

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

N° :.....



FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX DE  
CONSTRUCTION

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par : Ben lokrichi hassiba  
Turki imane

Intitulé

Élaboration d'un brique de terre à faible porosité  
accessible à l'eau par la méthodologie des plans  
d'expériences

Soutenu devant le jury composé de :

Dr Baali Laid

Université Msila

Président

Pr Bencheikh Mohamed

Université Msila.

Rapporteur

Pr Naceri Abdelghani

Université Msila

Examineur

Année universitaire : 2021 /2022



## **REMERCIEMENT**

D'abord je remercie Allah de m'avoir donné le courage et la détermination nécessaires pour finaliser ce travail.

Il ne m'aurait été possible, à moi seul, d'achever le présent travail sans l'assistance, l'appui et le suivi minutieux de mon encadreur le professeur **BENCHEIKH MOHAMED**.

Je tiens aussi à remercier l'ingénieur de laboratoire de développement Géo matériaux Université de M'sila **CHOUKEIR SAWSEN** pour leur conseil, Leur soutien et leur aide précieuse pendant la durée de mes travaux.

Mes sincères remerciements vont au chef de département de génie civil Mr. **BAALI LAÏD**, mes remerciements vont aussi au président et aux membres

du jury de soutenance qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.



## اهداء

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء المرسلين  
الى الانسان الذي علمني كيف يكون الصبر طريقا للنجاح.....السند و القدوة  
والذي الحبيب أطال الله في عمره  
الى من رضاها غايتي وطموحي ..... فأعطتني الكثير ولم تنتظر الشكر...الى باعثة  
العزم والتصميم والإرادة صاحبة البصمة الصادقة في حياتي والدتي الحبيبة أطال الله في عمرها  
الى رفقاء البيت الطاهر الأنيق اخواتي  
الى استاذي الفاضل المشرف على هذا العمل  
متشكرتا له على مساعدته من اجل مواصلة وتمام العمل

ايمان.

## اهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والصلاة والسلام على رسوله الكريم ومن اتبعه بإحسان الى يوم الدين.

الى من ربنتي وأنارت دربي واعاننتي بالصلوات والدعوات الى أغلي انسانة في هذا الوجود أُمي الحبيبة.

الى من علمني معنى الكفاح وأوصلني الى ما انا عليه أبي الكريم بن لقريشي عبد الله.

الى كل اخوتي وافراد عائلتي صغيرهم وكبيرهم.

الى من حملتهم لتهم ذاكرتي ولم تحملهم مذكرتي.

الى الأستاذ الفاضل المشرف بن الشيخ محمد تشكرا له على مساعدته ودعمه لنا.

الى الأستاذة سوسن شوقير تشكرا لها على الدعم والمساعدة.

الى كل من ساعدني من قريب او بعيد.

اليكم جميعا اهدي هذا العمل عربون محبة وتقدير.

حسبية

## الملخص:

يعتبر الطوب مادة من مواد البناء لكنه لا يستعمل بكثرة في مجال الهندسة المدنية بحيث ان مواد الطوب متوفرة ومنتشرة على النطاق الواسع، وغير مكلفة الاستخدام مقارنة بمواد البناء الأخرى.

نتناول في بحثنا هذا صناعة الطوب غير نافذ للماء بمسامية قليلة ونطبق عليه تجربة المسامية والمقاومة.

يتكون الطوب: رمل - تربة - ماء.

حضرنا جميع المواد اللازمة وقمنا بالخلط، تم صناعة قوالب على شكل أسطوانة بحيث تم صنع 78 تركيبة، عينتين من كل تركيبة وتم تركها تجف مدة 28 يوم، وبعدها نطبق عليها التجارب المراد دراستها.

## Résumé

La brique est un matériau de construction, mais elle n'est pas largement utilisée dans le domaine du génie civil, car les matériaux en brique sont largement disponibles et répandus, et sont peu coûteux à utiliser par rapport aux autres matériaux de construction.

Dans nos recherches, nous nous intéressons à la fabrication de briques imperméables à faible porosité, et nous y appliquons l'expérience de la porosité et de la résistance.

Les briques sont composées de : sable - sol - eau.

Nous avons préparé tous les matériaux nécessaires et des moules mixtes en forme de cylindre ont été fabriqués de sorte que 78 compositions ont été fabriquées, deux échantillons de chaque composition ont été laissés à sécher pendant 28 jours, après quoi nous appliquons les expériences à étudier.

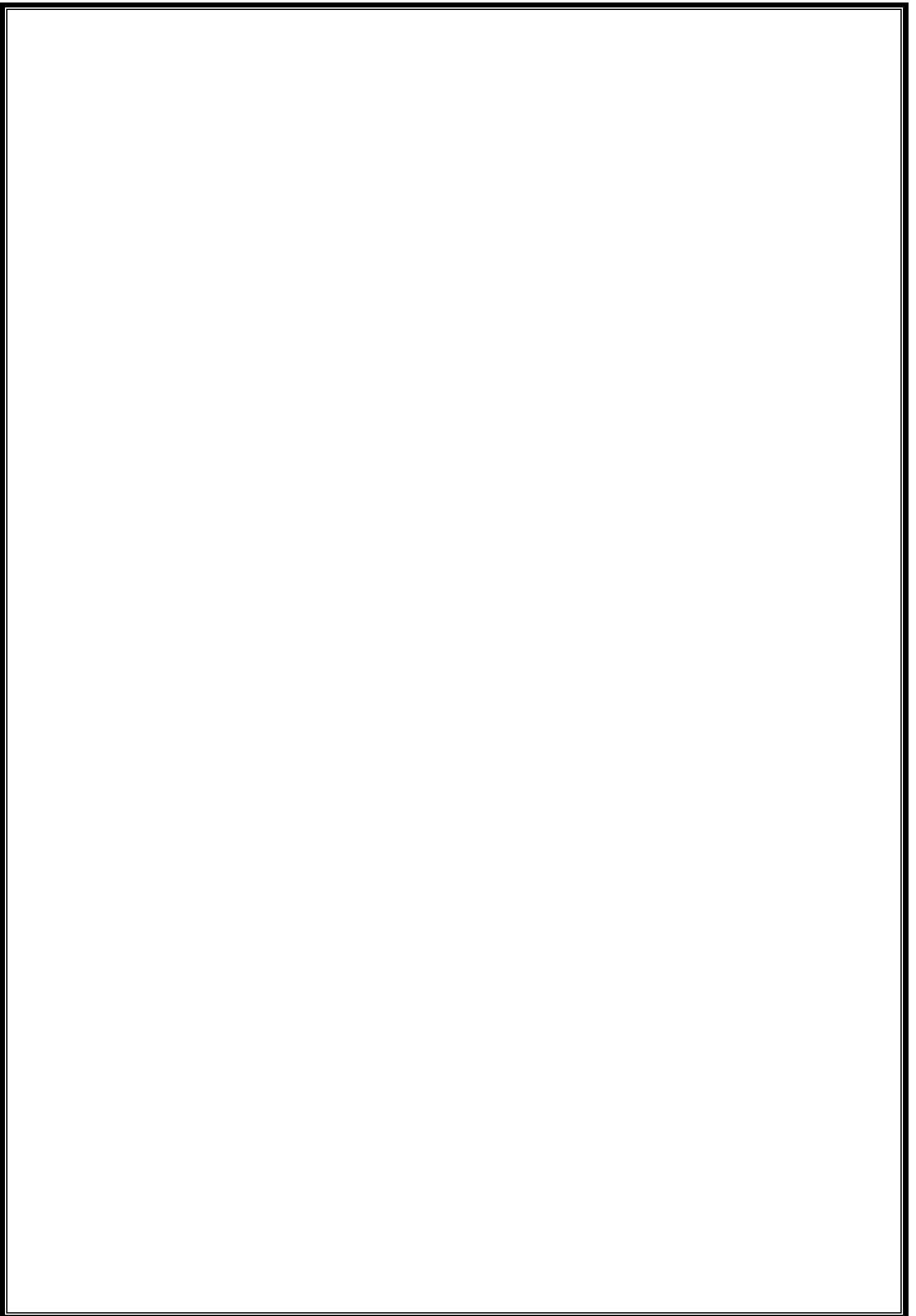
## Abstract

Brick is a construction material, but it is not widely used in the field of civil engineering, because brick materials are widely available and widespread, and are inexpensive to use compared to other construction materials.

In our research, we are interested in the manufacture of waterproof bricks with low porosity, and we apply the experience of porosity and resistance to it.

The bricks are composed of: sand - soil - water.

We prepared all the necessary materials and mixed cylinder-shaped molds were made so that 78 compositions were made, two samples of each composition were left to dry for 28 days, after which we apply the experiments to study.



## Sommaire

<b>Introduction générale</b>	
<b>CHPITRE I</b>	<b>Etude bibliographique</b>
I.1. Introduction	1
I.2.ce sujet a-t-il déjà été étudié	1
I.3.Quels sont ces sujets et qui les a étudiés et quel pays	1
I .4.Histoire de briques	3
I.4.3.Evolution de l'utilisation des briques	7
I.4.3.1.Date d'utilisation des briques	7
<b>I.5.1.L'extraction de l'argile</b>	10
<b>I.5.2.La préparation de la pâte</b>	10
I .5.3.Le moulage des briques	10
<b><i>I.5.4.Les briques moulées à la main</i></b>	10
I.6.Les briques mécaniques	11
I.6.1.Le séchage	11
I.6.2.La cuisson	11
I.7.La terre	13
I.8.Techniques de construction en terre	15
I.9.L'ARCHITECTURE DE TERRE	20
I.10..Diversités des produits de blocs de terre comprimée	21
a .Blocs pleins	21
b.Blocs creux	21
c.Blocs alvéolaires	21
d.Blocs à emboitements	22
e.Blocs parasismiques	22
f.Blocs spéciaux	22
I.11.Actualité de l'architecture de terre en Algérie	23
I .12 .Argiles	26
I .12.1.Rappel sur les argiles	26
I.12 .2.Définition	27
I.12.3.Structure de minéraux argileux	27
I.12 .4.Classification et types d'argiles	28
I.13.Définition de sol rouge	33

I.14.Les sables	33
I.15.Les adjuvants	33
I.15.1.Définition des adjuvants	33
I.15.2.Le dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment	34
I.15 .3.La classification des adjuvants	34
a Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton	35
b .Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement	35
C Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement	35
I.15.4.Le super plastifiant	35
I.15.5.Les avantages principaux de l'utilisation des super plastifiants :	35
<i>I.15.6.LES HYDROFUGES</i>	36
<i>I.15.7.Les hydrofuges de masse</i>	36
<i>I.15.8.Les hydrofuges de surface</i>	36
I.16.La porosité	36
I.17.Durabilité	38
I.18.La perméabilité à l'eau des bétons	39
I.18.1.Perméabilité du béton	40
I.18.2.Principe de l'essai	41
I.18.3. Mode opératoire	41
I.18.4.Conclusion	41
I.19.Stabilisation	42
<i>I.19.1. Définition</i>	42
<i>I.19.2.Objectifs</i>	42
<i>I.19.3.Procédés</i>	42
A .Stabilisation mécanique	42
B.Stabilisation physique	42
c.Stabilisation chimique	42
<i>I.19.4. Moyens de stabilisation</i>	43
I.20.La chaux	43
I.20.1.Définition	43
I.21 .La résistance mécanique	44
I.22.Conclusion	44
<b>CHAPITRE II</b>	<b>METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES</b>
II..1.INTRODUCTION	47

II.2.Choix <b>de la méthode d'expérimentation</b>	47
II.3.Les différents types de facteurs	47
<i>A. facteurs continus</i>	47
<i>B.Facteurs discrets</i>	47
<i>C.Facteurs ordonnables</i>	47
<i>D.Facteurs booléens</i>	47
II.4.Notion d'espace expérimental	48
II.5.Notion de surface de réponse	50
II.6.Notion de modélisation mathématique	51
II.7.Le modèle de l'expérimentateur	52
II.8.Logiciel utilisé	52
II.8.1.Présentation de logiciel « Minitab »	52
II.8.1.1 . Diagramme Pareto	52
II.8.1.2.Graphique des effets	52
II.8.1.3.Graphique des interactions	53
II.9 .Conclusion	53
<b>Chapitre III</b>	<b>des méthodes expérimentales</b>
III.1.Introduction	55
III.2.Les matériaux que nous avons utilisés	55
III.3.Origine de terre	55
III.4.Préparation de l'argile (sol rouge, sol blanche)	55
III.5.Essais d'identifications	56
<i>A .Analyse granulométrique tamisage (NF P 94-056)</i>	56
<i>B.Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)</i>	57
<i>C .Analyse granulométrique par tamisage (NF 18-304)</i>	60
III.6 .Eau	61
III.6.1.l'eau de gâchage	61
III.7.Ciment	61
A.Définition	61
<b>B. Les constituants principaux</b>	62
C.Principe de fabrication des ciments courants	62
D.Les types du ciment	62
E.AVANTAGES	63

F.Ablication	64
III.8.Les adjuvent	64
III.8.1.Hydrofuge de masse pour béton et mortier	64
III.8.2.MEDAFLOW 30	66
III.9. Les Facteurs	67
III.10.Matériel spécifiques	70
III.11.Préparation de Mélange	71
III.12.La porosité accessible à l'eau : Peau	73
<b>III.13.Conclusion</b>	75
<b>Chapitre IV</b>	
IV.1 .Introduction :	78
IV.2.Analyse :	85
IV.3.Analyse :	86
IV.4.Analyse :	87
IV.5.Analyse :	88
IV.6..Analyse :	89
IV.7.Analyse :	91
IV.8.Analyse :	92
IV.9.Analyse :	93
IV.10.Analyse :	94
IV.11.Analyse :	95
<b>IV.12.Conclusion générale</b>	96

## Liste des figures

	Page s
<b>Figure I.1</b> :Photo Martin Dubois	3
<b>Figure I.2</b> Détails architecturaux en brique de l'édifice La Fabrique, Québec. Photo Martin Dubois.	5
<b>Figure I-3</b> Briques récupérées d'un immeuble industriel en Estrie. Photo Chantal Lefebvre.	6
<b>Figure I-4</b> -Résidence cum office, Kassel, Allemagne vues d'intérieur	8
<b>Figure I-5</b> Les différentes fabrications de brique	9
<b>Figure I-6</b> zigourat de dour-ountash(iran)-1260-1235 av.j.c.	12
<b>Figure I-7</b> Aqua Claudia construction :32-58 ap.j.-c,longueur	12
<b>Figure I-8</b> viduc de digswell(1848-1850)	13
<b>Figure I-9</b> Mosquée BaitulMuqet, Wabern, Allemagne	14
<b>Figure I-10.</b> La Luz, Albuquerque, NM, novembre 2015.	15
<b>Figure I-11</b> : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006)	17
<b>Figure I-12</b> : Résidence cum office, Kassel, Allemagne	20
<b>Figure I .13:</b> Architecture de terre dans le monde J.PAULUS, 2015)	20
<b>Figure I.14</b> : Patrimoine en pisé : (a) la grande muraille de Chine,(b) l'Alhambra de Grenade ,(c)	21
<b>Figure I.15</b> : Différents produits de blocs de terre comprimée	22
<b>Figure I -16</b> :maison circulaire Hakka source : <a href="https://maison-monde.com/maisons-circulaires">https://maison-monde.com/maisons-circulaires</a>	23
<b>Figure I-17</b> (a), (b) maison traditionnelle en adobe, (c) Mosquée Cité de Ghadamès en Libye	23
<b>Figure I-18</b> : POHTO :Oued Mzab en Algérie	25
<b>Figure I.19</b> Djamaa-en-nekla (Exemple de l'architecture islamique). (Photo : SAADAOUI Benaceur OUAHAB Yamina	26
<b>Figure I .20</b> : Structure du tétraèdre SiO <sub>4</sub> . (Cabane,2004)	27
<b>Figure I.21</b> : Structure de l'octaèdre Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> . (Cabane, 2004)	28
<b>Figure I .22:</b> Structure de la kaolinite(Grimm, 1962) cité par Bibi et Al., (2016)	29
<b>Figure I.23:</b> les feuilles de kaolinite et les deux couches de (T) et (O). (Houbenet Guillaud, 2006))	29
<b>Figure I.24:</b> Structure de l'illite. (Grimm, 1962) cité parBibi et Al., (2016)	30
<b>Figure I.25:</b> les feuilles de l'illite et les ions de potasse (K <sup>+</sup> ). (Houbenet Guillaud, 2006)	30
<b>Figure I.26:</b> Forme structurale d'une structure T-O-T. (Poppe et al, 2001)	31
<b>Figure I.27</b> : les feuilles de la montmorillonite de structure de type 2.1.(Houbenet Guillaud, 2006)	31
<b>Figure I.28</b> : Structure des argiles. (Dessin de droite : Laboratoire Léon Brillouin ; Bund et al, 2016).	32
<b>Figure I.29:</b> types de gonflements, (Benaissa Mohamed, 2011)	32

