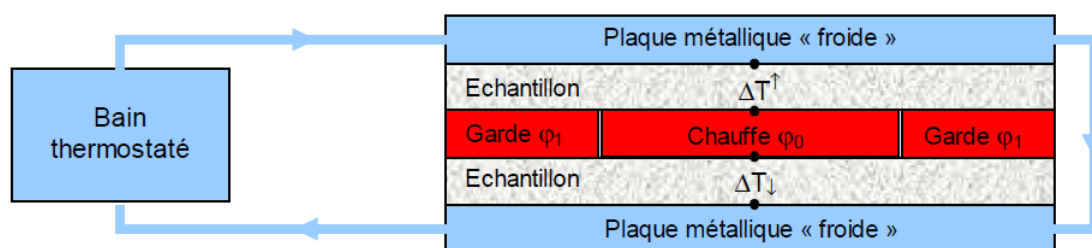


Fig. III.1- Schéma de principe de la méthode de la plaque chaude gardée.[12]

Les plaques extérieures en matériau très conducteur (cuivre, aluminium) sont maintenues à température constante par circulation d'un fluide issu d'un bain thermostat. Une plaque chauffante délivre une puissance de chauffe ϕ_0 uniforme et constante qui est transmise aux plaques extérieures à travers les échantillons dont on veut mesurer la conductivité thermique. On s'assure du transfert 1D dans la zone centrale de mesure en entourant la zone chauffée par un anneau de garde auquel on fournit un flux ϕ_1 tel que la température de l'anneau soit égale à la température de la plaque chauffante. On s'assure ainsi également que tout le flux ϕ_0 passe à travers l'échantillon. Le flux ϕ_1 est supérieur au flux ϕ_0 pour compenser les pertes latérales

convectives. L'anneau de garde et la plaque chauffante sont séparés par une mince couche d'air.

Des thermocouples sont placés sur les deux faces des échantillons pour en mesurer les écarts de température ΔT .

La conductivité thermique s'en déduit par :

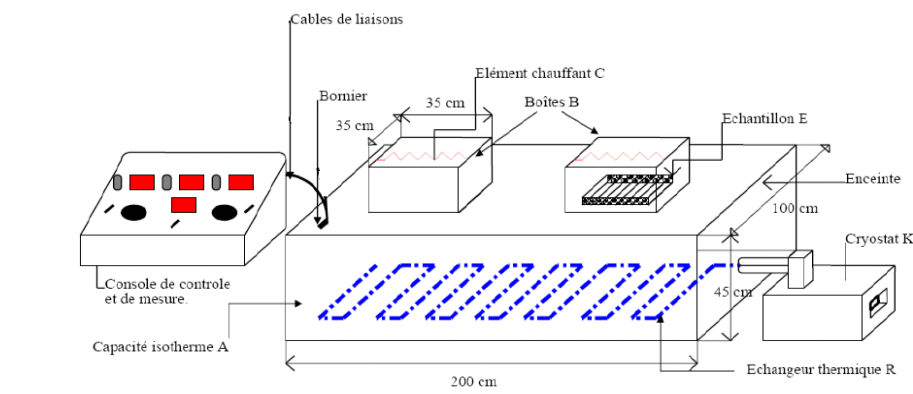
$$\lambda = \frac{e \cdot \varphi_0}{s(\Delta T_1 + \Delta T_2)} \quad (\text{III.1})$$

Où S est la surface de la plaque chauffante.

Cette méthode n'est applicable qu'aux isolants pour lesquels on peut négliger les résistances de contacts par rapport à la résistance du matériau. Ils permettent par ailleurs d'obtenir des écarts de température entre les deux faces relativement importants donc mesurables avec une bonne précision. On peut utiliser de la graisse conductrice pour diminuer les résistances de contact entre les échantillons et les plaques. Cette méthode est difficilement applicable à haute température et le résultat peut être biaisé par les pertes latérales si la surface de l'échantillon est insuffisante par rapport à l'épaisseur.

III.2.1.2 Méthode de boîte [16]

La méthode des boîtes est une méthode de régime permanent : il s'agit de réaliser un écoulement de chaleur unidirectionnel à travers un échantillon de matériau à tester, en effectuant les mesures après obtention du régime permanent.



FigIII.2: Vue générale de la cellule de mesure " la méthode des boîtes. [16]

- Le volume A maintenu à température faible grâce à un échangeur R situé à sa base, parcouru par de l'eau glycolée refroidie (environ -5°C) par un cryostat K. ce volume A est fortement isolé au moyen de l'isolant styrodur.

Chapitre III Techniques de mesure et caractérisation thermo – physique des matériaux

- Des boîtes chaudes, B_1 , revêtues, sur la partie interne de leur face supérieure, d'un film chauffant C dont l'émission de chaleur peut être contrôlée à l'aide d'un rhéostat.

L'échantillon E du matériau à tester est situé entre la boîte B_1 et la capacité A de telle manière que les flux latéraux soient négligeables.

En refroidissant A et en chauffant B_1 , on crée un gradient de température entre B_1 et A de telle manière que les échanges convectifs sur les faces de E soient nuls.

On fait en sorte, par réglage de l'émission de chaleur, que la température à l'intérieur de B_1 : T_B soit légèrement supérieure à la température extérieure T_a (température de la salle d'expérimentation). On relève les températures sur les deux faces de l'échantillon (au centre de ceux-ci) : T_c et T_f (faces chaude et froide).

En régime permanent, on obtient deux ou trois heures après le début de l'expérience, on a :

$$q = \frac{\lambda}{e} (T_c - T_f) \times A + q_1 \quad (\text{III.2})$$

\dot{q} : Puissance émise par C

\dot{q}_1 : Pertes latérales dans B_1

λ : Conductivité thermique de l'échantillon E

e : Epaisseur de l'échantillon

A : Aire des faces de l'échantillon

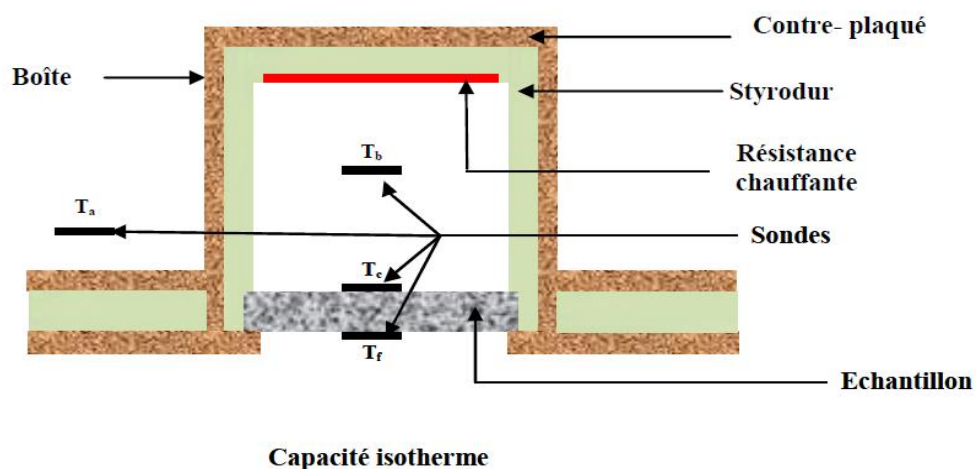


Fig.III.3 : Boîte de mesure de la conductivité thermique [17]

\dot{q}_1 est en général faible mais non nul, car on ne peut obtenir exactement : $T_B = T_a$, on calcule q_1 par la formule :

$$\dot{q}_1 = C(T_B - T_a) \quad (\text{III.3})$$

C : est une constante de l'appareil qui est donnée par le fabricant, mais peut être retrouvée aisément par une seule manipulation. La conductivité λ se déduit de l'égalité (III.1).

- La boîte B_1 peut être remplacée par la boîte B_2 de même dimension. A sa partie supérieure est intégrée une lampe, on envoie un flux thermique pendant quelques secondes sur la face supérieure de l'échantillon, la durée et l'intensité dépendent de l'épaisseur et de la nature du matériau.

Par relevé du thermogramme sur la face froide et à l'aide de formules établies à partir de la modélisation du transfert de chaleur, on détermine la diffusivité thermique a .

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (\text{III.4})$$

La connaissance de λ , la masse volumique ρ et la diffusivité a permet de déduire la valeur de la chaleur massique.

III.2.2 Méthode en régime transitoire

III.2.2.1 La méthode du fil chaud [18]

Cette méthode permet d'estimer la conductivité thermique d'un matériau à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif. La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en kapton, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser (figure III.4)

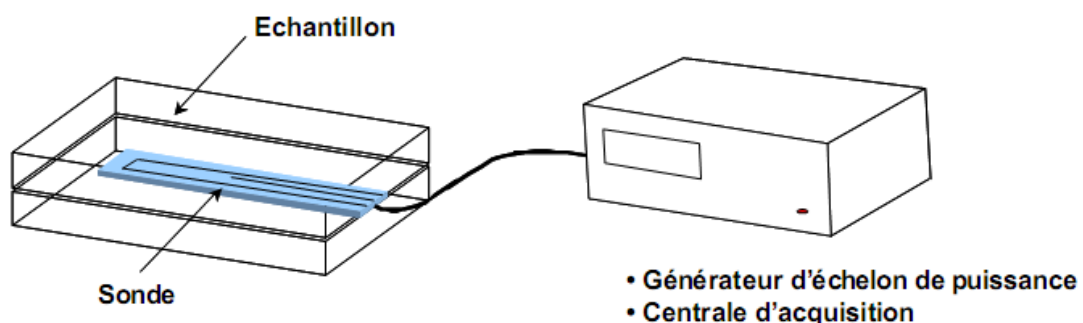


Fig.III.4 Le principe de mesure à l'aide d'un fil chaud [18]

La conductivité s'obtient par la résolution de l'équation de la chaleur en géométrie
Cylindrique infinie

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{III.5})$$

Avec $a = \frac{\lambda}{\rho c p}$

Conditions aux limites

Echantillon « initial » isotherme ; $\forall(r, t) \leq 0, \Delta T(r, t) = T(r, t) - T_0$

$$\forall T \geq 0, r=0, \lim \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -\frac{\phi}{2\pi\lambda} \quad \text{Puissance injectée connue ;}$$

Milieu semi-infini ; $r \rightarrow \infty, \forall T \geq 0, \lim_{r \rightarrow \infty} (\Delta T(r, t)) = 0$

Donc :

$$\Delta T(r, t) = \frac{\phi}{4\pi\lambda} EI \left(\frac{r^2}{4at} \right) \quad (\text{III-6})$$

Avec :

$$EI(\xi) = \int_{\xi}^{\infty} \left(\frac{e^{-x}}{x} \right) dx = -\gamma - \text{lim}(\xi) + \xi + \mathcal{O}(\xi^2), \text{ ou } \xi = \frac{r^2}{4at} \quad (\text{III-7})$$

A l'interface échantillon / sonde (de rayon R_s)

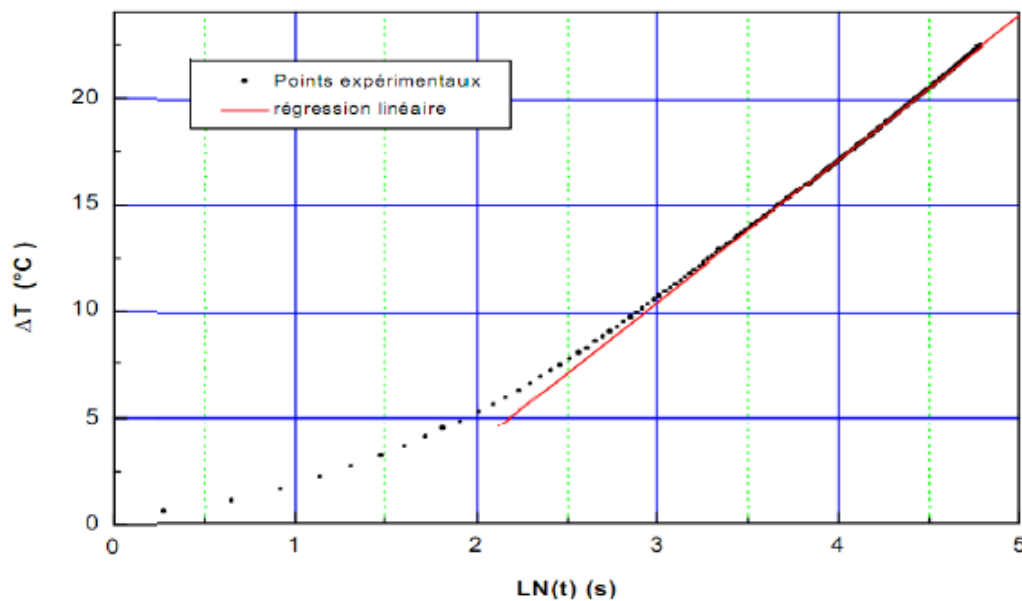
$$\Delta T(R_s, t) = \frac{\phi}{4\pi\lambda} \left(\ln \left(\frac{4at}{R_s^2 e^{\gamma}} \right) + \left(\frac{R_s^2}{4at} \right) + \mathcal{O} \left(\frac{r^2}{4at} \right) \right) \quad (\text{III.8})$$

Asymptote linéaire aux temps « longs »,

$$\Delta T(R_s, t) = \frac{\phi}{4\pi\lambda} \ln(t) + \frac{\phi}{4\pi\lambda} \ln \left(\frac{4at}{R_s^2 e^{\gamma}} \right)$$

λ estimée à partir de la pente (α) du thermo gramme aux temps longs

$$\Delta T(t) = \alpha \ln(t) + \beta \text{ et } \lambda = \frac{\phi}{4\pi\alpha} \quad (\text{III.9})$$



FigIII.5 Diagramme d'estimation de λ de la méthode de fil chaud [18]

III.2.2.2 Méthode Laser Flash [18]

Pour les températures supérieures à la température ambiante, il devient de plus en plus difficile d'éliminer ou de tenir compte des pertes thermiques par radiation (conditions adiabatiques), et l'utilisation de la technique à l'état stationnaire présentée ci-dessus n'est pas recommandée. Une solution est de mesurer la diffusivité thermique en lieu et place de la Conductivité thermique. Ces deux grandeurs sont en effet liées par la relation :

$$\lambda(t) = a(t)d(t)C_p(t) \quad (\text{III.10})$$

Où

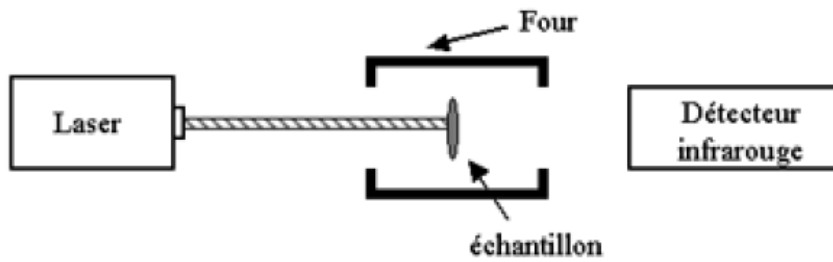
$\lambda(T)$: Est la conductivité thermique en $\text{W.cm}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$\alpha(T)$: Est la diffusivité thermique en $\text{cm}^2.\text{s}^{-1}$

$d(T)$: Est la masse spécifique en g.cm^{-3}

$C_p(T)$: Est la chaleur spécifique en $\text{J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Si l'on suppose que la masse spécifique ne varie pas avec la température, il suffit de mesurer la diffusivité thermique et la chaleur spécifique pour obtenir une mesure de la conductivité thermique à haute température.