<b>Figure I.30 : 3Proportion volumique des différents constituants de la pâte de ciment après hydratation en milieu saturé</b>	37
<b>Figure I. 31 :Prosimètre au mercure de deux pâtes de ciment conservées dans l'eau pendant 7</b>	38
<b>Figure I. 32 :Flux linéaire de l'eau à travers l'échantillon[18]</b>	40
<b>Figure II.1 : Le niveau bas, le niveau haut, et le domaine d'un facteur</b>	48
<b>Figure II.2 : L'espace expérimental d'un facteur.</b>	49
<b>Figure II.3 : Les points expérimentaux dans un espace expérimental.</b>	49
<b>Figure II.4 : Les points expérimentaux dans un domaine d'étude.</b>	50
<b>Figure II.5 : L'ensemble des réponses qui correspond à tous les points du domaine d'étude forme la surface de réponse.</b>	51
<b>Fig III.1 : L'argile Janet (Laboratoire géo matériaux M'sila)</b>	55
<b>fig III. 3 L'argile blanche(laboratoire géo matériaux M'sila)</b>	55
<b>fig III. 3 L'argile rouge (laboratoire géo matériaux M'sila)</b>	55
<b>fig III .4 : concasseur broyeur</b>	56
<b>fig III .5 : analyse granulométrique tamisage</b>	56
<b>Figure III.6- Analyse granulométrique d'argile R</b>	57
<b>Figure III.7- Analyse granulométrique argile blanc</b>	57
<b>Figure III .8 :Présentation des limites d'Atterberg.</b>	58
<b>Figure III.9: Limite de plasticité au rouleau</b>	58
<b>Figure III.10 :Limite de liquidité à la coupelle Casa grande.</b>	58
<b>Figure III.11 :les tamis</b>	60
<b>Figure III. 12: Courbe granulométrique du sable Boussaâda.</b>	61
<b>Figure III.13 : ciment« MALAKI »</b>	62
<b>Figure III.14 : les adjuvants</b>	64
<b>Figure III.15: Hydrofuge</b>	66
<b>Figure III.16: MEDAFLOW 30</b>	67
<b>Figure III.17 : Le schéma du moule utilisé pour la fabrication des BT</b>	71
<b>Figure III.18 : Le moule utilisé. laboratoire de Géo matériaux, Université de M'sila .</b>	72
<b>Figure III.19 : Presse manuelle du laboratoire de développement Géo matériaux,Université de M'sila .</b>	72
<b>Figure III.20 : chambre de cure (Température ,Humidité) Laboratoire géo matériaux M'sila</b>	73
<b>Figure III.21: Des éprouvettes confectionnées.</b>	73
<b>Figure III.22 : étuve du laboratoire de développement Géo matériaux, Université de M'sila.</b>	74
<b>Figure III.23 : presse hydraulique (Laboratoire géo matériaux M'sila)</b>	76

## Liste des tableaux

<b>Tableau I-1</b> : Tableau récapitulatif des techniques de construction en terre crue	19
<b>Tableau I.2</b> : Les opérations de construction en terre en Algérie. Source	24
<b>Tableau I-3</b> : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment .	34
<b>Tableau I .4</b> : Détermination du coefficient de perméabilité K	41
<b>Tableau III. 1:</b> analyse granulométrique pour le type d'argile Argile R.	56
<b>Tableau III.2:</b> analyse granulométrique pour le type granulométrique d'argile R	57
<b>Tableau d'argile Argile blanc</b>	59
<b>Tableau III. 3</b> : Les résultats obtenus par l'essai de la limite d'Atterberg pour les 03 types des	60
<b>Tableau III. 4:</b> analyse granulométrique du sable de dune (Boussaâda)	63
<b>Tableau III .5</b> : Liste des différents types des ciments courants normalisés par la norme NF P 15-301.	68
<b>Tableau III .6</b> :Tableau représentant les facteurs de composition A	69
<b>Tableau III .7</b> :Tableau représentant les facteurs de composition C	70
<b>Tableau III.8</b> :Tableau représentant les facteurs de composition B	77
Tableau IV.1.de résultat porosité et résistance A	78
Tableau IV.2.de résultat porosité et résistance B	79
Tableau IV.3.de résultat porosité et résistance C	80
TABLEAU IV.4 . a resulta porosité et résistance A	82
TABLEAU IV.5 . resulta porosité et résistance B	82
TABLEAU IV.6 resulta porosité et résistance C	83

# **Introduction**

## Introduction

---

Malgré le développement technologique qu'a connu l'humanité ces derniers siècles et qui a permis à l'homme moderne de disposer d'une grande variété de matériaux de construction jamais connues auparavant, nous enregistrons aujourd'hui à un retour croissant à la construction en terre crue dans plusieurs pays y compris les pays industrialisés profitant du développement des techniques de production très variées, soutenues par des recherches scientifiques.

La terre a longtemps été utilisée comme matériaux de construction puis abandonnée au bénéfice des nouvelles technologies.

Aujourd'hui, face à une prise de conscience en faveur de la protection de l'environnement on pourrait penser que le matériau terre répond absolument aux nouvelles exigences tout en respectant l'environnement sur tout son cycle de vie.

Parmi les avantages de la terre crue, nous pouvons aussi souligner le peu d'énergie que nécessite sa mise en œuvre, 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. Malgré ces avantages, des freins subsistent à la diffusion de cette pratique constructive, comme notamment la faible résistance mécanique et rigidité de la terre crue compressée ainsi que sa porosité.

La stabilisation de ce matériau par l'addition de liants chimiques (ciment, chaux) permet d'en améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité tel que la porosité et perméabilité.

Des programmes d'amélioration, de conservation et de gestion du patrimoine architectural en terre sont entrepris à travers le monde, des projets pilotes ont fourni des exemples pour le développement et la diffusion de méthodes et technique appropriées dans la construction en terre, ou la conservation et le développement font partie d'un processus continu.

Dans ce contexte, notre recherche a pour but de réaliser une brique de terre ayant des propriétés mécaniques physiques et chimiques répondant aux exigences de durabilité des constructions des ouvrages en terre crue stabilisée et améliorée avec des ajouts chimiques tel que les adjuvants.

Notre plan de travail en cette recherche se développe comme suit :

- Introduction générale qui est un aperçu général sur la motivation de cette recherche.
- Chapitre 1 : Revue bibliographique des études précédentes en ce thème afin d'acquérir certaines bases scientifiques.
- Chapitre 2 : Un rappel sur la méthode expérimentale exposé sous forme d'un cours afin d'expliquer les étapes et l'outil entamé afin d'arriver aux résultats adéquats en cette recherche.

## **Introduction**

---

- Chapitre 3 : chapitres des méthodes expérimentales en expliquant le déroulement du travail de recherche au laboratoire.
- Chapitre4 : Résultats et conclusion.
- Chapitre5 : Interprétation et discussions des résultats conclusion générale.

# **CHAPITRE I**

## Étude bibliographique

**I .1.Introduction :**

Dans ce chapitre, nous avons la moitié des moyens et des échantillons avec toutes les techniques utilisées dans cette expérience ainsi que l'équipement et les méthodes. Après l'échantillonnage du site

Ensuite, nous préparons différentes méthodes et les appliquons aux échantillons.

Dans ce chapitre, nous proposons différents critères de sélection des matériaux pour la fabrication de briques d'argile.

**I .2.Ce sujet a-t-il déjà été étudié :**

IL n'y a presque pas études identiques à ce sujet, mais il existe des études similaires.

**I.3.Quels sont ces sujets et qui les a étudiés et quel pays :****I.3.1.Premier :**

Évaluation des propriétés thermo-hydro-mécaniques des briques en terre compressée (BTC) issues de la carrière de Matourkou, au Burkina Faso

Sayouba kabre, François ouedraogo, Bétaboalé Naon, Adamah Messan<sup>2</sup>,

Jean Claude Benet<sup>3</sup> et François Zougmore

-cet article traite de la caractérisation thermique et mécanique des briques de terre comprimée.

-la résistance à la compression diminue à mesure que la teneur en eau de brique augmente.

-analyse de l'effet de l'eau sur les propriétés physiques thermiques des briques.

-l'intégration du ciment dans les briques moulées comprimées entraîne des différences dans leurs propriétés thermiques mécaniques.

-les transactions physiques spécifiques sont le dahir la densité et porosité.

-Densité sèche /m<sup>3</sup> :1814 ,3526,4.

-porosité pouvant être atteinte dans l'eau % :32 ,80.

Cet article est dérivé de la caractérisation géotechnique et minérale des briques de triathlon utilisées pour formuler des briques de terre comprimée d'une part et pour identifier les propriétés physiques et hydrothermales des briques de terre comprimée d'une part .(1)

### I.3.2. Deuxièmement :

BETON D'ARGILE : application aux briques de terre comprimée.

Ben Ayed H. Limam O. Kallel A.

Ecole nationale d'ingénieurs de Tunis, laboratoire de génie civil, Tunis, Tunisie

-cet article comprend une étude expérimentale mettant en évidence l'effet de l'argile sur les briques d'argile.

-nous avons adopté une pression constante pour augmenter la densité du sol, réduire la porosité et la résistance à la matière.

En fin de *compte*, pour les briques moulées comprimées, la résistance à la compression augmente à mesure que le rapport d'argile augmente.

-le temps de séchage des briques faites de sol non amélioré est considéré comme important en 21 à 28 jour car l'argile ne permet pas à l'eau de s'évaporer facilement.

L'anti-compression des échantillons culmine à 21 jour et diminue légèrement à 28 .(2)

### I.3.3. Troisièmement :

Propriétés mécanique, hydrique et thermique de briques en terre crue amendées aux coques d'arachide

Les briques moulées en argile locale ont été ajustées à l'écorce d'arachide pour améliorer la mécanique et la durabilité.

- Couper les pelures d'arachides de performance de trois longueurs 0 chaque 33 cm 1 cm 3 cm et les ajouter à la pâte de boue avec un contenu allant de 18 à 3 %.

- Les briques modifiées ont une résistance à la compression, une conductivité thermique, une absorption d'eau et une résistance à la pluie, indépendamment des forces mécaniques, toutes ces propriétés.

- La modification des briques à la peau d'arachide n'améliore pas leur résistance mécanique.

-La porosité augmente en augmentant la coquille, cette porosité affecte la force de compression.

- L'absorption d'eau est réduite par les chairs sanguines après l'ajout de croûtes d'arachides

- La formule contenant une masse de 3 % de pelure d'arachide de 3 cm semble être la formule parfaite .(3)

**I.4.Histoire de briques**

L'une des façons d'aborder les réalisations architecturales passe par la matière dont elles sont composées. Qu'elles soient de pierre, de bois, de brique, de béton, de métal, de verre ou de tout autre matériau composite rendu possible par les avancées technologiques, elles sont avant tout le résultat d'un assemblage de matières qui leur donne à la fois leur solidité, leur aspect et leur forme. C'est à la suite de ma participation à une publication de la Ville de Québec, qui sortira plus tard dans l'année, où j'ai rédigé un texte sur les matériaux utilisés en architecture, que m'est venue l'idée d'une série de billets sur ce thème. Je vous propose, pour celui-ci, de scruter un matériau que j'affectionne tout particulièrement : la brique. J'aime la brique pour sa chaleur, son aspect robuste, sa texture et sa polyvalence. Elle pare autant des immeubles patrimoniaux que des bâtiments neufs. Elle s'agence à peu près à tous les styles et est l'un des matériaux de construction les plus fréquemment utilisés sur la planète. Tour d'horizon de cette matière façonnée à même le sol.



**Figure I.1** :Photo Martin Dubois

**I.4 .1.La brique dans tous ses états :**

Matériau très ancien utilisé autant par les Égyptiens que par les Romains, la brique façonnée ou moulée à partir de terre argileuse pétrie, séchée ou cuite, peut avantageusement remplacer la pierre. Au Québec, la brique ne devient un matériau de construction répandu qu'à partir du 19e siècle. En Nouvelle-France, elle est plutôt rare et sert presque exclusivement à la construction de foyers, de cheminées et de fours à pain grâce à sa bonne résistance aux variations de chaleur que subissent ces ouvrages (qualité réfractaire). Il n'existe alors que quelques briqueteries locales, comme celle qu'on trouvait dans le quartier Limoilou et qui exploitait l'argile en bordure de la rivière Saint-Charles. Cette entreprise artisanale produisait des briques, des tuiles et de la poterie dont la cuisson s'effectuait dans des fours en plein air. La rue de la Briqueterie rappelle d'ailleurs l'emplacement de cette fabrique disparue vers 1765.

À partir de la fin du 18e siècle, ce matériau entre en force dans l'architecture québécoise avec l'arrivée des Britanniques, chez qui la tradition de construire en brique est beaucoup plus répandue que chez les Français. Au 19e siècle, une bonne partie des briques à construire sont d'abord importées des îles Britanniques et servent notamment de lest pour stabiliser les grands voiliers venus s'approvisionner en bois à Québec. Vendue dans le port, cette maçonnerie beige-ocre, appelée brique d'Écosse, revêt encore plusieurs maisons du Vieux-Québec et des quartiers limitrophes, ce qui n'est pas sans donner un petit air anglais à la ville.

Rapidement, devant l'engouement de ce matériau facile à assembler, de nouvelles briqueteries locales apparaissent et remplacent les méthodes artisanales de production par des procédés industriels. La brique de teinte rougeâtre devient alors la plus commune. Les conduits en grès, la terre cuite et les tuiles d'argile sont d'autres produits de construction similaires fabriqués par moulage.

La brique d'argile, aux différentes teintes naturelles allant du jaune ocre au brun foncé en passant par tous les tons de rouge, sert autant pour les structures massives en maçonnerie (murs pleins composés de plusieurs rangs de brique) que pour revêtir des immeubles à charpente de bois (un seul rang de brique). La disposition, l'alternance ou l'alignement des briques en panneresse (côté long de la brique) ou en boutisse (côté court de la brique), assemblées à l'aide de mortier, peut créer différents motifs appelés appareils (communs, anglais, flamands, etc.). Bien qu'elle n'ait pas le même prestige que la pierre, la brique acquiert peu à peu ses lettres de noblesse grâce à ses propriétés ornementales pour atteindre son apogée à l'époque victorienne. En effet, le talent des maçons et des briques leurs permet de réaliser des ouvrages des plus

élaborés en sculptant véritablement des façades ornementales.



**Figure I.2**Détails architecturaux en brique de l'édifice La Fabrique, Québec. Photo Martin Dubois.

Dans la 2e moitié du 19e siècle, la brique commence à être utilisée pour tous les types de bâtiments : banques, églises, écoles, commerces, institutions, etc. Elle occupe toutefois une place privilégiée dans l'architecture industrielle. En effet, l'industrie est friande de ce matériau aux formes et aux dimensions standardisées, fabriqué à peu de frais et incombustible, pour revêtir les usines et les manufactures et ériger de hautes cheminées. Ces bâtiments présentent même des motifs décoratifs et des corniches ornementales faits d'un agencement de briques de diverses couleurs ou de jeux de reliefs et de bandeaux en saillie.

À la suite de plusieurs incendies dévastateurs, les habitants peu fortunés des faubourgs de Québec reconstruisent de modestes maisons en bois, mais les revêtent de brique. L'utilisation de ce matériau économique, ininflammable et durable changera du tout au tout la couleur de ces quartiers en leur forgeant une nouvelle identité architecturale très forte, qu'ils possèdent encore aujourd'hui. Au début du 20e siècle, les promoteurs immobiliers des nouveaux quartiers comme Montcalm et Limoilou utilisent également la brique comme principal matériau qui en devient une caractéristique identitaire.

La provenance des briques à la fin du 19e et au début du 20e siècle est malheureusement mal connue au Québec. Il existe en effet peu de recherches sur le sujet. On sait que les briqueteries étaient nombreuses pour satisfaire à la demande et que certaines sont devenues d'importantes industries employant des centaines de travailleurs. La compagnie La Brique Citadelle, située à

Bois Chate , juste à l'est de Québec, est l'une des plus connues de la région. L'histoire de l'industrie de la brique reste toutefois à faire...



**Figure I-3**Briques récupérées d'un immeuble industriel en Estrie. Photo Chantal Lefebvre.

### **I .4.2.La brique : matériau moderne et contemporain :**

Contrairement à d'autres matériaux traditionnels comme le bois et la pierre, qui ont été supplantés par de nouvelles matières (acier, béton, etc.) à mesure qu'avancait le 20<sup>e</sup> siècle, la brique s'est plutôt bien adaptée aux changements et a su conserver sa place dans la création architecturale. Par exemple, avec la tendance Art déco, la brique «américaine» de couleur jaune est entrée dans la construction de plusieurs édifices modernes aux lignes épurées. Les briques vernissées, émaillées, texturées ou polychromes sont également devenues populaires, en particulier dans certaines églises modernes. Les bungalows nord-américains qui ont poussé par milliers dans les banlieues de nos villes ont fait une belle place à la brique, à l'instar de l'architecte américain Frank Lloyd Wright qui avait popularisé ce type d'habitat en utilisant allègrement cette maçonnerie polyvalente.

Avec la multiplicité des produits qui la déclinent aujourd'hui en divers formats, couleurs et textures, dont l'emploi du béton plutôt que l'argile comme matière première, la brique est encore largement utilisée dans les créations architecturales contemporaines. Son aspect durable et ses diverses possibilités en font un matériau intemporel.

Découvrez d'autres billets portant sur les matériaux utilisés en architecture:

- Architectures de glace
- Une architecture béton
- Le bois où on ne l'attendait plus
- Le métal, du fer à l'acier(4)

### **I.4.3.Evolution de l'utilisation des briques :**

#### **I.4.3.1.Date d'utilisation des briques :**

Les plus grands progrès dans l'invention des briques brûlées sont venus environ 3500 AVANT JÉSUS CHRIST, où les briques peuvent être faites sans la chaleur du soleil et cela est rapidement devenu commun dans les climats plus froids, que les Romains ont réussi à introduire des briques brûlées dans toutes les parties du pays grâce à des fours mobiles, de sorte que ces pierres ont été estampillées avec un signe de la légion qui a supervisé la production de briques.

#### **I.4.3.2.Evolution de l'utilisation des briques :**

Les briques romaines diffèrent en taille et en forme d'autres vieilles briques. Où il était plus commun, il a pris une forme circulaire, carrée, rectangulaire, triangulaire et rectangulaire. Le four mesuré 1 ou 2 pieds romains avec un pied romain. Et parfois jusqu'à 3 pieds de Roman avec un plus grand, les Romains ont utilisé des briques pour les bâtiments publics et privés dans tout l'Empire romain. Ils ont construit des murs, des forts, un centre culturel, des sous-sols, des arcs, des faces de leurs canaux d'eau, et sont également considérés comme une porte d'entrée. Herculaneum à Pompéi et Caracalla à Rome sont des exemples de structures en brique romaine.



*Figure I-4-Résidence cum office, Kassel, Allemagne vues d'intérieur*

Rectangulaire, pas moins de 75% solide, fait d'argile brûlée, de schiste ou de mélange de ce matériau. Il n'y a pas d'autres matériaux de construction qui peuvent égaler l'élégance des briques et le style classique, les briques sont les plus courantes et largement utilisées dans le monde entier, depuis le sol utilisé dans l'industrie de la brique est très disponible partout, sauf pour la confiserie et les zones rocheuses. De nos jours, il existe de nombreux types de briques pour les maisons, les briques ne sont pas seulement utilisées comme éléments muraux, Histoire de l'utilisation de la brique : La vieille brique était une brique sèche, ce qui signifie qu'elle a été formée à partir d'argile enceinte et normalement séchée au soleil jusqu'à ce qu'elle soit assez forte pour être utilisée, la brique la plus ancienne, formée à partir d'argile avant 7500 avant JC, a été

découverte selon Frederick S. Merritt; Auteur d'un livre de construction et de conception de bâtiment manuel, la brique est une unité de construction en pierre mais peuvent également être utilisées dans le pavage, le revêtement de sol, la promenade, les arches, le seuil et le mur de récupération, selon R. Barry; Auteur du livre de construction Il ne peut être classé comme bon ou mauvais parce que certains d'entre eux sont bons pour un but et pas pour un autre, briques peuvent être classés en fonction de ses utilisations, qualité, forme, matières premières, méthode de fabrication, etc.(5)

### I.5. Les différentes fabrications de brique



**Figure I-5 Les différentes fabrications de brique**

Les briques sont des matériaux de construction à base d'argile largement utilisés dans le domaine du bâtiment. Les briques sont employées pour la réalisation de murs en raison de leur résistance mécanique et de leur porosité favorisant les échanges thermiques. Longtemps moulées à la main, les briques ont laissé place à une fabrication industrialisée grâce à la mise au point de nouveaux procédés. Aujourd'hui, il existe **différentes fabrications de brique**.

### I.5.1.L'extraction de l'argile :

Les briques sont fabriquées à **partir d'argile et d'autres matières minérales** similaires dans leur composition telles que le limon et le schiste. L'argile est extraite d'argilières, de préférence locales. Le choix des terres argileuses est essentiel en raison de la spécificité de la granulométrie de chaque sol. En effet, la granulométrie de l'argile extraite influe sur les propriétés mécaniques des futures briques (résistance à la compression etc.).

### I.5.2 .La préparation de la pâte :

La préparation de l'argile se réalise en 3 étapes. La première étape consiste à fabriquer une pâte d'argile élastique. Pour ce faire, les matières extraites telles que l'argile, le limon ou le schiste sont concassées puis broyées au moyen de cylindres verticaux ou de broyeurs mécaniques.

La poudre obtenue est mélangée à l'eau pour obtenir une pâte plus ou moins élastique afin de faciliter les opérations de moulage à venir et d'augmenter sa plasticité. Cette opération est mécanisée grâce à l'utilisation de mélangeurs-doseurs qui font également office de malaxeurs.

### I.5.3.Le moulage des briques :

Le moulage des briques, appelé également façonnage des briques, peut se réaliser de deux manières différentes en fonction de la forme de brique attendue. On distingue deux techniques de moulage.

### I.5.4 .Les briques moulées à la main :

Le moulage à la main est le **procédé traditionnel**, longtemps utilisé. Il consiste à déposer une quantité de pâte d'argile dans un moule en bois déjà sablé afin d'éviter que l'argile n'adhère aux parois du moule. Les briques moulées à la main ont un aspect irrégulier avec des plissures, mais offrent des **propriétés mécaniques élevées**, notamment en termes de résistance thermique. Aujourd'hui, ce procédé est mécanisé pour un rendu similaire à celui de la main de l'homme.

### I.6. Les briques mécaniques :

Les briques mécaniques sont soit pressées soit étirées. Le moulage à la presse consiste à exercer une forte pression sur l'argile préalablement déposée dans un moule. Quant aux briques étirées, elles sont fabriquées à partir d'un boudin d'argile extrait de la masse découpé en plusieurs sections. Chaque section est étirée pour former une brique. L'étireuse est préconisée pour la fabrication de briques perforées. De plus, cette technique de fabrication est privilégiée en raison de sa **rapidité d'exécution**.

#### I.6.1. Le séchage :

Les briques crues chargées en eau doivent être séchées pendant deux à quatre jours dans des **séchoirs artificiels**. Le séchage permet à l'eau contenue dans la brique de s'évaporer ; à défaut la rétraction de l'eau contenue dans la brique lors de la cuisson risquerait de provoquer un éclatement de la brique.

#### I.6.2 La cuisson :

La cuisson est la dernière étape de fabrication. Cette opération est **essentielle** car elle permet d'influer sur les propriétés mécaniques de la brique. La cuisson est réalisée dans des fours continus ou discontinus à une température comprise entre 850 °C et 1 200 °C. La température de cuisson est progressive et dépend du type d'argile.

De plus, il est possible de modifier la couleur voulue de la brique grâce à un apport ou à une réduction d'oxygène lors de la cuisson. Ainsi, la réduction d'oxygène va avoir pour effet de donner une couleur plus foncée à la brique .(6)

Figure I-6

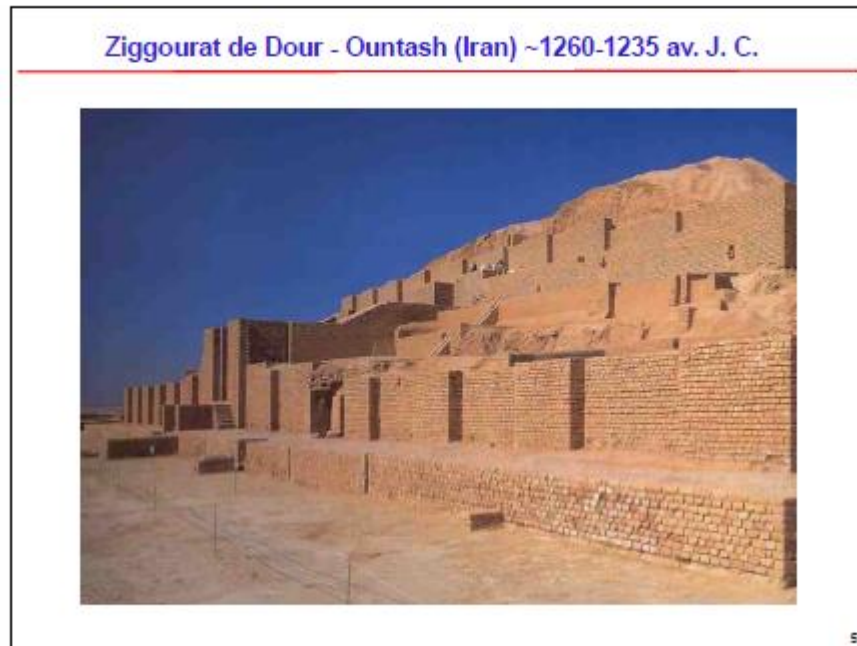
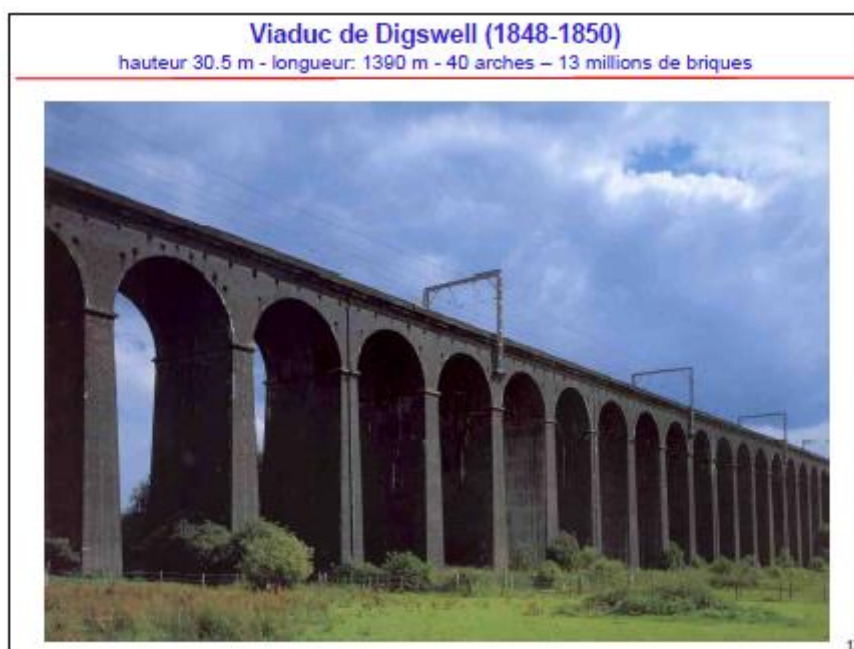


Figure I-7



**Figure I-8**

### **I.7La terre**

Terre crue, ou matériau terre, sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec peu de transformations, en tant que matériau. Le terme terre crue permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite. Dans l'art, comme dans la construction contemporaine, le matériau terre se retrouve en effet le plus couramment sous sa forme cuite, céramique, poterie, briques de terre cuite, tuiles, carreaux, etc.

En construction, les termes consacrés sont multiples, mais ils désignent tous un matériau de base constitué par une pâte ou une boue contenant plus ou moins d'argile ou de limon ce que les anciens appelaient terre franche éventuellement dégraissée au sable et fibrée de foin, de paille ou d'autres fibres végétales, additionnée de différents matériaux qui vont modifier ses propriétés (chaux, urine de bestiaux, etc.).

Ce matériau est utilisé comme mortier ou est appliqué comme enduit (le mortier de terre), utilisé en remplissage d'une ossature (torchis, hourdage, bousillage, etc.) ; il est parfois empilé (bauge), coffré (pisé, béton de terre, etc.), découpé ou modelé sous forme de briques crues (adobe, banco, brique de terre compressée, etc.) ou simplement foulé au sol (terre battue).

Dans la littérature technique et scientifique, hormis le terme « matériau terre », la

dénomination de béton de terre semble s'imposer.

La terre crue a sur la terre cuite l'avantage d'être moins dispendieuse en énergie, moins polluante. Ayant tendance à se diluer dans l'eau, elle doit toutefois être protégée des sources d'humidité. La terre crue est appréciée pour ses propriétés de régulation de température et d'humidité. ( 7)



*Figure I-9 Mosquée BaitulMuqet, Wabern, Allemagne*



Figure I-10. La Luz, Albuquerque, NM, novembre 2015.

### I.8 Techniques de construction en terre

A travers le patrimoine mondial des traditions de la construction en terre crue, on dénombre de très nombreuses techniques de construction avec une infinité de variantes adaptées à la qualité de la terre et au degré d'élaboration du savoir-faire, traduisant l'identité des lieux et des cultures. Il existe douze techniques d'utilisation de terre pour la construction présentée sur le diagramme établi par le groupe CRATERRE en 1986 (figure 1.1)

(Houben,2006). Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales (CRA Terre, 1991) :

**Adobe** : la terre à l'état de pâte plastique souvent amendée de paille ou autre fibres, moulée sous forme de briques séchées au soleil.

**Pisé** : la terre est compactée en masse dans des coffrages, couche par couche et banchée par banchée, avec une dame.

**Terre-paille** : la terre est dispersée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'un liquide épais homogène que l'on mélange à la paille afin de former un film sur chaque brin. Le

matériau ainsi obtenu conserve l'aspect de la paille et est banché pour ériger un mur monolithique qui nécessite une structure porteuse.

**Torchis** : la terre argileuse, amendée de paille ou autres fibres, recouvertes en une ou plusieurs couches des claies qui hourdent une structure en colombages.

**Terre façonnée** : la terre, souvent amendée de paille ou autres fibres, est façonnée sous forme de murs de la même façon que pour la technique de poterie, sans outil.

**Terre extrudée** : la terre est extrudée par une puissante machine proche ou dérivée du matériel utilisé pour la fabrication de produits destinés à être cuits.

**Bauge** : la terre, généralement amendée de paille ou autres fibres, est mise sous forme de boules grossières, qui sont empilées les unes sur les autres et entassées légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à ériger des murs monolithiques façonnés. Dans d'autres cas, la bauge est incorporée dans une structure en bois.

**Terre comprimée** : la terre est comprimée sous forme de bloc dans un moule. Auparavant, on compactait la terre dans un moule à l'aide d'un petit pilon, ou en rabattant avec force un couvercle très lourd dans le moule. Aujourd'hui, on utilise des presses dont il existe une grande variété. (8)

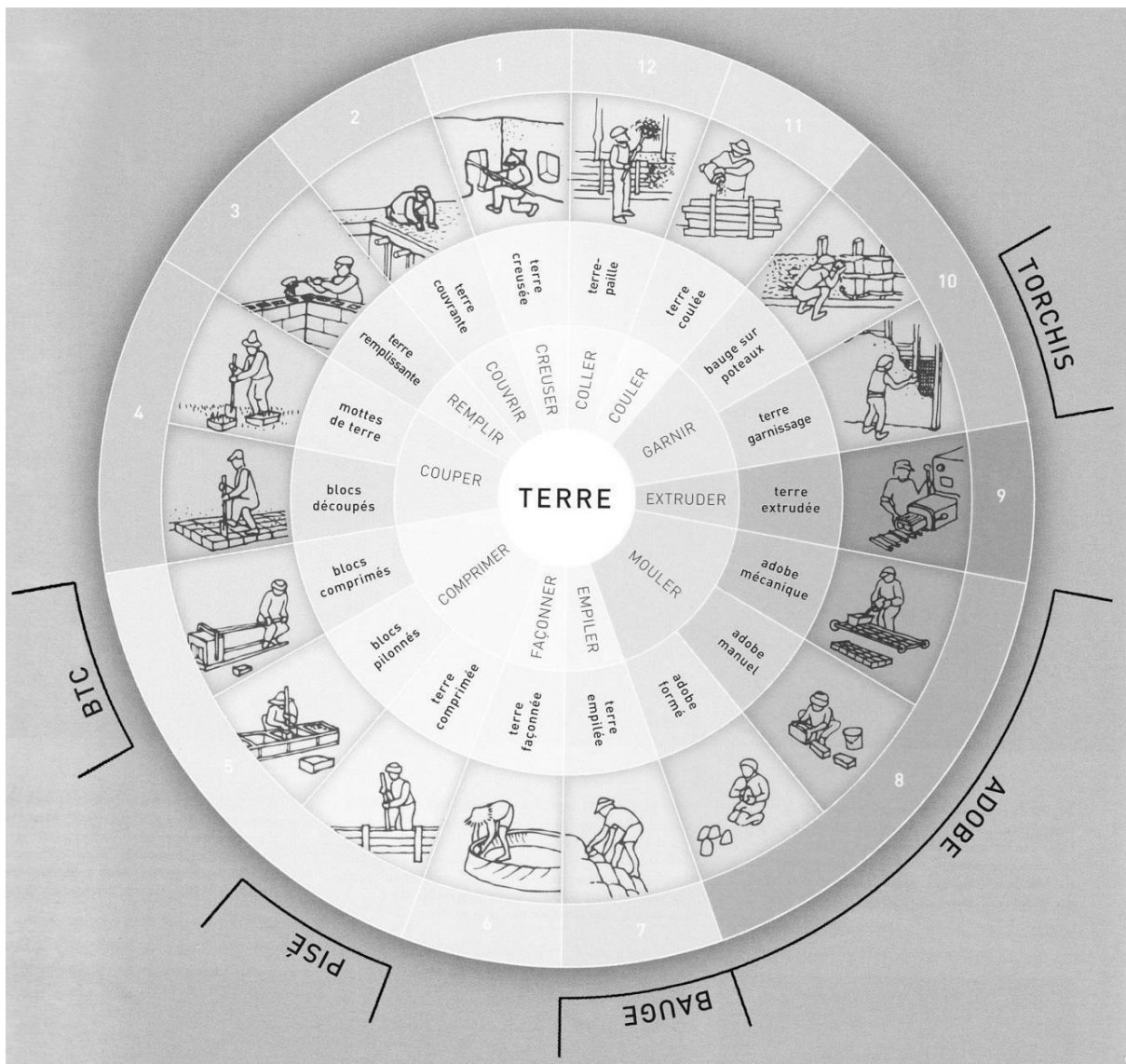










Figure I-11 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006). (8)

Tableau I-1 : Tableau récapitulatif des techniques de construction en terre crue(9)

Technique	Description	Illustration
Bauge (Houben et al., 2006)	Mur monolithique à base de terre (avec ajout de fibres ou non). Elle est montée en posant successivement des couches du mélange sur des couches inférieures sèches. Les parois des couches encore fraîches sont arasées pour avoir un aspect lisse.	
Façonnage (Houben et al., 2006)	Parois monolithiques en terre façonnée à la main comme en poterie.	
Extrusion	Procédé mécanique préalable à la cuisson des briques. La pâte de terre est mise sous vide pour une compacité maximale, puis extrudée aux travers d'une filière qui lui confère la forme de sa section transversale. Elle est enfin découpée en briques régulières.	
La terre coulée (Moëvus et al., 2013)	Le mélange de terre et d'eau d'une consistance liquide est coulé dans un coffrage comme on peut le faire pour un béton hydraulique. Cette technique nécessite l'ajout de liants et/ou d'adjuvants.	