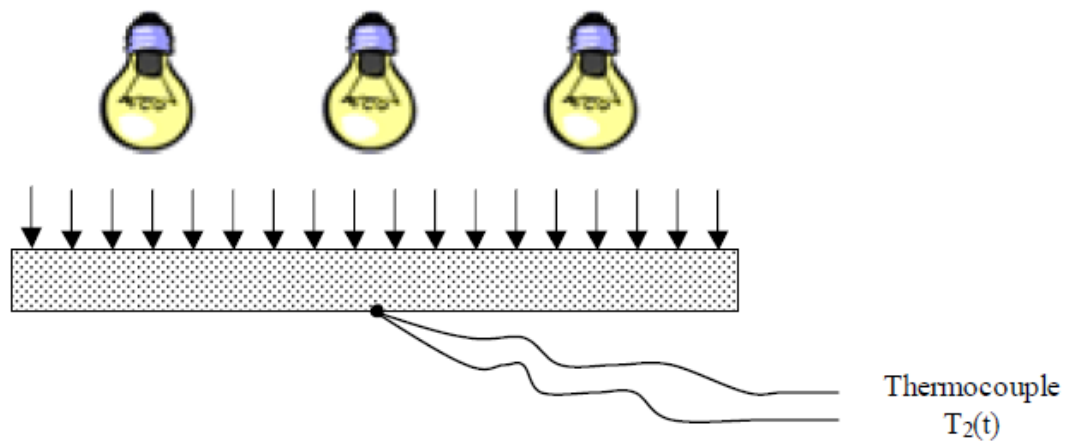
FigIII.6 principe de méthode laser flash [18].

Un échantillon cylindrique dont l'épaisseur (e) est nettement plus faible que son diamètre est placé dans un porte-échantillon qui se trouve à l'intérieur d'un four maintenu à température constante. Une de ses faces est illuminée par des pulses (de l'ordre de la milliseconde) émis par un laser, ce qui assure un chauffage uniforme de la face avant. La température de la face arrière est mesurée, en fonction du temps, à l'aide d'un capteur de mesure infrarouge (figure III.6). En l'absence de pertes thermiques de l'échantillon, la température devrait augmenter de manière monotone. Dans une situation réelle, l'enregistreur mesurera un pic de température suivi d'un retour à la température du four. Le temps (t) nécessaire pour que la face arrière atteigne la moitié de la température de pic (par rapport à la température du four), permet de déterminer la diffusivité thermique suivant:

$$a = \frac{1,37e^2}{t\pi^2} \quad (\text{III.11})$$

III.2.2.3 Méthode flash [12]

Cette méthode permet d'estimer la diffusivité thermique des solides. On envoie sur l'une des faces d'un échantillon à faces parallèles un flux lumineux de forte puissance pendant un temps très court. Un thermocouple en contact avec la face arrière permet d'enregistrer l'élévation de sa température à partir du moment où la face avant a reçu le flash. Une modélisation des transferts de chaleur dans l'échantillon a permis à plusieurs auteurs de proposer des méthodes d'estimation de la diffusivité thermique à partir du thermogramme expérimental. La simplicité de certaines de ces méthodes a rendu la méthode flash très populaire, un certain nombre de précautions expérimentales doivent toutefois être respectées pour atteindre une bonne précision.



FigIII.7. Schéma de principe de la méthode flash [19]

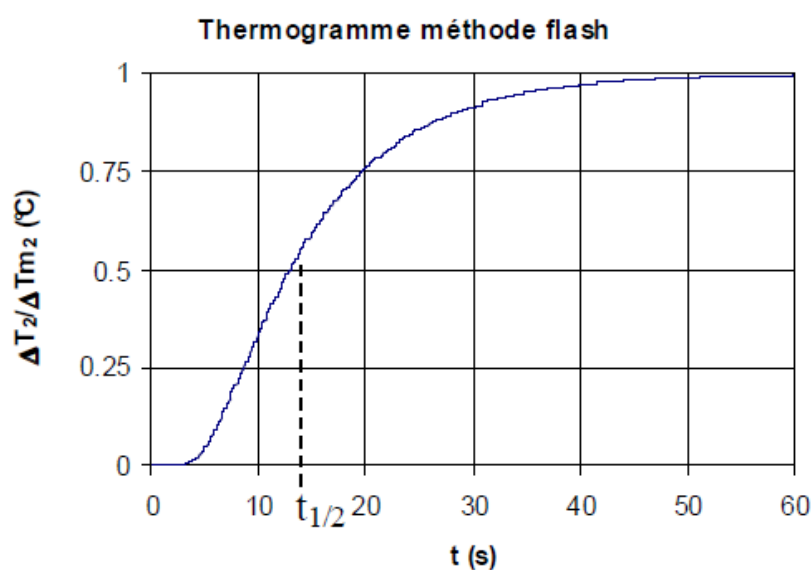
L'analyse du thermo gramme expérimental enregistré sur la face non irradiée permet de déterminer, en utilisant des techniques de dépouillement déjà existantes, la diffusivité thermique de l'échantillon.

III.2.2.4 Méthode de Parker [12]

Cette méthode ne s'applique que dans le cas où la durée de l'éclair de flash est très petite et où les pertes thermiques sur les différentes faces de l'échantillon sont négligeables.

La diffusivité thermique est calculée à partir du temps $t_{1/2}$ nécessaire pour la température $T_2(t)$ de la face arrière soit égale à la moitié de la température maximale atteinte T_{2m} :

$$a = \frac{1,38e^2}{\pi^2 t_{1/2}} \quad (\text{III.12})$$



FigIII.8 : Courbe théorique de la température réduite de la face arrière. [12]

III.2.2.5 Méthode des temps partiels [12]

Cette méthode prend en compte les pertes thermiques mais ne s'applique toutefois que dans le cas où la durée de l'éclair de flash est très petite .Son principe repose sur l'utilisation de quatre points du thermo gramme représentés sur la figure (III.9)

La diffusivité thermique peut être obtenue par les formules suivantes (Degiovanni, 1977) :

$$a = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} (1,131 - 1,222 \frac{t_{2/3}}{t_{5/6}}) \quad (III.13)$$

$$a = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} (0,954 - 1,581 \frac{t_{1/2}}{t_{5/6}} + 0,558 (\frac{t_{1/2}}{t_{5/6}})^2) \quad (III.14)$$

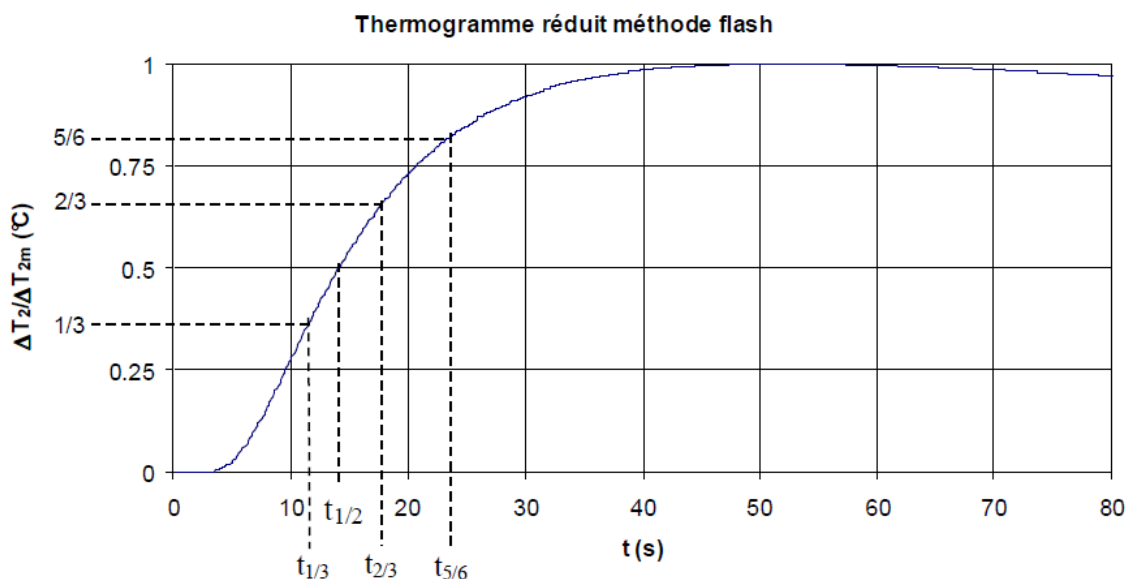
$$a = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} (0,818 - 1,708 \frac{t_{1/3}}{t_{5/6}} + 0,885 (\frac{t_{1/3}}{t_{5/6}})^2) \quad (III.15)$$

Où :

e : est l'épaisseur de l'échantillon en m

tp est le temps écoulé depuis l'excitation pour que la température la face arrière s'élève de p fois son Élévation maximale au cours de l'expérience (voir figure III.9).

Thermo gramme réduit méthode flash [12]



FigIII.9: Courbe théorique de la température réduite de la face arrière [17]

On retient en général une moyenne des trois valeurs obtenues. Cette méthode est plus précise que la méthode de Parker car elle prend en compte les pertes convectives mais présente l'inconvénient de n'utiliser qu'un nombre très réduit de points du thermo gramme.

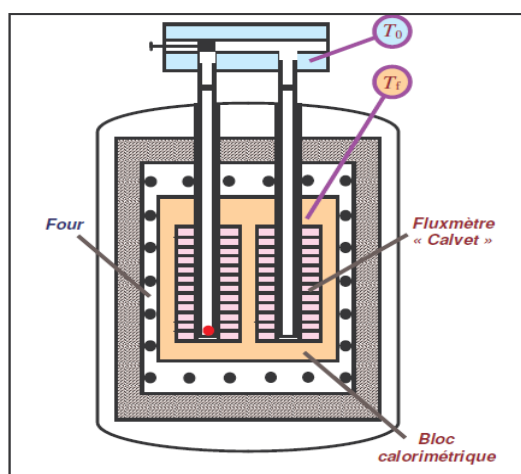
III.2.2.5 Calorimètre à chute [15]

Le principe du banc de référence du LNE est celui d'un calorimètre à chute. C'est une mesure indirecte de C_p par la mesure absolue du flux de chaleur fournie ou absorbée par l'échantillon, de masse m pour équilibrer sa température avec le milieu ambiant lors d'une variation de température de ce milieu. Cette mesure se fait à l'aide d'un fluxmètre de type « calvet ». La température de l'échantillon est initialement à une température stable T_0 inférieure à la température T_f finale (celle du four dans lequel l'échantillon tombe). Il se produit alors des échanges de chaleur vers l'échantillon pour uniformiser sa température avec celle du four. La mesure du flux est différentielle entre les deux tubes du four (avec et sans échantillon). Pour étalonner le fluxmètre, un dispositif électrique de chauffage par l'effet joule en été construit et est inséré à la place de l'échantillon.

La variation d'enthalpie est l'intégration du signal délivré par le calorimètre sur toute la durée de la variation de température de l'échantillon. T_1 est la température à laquelle la variation d'enthalpie est mesurée. Chaque mesure fournit donc l'enthalpie d'échauffement ($\Delta H_{T_0}^{T_f}$) du matériau à une température. La mesure est reproduite pour différentes températures afin de déduire la fonction liant la variation de l'enthalpie à la température du matériau étudié. La dérivée de cette fonction donne la capacité thermique massique du matériau en fonction de la température ($\Delta H_{T_0}^{T_f}(T)$) :

$$C_p(T) = \frac{1}{m} \times \frac{\gamma H_{T_0}^{T_f}(T)}{\partial T} \quad (\text{III.16})$$

Ce dispositif, en cours de caractérisation, permettra les mesures de capacité thermique massique de matériaux solides entre 100 °C et 1000 °C



FigIII.10 : Calorimètre à chute pour la mesure de la capacité thermique [15]

III.3 Conclusion

Il existe plusieurs méthodes pour la détermination des propriétés thermophysique des matériaux, en régime permanent qui caractérisé par l'indépendance de temps, et en régime transitoire qui varier avec la température, et utilise des thermogrammes pour détermine la diffusivité thermique puis les autres propriétés.

Dans notre travail on a choisir la méthode des boites qui permet de la mesure en régime permanent et transitoire pour déterminer la conductivité et la diffusivité thermique de notre matériaux.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends. The text is centered within the scroll.

Chapitre IV

Campagne expérimentale

IV.1 Introduction

Avant d'utiliser les matériaux de construction il faut étudier les déférences caractéristiques dès ces matériaux .pour cela on fait des recherche dans laboratoire de génie civil de université Adrar pour l'identification des matériaux locaux utilise a la réalisation de bloc de terre. Ces bloc sont, moulée manuellement et sèche a l'aire libre pour suivi son comportements thermique avec la variation de taux de saturation.

IV.2 Définitions

IV.2.1 Argile [18]

En tant que matière première brute, l'argile est un mélange de minéraux argileux et D'impuretés cristallines sous forme de débris rocheux de composition infiniment diverse. Le Comportement des argiles dépend d'une manière générale de leur minéralogie, granulométrie et de leur histoire géologique. Une argile peut être définie en fonction de critères minéralogiques et granulométriques.

Du point de vue minéralogique, les argiles sont des roches sédimentaires, silicoalumineuses, Constituées de variétés de minéraux très fins. Les constituants fondamentaux de Cette roche sont les phyllo silicates en plus de divers autres composés tels que le quartz, les Carbonates, les oxydes.

Du point de vue granulométrique, en pédologie et mécanique des sols, une argile (ou Fraction argileuse d'un sol) est définie comme étant la fraction inférieure à 2 microns. Cependant, dans tout matériau argileux, les fractions granulométriques supérieures (de 2 à 20 Microns) contiennent également des minéraux argileux (phyllosilicates : mica, chlorite, Vermiculite)

IV.2 .2 Ciment [19]

C'est un liant hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, pour agréger du sable fin, des graviers, pour produire du mortier, ou encore du béton.

Il est composé de calcaire et d'argile qui, mélangé avec de l'eau, fait prise et permet d'agglomérer entre eux des sables et des granulats et ainsi constituer de véritables roches artificielles, les bétons et les mortiers.

IV.2.3 Sable [20]

Est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de corail.

IV.2.3.1 Le sable de dunes [12]

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie 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.

IV.2.3.2 Sable concassé

Est un granulat obtenu par le concassage d'une roche mère, destiné à entrer dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment.

IV.3 Matériaux utilisés

Argile : on utilise argile Adrar

Sable : sable concassé et sable de dune

Ciment : Portland composé (CPJ 32,5) type Chamil

IV.4 Identification des matériaux utilisés**IV.4.1 Identification de sable****IV.4.2.1 Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de répartition des grains de sol suivant leur dimension et la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. Il consiste à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas. Il est basé comme le montre sur le tamisage pour la fraction sable et la sédimentation pour les fractions limon et argile. Les analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie ont été réalisées selon respectivement les normes NF P94-056 et NF P94-057.

IV.4.2.1.1 Matérielles utilisée

- Tamis
- Une balance
- Un sol de masse n que l'on choisira 2 kg
- Un couvercle pour fermer les tamis
- Un fond de tamis

IV.4.2.1.2 Mode opératoire

Pour faire une analyse granulométrique, nous allons adopter le processus suivant :

L'échantillon de masse (m) est ensuite fractionné à l'aide d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres par ordre décroissant du haut vers le bas (5 , 2.5 , 1.25 , 0.63 ,0.315,0.16, 0.08 mm).

En verse cette masse sur le tamis supérieur, on met le couvercle, et on agite manuellement sur la colonne de tamis, on commencera ainsi est repartir le matériaux sur les différents tamis, mais cette répartition ne sera pas complète, on reprend alors, un à un les tamis, on commençant par celui qui a la plus grande ouverture, on fait la mémé chose en ordre décroissant des dimensions des ouvertures des autres tamis, en fin en pèse le refus de chaque tamis et en note les résultats dans le tableau.

Les résultats de la granulométrie sont traduire dans une courbe.

IV. 4.2 Identification d'argile**IV.4.2.1 Analyse granulométrique par sédimentométrie [9]**

Photo IV.01: Analyse granulométrique d'argile par sédimentométrie [9]

- **Calcule le pourcentage des particules**

Le pourcentage est donné par la formule suivante :

Tel que :

$$\rho = (100 \times \frac{V_s}{m} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \cdot \rho_w)(R_\tau - R_\beta) \quad (\text{IV.1})$$

V_s : Volume de la suspension 1L

m : Masse de la prise d'essai (20g)

ρ_s : Masse volumique des grains solides

ρ_w : Masse volumique de l'eau

R_t : Lecture de l'éprouvette A au temps t

R_B : Lecture de l'éprouvette B (Eprouvette témoin)

- **Calcule le diamètre des particules non décantées**

$$D = F \frac{\sqrt{Ht}}{t} \quad (\text{IV.2})$$

F : facteur donné par l'abaque

Les résultats d'Analyse granulométrique par sédimentométrie d'argile :

Tableau IV.01: d'Analyse granulométrique par sédimentométrie. [9]

Temps de lecteurs	Lecteurs nombre de graduation(R_t)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	Facteur F	(R_B)	(H_t)	P% < D	D(mm)
30'	1,01	26	0,0127	1,00045	14,3395	76,689394	0,068012
1'	1,0095	26	0,0127	1,00045	14,4945	72,674242	0,048351
2'	1,00925	26	0,0127	1,00045	14,572	70,666667	0,034281
5'	1,00875	26	0,0127	1,00045	13,327	66,651515	0,020734
10'	1,008	26	0,0127	1,00045	13,5595	60,628788	0,014789
30'	1,00775	26	0,0127	1,00045	13,637	58,621212	0,008563

60'	1,0065	26	0,0127	1,00045	14,0245	48,583333	0,006140
24h	1,001	26	0,0127	1,00045	15,7295	4,416667	0,001327

A partir ces résultats, nous remarquons que nos sols est fin, puisque plus de 50% des éléments ont un diamètre inférieures à 80 μ .

IV.4.2.2 Limite de liquidité [9]

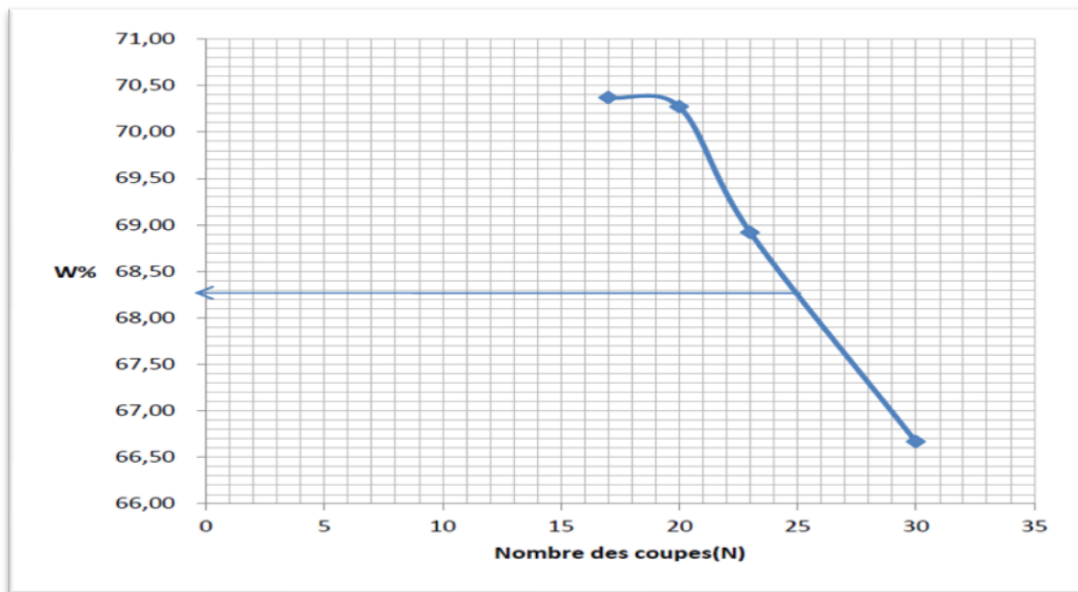


PhotoIV.02 : limite de liquidité. [9]

TableauIV.02 : résultats de limite de liquidité d'argile.[9]

N ⁰ de terre	C2	B3	5	B5	C6
Nombre des coupes	30	23	20	17	16
Poids total humide	26,7	27,1	32,9	28,3	26,4
Poids total sec	21,3	22	25,1	22,6	20,9
Poids de terre	13,2	14,6	14	14,5	13,4

Poids de l'eau	5,4	5,1	7,8	5,7	5,5
Poids de sol sec	8,1	7,4	11,1	8,1	7,5
Teneur en eau (W%)	66,67	68,92	70,27	70,37	73,33
	68,15	68,23	68,40	67,16	69,48
W _L			68,28		



FigIV.01: courbe de limite de liquidité d'argile. [9]

Pour les calculs :

$$W_L = W (N/25)^{0,121} \tag{IV.3}$$

$$I_P = W_L - W_P \tag{IV.4}$$

Avec :

W : Teneur en eau

N : Nombre de coups

W_L : Limite de liquidité

W_p : Limite de plasticité

I_p : L'indice de plasticité

IV.4.2.3 Limite de plasticité [9]



PhotoIV.03: limite de plasticité. [9]

TableauIV.03 : résultats de limite de plasticité d'argile.[9]

N° de la tare	C6	2	B
Poids total humide	15,76	16,54	18
Poids total sec	15,17	15,8	16,8
Poids de la tare	13,4	14,6	10,4
Poids d'eau	0,59	0,74	1,2
Poids de sol sec	1,77	1,2	6,4
Teneur en eau(%)	33,33	61,67	18,75

W_P	37,92
-------	-------

D'après les calculs on obtient les résultats suivant :

TableauIV.04: les résultats des calculs.

	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)
Argile Adrar	68,28	37,92	30,36

D'après les résultats Argile Adrar c'est un limon très plastique.

IV.4.2.4 Etude du comportement plastique d'argile

TableauIV.05: Etude du comportement plastique.[9]

Indice de plasticité $I_p(I_p)$	Etat de sol
0-5	Non plastique
5 -15	Peau plastique
15- 40	plastique
> 40	Très plastique

Argile Adrar : on a $15 < I_p = 30,36\% < 40$ donc le comportement est plastique.

IV.4. 2.5 Estimation du potentiel de gonflement

TableauIV.06 : Estimation du potentiel de gonflement, O'NELL et POORMOAYED(1980)
[9]

W_L (%)	I_p (%)	classification
20-49	15-24	Faible à moyen
50-70	24-46	élevé
>70	>46	Très élevé

D'après le tableau on remarque l'argile d'Adrar à un potentiel de gonflement élevé.

IV.5 Essai thermique

Cette essai a pour but de déterminer l'influence de taux de saturation sur les propriétés thermophysique d'un bloc de terre à base d'argile. la technique de mesure utilisé est la méthode des boites a été mise au point par le laboratoire de génie civil de l'université Adrar.

IV.5.1 Formulation d'échantillon

Pour la recherche de la meilleure composition de mélange on utilise dans Cette essai deux types de sables, le sable concassé et sable de dune. Et chaque type compose de deux mélanges, l'une argile + sable et l'autre argile +sable + ciment.

TableauIV.07 : Mélange 01: argile +sable

Pourcentage (%)	20% Argile	80% Sable
Quantité (kg)	1,6	6,4

TableauIV.08 : Mélange 02 : argile +sable +ciment

Pourcentage (%)	18% Argile	74% Sable	8% Ciment
Quantité (kg)	1,44	5,92	0,64

IV.5.1.1 Mode opératoire

- On mélange une quantité d'argile avec le sable et le ciment selon les tableaux, et malaxer pour homogénéisation le mélange jusqu'à la pâte.
- Commencer par moulage la pâte entre les moules.
- Après le séchage (2 jour) ont démoulé l'échantillon.
- Donc après jour on mesure la conductivité thermique et diffusivité thermique avec la variation de taux de saturation.



photo.IV.04 : photo de composants de mélange. (auteures)



photo.IV.05 : photo de moulage et démoulage d'échantillons. (auteures)

IV.6 Mesure La conductivité thermique

- On fixées Les sondes de surfaces T_c et T_f sur une même surface d'échantillon.
- On impose une température uniforme dans la boîte en modifiant la tension électrique V appliquée aux bornes de la plaque.
- On mesure à l'aide un ohmmètre électronique la résistance R de boîte.
- Le gradient thermique imposé entre la boîte et l'enceinte crée un flux de chaleur entre les deux faces de l'échantillon. La mesure est réalisée en quelques heures (n'excédant généralement 3 à 6 heures) de façon à laisser le système se stabiliser et établir ainsi un régime permanent.
- contrôle de l'évolution des températures T_b de la boîte et T_a de l'ambiance de la salle, il est atteint lorsque $T_b - T_a < 1^\circ C$.

La conductivité thermique apparente en régime permanent est donnée par l'expression:

$$\lambda = \frac{e}{s(T_c - T_f)} \left[\frac{v^2}{R} - c(T_b - T_a) \right] \quad (IV.5)$$

Avec :

λ : Conductivité thermique (W/mk)

e : Epaisseur d'échantillon (cm)

T_f : température de face supérieure d'échantillon (°C)

T_c : température de face supérieure d'échantillon (°C)

C : constante de la boîte chaude en (W /°C)

T_b : température de boîte (°C)

T_a : température de l'ambient (°C)

S : aire des faces d'échantillon (cm²)

V : tension (v)

R : la résistance de boîte (ohm)

IV.7 Mesure La diffusivité thermique

- On applique un flux thermique sur la face chaude, et régler la puissance émise (environ 1000w) pendant quelque secondes.
- On prendre la valeur de température de deuxième face chaque deux minutes, et on trace le thermogramme de température en fonction de temps.
- On relève sur le thermogramme l'élévation de température et on repère les temps lesquels on a : 1/2, 1/3, 2/3, 5/6 de la valeur maximale.
- On applique alors les trois formules suivantes et on prend la moyenne pour la valeur de diffusivité (a) :

$$a_1 = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} [1,15t_{5/6} - 1,25t_{2/3}] \quad (IV.6)$$

$$a_2 = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} [0,76t_{5/6} - 0,926t_{1/2}] \quad (IV.7)$$

$$a_3 = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} [0,618t_{5/6} - 0,862t_{1/3}] \quad (IV.8)$$

IV.7.1 détermination La diffusivité thermique

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad (\text{IV.9})$$

IV.8 détermination la chaleur massique (C_p)

$$C_p = \frac{\lambda}{a\rho} \quad (\text{IV.10})$$

C_p : chaleur massique (J/kg.K)

a : La diffusivité thermique

ρ : Masse volumique (kg/m³)

IV.9 détermination l'effusivité thermique

$$E = \sqrt{\lambda a\rho} \quad (\text{IV.11})$$

IV.10 Conclusion

Afin de ce chapitre nous développer nos connaissances sur les matériaux locaux utilisés dans la construction dans notre région. On trouve que l'argile Adrar, est limon plastique avec un potentiel de gonflement élevé. Et on mesure la conductivité et la diffusivité thermique des échantillons qu'il a sécher naturellement avec la variation de taux de saturation.



Chapitre V

Résultats et interprétations

V.1 Introduction

Dans ce chapitre on va représenter le résultat de l'essai qui il présent la valeur de la conductivité et diffusivité thermique on fonction de la saturation entre deux types de sable, concassé et de dune et on fait une comparaison entre ces deux types.

V.2 Analyse granulométrique

Les résultats d'analyse granulométrique de sable dans le tableau suivant :

Tableau V.01 : analyse granulométrique de sable concassé.