Technique	Description	Illustration
<p>Adobe (Houben et al., 2006)</p>	<p>Briques de terre moulées à la main et séchées au soleil. Le matériau a une consistance visqueuse. Des fibres végétales ou animales sont parfois ajoutées au mélange.</p>	
<p>Pisé (Houben et al., 2006)</p>	<p>Murs de terre compactée par couches dans des banches. Le matériau a une consistance ferme.</p>	
<p>Brque de Terre Comprimée (BTC) (Houben et al., 2006)</p>	<p>Briques le plus souvent parallélépipédiques de terre obtenues par compaction mécanique. Elles sont souvent stabilisées par du ciment ou de la chaux. Le matériau a une consistance ferme.</p>	
<p>Torchis/terre paille (Houben et al., 2006)</p>	<p>Parois à structure en bois sur laquelle est appliqué un mélange de terre et de fibres végétales telles que la paille.</p>	



*Figure I-12 : Résidence cum office, Kassel, Allemagne*

**I.9 L ARCHITECTURE DE TERRE :**

la argile semble être le matériau privilégié de l'homme bâtisseur, des âges les plus lointains jusqu'à nos jours.



**Figure I .13: Architecture de terre dans le monde J.PAULUS, 2015)**



**Figure I.14 : Patrimoine en pisé : (a) la grande muraille de Chine,(b) l'Alhambra de Grenade ,(c)**

**les tulous des Hakkas (d) Meknes et Aït Ben Haddou à Marrakech ,(e & f) de nombreuses fermes, habitations rurales et manoirs en France .**

**(Sources : [ideesrevues.com](http://ideesrevues.com) ; [lab.rtve.es](http://lab.rtve.es) ; [www.marketing-chine.com](http://www.marketing-chine.com) ; [blog.webviajes.com](http://blog.webviajes.com) ;**

**[inspirationgreen.com](http://inspirationgreen.com) ; [wallpapers.brothersoft.com](http://wallpapers.brothersoft.com)**

### **I.10 Diversités des produits de blocs de terre comprimée :**

Aujourd'hui, la marche accueille une large gamme de produits de terre comprimée (Voir Figure I.):

#### **a. Blocs pleins :**

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.

#### **b. Blocs creux :**

On observe normalement de 15 % de creux, 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements créés au sein des blocs améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs.

Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).

#### **c. Blocs alvéolaires :**

Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale.

### d. Blocs à emboitements :

Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

### e. Blocs parasismiques :

Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleure intégration de systèmes structuraux parasismiques : chaînage par exemple.

### f. Blocs spéciaux :

Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique. (10)



Figure I.15 : Différents produits de blocs de terre comprimée



*Figure I -16 : maison circulaire Hakka source : <https://maison-monde.com/maisons-circulaires>*



**Figure I-17 (a), (b) maison traditionnelle en adobe, (c) Mosquée Cité de Ghadamès en Libye**

### **I.11 Actualité de l'architecture de terre en Algérie :**

Dans notre pays, les études menées récemment au Centre National d'Etudes et de Recherches intégrées au Bâtiment (CNERIB), montrent que l'utilisation de briques en terre crue comme remplissage d'une ossature en béton armé peut réduire de 32% le coût global des habitations, comparées à l'utilisation des matériaux conventionnels.

Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) mène ses recherches sur l'architecture de terre depuis plus de vingt ans. Plusieurs projets ont

pu voir le jour tel que le montre le tableau qui suit [20] :

Années	Réalisations
1969	La réalisation de 136 logements en pisé au village agricole de Bouhliet à Batna.
1971	Une équipe Franco-belge réalise à Zéralda un groupe expérimental d'habitations rurales.
1973	30 des 300 logements du village de Moustafa ben Brahim près de Sidi Bel Abbés, réalisés en pisé.
1975	Le village d'Abadla a été construit selon le procédé de la terre remplissante
1976	100 logements du village agricole de Felliache à Biskra sont réalisés en thoub.
1980	120 logements du village agricole de Madher à Boussaâda sont réalisés en BTS
1981	40 logements sont réalisés à Chéraga près d'Alger en blocs de terre comprimée.
1984	Un prototype bioclimatique fut réalisé à Tamanrasset en blocs de terre comprimée.
1984	Un prototype fut réalisé au CNERIB en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Adrar en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Reggane en blocs de terre comprimée.
1994	24 logements sont réalisés à Tamanrasset par l'office de promotion et de gestion immobilière en blocs de terre comprimée.
1994	44 logements sont réalisés par l'ETR de Tamanrasset en blocs de terre comprimée.
1998	Un prototype en pisé fut réalisé au CNERIB.
2006	Un projet intitulé « réalisation d'un logement rural avec efficacité énergétique » est lancé au CNERIB et financé par l'union européenne.

Tableau I.2 : Les opérations de construction en terre en Algérie. Source :

Selon le rapport du CNERIB, l'Algérie compte plusieurs techniques se distinguant par leurs procédés de production. [21] Jusque-là nous n'avons pas encore rencontré d'études spécifiques sur les techniques pratiquées en Algérie. L'ouvrage de P. Odul ne présente que quelques exemples et ne s'étale pas sur l'ensemble des procédés traditionnels algériens.

L'Algérie ne dispose pas encore d'une réglementation propre à la construction en terre mais elle semble avoir établi ses bases grâce aux recommandations pour la production et la mise en oeuvre des bétons de terre stabilisée approuvées en 1987. En 1988 le Centre Nationale d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a publié un document intitulé « Béton de terre stabilisée » qui renferme trois parties essentielles :

- Recommandations pour la production et la mise en oeuvre des bétons de terre stabilisée.
- Guide technique du BTS (Béton de terre stabilisée).
- Notice pour l'utilisation de la presse BTSta- (11)



**Figure I-18**

**POHTO :Oued Mzab en Algérie**



**Figure I.19** Djamaa-en-nekla (Exemple de l'architecture islamique). (Photo : SAADAoui Benaceur OUAHAB Yamina)

## I.12 Argiles :

### I.12.1 Rappel sur les argiles :

Les argiles sont des minéraux issus de la décomposition de roches. Il s'agit de matériaux Hétérogènes à différentes échelles. A l'échelle macroscopique, elles sont souvent associées à

D'autres minéraux (quartz, feldspath...). A l'échelle microscopique, elles présentent une Structure en feuillet. Il est important de prendre en compte la nature physicochimique des Argiles, du fait que leur comportement rhéologique est gouverné par les interactions entre les Feuillet argileux. Dans cette partie, et pour définir cette nature physicochimique, on présente La caractérisation minéralogique des différents niveaux d'organisation qui constituent les Argiles.

**I.12.2 Définition :**

Il n'y a pas de définition universelle du terme « argile ». En effet, il en existe autant que de disciplines. Elles se fondent sur les propriétés physiques étudiées, comme par exemple

La plasticité, sur l'emploi qui en est fait ou encore sur la structure cristallographique.

L'argile

À l'état naturel est rarement composée d'un seul minéral. Ainsi, elle correspond souvent à un Mélange de phyllosilicates ; le minéral majoritaire lui donne alors son nom. Il y a, de plus, de nombreux minéraux associés comme les carbonates (dolomite, diobertite, calcite, Aragonite...), la silice (quartz, cristobalite, tridymite), des oxydes et hydroxydes d'aluminium (Corindon, gibbsite, **diaspore ...**) ou encore des minéraux ferri-fères (lépidocrocite, Maghémite...).

Le terme argile désigne donc un mélange de minéraux argileux associés à d'autres minéraux (Feldspaths, quartz etc.) ainsi que des impuretés (oxyde de fer, titane etc.).

Par ailleurs, ce Mélange est caractérisé par une certaine plasticité et des grains ayant une taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$  (Michot, 2008). (8)

**I.12.3 Structure de minéraux argileux :**

Ils sont généralement composés des phyllosilicates hydratés qui forment des feuillets infinis bi-dimensionnels. Le réseau cristallographique des phyllosilicates est basé sur un réseau de tétraèdres  $\text{SiO}_4$  (Figure 1.8). Chaque tétraèdre  $\text{SiO}_4$  partage 3 sommets avec les tétraèdres voisins, l'ensemble des sommets partagés constitue un assemblage plan hexagonal.

Le sommet du tétraèdre qui n'est pas dans le plan, est partagé avec un octaèdre  $\text{AlO}_6$  (Figure 1.9). C'est l'association de couches tétraédriques (T) et de couches octaédriques

(O) qui constitue le motif du réseau cristallin de chaque argile. (Cabane, 2004)

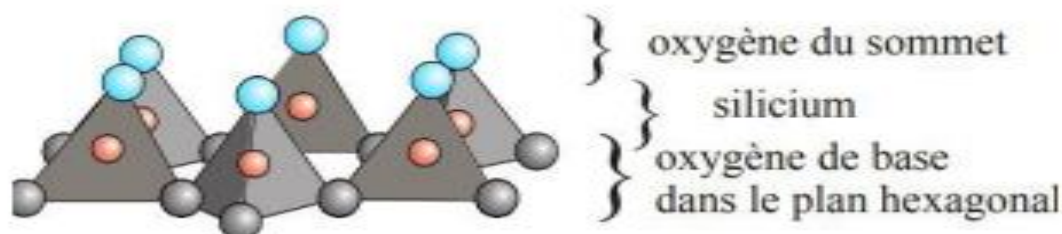


Figure I .20 : Structure du tétraèdre  $\text{SiO}_4$ . (Cabane,2004)

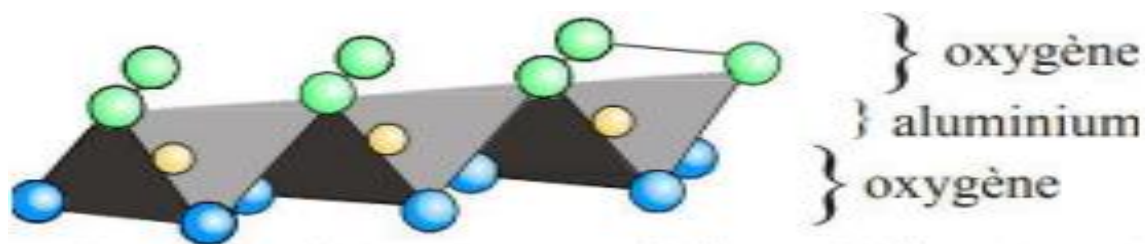


Figure I.21 : Structure de l'octaèdre  $Al_2O_6$ . (Cabane, 2004)

Les argiles, au contraire aux autres minéraux, présentent une cohésion qui résulte des interactions avec l'eau (Cabane, 2004). Alors, pour bien comprendre le comportement d'argile vis-à-vis de l'eau, il est nécessaire de connaître leur comportement monominéral, leur structure, et leur affinité à l'eau.

#### I.12.4 Classification et types d'argiles :

Différentes classifications d'argiles ont été proposées. (Pedro, 1994) permet d'aboutir une classification qui prend en compte : le type de feuillet 2.1 ou 1.1, leur charge globale et la nature des cations interfoliaires. Donc la classification d'argiles la plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet, on distingue 4 groupes : a. Type de minéraux à  $7 \text{ \AA}$  : le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T.O ou type 1.1

b. Type de minéraux à  $10 \text{ \AA}$  : le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T.O.T ou type 2.1. Les feuillets présentent un déficit en charges positives.

c. Type de minéraux à  $14 \text{ \AA}$  : Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T.O.T.O et de couches octaédriques interfoliaires par deux couches tétraédriques. Il est qualifié de type 2.1.1

d. Minéraux inter stratifiés : L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles appartenant aux groupes ci-dessus.

Selon (Hou ben et Guillaud, 2006), Il existe plusieurs familles d'argiles qui rassemblent des dizaines d'espèces. Mais ce sont trois grands types d'argiles dont la présence dans le sol est la plus fréquente :

a- Kaolinites.

b- Illites.

c- Montmorillonites.

A. La kaolinite :

C'est une structure de type 1.1 composée de deux couches de nature différent (T.O) ;

une couche de tétraèdres d'oxygène à base de silicium et une couche d'octaèdres d'oxygène à base d'aluminium. La fusion de ces deux couches donne une couche appelée feuillets, elle présente des charges négatives dans ces bordures.

- La distance interfoliaire est fixe,  $7A^\circ$ .
- L'épaisseur des cristaux est de  $0.005$  à  $2\mu m$ .
- La surface externe S'est de  $10$  à  $30m^2/g$
- La surface interne  $SI=0$ .

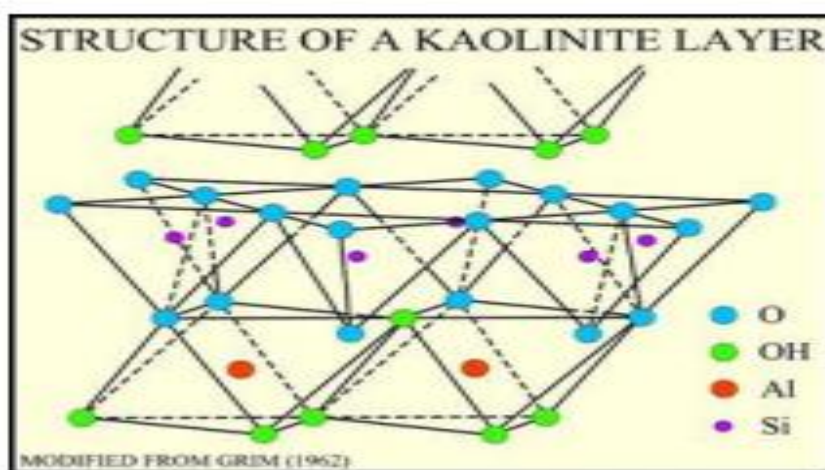


Figure I .22: Structure de la kaolinite(Grimm, 1962) cité par Bibi et Al., (2016

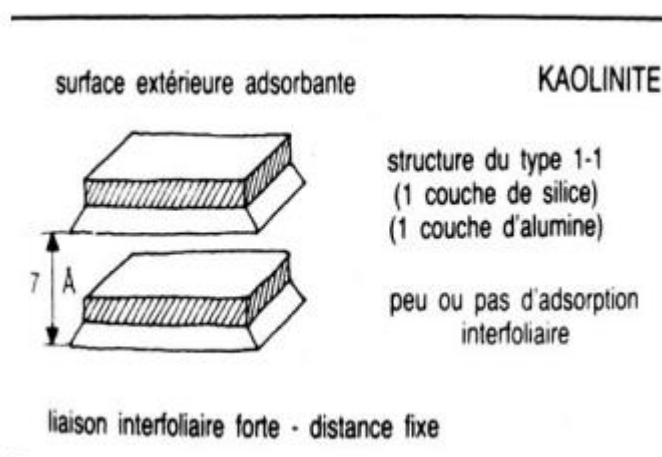


Figure I.23: les feuilles de kaolinite et les deux couches de (T) et (O). (Houbenet Guillaud, 2006))

**B. Illites :**

C'est une structure de type 2.1 composé de trois couches ; une couche octaédrique alumineuse entre deux couches tétraédriques principalement siliceuses. Il existe une charge élevée complètement négative équilibrées par des ions  $K^+$  avec des fortes liaisons.