Tamis	Rp	Rc	Rc %	Tc%
6,3	0	0	0	100
5	8,1	8,1	0,4	99,6
4	10,1	18,2	0,91	99,29
2,5	477	495,3	24,79	75,21
2	124,9	620,3	31,05	68,95
1,6	150,6	770,8	38,55	61,45
1,25	221,9	992,7	49,69	50,31
0,63	375,4	1368,1	68,49	31,51
0,5	58,8	1426,9	71,43	28,57
0,315	131,8	1558,7	78,03	21,97
0,2	126,6	1685,3	84,37	15,63
0,16	89,9	1775,2	88,87	11,13
0,08	139,9	1915,1	95,87	4,13
fond	82,3	1997,4	100	0

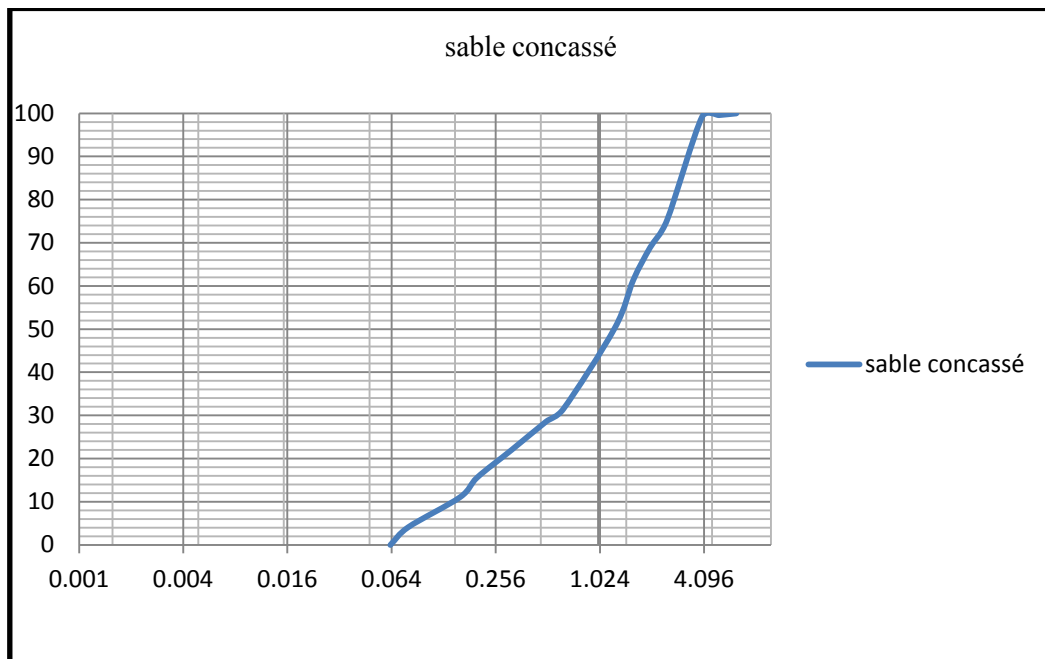


Fig.V.01: courbe d'analyse granulométrique de sable concassé.

Tableau V.02 : analyse granulométrique de sable de dune.

tamis	Rp	Rc	Rc %	Tc %
2	0	0	0	100
1	21	21	0,021	99,97
0,4	697,6	718,6	71,88	28,12
0,2	151,2	869,8	87,01	12,99
0,1	110,3	980,1	98,03	1,97
0,08	9	989,1	98,94	1,06
fond	10,5	999,6	100	0

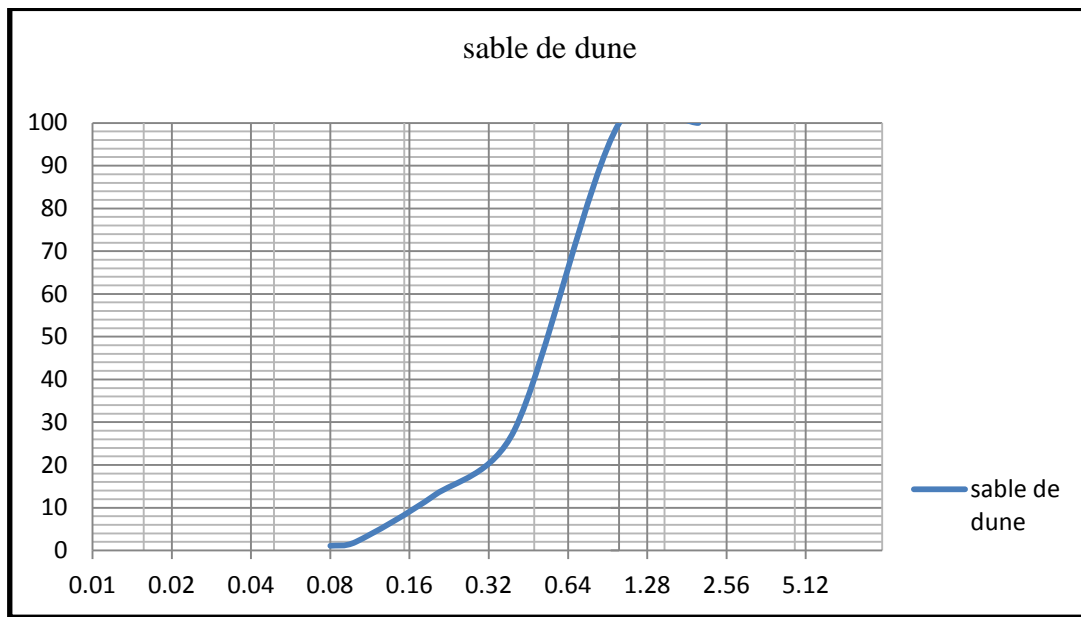


Fig.V.02: courbe d’analyse granulométrique de sable de dune.

V.3 Résultat d’essai thermique

V.3.1 Echantillons contient le sable concassé

V.3.1.1 La conductivité thermique

Le régime permanent atteint quand les valeurs des températures restent constantes pendant plus d’une demi-heure environ, on utilise l’expression de q pour calcule λ .

$$q = \frac{\lambda}{e} (T_c - T_f) \times A + C(T_B - T_a) \tag{V. 1}$$

$$q = \frac{v^2}{R} \tag{V. 2}$$

- Exemple de calcul :

Les résultats obtenue par l’appareille EI700 de l’échantillon (18% argile +74% sable+8% ciment)

$$V=90v \quad R=2300 \Omega \quad T_C= 24 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_F= 18,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_B= 29 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_a= 28,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C = 0,16 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad e = 0,05\text{m} \quad A = 0,27 \times 0,27 = 0,0729 \text{ m}^2$$

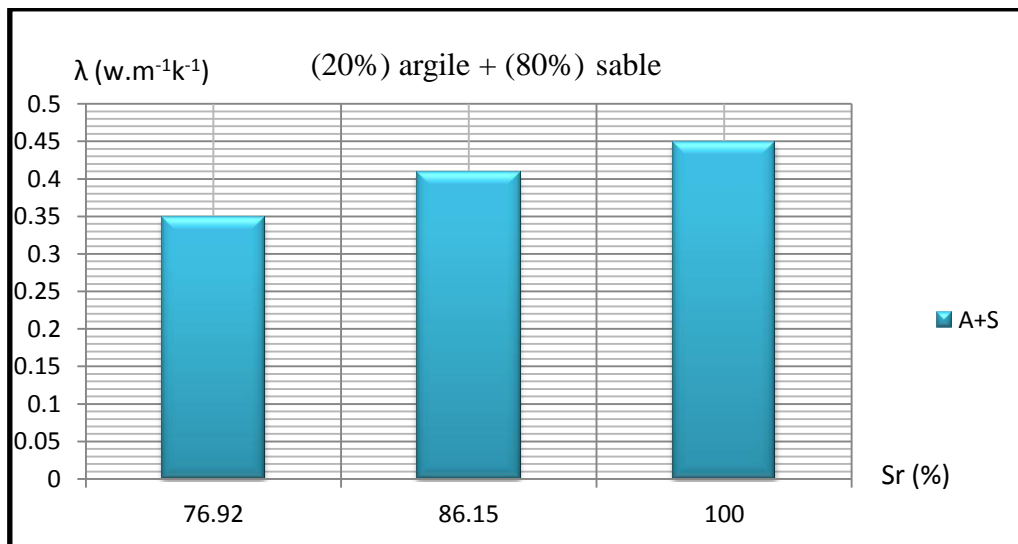
$$\lambda = \frac{e}{A(T_c - T_f)} (q - c(T_B - T_a)) \tag{V.3}$$

$$\lambda = 0,35 \text{ w.m}^{-1}\text{k}^{-1}$$

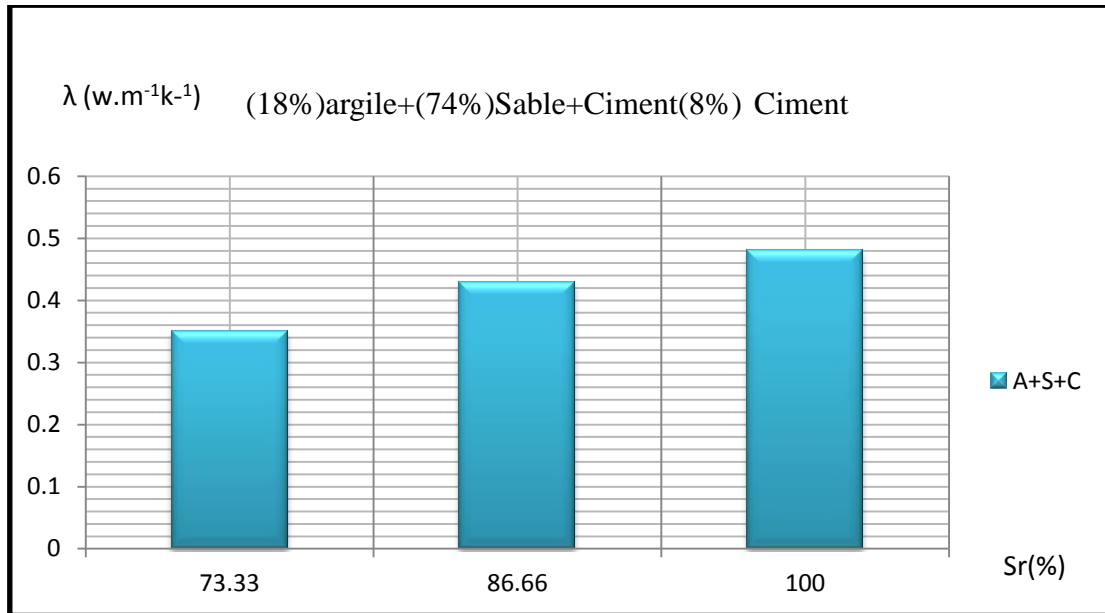
TableauV.03 : résultats obtenu par l'appareille EI 700.

R=2300 Ω e= 5cm C= 0,16 W/°C

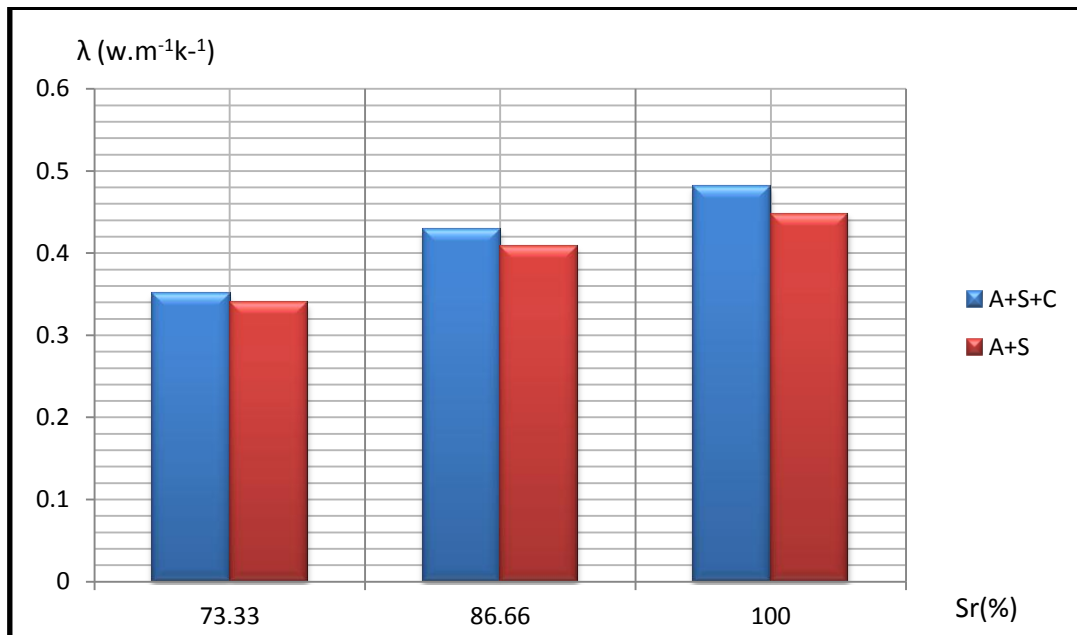
	V (voltes)	q(W)	e(m)	Tc (°c)	TF (°c)	A(m)	C (w/°c)	Tb (°c)	Ta (°c)
		3,521	0,05	21,5	16,6	0,0729	0,16	28	27,5
	90	3,521	0,05	26,6	19,8	0,0729	0,16	27,6	27,5
A+S+C		3,521	0,05	24	18,5	0,0729	0,16	29	28,5
		4,347	0,05	19,3	12,3	0,0729	0,16	27,8	28
A+S	100	4,347	0,05	22,8	15,6	0,0729	0,16	29,4	29
	72	2,253	0,05	22,9	19,6	0,0729	0,16	27,6	27



FigV.03: la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%) argile +(80%)sable).



FigV.04 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%)) ciment.



FigV.05 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment) et ((20%) argile + (80%) sable).

La conductivité thermique croît par l'augmentation de taux de saturation, jusqu'à il prendre la valeur 0,44w/mk dans la figure (argile+ sable) et 0,48 dans la figure (argile+ sable+ ciment), à l'état de saturation.

On explique ces résultats par la diminution de la masse d'échantillons réalisé par le phénomène d'évaporation qui résulte une augmentation des pores et des vides dans ces échantillons, cette augmentation des vides conduit une diminution de conductivité thermique.

D'après ces résultats on observe que les deux échantillons prendre une valeur minimale de 0,34w/mk et 0,35w/mk a l'état moine de saturation mais ils sont plus élevé a l'état de saturation .donc on constant que plus le matériau est humide plus il est inertielle.

On observe que la courbe de conductivité (argile +sable) est inférieure à la courbe de (argile+ sable+ ciment). Le ciment contient des fines qui conduisent une bonne cohésion entre les composants de mélange. Ce qui réduite les pores. Donc ces dernier est moins isolants que (l'argile+ sable).

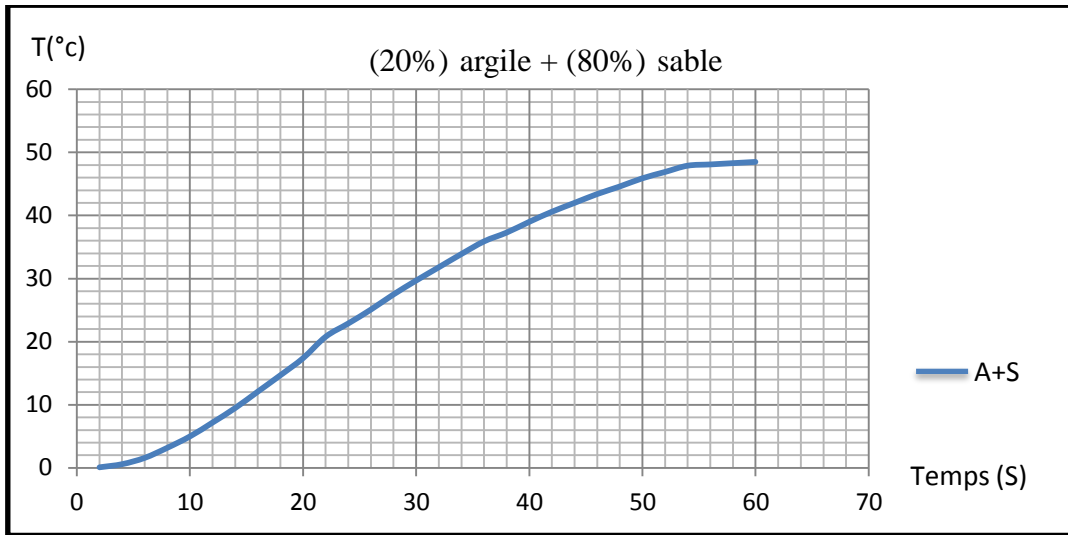
V.3.1.2 La diffusivité thermique

On applique un flux thermique sur la face chaude environ 1000W pendant quelque secondes, et on relève sur le thermogramme de l'élévation de température en fonction de temps les valeurs suivants : $t_{1/2}$, $t_{1/3}$, $t_{2/3}$ et $t_{5/6}$ a la valeur maximale de température. Après sa on applique les trois formule a_1 , a_2 , a_3 , et a est la moyenne de ces valeurs.

$$a_1 = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} [1,15t_{5/6} - 1,25t_{2/3}] \quad (\text{V.4})$$

$$a_2 = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} [0,76t_{5/6} - 0,926t_{1/2}] \quad (\text{V.5})$$

$$a_3 = \frac{e^2}{t_{5/6}^2} [0,618t_{5/6} - 0,862t_{1/3}] \quad (\text{V.6})$$

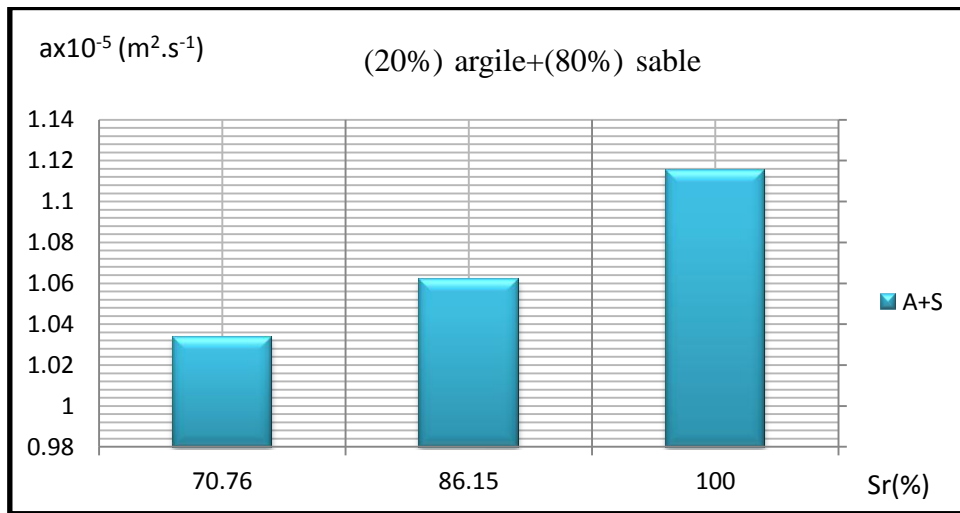


FigV.06 : thermogramme de variation de température en fonction de temps pour mesure la diffusivité thermique ((20%) argile + (80%) sable).

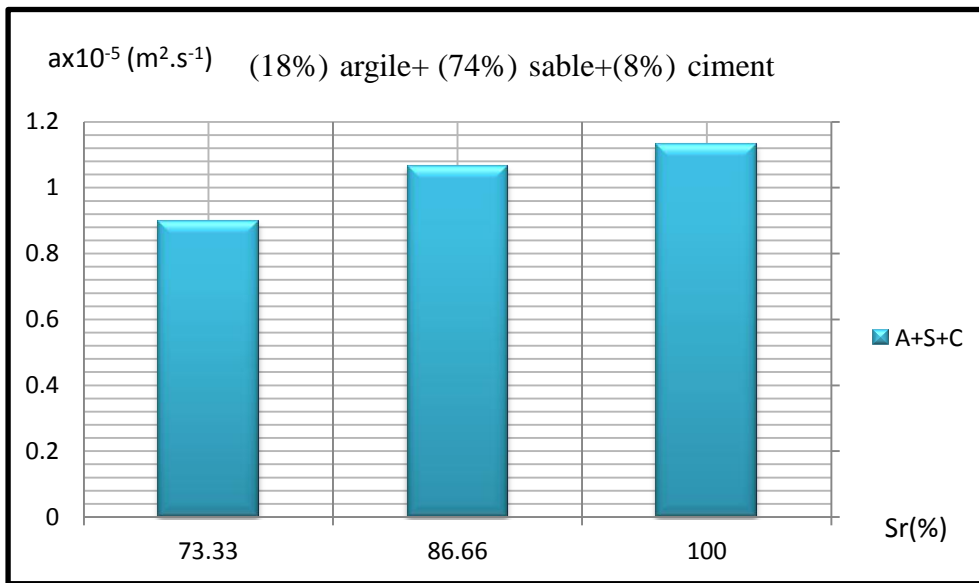
- **Exemple de calcul**

Tableau V.04 : les résultats relèvent à partir de thermogramme.

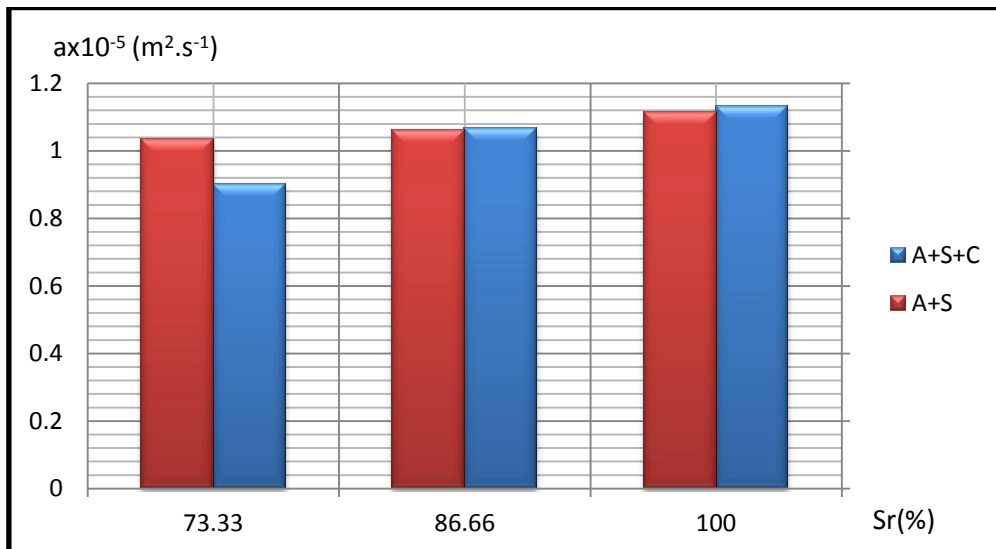
$T_{1/2}$	$t_{1/3}$	$t_{2/3}$	$t_{5/6}$	a_1	a_2	a_3	a
26	20	33	42	$0,99 \times 10^{-5}$	$1,11 \times 10^{-05}$	$1,23 \times 10^{-05}$	$1,115 \times 10^{-5}$



FigV.07 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation((20%) argile + (80%) sable).



FigV.08 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment)



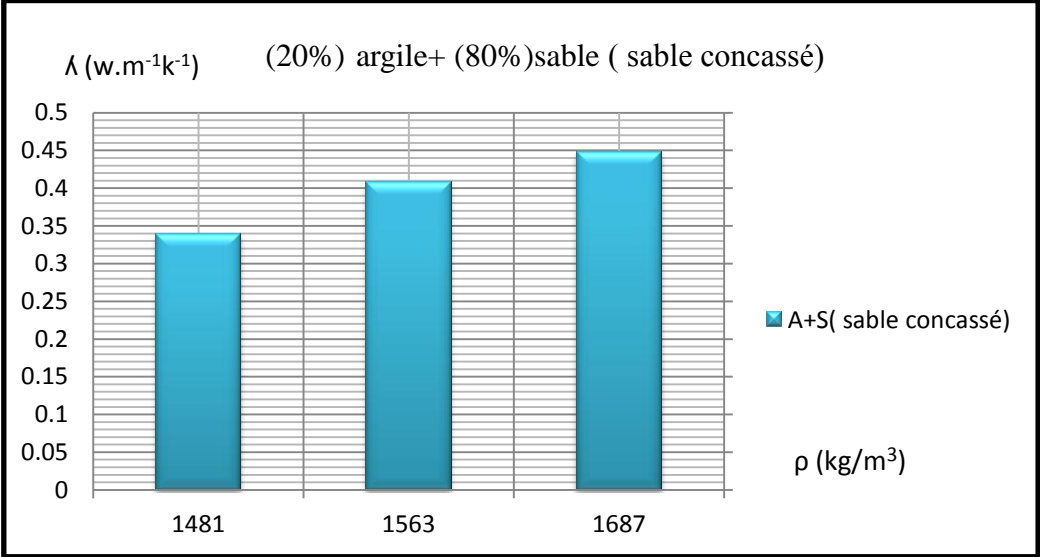
FigV.09 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation

((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment) et ((20%) argile + (80%) sable).

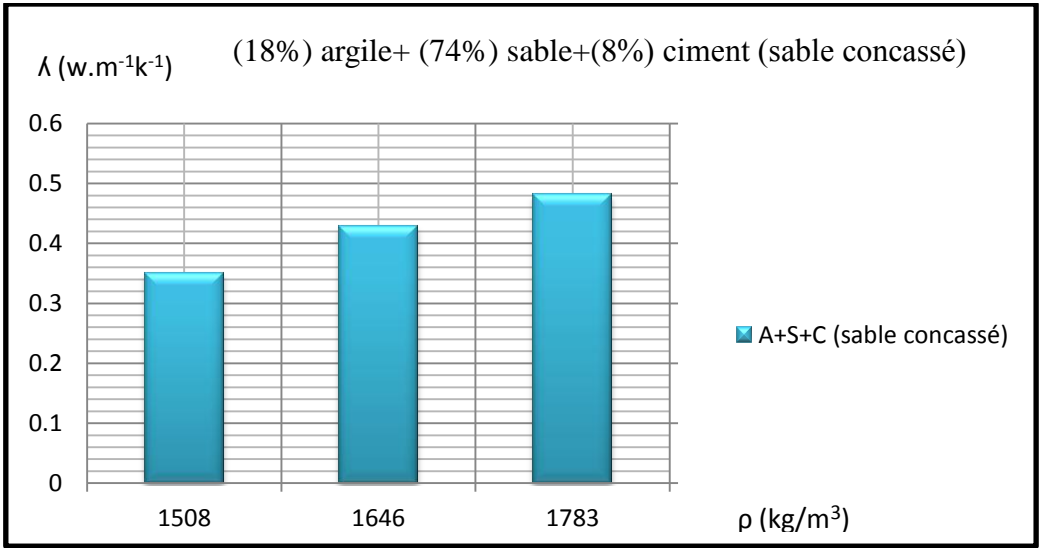
La diffusivité prendre la valeur $1,038 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ pour le taux de saturation 70,76% et évolué jusqu'à la valeur $1,115 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a l'état de saturation et la histogramme A+S+C prendre la valeur ($1,133 \times 10^{-5}$) et ($1,056 \times 10^{-5}$) pour le taux de saturation (100%) et (73,33). Donc La diffusivité augmente avec l'évolution de taux de saturation. Signifier que la vitesse de diffusion de l'énergie à travers l'échantillon élevé avec l'augmentation de quantité d'eau.

On remarque que les valeurs de histogramme A+S+C et supérieur aux les valeurs A+ S .c'est à dire l'échantillon A+S+C caractérisé par la vitesse de diffusion d'énergie, ce qui signifie que le ciment facilite la diffusion d'énergie thermique, et conduit une diminution de l'isolation thermique dans les matériaux.

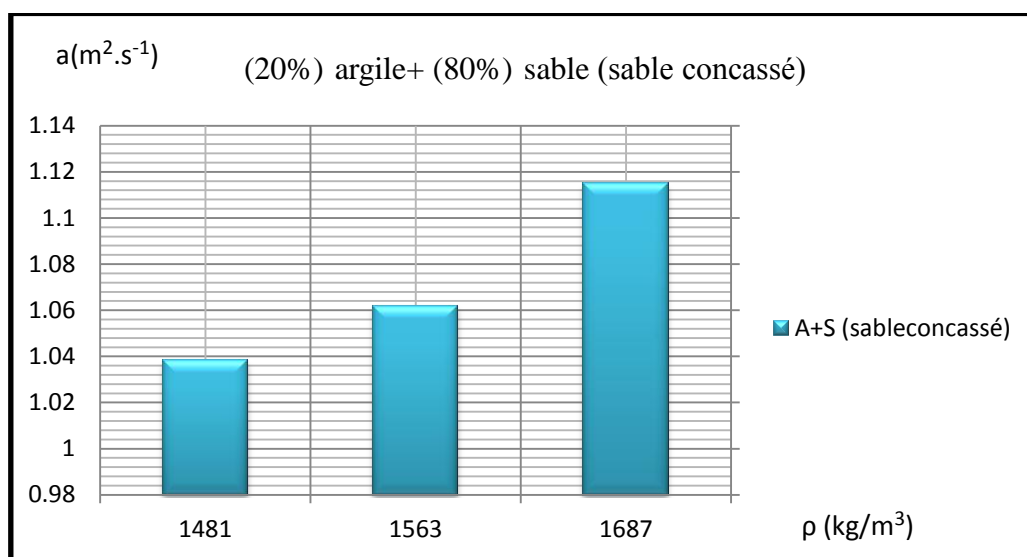
V.3.1.3 L'effet de la masse volumique sur les propriétés thermo physique



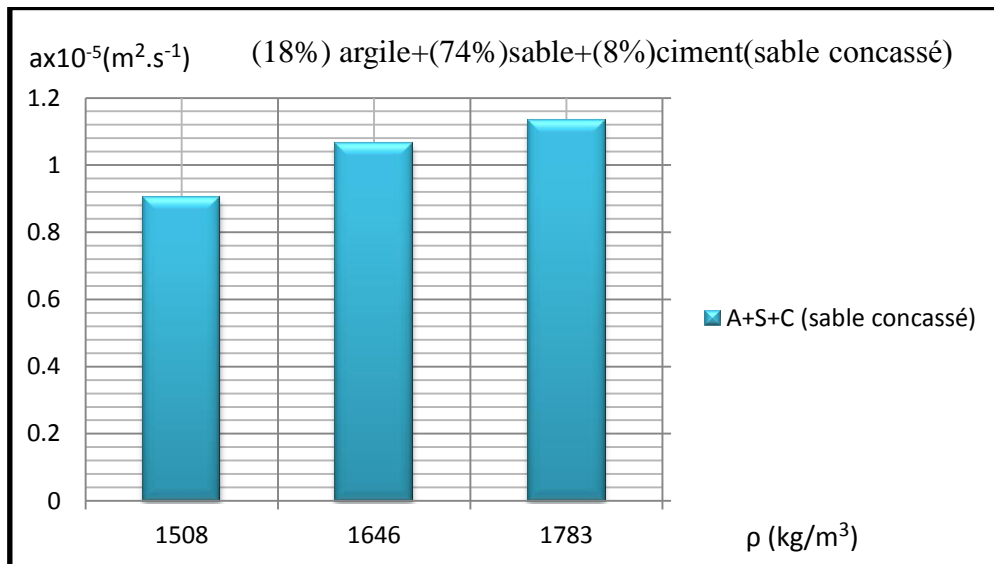
FigV.10 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.