- La distance interfoliaire est  $10\text{\AA}$ .
- L'épaisseur des cristaux est de  $0.005$  à  $0.05\mu\text{m}$ .
- La surface externe SE est de  $80\text{m}^2/\text{g}$
- La surface interne SI= $800\text{m}^2/\text{g}$ .

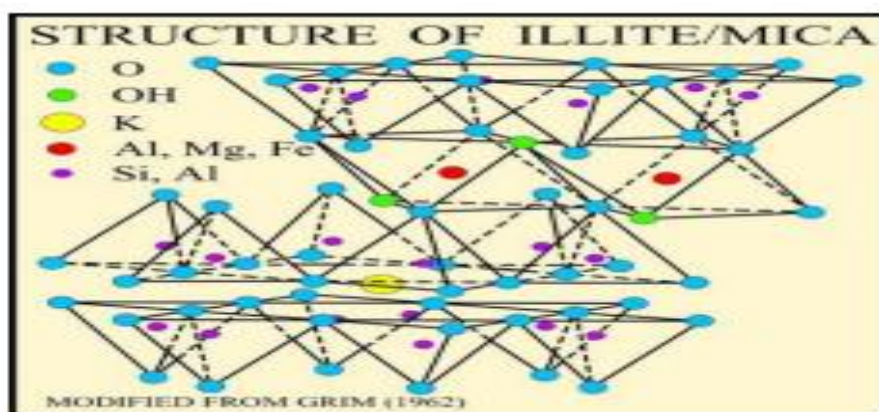


Figure I.24: Structure de l'illite. (Grimm, 1962) cité par Bibi et Al., (2016)

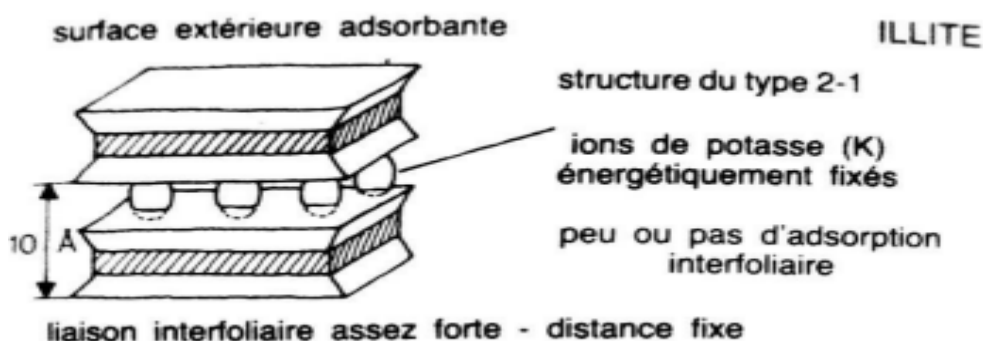


Figure I.25: les feuilles de l'illite et les ions de potasse ( $K^+$ ). (Houbenet Guillaud, 2006)

**C. Montmorillonite :**

C'est une structure similaire à celle de l'illite, mais les feuillets ne sont pas électriquement neutres et faiblement liés. Les ions interfoliaires sont remplacés par des cations échangeables (Na, Ca) et des molécules d'eau.

- La distance interfoliaire entre  $14$  à  $20\text{\AA}$ .

- L'épaisseur des cristaux est de 0.001 à 0.02µm.
- La surface externe SE est de 80m<sup>2</sup>/g.
- La surface interne SI=800m<sup>2</sup>/g.

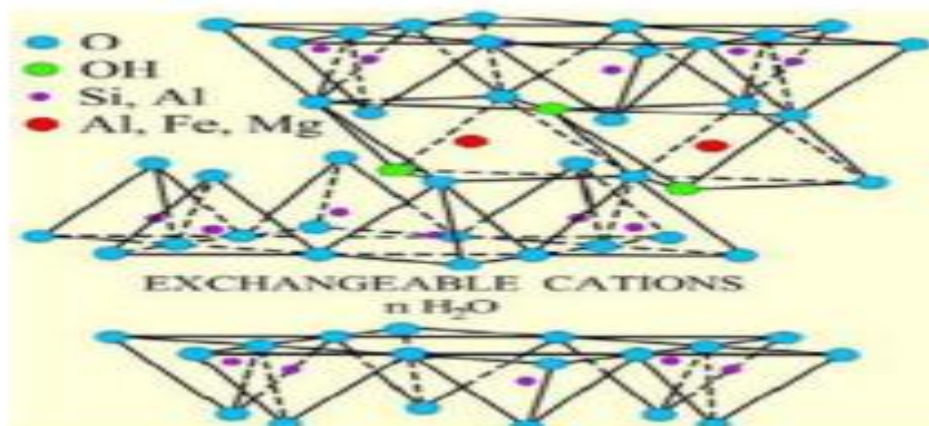


Figure I.26: Forme structurale d'une structure T-O-T. (Pope et al, 2001)

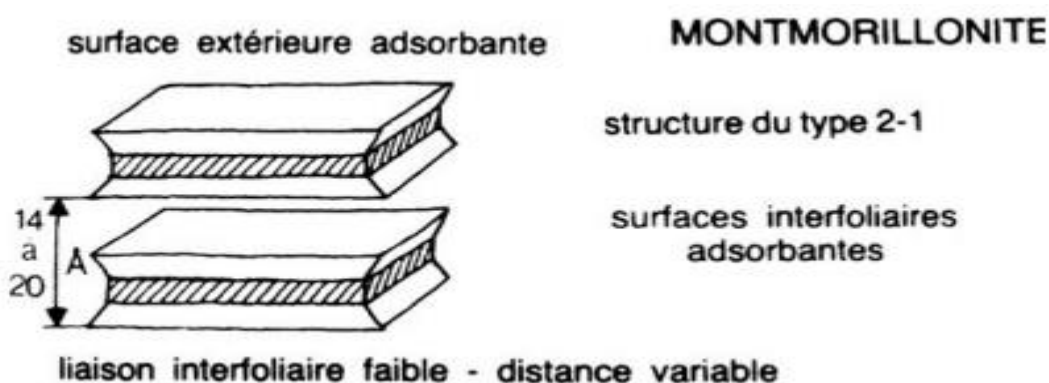


Figure I.27 : les feuilles de la montmorillonite de structure de type 2.1.(Houbenet Guillaud, 2006)

Selon (Bund et al, 2016), les figures -a- et -c- montrent la structure d'une montmorillonite. Elles montrent aussi une séquence T.O.T avec l'absorption d'eau dans l'espace interfoliaire (en vert). La figure -b- présente un empilement de kaolinite qui est beaucoup moins réactive avec l'eau. C'est pourquoi elle est utilisée pour fabriquer la porcelaine. La montmorillonite, qui peut absorber énormément d'eau, serait inapte à la fabrication de poterie ou de porcelaine en raison du retrait lors de la cuisson.

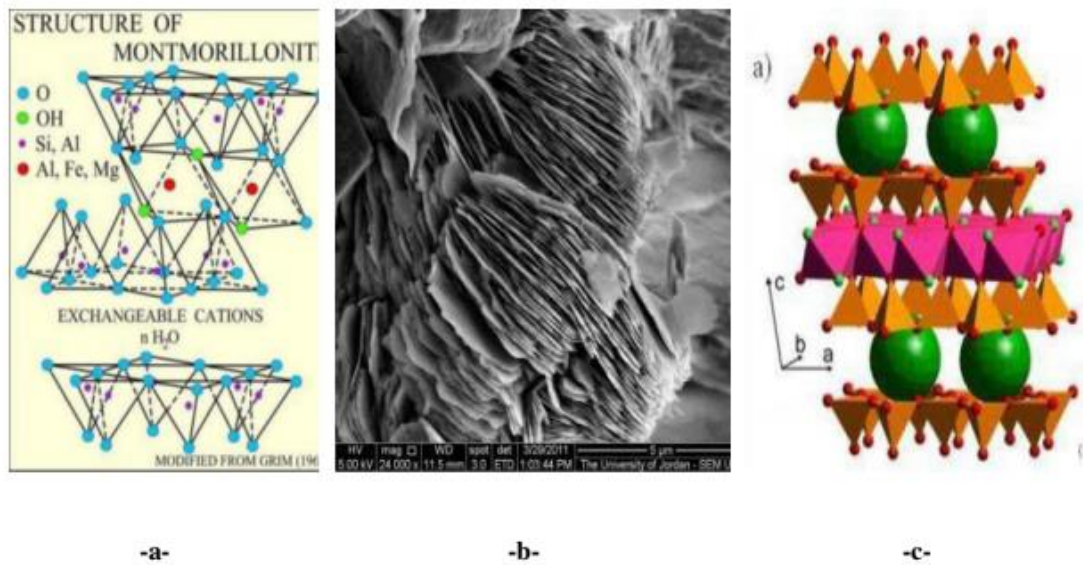


Figure I.28 : Structure des argiles. (Dessin de droite : Laboratoire Léon Brillouin ; Bund et al, 2016).

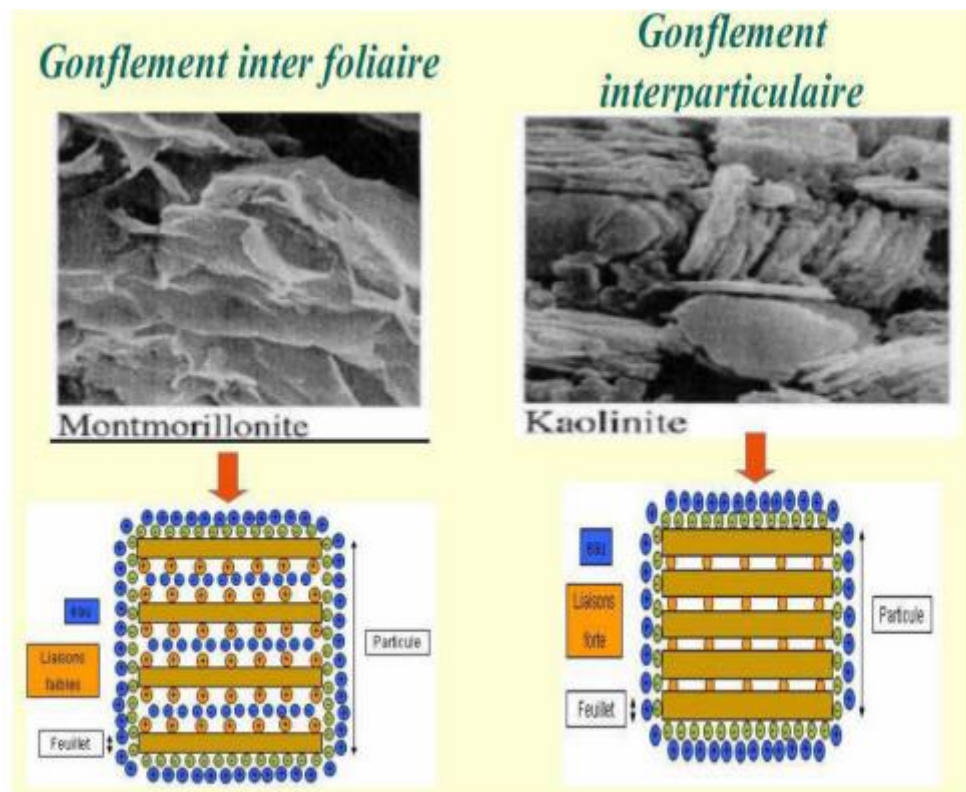


Figure I.29: types de gonflements, (Benaissa Mohamed, 2011)

La figure ci-dessous montre la différence de gonflement entre les deux types qui sont la kaolinite et la montmorillonite. Le Roux (1996) déclare que la kaolinite donne la meilleure résistance par rapport à les deux types d'argiles précédent (illite et montmorillonite),

**malgré qu'une réaction moins active comparée à la montmorillonite. (12)**

**I.13 Définition de sol rouge :**

Le sol rouge est un type de sol qui se développe généralement dans les climats chauds, tempérés et humides et comprend environ 13% des sols de la Terre. Il contient de fines couches organiques et organo-minérales de sol fortement lessivées reposant sur une couche rouge d'alluvions.

**I.14 Les sables :**

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux ; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements : il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut. L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. (13)

**I.15 Les adjuvants :**

**I.15.1 Définition des adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons de lors de leur

---

malaxage ou avant la mise en oeuvre à des doses inférieures à 5 % du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci.

Généralement le béton définitif d'un ouvrage n'est pas forcément satisfaisant, même si sa composition a été déterminée suivant les règles connues fixant les proportions respectives de liant, de sable, de granulats et d'eau. Bien des facteurs interviennent au stade de sa fabrication, de son transport, de sa mise en place dans les coffrages, de sa prise et de sa montée en résistance. Diverses solutions existent pour augmenter la possibilité d'arriver à un résultat concret, parmi lesquelles celles apportées par les adjuvants.

Quel que soit l'adjuvant, les spécifications normatives visent d'abord à définir et à quantifier sa fonction, c'est-à-dire la façon dont il modifier, dans le sens recherché, les propriétés du béton, ensuite, à limiter les effets non recherchés sur les autres propriétés du béton.

#### **I.15.2 Le dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment :**

Adjuvants	Dosage en (%)
plastifiants	0.15 à 1.2
Super plastifiants	0.6 à 2.5
Accélérateur de prise	1 à 3
Accélérateur de durcissement	0.8 à 2
Retardateur de prise	0.2 à 0.8
Hydrofuges	0.5 à 2
Entraîneurs d'air	0.05 à 3
Rétenteur d'eau	0.1 à 2

**Tableau I-3: Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment .**

#### **I.15.3 La classification des adjuvants :**

Les adjuvants sont utilisés depuis très longtemps mais leur développement réel et la multiplication de leur utilisation n'ont commencé que depuis 1960. Leur qualité et leur

constante s'améliorent sans cesse.

Selon des recherches statistiques. La majorité des bétons utilisés Amérique du nord contiennent au moins un adjuvant. Au Japon comme Australie, 80% des bétons confectionnés contiennent des adjuvants, tandis qu'en Allemagne cette valeur est de 60%.

Les adjuvants peuvent être organiques ou inorganiques selon leur composition chimique, mais leur caractère chimique, distinct de celui des autres minéraux utilisés dans la fabrication du béton, est essentiel. Ainsi dans la nomenclature américaine on les appelle adjuvants chimiques, mais ici cette qualification est superflue, car les produits minéraux incorporés dans le béton, dont la teneur est souvent supérieure à 5% de la masse du ciment, sont appelés liants ou ajouts.

Les adjuvants peuvent être classés selon leur fonction, on distingue :

### **A) Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton :**

- Plastifiant / Réducteur d'eau ;
- Super plastifiant / Haut réducteur d'eau.

### **B) Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement :**

- Accélérateur de prise ;
- Accélérateur de durcissement ;
- Retardateur de prise.

### **C) Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton :**

Entraîneur d'air ;

Hydrofuges de masse ;

Rétenteur d'eau. (14)

#### **I.15.4 Le super plastifiant :**

Les super plastifiants sont des produits chimiques qui ajoutés au mortier permettent de réduire sa teneur en eau jusqu'à 30% (c'est un super réducteur d'eau), c'est-à-dire trois ou quatre fois plus qu'un réducteur d'eau normal.

#### **I.15.5 Les avantages principaux de l'utilisation des super plastifiants :**

- La production de mortier de haute ouvrabilité sans réduire la teneur en ciment et la valeur de la résistance.

La production d'un mortier contenant moins de ciment, mais ayant une résistance et une ouvrabilité normale. Grâce à cette découverte, il est maintenant possible de fabriquer des mortiers fluides qui contiennent seulement la quantité d'eau nécessaire pour hydrater les

grains de ciment. On évite ainsi l'eau qui ne participe jamais à l'hydratation du ciment et qui affaiblit la structure durcie du mortier et augmente sa porosité. (15)

#### **I.15.6 LES HYDROFUGES**

Ce sont des produits qui améliorent l'étanchéité des bétons et protègent de l'humidité, en arrêtant l'absorption capillaire. On distingue deux sortes d'hydrofuges :

#### **I.15.7 Les hydrofuges de masse**

Ces produits peuvent se présenter sous forme de liquide ou poudre.

Ils sont introduits directement dans la bétonnière (pendant le malaxage) ou diluer dans l'eau de gâchage, s'il s'agit d'une poudre.

Ils sont constitués de particules très fines qui, en se gonflant viennent combler les pores se trouvant dans le béton.

Ces produits ne sont efficaces que si le béton, est bien compact et homogène.

Les hydrofuges ne doivent pas s'employer systématiquement dans la masse du béton mais plutôt dans les enduits de revêtement.

#### **I.15.8 Les hydrofuges de surface**

Ces hydrofuges s'appliquent sur le béton durci directement : à la brosse, pinceau ou aussi pulvérisés.