FigV.11 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.



FigV.12 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.



FigV.13 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.

D’après ces résultats on observe que la conductivité thermique croit avec l’augmentation de masse volumique, par ce que la diminution de masse volumique conduit une augmentation des pores dans l’échantillon, ce qui conduit une diminution de conductivité thermique.

V.3.1.4 Détermination de la chaleur spécifique

La connaissance de λ et ρ permettent de calcule C_p en (j kg⁻¹.k⁻¹).par la relation suivants :

$$C_p = \frac{\lambda}{a\rho} \tag{v.7}$$

• Exemple de calcul :

$$\lambda=0,448 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$$

$$\rho=1,687 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$a=1,115 \times 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$$

$$C_p= 0,238 \times 10^2 \text{ jkg}^{-1}\text{k}^{-1}$$

V.3.1.5 Détermination de l’effusivité thermique

On calcule E par la relation suivant :

$$E = \sqrt{\lambda \rho c} \tag{V.8}$$

• Exemple de calcul :

$$\lambda = 0,448 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$$

$$\rho = 1,687 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 0,238 \times 10^2 \text{ jkg}^{-1}\text{k}^{-1}$$

$$E = 134,117 \text{ js}^{(1/2)}\text{m}^2\text{k}^{-1}$$

Tableau .V .05 : propriété thermophysique d'un bloc de terre d'argile. (Sable concassé).

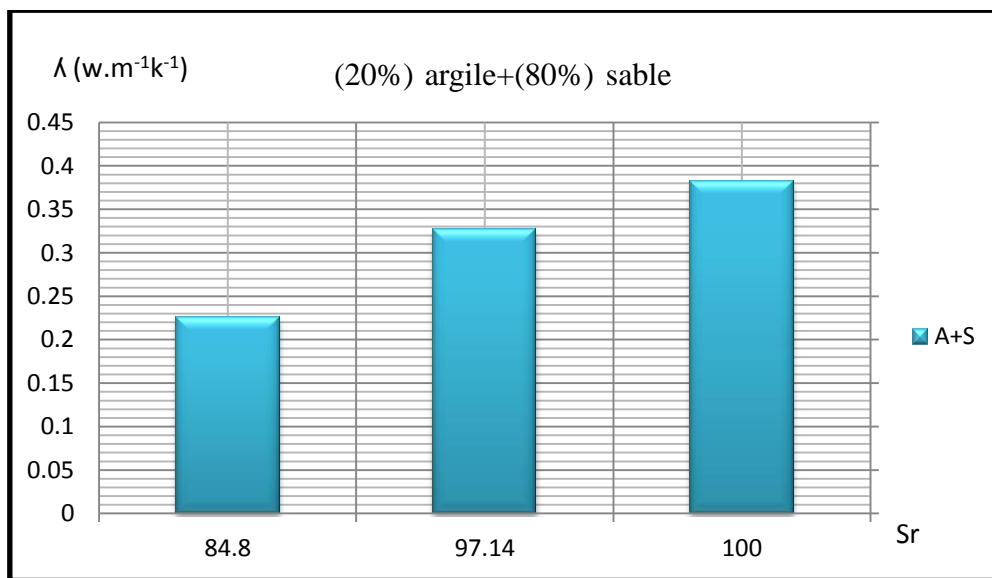
	e(m)	Sr(%)	λ (w.m ⁻¹ .k ⁻¹)	a (m ² .s ⁻¹)	ρ (kg/m ³)	R (m ² k/w)	C _p (J.kg ⁻¹ .K1)	E (js ^(1/2) m ² k ⁻¹)
(20%) argile + (80%) sable	0,05	100	0,448	1,115x10 ⁻⁵	1,687x10 ³	1,53	0,238x10 ²	134,117
		86,15	0,408	1,062 x10 ⁻⁵	1,563 x10 ³	1,86	0,245 x10 ²	124,99
		70,76	0,34	1,038 x10 ⁻⁵	1,481 x10 ³	2,02	0,221 x10 ²	105,49
(18%) argile + (74%) sable + (18%)ciment	0,05	100	0,481	1,133 x10 ⁻⁵	1,783 x10 ³	1,42	0,238 x10 ²	142,86
		86,66	0,429	1,066 x10 ⁻⁵	1,646 x10 ³	1,59	0,244 x10 ²	131,26
		73,33	0,35	0,903 x10 ⁻⁵	1,508 x10 ³	1,95	0,258 x10 ²	116,69

V.3.2 échantillons contient le sable de dune

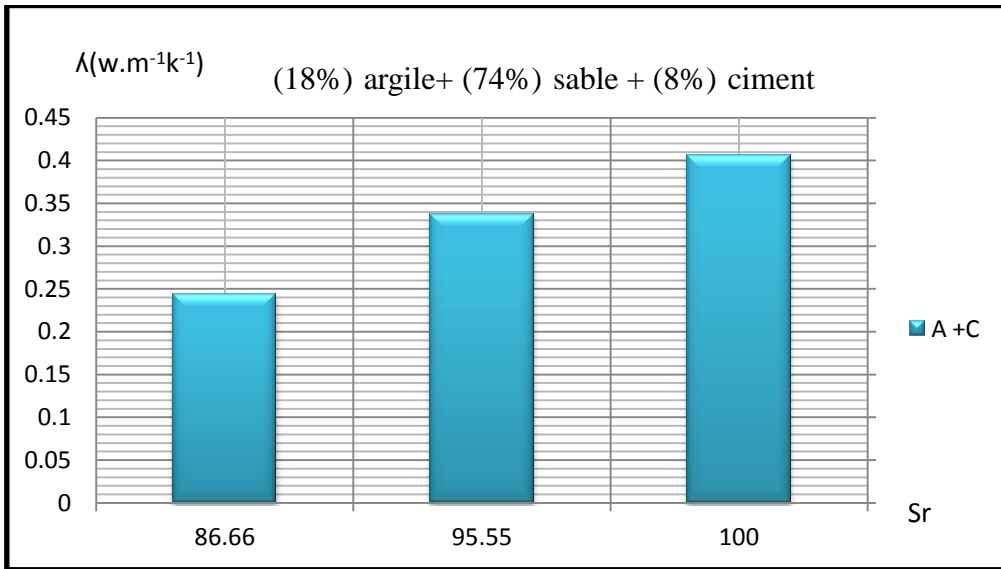
V.3.2.1 la conductivité thermique

Tableau V.06 : résultats obtenu de l'appareille EI 700.

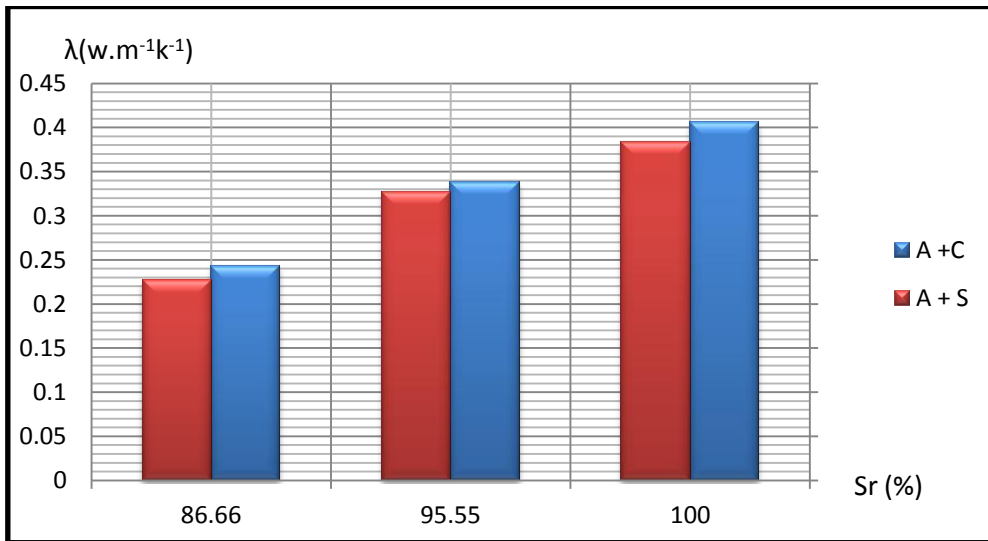
	V (voltes)	R (ohm)	q(W)	e(m)	Tc (°c)	TF (°c)	A(m)	C (w/°c)	Tb (°c)	Ta (°c)
(20%) argile + (80%) sable	85	2300	3,1413	0,04	22,3	17,9	0,0729	0,16	29,5	29,1
	60	2300	1,5652	0,04	21,9	18,3	0,0729	0,16	26,4	25,9
	85	2300	3,1413	0,04	23,4	18,3	0,0729	0,16	30,3	29,7
(18%) Argile + (74%) Sable + (8%) Ciment	80	2300	2,7826	0,04	23,8	19,5	0,0729	0,16	30,2	29,4
	100	2300	4,3478	0,04	23,7	16,1	0,0729	0,16	30,2	29,4
	71	2300	2,1917	0,04	23,7	19,6	0,0729	0,16	29,5	29,1



FigV.14 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%) argile + (80%) sable).

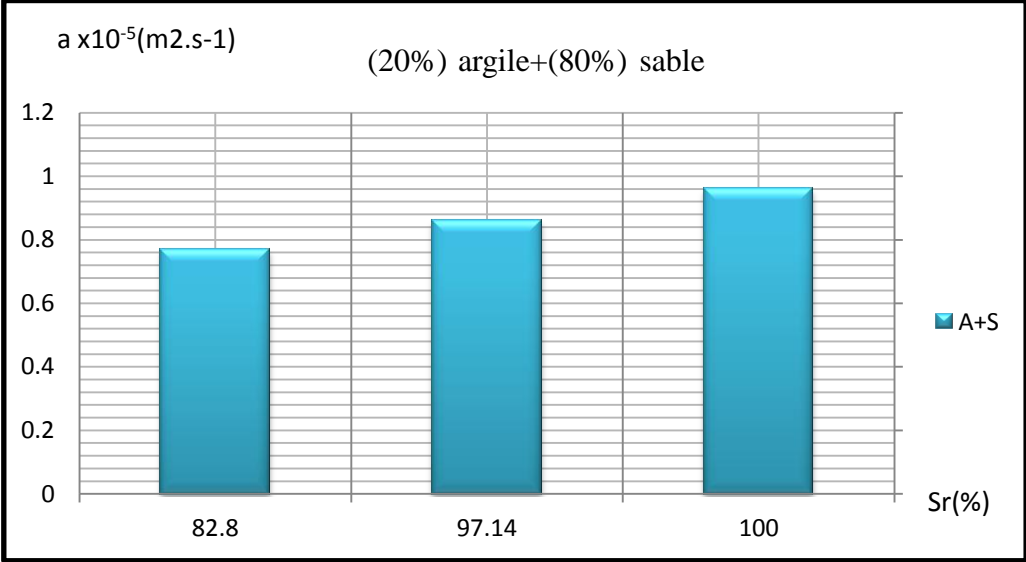


FigV.15 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment).

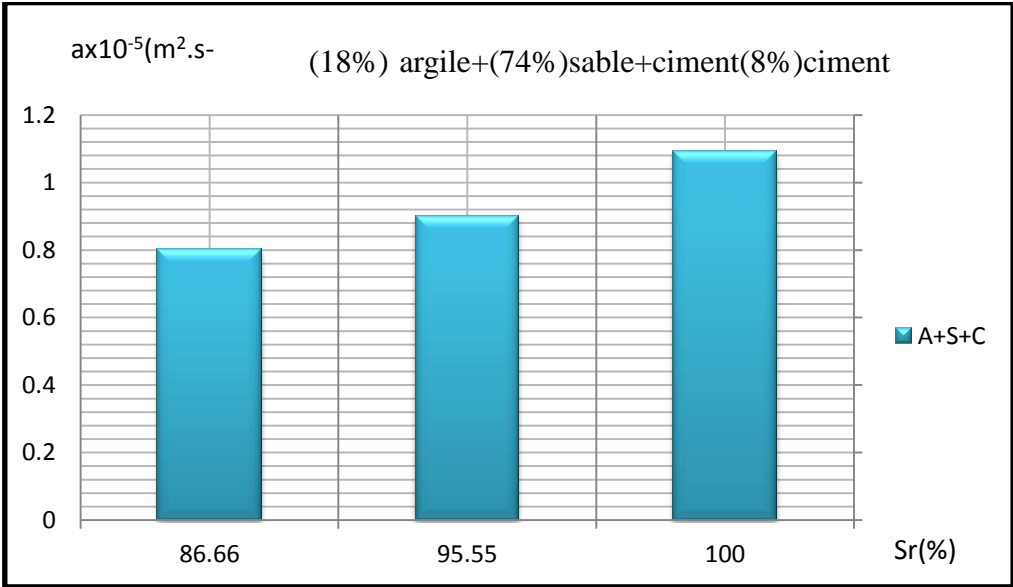


FigV.16 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment) et ((20%) argile + (80%) sable).

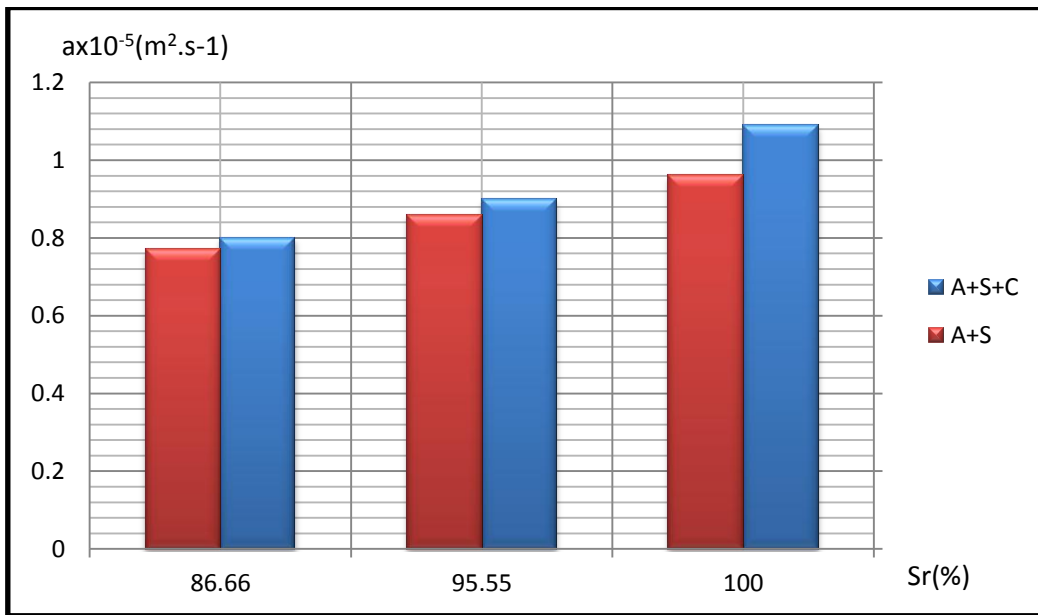
V.3.2.2 la diffusivité thermique



FigV.17 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%) argile + (80%) sable).



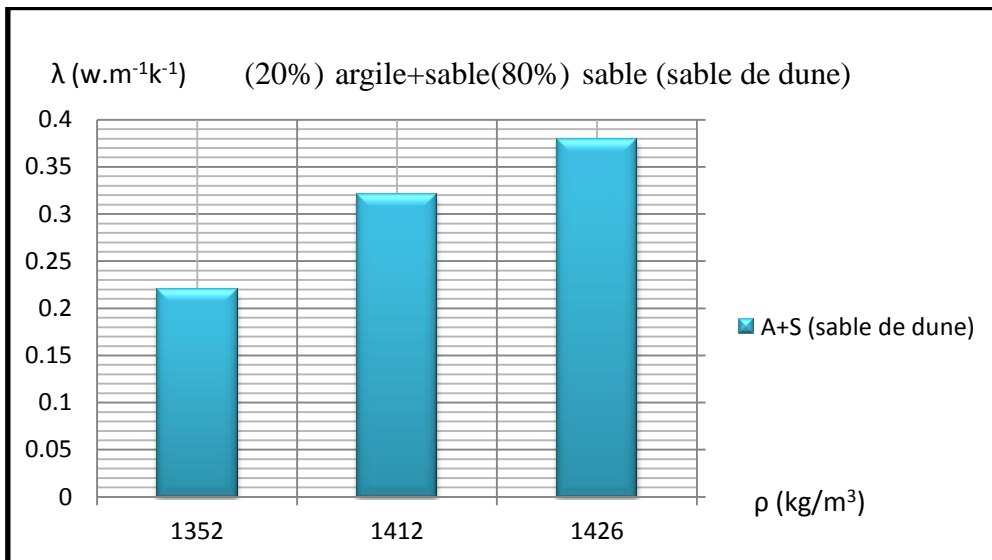
FigV.18 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment)



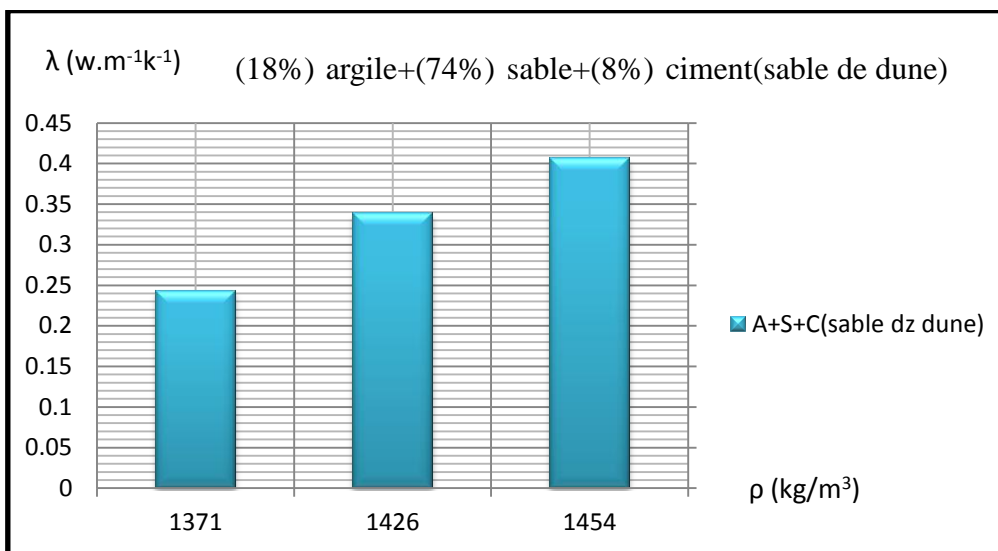
FigV.19 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%) argile + (74%) sable + (8%) ciment) et ((20%) argile + (80%) sable).

La conductivité et la diffusivité thermique croit avec l'augmentation de taux de saturation .donc l'élévation de quantité d'eau implique une augmentation des propriétés thermique ce ci montré que la conductivité de l'eau est supérieur à la a la conductivité de l'air.

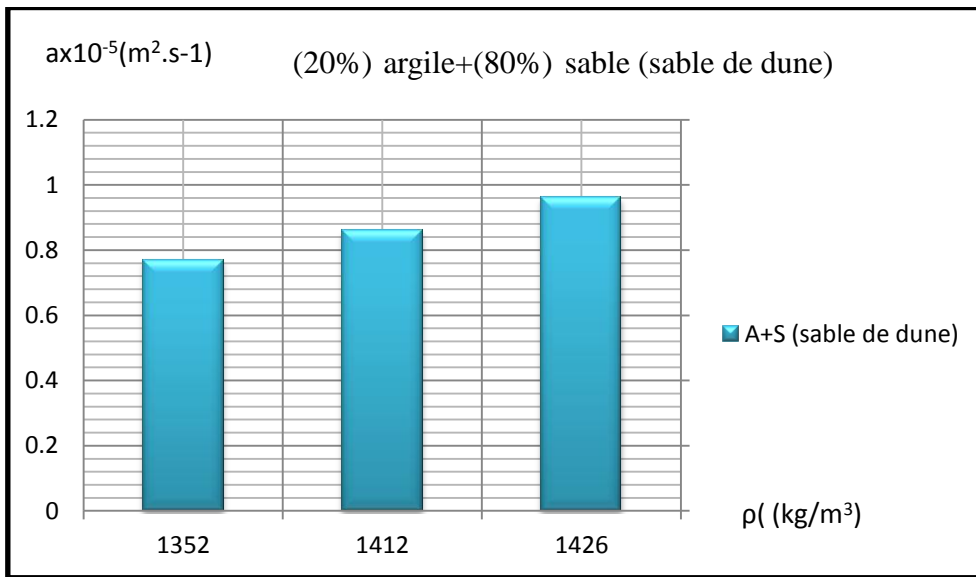
Ce résultat montre que la conductivité dépend à la porosité des matériaux. Plus les matériaux est poreux, plus il est isolation, ainsi que l'eau facilite la diffusion d'énergie a traversé l'échantillon



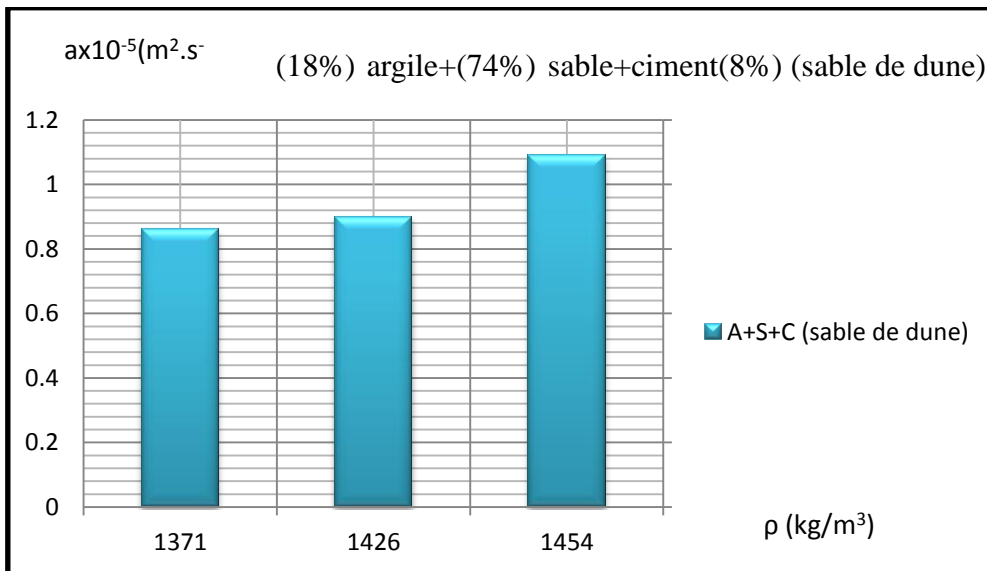
FigV.20 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.



FigV.21 : la variation de la conductivité thermique on fonction de masse volumique.



FigV.22 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.



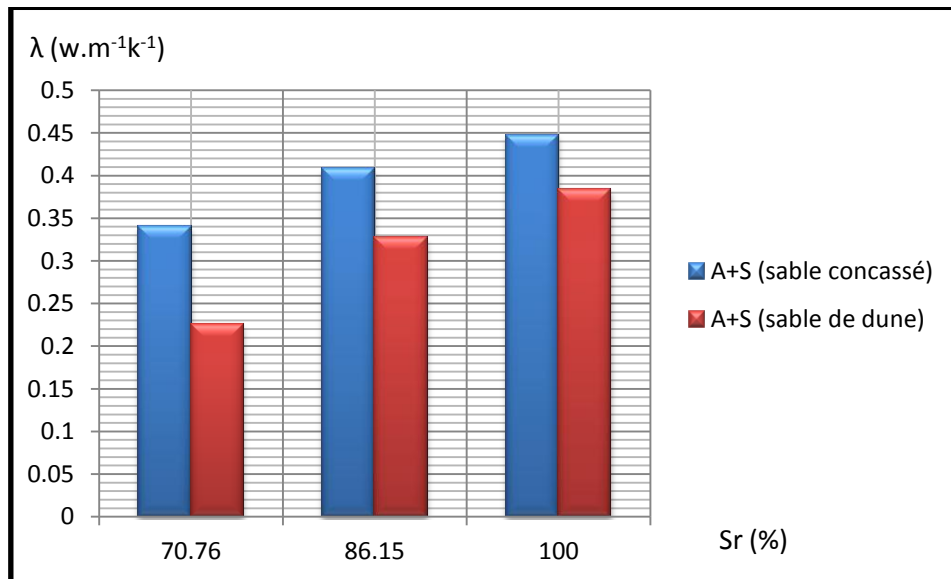
FigV.23 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de masse volumique.

A partir ces résultats on observe l'évolution de conductivité thermique avec l'augmentation de masse volumique, donc on peut dire que la relation entre la masse volumique et la conductivité thermique est presque linéaire.

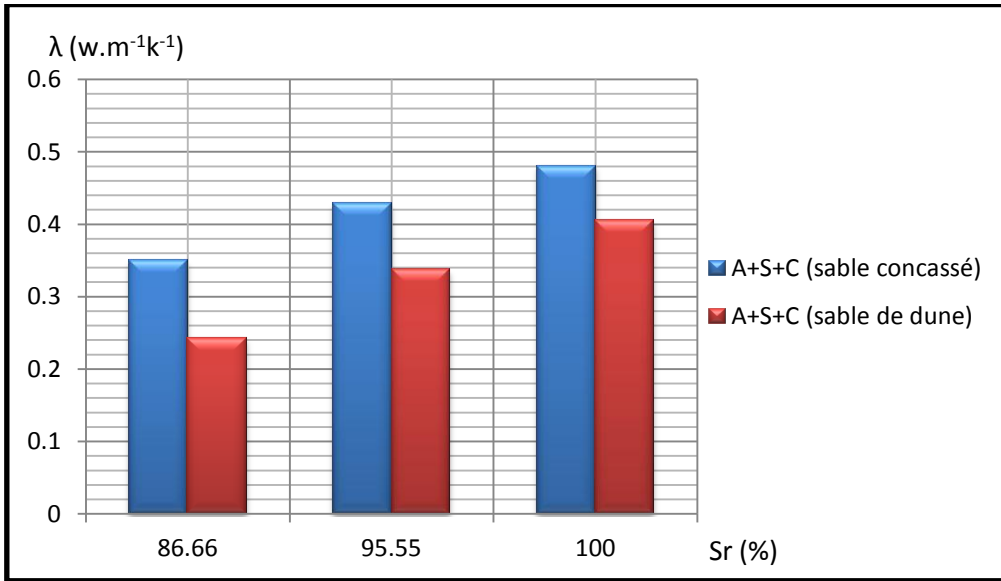
Tableau V.07: propriété thermophysique d'un bloc de terre d'argile (sable de dune).

	e(m)	Sr(%)	$\lambda(w.m^{-1}.k^{-1})$	$a (m^2.s^{-1})$	$\rho (kg/m^3)$	R ($m^2.k/w$)	$C_p (J.kg^{-1}.K^{-1})$	E ($js^{(1/2)}.m^2.k^{-1}$)
(20%) argile + (80%) Sable	0,04	100	0,38	$0,96 \times 10^{-5}$	$1,426 \times 10^3$	1,804	$0,277 \times 10^2$	122,51
		97,4	0,32	$0,86 \times 10^{-5}$	$1,412 \times 10^3$	2,143	$0,263 \times 10^2$	109,01
		82,8	0,22	$0,77 \times 10^{-5}$	$1,352 \times 10^3$	3,117	$0,211 \times 10^2$	79,22
(18%) Argile + (74%) Sable + (8%) Ciment	0,04	100	0,406	$1,09 \times 10^{-5}$	$1,454 \times 10^3$	1,689	$0,256 \times 10^2$	122,93
		95,55	0,338	$0,9 \times 10^{-5}$	$1,426 \times 10^3$	2,029	$0,263 \times 10^2$	112,58
		86,66	0,243	$0,86 \times 10^{-5}$	$1,371 \times 10^3$	2,822	$0,206 \times 10^2$	82,84