Ils sont constitués à base de résine acrylique, vinylique ou silicone.

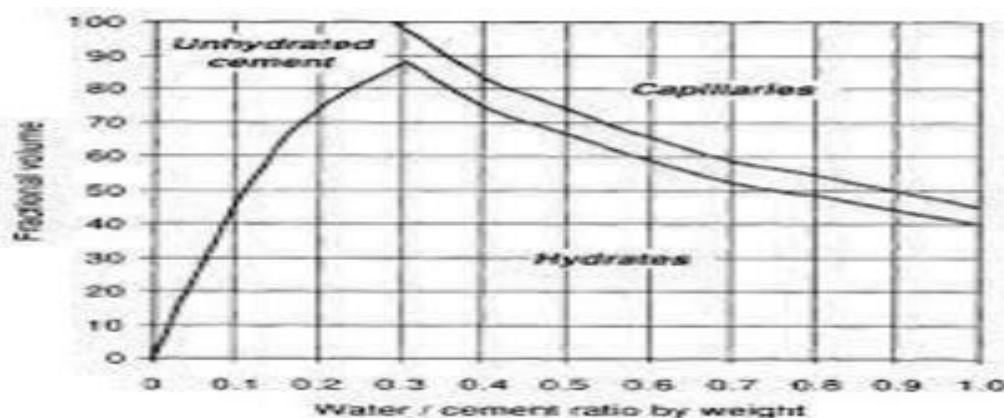
Certains produits sont aussi à base de bitume. (16)

#### **I.16 La porosité**

La porosité capillaire est déterminante dans le béton et c'est souvent elle la plus présente. Elle provient de l'eau libre n'ayant pas réagi avec le ciment et du volume qui n'a pas été rempli par les produits d'hydratation. Ces pores sont interconnectés et sont donc responsable en majeure partie de la perméabilité de la pâte de ciment. Les capillaires peuvent être plus ou moins remplis d'eau selon les conditions de conservations. En conservant le béton dans l'eau, on peut estimer que ces pores sont saturés.

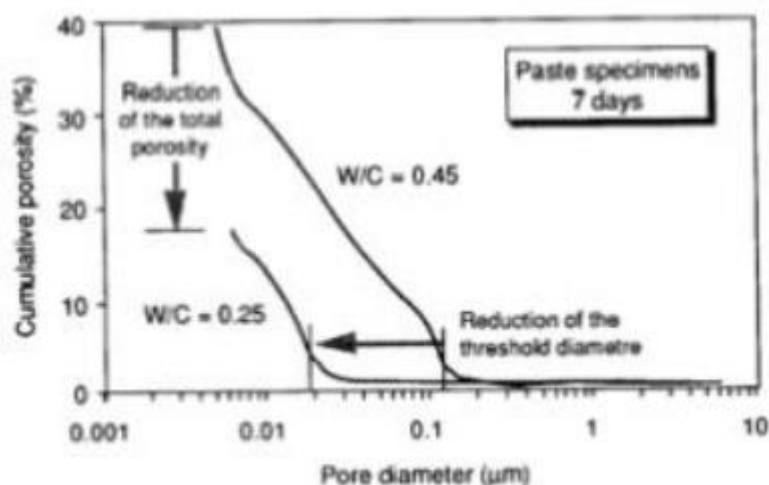
Cette porosité est très dépendante du rapport E/C car il gouverne l'espacement initial des grains de ciment (GAGNE et AITCIN, 1993). Pour des rapports E/C élevés, les grains de ciments sont initialement plus éloignés, l'eau est en excès par rapport au ciment et une grande partie de cette eau ne réagira pas formant ainsi des capillaires plus gros. La résistance du béton sera alors plus faible. A l'inverse, en réduisant le rapport E/C, on rapproche les grains de ciment et l'eau réagit mieux, les capillaires seront plus petits : le béton sera plus résistant. On ne peut cependant pas trop diminuer le rapport E/C sans risquer de manquer d'eau pour hydrater correctement le

ciment. Il existe donc un E/C optimal. On peut montrer théoriquement que pour un rapport E/C de 0,42, l'eau et le ciment sont en proportions stœchiométriques et qu'il y a donc juste assez d'eau pour hydrater tout le ciment. Mais avec la contraction de Le Chatelier, il y aura création d'espaces vides. Si le rapport E/C est de 0,36 qui est le cas théorique idéal, il manque de l'eau pour hydrater complètement le ciment. Mais si l'on conserve ce béton dans l'eau, le surplus de ciment pourra réagir avec cette eau et combler tout juste les vides créés par la contraction. Il faut remarquer qu'en pratique, l'hydratation du ciment n'est jamais totale. En effet, l'hydratation des gros grains conduit à la formation d'une couche d'hydrate très dense sur le pourtour, empêchant ainsi l'intérieur du grain de s'hydrater. C'est pour cela qu'il subsiste toujours de la porosité



**Figure I.30 : 3** Proportion volumique des différents constituants de la pâte de ciment après hydratation en milieu saturé

Il faut remarquer qu'en pratique, l'hydratation du ciment n'est jamais totale. En effet, l'hydratation des gros grains conduit à la formation d'une couche d'hydrate très dense sur le pourtour, empêchant ainsi l'intérieur du grain de s'hydrater. C'est pour cela qu'il subsiste toujours de la porosité capillaire, même si le rapport E/C a été réduit au cas idéal. Il est également intéressant de remarquer que la diminution du rapport E/C diminue la taille des pores capillaires mais aussi leur nombre comme le montre la figure (17)



**Figure I. 31 : Prosimètre au mercure de deux pâtes de ciment conservées dans l'eau pendant 7 jours)(17)**

### La Porosité (P) :

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon les normes "NF P18 554, EN 1097-3" (NF P 18-554, EN 1097-3) [96], [99].

La présence des pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats.

Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface (18).

### I.17. Durabilité :

Le choix des proportions d'un béton doit non seulement satisfaire aux exigences de résistance, mais aussi garantir une durabilité convenable. Il n'existe encore aucune approche générale et efficace pour sélectionner les proportions et garantir la durabilité à cause de la variété de conditions d'exposition y compris les conditions extrêmement difficiles des régions chaudes et des régions côtières très acides ou la protection des armatures contre la corrosion influe considérablement sur le choix des proportions et la nature des matériaux cimentaires revêt une grande importance. Lorsqu'un béton est soumis à une attaque chimique, il faut utiliser un type de ciment convenable, mais, si le béton est exposé aux cycles de gel - dégel, le choix de ciment est déterminé par d'autres considérations, par exemple, l'évolution rapide de la résistance à court terme. Si le bétonnage se fait dans un temps froid il faut un ciment avec une forte chaleur d'hydratation –(17)

### I.18. La perméabilité à l'eau des bétons

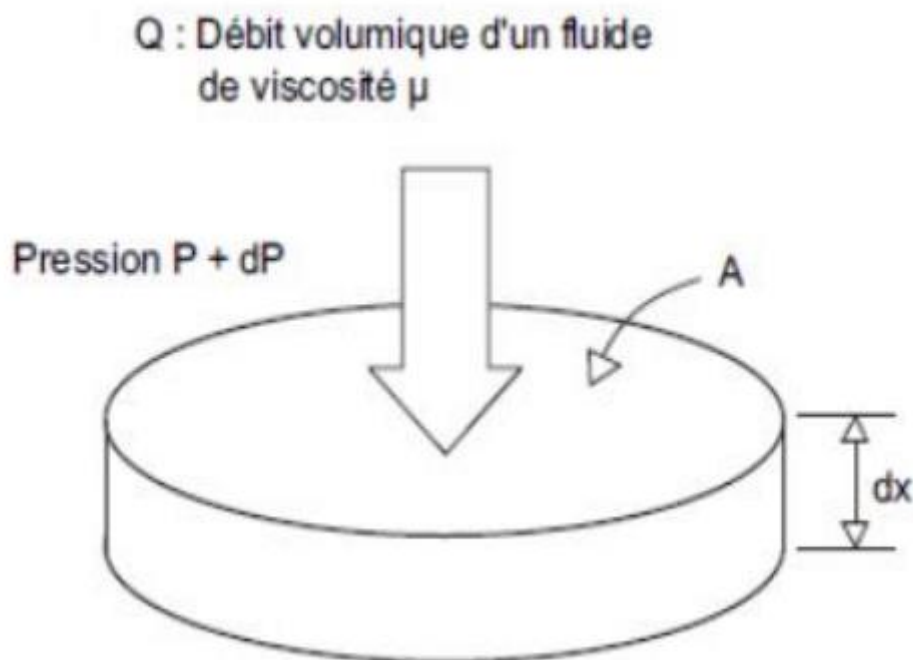
La perméabilité du béton est sa capacité d'être traversé par des fluides sous un gradient de pression. Les fissures interconnectées provoquent une augmentation de la perméabilité en facilitant la pénétration d'agent agressif. Ainsi, la durabilité du béton dépend largement de la facilité avec laquelle les fluides, à la fois liquide et gaz, peuvent pénétrer et se déplacer à l'intérieur du béton.

La perméabilité est une propriété macroscopique pour les matériaux contenant des pores interconnectés. Le débit qui traverse le béton résulte des écoulements à travers les pores du matériau.

Les bétons durables sont, en général, des bétons de faible perméabilité dans la mesure où cette faible perméabilité limite la pénétration des agents agressifs au sein du béton.

Le coefficient de perméabilité d'un matériau  $K$  est défini par la relation de Darcy. Cette relation exprime le débit volumique  $Q$  du liquide de viscosité  $\mu$  traversant une épaisseur  $dx$  du matériau de section  $A$  sous un gradient de pression  $dp$ . Cette relation suppose un régime d'écoulement permanent dans les pores du matériau (17)

$$Q = \frac{K}{\mu} A \frac{dp}{dx}$$



**Figure I. 32 :Flux linéaire de l'eau à travers l'échantillon(17)**

#### I.18.1 Perméabilité du béton

1/ Objectif : La perméabilité d'un béton

2 /But de l'essai :

Détermination le coefficient K dans le cas à charge constante ou à charge variable décroissante.

Au laboratoire, la perméabilité se mesure au perméamètre

3/ Coefficient de perméabilité :

La perméabilité d'un matériau caractérise son 'aptitude à se laisser traverser par un fluide soumis à un gradient de pression. Le coefficient de perméabilité K est défini par la loi de Darcy.

Le principe de l'essai consiste à déterminer les volumes d'eau écoulés à travers un échantillon pendant une certaine durée de temps. Ces volumes d'eau sont délimités par des graduations des cellules de l'appareil. La vitesse d'écoulement Q est déterminée par le calcul du rapport entre le volume d'eau écoulé et le temps d'écoulement.

La perméabilité est déterminée par une loi simple de DARCY :

$$Q = A. K. i$$

Avec :

Q : le volume d'eau par unité de temps (vitesse d'écoulement)

A : section traversée par l'eau



**I.18.2 Principe de l'essai :**

La perméamétrie utilisée est un appareil de mesure de débit de l'eau traversant une éprouvette cylindrique de béton.

Avant la mise en place, les éprouvettes ont été immergées dans l'eau pendant 24 heures pour assurer une saturation complète. La pression appliquée reste constante tout au cours des essais par l'utilisation d'un compresseur d'air automatique.

**I.18.3 Mode opératoire :**

L'essai de perméabilité consiste à :

- La mise en place et la fixation des échantillons dans l'appareil
- Vérification des quantités d'eau dans les cellules graduées de l'appareil
- La mise de l'eau sous une pression en ouvrant les vannes d'air comprimé
- La lecture des débits d'eau écoulés dans les cellules après un certain temps (selon la perméabilité de l'échantillon).

**Tableau I .4: Détermination du coefficient de perméabilité K :**

n	quantité d'eau		temps		q (m3/s)	k (m/s)	Moyen
	eu cm	eu m 3	heures	seconds			
1	1,6	0,00008	24	86400	$9,26 \times 10^{-10}$	$8.6 \times 10^{-11}$	$6,45 \times 10^{-11}$
2	1,2	0,00006	24	86400	$6,94 \times 10^{-10}$	$6.45 \times 10^{-11}$	
3	0,8	0,00004	24	86400	$4,63 \times 10^{-10}$	$4.3 \times 10^{-11}$	

**7/Conclusion :**

Plus la perméabilité à l'eau du béton est faible, meilleure est la qualité du béton et non soumis à la glace et au gonflement. plus la perméabilité est grande, ce qui conduit au gonflement du béton et l'expose à plusieurs phénomènes dont le gonflement, les fissures et la corrosion.(19)

**I.19 Stabilisation :****I.19.1 Définition :**

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a défini la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatible avec une application particulière.

Mais la stabilisation est un problème complexe car de très nombreux paramètres interviennent. Il faut en effet connaître : les propriétés de la terre, les améliorations envisagées, l'économie du projet, les techniques de mise en oeuvre de la terre choisie pour le projet et la maintenance du projet réalisé.

**I.19.2 Objectifs**

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont : compression, perméabilité a l'eau.

**I.19.3 Procédés :**

On dénombre trois procédés de stabilisation

**a- Stabilisation mécanique :**

La stabilisation mécanique est le terme général utilisé pour la stabilisation du sol par compactage. Ce procédé modifie les propriétés de la terre (la densité, la compressibilité, la perméabilité et la porosité), en intervenant sur la structure.

**b- Stabilisation physique :**

Les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différentes (argile et sable).

**c- Stabilisation chimique :**

La stabilisation de la terre est assurée par l'ajout d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules de la terre et le produit ajouté soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules. On peut citer, en particulier du ciment, de la chaux, du bitume, et de sous produits industriels. Le choix et la quantité de matériau ou de produit chimique à ajouter dépendent de la nature du sol et du degré d'amélioration de la qualité du sol

souhaité .

Le traitement du matériau terre par des produits chimiques se fait pratiquement de deux manières :

- Un traitement dans la masse (introduction dans la masse du sol d'une quantité minimale de stabilisant).
- Un traitement de surface (enduits, badigeons, hydrofuges), pour protéger la surface par imprégnation sur la partie exposée .

#### **I.19.4.Moyens de stabilisation :**

Dans la littérature, on peut trouver diverses classifications, selon : la nature, la forme, etc. , il y a six modes de stabilisations :

- Densifier.
- Armer.
- Enchaîner.
- Liaisonner.
- Imperméabiliser.
- Hydrofuger.

Chaque stabilisant n'agit pas obligatoirement selon un procédé exclusif, mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés : physique et chimique- (20)

### **I.20La chaux :**

#### **I.20.1Définition :**

Le calcaire est une pierre d'origine naturelle comportant des niveaux élevés de carbonates de calcium et/ou de magnésium. Le terme « chaux » désigne les produits dérivés du calcaire, notamment la chaux vive, la chaux éteinte et la chaux hydraulique.

La chaux permet de diminuer la teneur en eau d'un sol et provoque la floculation des argiles. Suivant la teneur en eau initiale des argiles, quatre types de chaux peuvent être utilisés à savoir :

- La chaux vive (CaO) dans le cas où le sol a une teneur en eau trop importante. La chaux interagit avec l'eau afin de produire du Ca(OH)<sub>2</sub> (chaux éteinte) avec un dégagement de chaleur.
- La chaux éteinte Ca(OH)<sub>2</sub> qui permet la floculation des argiles sans diminution de la teneur en eau  $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$
- La chaux hydraulique : Utilisée pour les matériaux massifs

- Le lait de chaux qui permet, lorsque le sol est trop sec, d'augmenter sa teneur en eau.(7)

)

### **I.21. La résistance mécanique :**

La terre crue est un matériau s'apparentant aux bétons. Du point de vue mécanique, elle fonctionne comme ces derniers, uniquement en compression (les valeurs de résistance à la traction, à la flexion et au cisaillement sont très faibles). Les éléments de maçonnerie (adobes) ont des résistances à la compression pouvant aller de 20 kg/cm<sup>2</sup> à 50 kg/cm<sup>2</sup> (2

MPa à 5 MPa). L'adjonction d'éléments fibreux (paille par exemple) permet de conférer au mélange une certaine résistance en traction, flexion et cisaillement, mais qui reste tout de même négligeable.

Il y a des essais faits (essai brésilien) montrent que les résistances à la traction égale le cinquième (1/5) de la résistance à la compression.

La résistance mécanique à la compression peut être améliorée et prendre des valeurs supérieures à 300 daN/cm<sup>2</sup> (30 MPa) par l'application des traitements basés sur l'addition des proportions de ciment, et/ou de chaux et/ou du filler.(21)

### **I.22. Conclusion :**

Grâce à cette étude biographique, nous avons démontré le caractère ancien de la construction terrestre et son importance dans le domaine de la construction. Diverses techniques de construction ont également été discutées, et sur cette base les critères appropriés ont été sélectionnés dans la fabrication de briques terreuses avec peu de porosité.