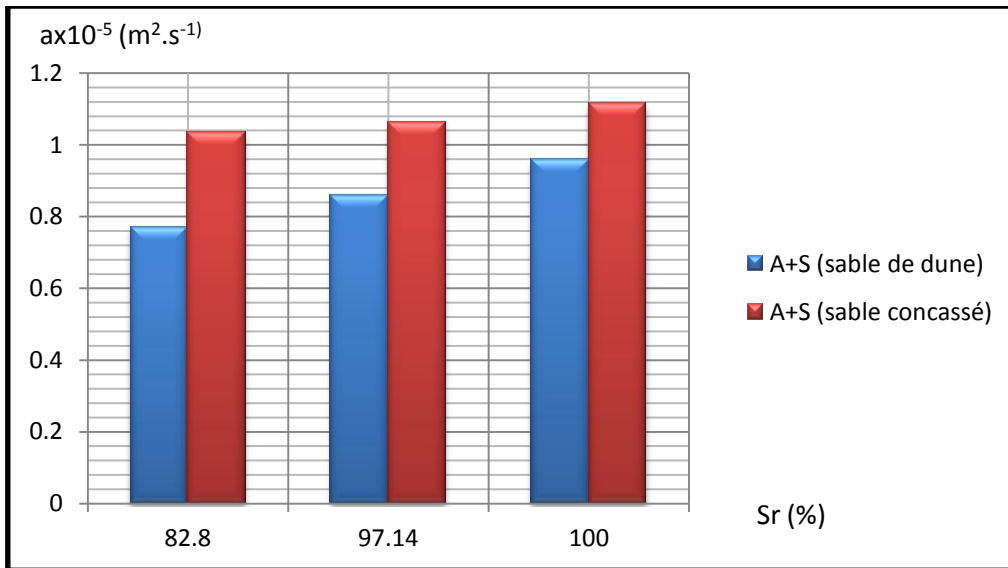
V.3.3 comparaison entre les deux types de sables



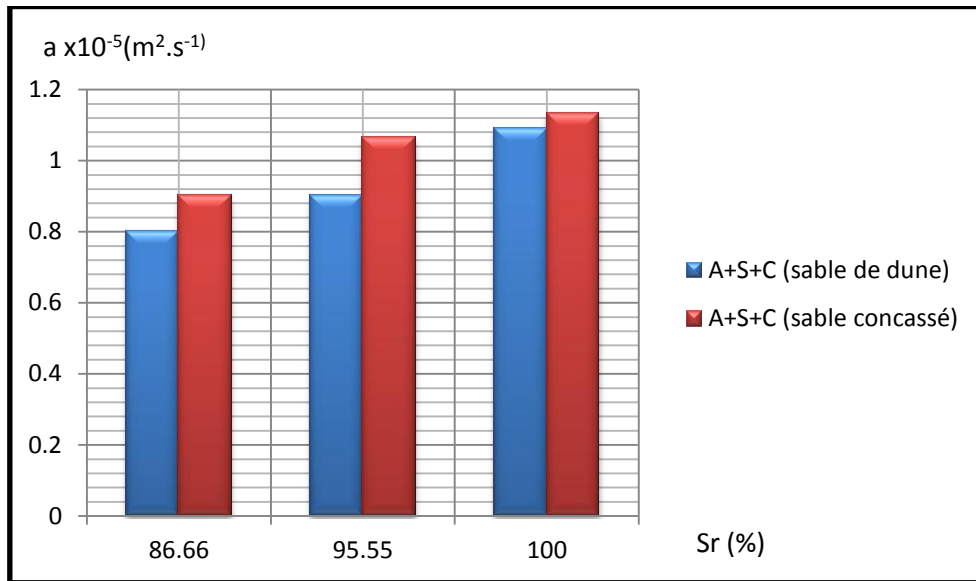
FigV.24 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%) argile + (80%) sable)



FigV.25 : la variation de la conductivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile +(74%)sable+(8%)ciment).



FigV.26 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((20%)argile+ (80%)sable).



FigV.27 : la variation de la diffusivité thermique on fonction de taux de saturation ((18%)argile+ (74%)sable+ (8%)ciment).

La conductivité prend la valeur 0,481 dans l'échantillon contient le sable concassé et 0,406 de le l'échantillon contient le sable de dune a l'état de saturation et la valeur 0,35 et 0,243 pour l'état moine de saturation.

L'observation de ces résultats obtenus montré que la conductivité thermique d'échantillon de sable concassé est supérieure à l'échantillon de sable de dune, il est une meilleure isolation thermique que l'autre. Cette différence dépende a le type de sable utilisé d'une.

D'après sa on conclure que la conductivité thermique d'un béton d'argile croit avec l'augmentation de diamètre de granulat, donc la conductivité thermique de sable concassé supérieure de la conductivité de sable de dune. Ceci est atteint Côté et Konrad (2008) et de Wakao et Kato (1969) [23].

Qu'ils sont démontré que 'pour des petits diamètres de particules, i.e. $d_p < 10$ mm, la forme des particules a un effet notable sur la conductivité thermique. En effet, Àe Est .plus élevée pour des particules concassées que pour des particules arrondies.

On observe que la diffusivité thermique prend le même comportement que la conductivité thermique, donc il y a une forte relation entre ces deux grandeurs thermophysiques. Cette forte liaison se voit sur le fait que la croissance de la conductivité thermique facilite la conduction d'énergie à travers l'échantillon.

On observe que la chaleur massique et l'effusivité thermique croît avec l'augmentation de taux de saturation en eau mais la résistance thermique évolue dans le sens opposé. Donc on peut dire que plus les propriétés thermiques telles que la chaleur massique et l'effusivité thermique faibles, et plus la résistance thermique élevée plus le matériau isolant.

V.5 Conclusion

On conclure que la conductivité et la diffusivité thermique croît avec l'augmentation de taux de saturation et la masse volumique, ainsi que la chaleur spécifique et l'effusivité thermique croît avec l'élévation de taux de saturation.

D'après les résultats obtenus on dit que le bloc de terre qui contient le sable de dune a une bonne isolation thermique que le bloc qui contient le sable concassé. En générale le béton d'argile a une bonne isolation thermique, pour cela nous conseillons de revenir à la construction par des matériaux locaux qui assurent le confort thermique et diminuent la consommation d'énergie dans le bâtiment.

Conclusion générale

Les travaux présents dans cette étude ont pour but de déterminer les propriétés thermo-physiques du béton d'argile pour connaître leur comportement thermique qui influencent principalement leur qualité d'isolation.

On a présenté quelques travaux effectués sur les propriétés thermiques des matériaux locaux. Ensuite on a défini les propriétés thermiques et les modes de transfert thermique et on a présenté des méthodes de mesure des propriétés thermo-physiques.

Dans cette étude, nous avons trouvé que les propriétés thermiques des matériaux locaux telles que la conductivité thermique dépend de plusieurs paramètres comme la masse volumique, et la teneur en eau.

Nous avons utilisé la méthode des boîtes qui permet de mesurer la conductivité thermique en régime permanent et la diffusivité thermique en régime variable, où on a étudié la variation de ces propriétés en fonction du taux de saturation.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que la conductivité thermique et la diffusivité thermique croissent en fonction du taux de saturation en eau. Par contre, la chaleur massique évolue dans le sens opposé. Cette croissance est reliée à la diminution de la quantité des pores dans le matériau qui conduit à une diminution de la conductivité thermique. Mais l'ajout de ciment conduit à une augmentation de la conductivité thermique par rapport au bloc de terre sans ciment, cette augmentation est due à la diminution des quantités des pores par ce que le ciment contient des fines qui assurent une bonne cohésion entre les composants du matériau, donc il résulte une diminution des pores.

On constate aussi que le matériau sec a une meilleure qualité d'isolation que celle du matériau humide, donc on peut dire que la conductivité thermique d'eau est supérieure à celle de l'air.

On peut donc conclure que le bloc de terre qui contient le sable de dune a une meilleure conductivité thermique que celle du bloc qui contient le sable concassé, donc la conductivité thermique de sable concassé est supérieure que celle du sable de dune.

Pour assurer une isolation thermique efficace et avoir moins de consommation d'énergie dans le bâtiment, il faut s'assurer des recommandations suivantes :

- Adoption des matériaux locaux dans la construction qui sont caractérisés par leurs performances d'isolation thermique approprié au climat de la région aride.
- Etude des propriétés thermo-physique des matériaux de construction et choisir lesquels ont une bonne propriété thermique.

Références

[01] <http://www.wenitrac.com>, consulté le 08/04/2017.

[02] ministre de l'habitat Algérie. Béton mousse panneaux en laine de bois p24.

[03] **Ouedraogo al:** [caractérisation mécaniques thermo-physique des blocs de terre comprimée stabilisée ou papier (cellulose)et /ou ciment, journal of matériels and engineering structures 68-76,2015.

[04] **Y. Millogo :** Etude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route). Thèse de doctorat, université d'Ouagadougou, Burkina Faso, 07, 2008.

[05] **M. Oliver Boffou, Kofficlément Kouadio :** Canada honoré kaouarou, canada, honore kouarou, a alexandreassande, Anne dauschers, bertrande Lenoir et edjikémé emeru influence de la teneur en ciment sur les thermomécanique des blocs d'argile comprimée et stabilisée, Afrique science 35-43.

[06]**Lahcen boukhattem :**caractérisation thermophysique des matériaux et modélisation des transferts couples de chaleur à travers un bâtiment. Thèse de doctorat, université ibn zohr-Maroc, 2008.

[07] **عقيد و سليمانى العزل الحراري للبنىات في المناطق الصحراوية الجافة، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر جامعة أدرار، 2015.**

[08] **Soulimani et elhamal :** étude de comportement thermique d'une maison d'argile, mémoire master, 2014.

[09] **Azizi et Boukhechba :** influence de la température et de l'humidité sur les propriétés thermo-physiques des matériaux locaux à base d'argile, mémoire de master, université Adrar ,2016.

[10] **Boussaâda et ben Ali** : caractérisation thermomécaniques des matériaux locaux à base d'argile, mémoire de master, université Adrar, 2016.

[11] **Dominique Marchio et Paul Reboux** : introduction au transfert thermique, Paris, p (0 3-185) ,2011 .

[12] **Mekhermehe Abdessalam** : contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermique des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des ksours sahariennes, mémoire magister, université Ouargla, 2012.

[13] **Frederic dounenc**, élément de thermodynamique et thermique, Prs P (05-07) ,2009.

[14] **J.brau** : transfert de chaleur par conduction, Lyon P57, 2006.

[15] **laboration notionnels de métrologie et d'essais**, les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologique, article LNE ,2010 .

[16] cellule de de mesure de conductivité EI700 ,2007.

[17] **Nassima sotehi**, caractéristique thermique des parois des bâtiments et amélioration de l'isolation, thèse doctorat ,2010.

[18] **Hakkom soumia**, étude de caractéristiques thermiques et mécanique des briques en terre crute traditionnelles dans les régions de la wilaya d'Ouargla, mémoire magister ,2015.

[19] **Yves jannot**, théorie et pratique de la métrologie et pratique de la métrologie thermique.

[20] **Nouzha Bouziane** : élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, mémoire magister, université mentouri de Constantine, 2007.

[21] <http://boutique-genie-civil.blogspot.html>, 15/04/2017.

[22] **groupe de recherche milieux divisés**, european physical journal, 2004.

[23] **Marie-Hélène- Fillion** : mesure de la conductivité thermique etde la perméabilité intrinsèque d'assemblages de cailloux, 2008.



Les annexes

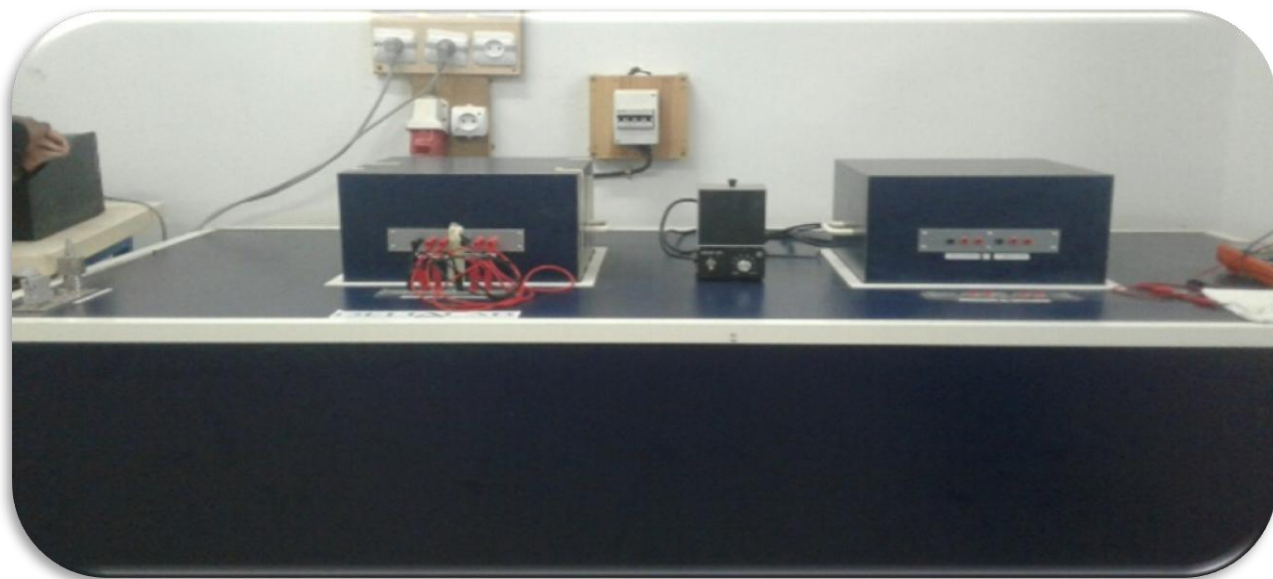


Photo 01 :appareil de mesure les propriétés thermophysique



Photo02 : vue l'intérieur de boîte 1 (mesure la conductivité thermique)



Photo03 :cryostat



Photo04 : échangeur



Photo 05 : consol de mesure



Photo 06 : le sonde



Photo 07 :Mélange



photo 08 : moulage d'échantillons



Photo 09 : démoulage



Photo 10 :place les sondes à l'échantillonnage

Calcule le taux de saturation :

$$Sr = W - Wl$$

$$Wl = m_h - m_s$$

$$Sr\% = \frac{Wl}{W} \times 100$$

W : la quantité d'eau de mélange.

Wl : l'eau évaporée.

m_h : la masse humide.

m_s : la masse sèche.

Sr% : taux de saturation en eau.