# **METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES**

### II.1 INTRODUCTION :

Les plans d'expérience sont de plus en plus utilisés dans l'industrie et dans les laboratoires de recherche. Ils permettent en effet de modéliser au mieux un phénomène aléatoire, le plus souvent complexe, à l'aide d'un minimum d'essais. Ils s'inscrivent donc dans la démarche constante d'amélioration de la qualité ou de la productivité.(Tinsson, 2010).22

### II.2 Choix de la méthode d'expérimentation :

La méthode d'expérimentation choisie doit faciliter l'interprétation des résultats. Elle doit également minimiser le nombre des essais sans toutefois sacrifier la qualité. La théorie des plans d'expériences assure les conditions pour les quelles on obtient la meilleure précision possible avec le minimum d'essais. On a donc le maximum d'efficacité avec le minimum d'expériences et par conséquent le cout minimum- Cours Pr.Bencheikh : La méthode des plans d'expériences.

### II.3 Les différents types de facteurs :

La construction des plans et l'interprétation des résultats dépendent en grande partie des types de facteurs rencontrés dans l'étude. On distingue plusieurs types de facteurs. Nous retiendrons les types de facteurs suivants : les facteurs continus, les facteurs discrets, les facteurs ordonnables, les facteurs booléens- Cours Pr.Bencheikh : La méthode des plans d'expériences.

#### *a- facteurs continus :*

La pression est un exemple de facteur continu. Dans un intervalle de pression donné, on peut choisir toutes les valeurs possibles. Il en est de même d'une longueur, d'une concentration ou d'une température. Les valeurs prises par les facteurs continus sont donc représentées par des nombres continus.

#### *b- Facteurs discrets :*

Au contraire, les facteurs discrets ne peuvent prendre que des valeurs particulières. Ces valeurs ne sont pas forcément numériques : on peut représenter un facteur discret par un nom, une lettre, une propriété ou même par un nombre qui n'a alors en soi aucune valeur numérique mais qu'une signification de repère. Par exemple, on peut s'intéresser aux couleurs d'un produit : bleu, rouge et jaune sont des facteurs discrets.

#### *c- Facteurs ordonnables :*

Il s'agit de facteurs discrets que l'on peut mettre dans un ordre logique. Par exemple, grand, moyen, petit, ou encore premier, deuxième, troisième et quatrième.

#### *d- Facteurs booléens :*

Les facteurs booléens sont des facteurs discrets qui ne peuvent prendre que deux valeurs : haut ou bas, ouvert ou fermé, blanc ou noir, etc.

### II.4 Notion d'espace expérimental :

Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la *réponse*, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables. Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot *facteur*. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté (Figure II.1). La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelée *niveau*. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut.

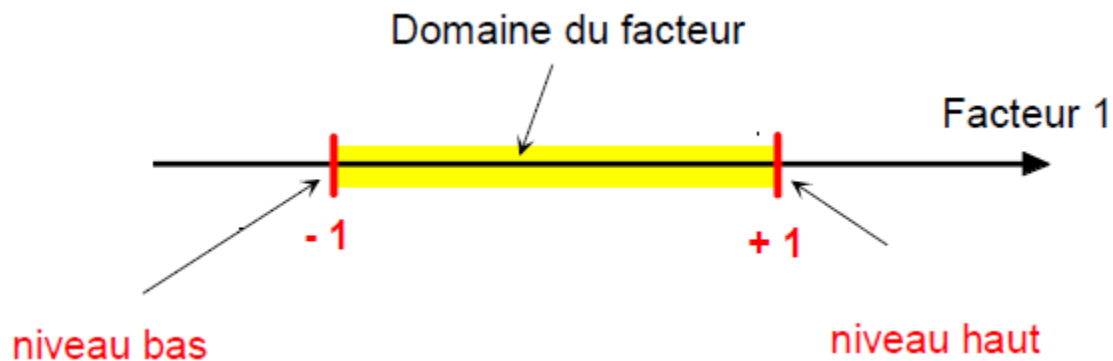


Figure II.1 : Le niveau bas, le niveau haut, et le domaine d'un facteur

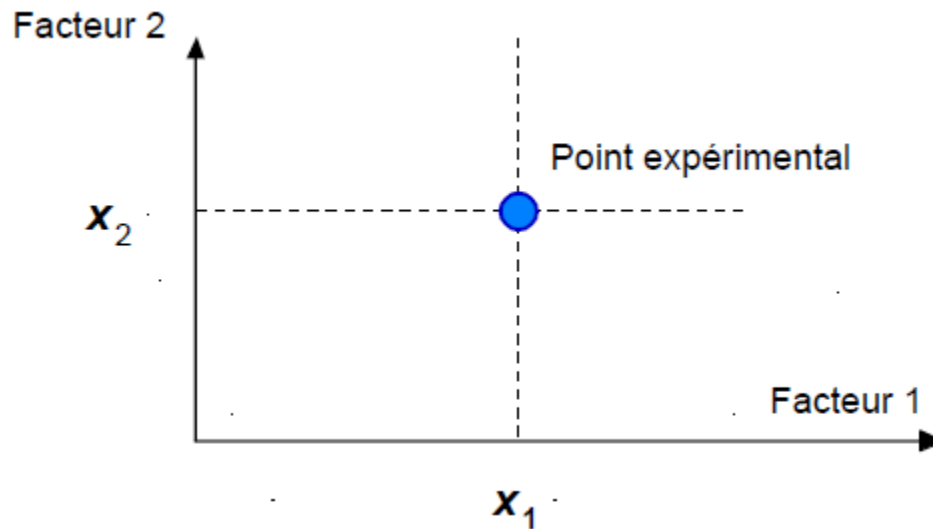
Le niveau bas du facteur est noté par  $-1$  et le niveau haut par  $+1$ . Le domaine de variation du facteur est constitué de toutes les valeurs comprises entre le niveau bas et le niveau haut.

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le *domaine* du facteur.

On a l'habitude de noter le niveau bas par  $-1$  et le niveau haut par  $+1$ .

S'il y a un second facteur, il est représenté, lui aussi, par un axe gradué et orienté. On définit, comme pour le premier facteur, son niveau haut, son niveau bas et son domaine de variation.

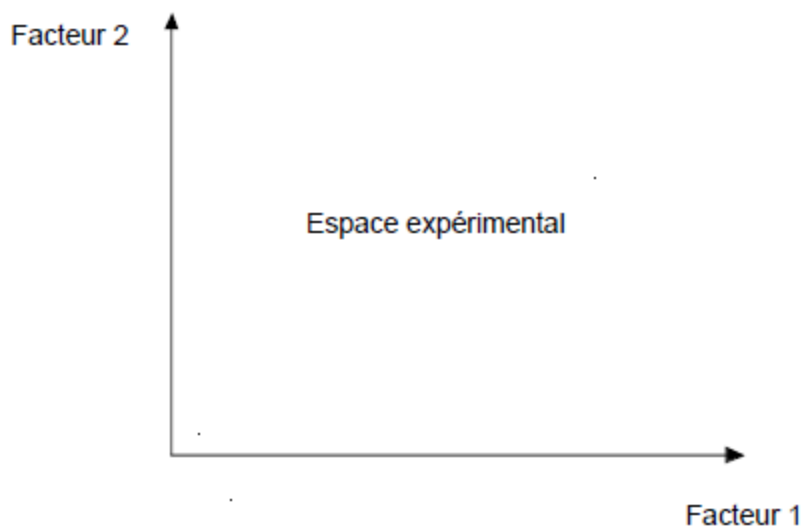
Ce second axe est disposé orthogonalement au premier. On obtient ainsi un repère cartésien qui définit un espace euclidien à deux dimensions. Cet espace est appelé *l'espace expérimental* (Figure II.2).



**Figure II.2 : L'espace expérimental d'un facteur.**

Chaque facteur est représenté par un axe gradué et orienté. Les axes des facteurs sont orthogonaux entre eux. L'espace ainsi défini est l'espace expérimental.

Le niveau  $x_1$  du facteur 1 et le niveau  $x_2$  du facteur 2 peuvent être considérés comme les coordonnées d'un point de l'espace expérimental (Figure II.3). Une expérience donnée est alors représentée par un point dans ce système d'axes. Un plan d'expériences est représenté par un ensemble de points expérimentaux.



**Figure II.3 : Les points expérimentaux dans un espace expérimental.**

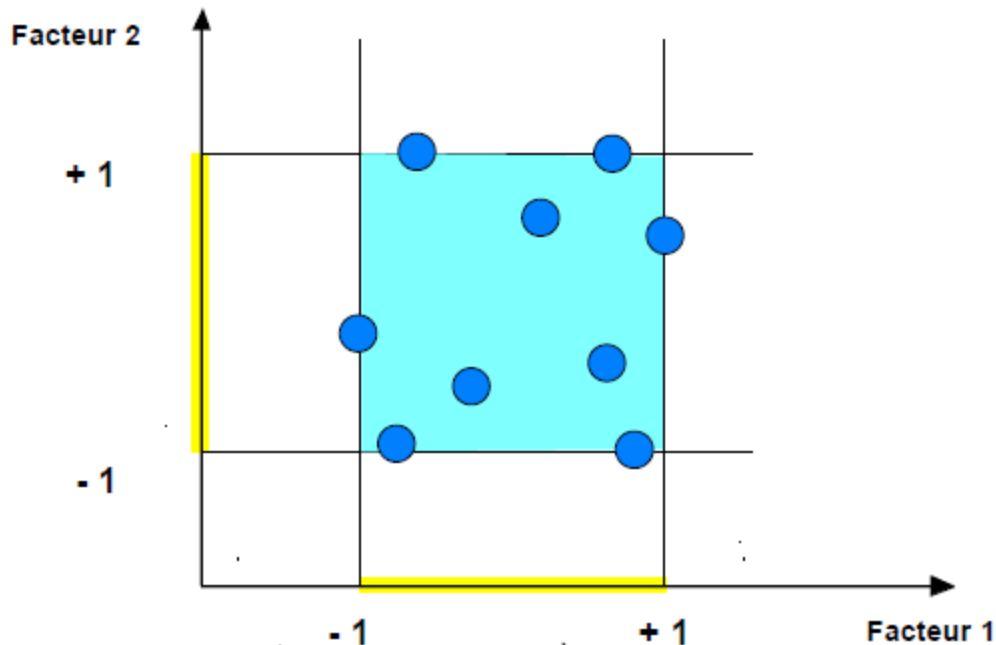
Dans l'espace expérimental, les niveaux des facteurs définissent des points expérimentaux.

Le regroupement des domaines des facteurs définit le «*domaine d'étude*». Ce domaine d'étude est la zone de l'espace expérimental choisie par l'expérimentateur pour faire ses essais. Une étude, c'est-à-dire plusieurs expériences bien définies, est représentée par des points répartis dans le domaine d'étude (Figure II.4).

## Chapitre II

---

Cette façon de représenter une expérimentation par des points dans un espace cartésien est une représentation géométrique de l'étude - Cours Pr.Bencheikh : La méthode des plans d'expériences.



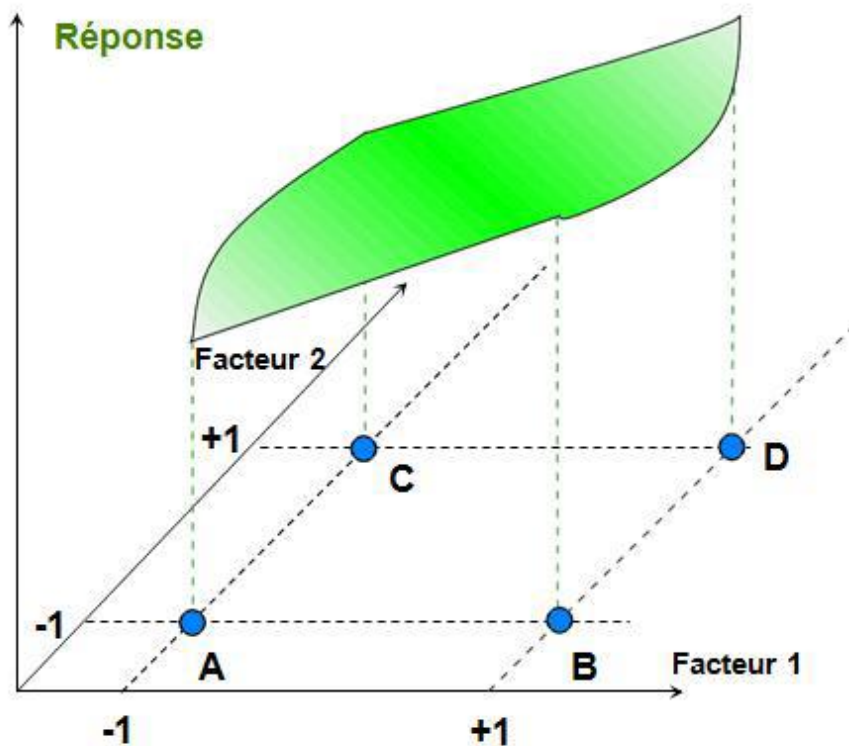
**Figure II.4 : Les points expérimentaux dans un domaine d'étude.**

### II.5 Notion de surface de réponse :

Les niveaux  $x_i$  représentent les coordonnées d'un point expérimental et  $y$  est la valeur de la réponse en ce point. On définit un axe orthogonal à l'espace expérimental et on l'attribue à la réponse. La représentation géométrique du plan d'expériences et de la réponse nécessite un espace ayant une dimension de plus que l'espace expérimental. Un plan à deux facteurs utilise un espace à trois dimensions pour être représenté : une dimension pour la réponse, deux dimensions pour les facteurs.

A chaque point du domaine d'étude correspond une réponse. A l'ensemble de tous les points du domaine d'étude correspond un ensemble de réponses qui se localisent sur une surface appelée la surface de réponse (Figure II.5).

Le nombre et de l'emplacement des points d'expériences est le problème fondamental des plans d'expériences. On cherche à obtenir la meilleure précision possible sur la surface de réponse tout en limitant le nombre d'expériences - Cours Pr.Bencheikh : La méthode des plans d'expériences.



**Figure II.5 :** L'ensemble des réponses qui correspond à tous les points du domaine d'étude forme la surface de réponse.

### II.6 Notion de modélisation mathématique :

On choisit a priori une fonction mathématique qui relie la réponse aux facteurs. On prend un développement limité de la série de Taylor-Mac Laurin. Les dérivées sont supposées constantes et le développement prend la forme d'un polynôme de degré plus ou moins élevé :

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_{12} x_1 x_2 + \dots + a_{111} x_1^2 + a_{122} x_1^2 x_2^2 + \dots \quad (1)$$

- $y$  est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée.
- $x_i$  représente le niveau attribué au facteur  $i$  par l'expérimentateur pour réaliser un essai.

Cette valeur est parfaitement connue. On suppose même que ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression).

- $a_0, a_1, a_{ij}, a_{iii}$  sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.
- L'intérêt de modéliser la réponse par un polynôme est de pouvoir calculer ensuite

toutes les réponses du domaine d'étude sans être obligé de faire les expériences.

Ce modèle est appelé "*modèle postulé*" ou "*modèle a priori*". Cours Pr. Bencheikh : La méthode des plans d'expériences.

### II.7 Le modèle de l'expérimentateur :

Deux compléments doivent être apportés au modèle précédemment décrit.

Le premier complément est le "*manque d'ajustement*". Cette expression traduit le fait que le modèle a priori est fort probablement différent du modèle réel qui régit le phénomène étudié. Il y a un écart entre ces deux modèles. Cet écart est le manque d'ajustement (*lack of fit* en anglais).

Le second complément est la prise en compte de la nature aléatoire de la réponse. En effet, si l'on mesure plusieurs fois une réponse en un même point expérimental, on n'obtient pas exactement le même résultat. Les résultats sont dispersés. Les dispersions ainsi constatées sont appelées erreurs expérimentales.

Ces deux écarts, manque d'ajustement et erreur expérimentale, sont souvent réunis dans un seul écart, notée  $e$ . Le modèle utilisé par l'expérimentateur s'écrit alors :

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_{12} x_1 x_2 + \dots + a_{123} x_1 x_2 x_3 + \dots + e$$

$e$  est le vecteur des écarts.

### II.8 Logiciel utilisé :

#### II.8.1 Présentation de logiciel « Minitab » :

« MINITAB » est un logiciel statistique mis au point, à l'origine, par le Département de Statistique de l'Université de Pennsylvanie (U.S.A.). Il est particulièrement bien adapté à l'analyse statistique de petits tableaux de données bien structurés : statistique descriptive, analyse de la variance, méthodes relatives à la corrélation et à la régression simple et multiple, séries chronologiques, tests d'indépendance, méthodes non paramétriques, analyse en composantes principales, analyse discriminante, Contrôle statistique de la qualité, plans expérimentaux, etc.

Logiciel développé depuis 1972 et disponible en 8 langues.

#### II.8.1. de 1 Diagramme Pareto :

**Diagramme de Pareto** : c'est un graphique représentant l'importance de différentes causes d'un phénomène. Ce diagramme permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation.

#### II.8.1.2 Graphique des effets :

Un graphique des effets principaux permet d'examiner les différences entre les moyennes des niveaux d'un ou plusieurs facteurs. On parle d'effet principal lorsque les différents niveaux d'un facteur ont une incidence sur la réponse. Un graphique des effets principaux affiche la moyenne de la réponse pour chaque niveau de facteur connecté par une ligne.23-

### **II.8.1.3 Graphique des interactions :**

La fonction Diagramme des interactions permet de déterminer l'influence d'un facteur de catégorie sur la relation entre un second facteur de catégorie et une réponse continue. Ce diagramme affiche les moyennes correspondant aux niveaux d'un facteur sur l'axe des X, ainsi qu'une courbe distincte pour chaque niveau d'un autre facteur.- Cours Pr.Bencheikh : La méthode des plans d'expériences.

### **I.9.Conclusion :**

La méthode des plans d'expériences consiste à organiser la démarche expérimentale et l'analyse décisionnelle en appliquant des règles rigoureuses basées sur l'exploitation des propriétés algébriques et statistiques des matrices décrivant les expériences. Elle amène une méthodologie pour résoudre nos problèmes d'optimisation.

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles.

# **CHAPITRE III :**

## **Méthodes expérimentales**

**Matériaux de l'étude et techniques expérimentales**

## Chapitre III

---

### III.1 Introduction :

Nous allons étudier dans cette unité les matériaux utilisés dans l'industrie de la brique terreuse, les machines et les expériences que nous avons appliquées, et connaître les facteurs de contrôle dans chaque composition.

### III.2 Les matériaux que nous avons utilisés :

**Sol :** Nous avons utilisé trois types de sols : le sol blanc, le sol rouge, le sol Janet.



**Fig III.1 :** L'argile Janet (Laboratoire géo matériaux M'sila)

**fig III .2** L'argile blanche (laboratoire géo matériaux M'sila)



**fig III. 3** L'argile rouge (laboratoire géo matériaux M'sila)

### III.3. Origine de terre :

- L'argile rouge extraite à partir de (chaaba l'hamra).
- L'argile blanche extraite de la ville (Lkhmayis)
- ✓ L'argile Janet

### III.4 Préparation de l'argile (sol rouge, sol blanche)

Les échantillons de boue ont subi les opérations suivantes :

- Broyer l'échantillon de roche en morceaux ;
- séchage au four pendant 24 heures ;
  - Broyage des échantillons de lisier comme concasseur ;
  - Tamiser la poudre de l'échantillon ;

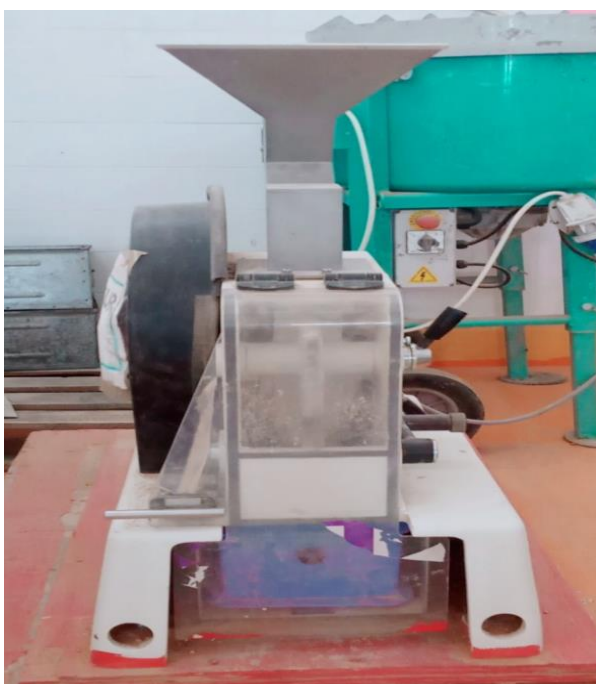


fig III .4 : concasseur broyeur



fig III .5 : analyse granulométrique tamisage

### III.5 Essais d'identifications :

#### *a- Analyse granulométrique tamisage (NF P 94-056) :*

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer à l'aide de chacun dans le granulat la représentation graphique de l'analyse permet d'observer et d'exploiter ces informations très simplement (Figure III. 5).-(23)

**Tableau III. 1: analyse granulométrique pour le type d'argile Argile R.**

Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus Cumulés (g)	Cumulés (%)	Tamisât (%)
2,5	00	00	00	100
1,25	00	00	00	100
0,630	438	438	21,9	78,1
0,315	532,8	970,8	48,54	51,46
0,160	601,8	1572,6	78,63	21,37
0,08	302,7	1875,3	93,76	6,24
Fond	124,3	1999,6	99,98	0,02

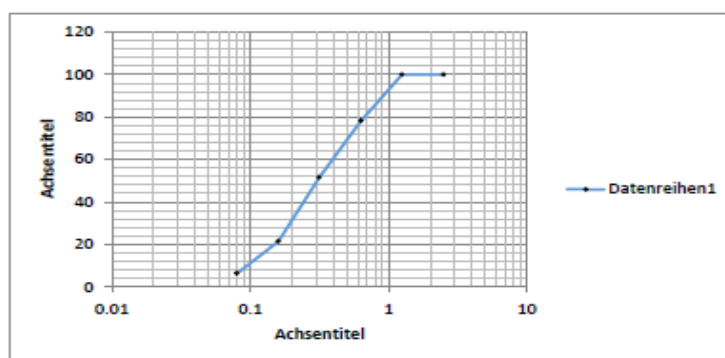


Figure III.6- Analyse

Tableau III.2: analyse granulométrique pour le type granulométrique d'argile R  
Tableau d'argile Argile blanc.

Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus Cumulés (g)	Refus Cumulés (%)	Tamisât (%)
2,5	00	00	00	100
1,25	00	00	00	100
0,630	664,8	664,8	33,24	66,76
0,315	633,9	1298,7	64,93	35,07
0,160	630,8	1929,5	96,47	3,53
0,08	53,2	1982,7	99,13	0,87
Fond	16,8	1999,5	99,97	0,03

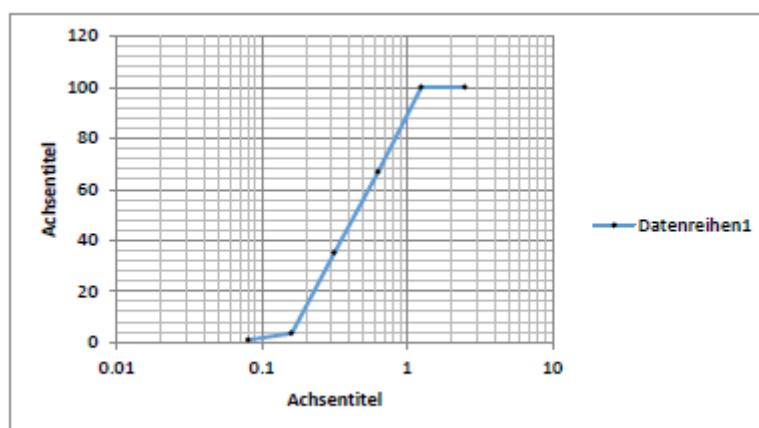


Figure III.7- Analyse granulométrique argile blanc

### b- Limite d' Atterberg (Norme NF P 94-051) :

Les limites d'Atterberg sont les teneurs en eau présentant les limites de passage du sol d'un état à un autre : « la limite de liquidité et la limite de plasticité ».

La limite de plasticité ( $\omega_p$ ) est la teneur en eau correspondante au passage de l'état solide à l'état plastique. Cependant, la limite de liquidité ( $\omega_l$ ) présente le passage de l'état plastique à l'état liquide. Les figures II.9 et II.10 illustrent les essais d'identification de ces limites

## Chapitre III

---

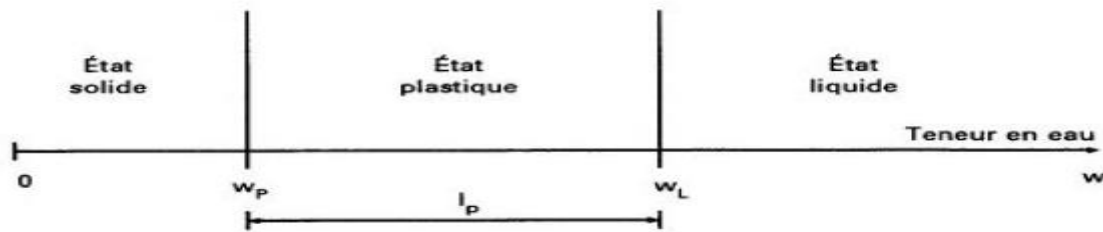
d'Atterberg.

Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considérée, exprimée en

**pourcentage de masse de la matière première brute. La différence  $I_p = W_L - W_p$**

**d'apprécier la** quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon. Il définit donc l'argilosité de l'échantillon.

**$I_p$**  : indice de plasticité : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les Limites de liquidité et de plasticité ( $F$ )



**Figure III .8 :Présentation des limites d'Atterberg.**

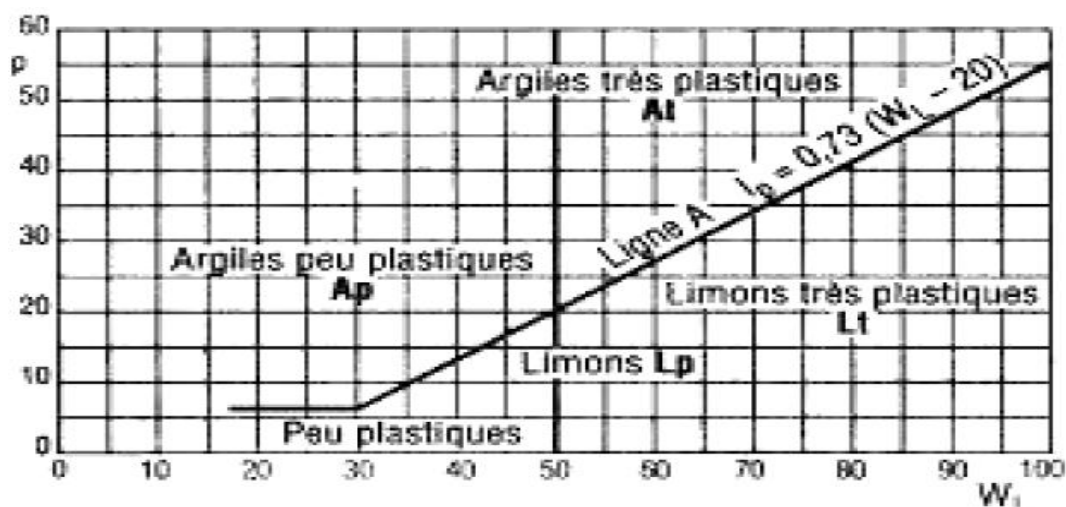


**Figure III.9: Limite de plasticité au rouleau Casa grande.**



**Figure III.10 :Limite de liquidité à la coupelle**

## Chapitre III



LES TYPE D'ARGILE	LIMITE DE LIQUIDITÉ WL %	LIMITE DE PLASTICITÉ WP %	L'INDICE DE PLASTICITÉ IP %
ARGILE ROUGE	24,08	18,74	5,34
ARGILE BLANCHE	26,83	25,46	1,37

**Tableau III. 3 : Les résultats obtenus par l'essai de la limite d'Atterberg pour les 03 types de argiles.**

-D'après le diagramme de Casa grande l'argile rouge est classée parmi les sols Limons Peu plastiques.

-D'après le diagramme de Casa grande l'argile blanche est classée parmi les sols Limons Peu Plastiques.(24)

**-Sable :**

**Nous avons utilisé le sable de la zone de Boussaâda, nous avons mis le sable à l'intérieur du four pendant 24 heures, puis il a été tamisé dans le tamis numéro 0,5.**



**Figure III.11 :les tamis**

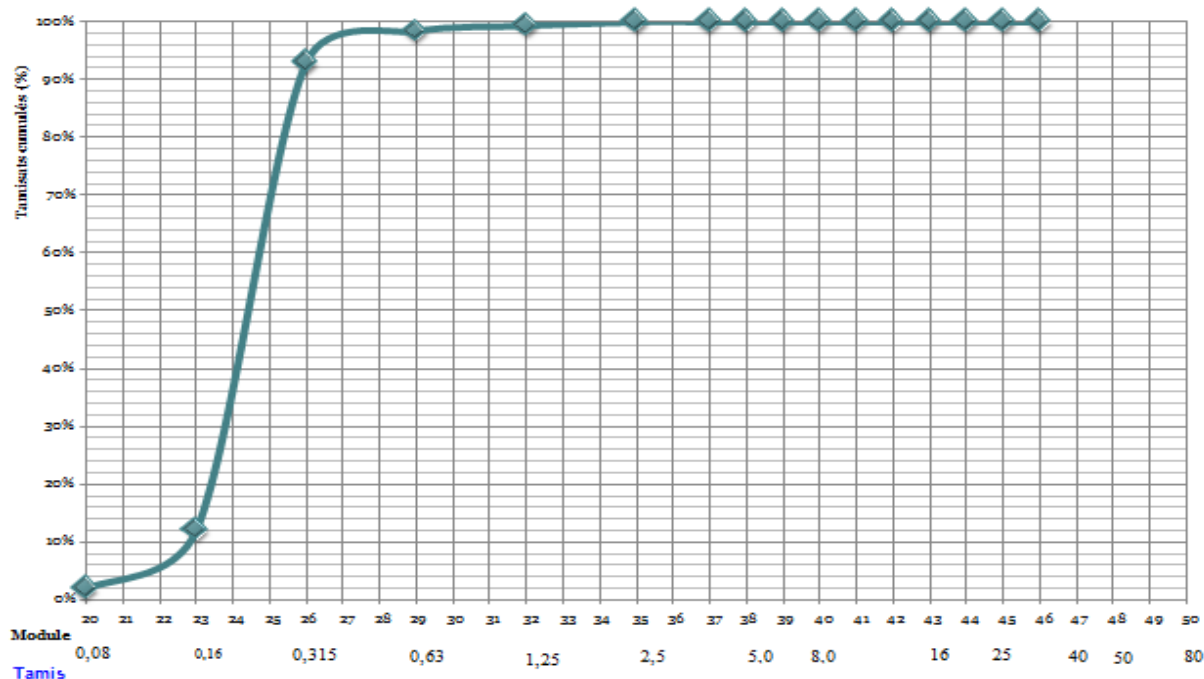
### C- Analyse granulométrique par tamisage (NF 18-304) :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage comme l'ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.(25)

**Tableau III. 4:** analyse granulométrique du sable de dune (Boussaâda

Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	00	00	00	100
2.5	00	00	00	100
1.25	7	7	0.7	99.3
0.63	10.21	17.21	1.721	98.279
0.315	54	71.21	7.121	92.879
0.16	809	880.21	88.021	11.979
0.08	101.76	981.97	98.197	1.803
fond	18	999.97	100	00

fuseau granulaire pour le sable de dune (Boussaada)



**Figure III. 12:** Courbe granulométrique du sable Boussaâda. : (25)

### III.6.Eau :

L'eau est une substance chimique constituée de molécules  $H_2O$ . Ce composé, très stable, mais aussi très réactif, est un excellent solvant à l'état liquide. Dans de nombreux contextes, le terme eau est employé au sens restreint d'eau à l'état liquide, ou pour désigner une solution aqueuse diluée. \_

#### III.6.1 .l'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans les mélanges est une eau potable de laboratoire de développement des Géo matériaux Université de M'sila.

### III.7.Ciment :

#### a) Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui mélangée avec de l'eau. Forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

## Chapitre III

---

**Le ciment utilisé est le ciment de la cimenterie Lafarge de hammam dalâa (wilaya de M'Sila) « MALAKI » CPJ-CEM II 42**

### **b) Les constituants principaux :**

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- Calcaire. - Pouzzolane naturelle.
- Laitier de haut fourneau. - Schistes calcinés.
- Cendres volantes. - Fumées de silice.
- Fines calcaires.

### **c-Principe de fabrication des ciments courants :**

Sans vouloir entrer dans le détail de la fabrication des ciments, il est cependant nécessaire d'en connaître les principes généraux et les différentes phases ;

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans des proportions respectivement proches de 80 et 20%.

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes :

- Extraction - Concassage - Préparation du cru
- Cuisson - Refroidissement – Broyage
- Stockage, ensachage et expédition



**Figure III.13 : ciment « MALAKI »**

### **d) Les types du ciment :**

L'industrie cimentière commercialise de nombreux types de ciments afin de répondre aux différents problèmes rencontrés lors de la construction des ouvrages :

- Résistances mécaniques
- Résistance à une attaque physique ou chimique
- Mise en oeuvre particulier

## Chapitre III

Désignation	Type de ciment	Clinker %	Ajouts et teneurs en %	Matière secondaire
CEM I	Ciment portland	95 à 100 %		
CEM II /A	Ciment portland	80 à 94 %	L'un des Ajouts	6 à 20 %
CEM II /B	ciment composé	65 à 79 %		21 à 35 %
CEM III/A	Ciment de haut fourneau	35 à 64 %	Laitier	35 à 65 %
CEM III/B		20 à 34 %		66 à 80 %
CEM III/C		5 à 19 %		81 à 95 %
CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	Pouzzolane, Cendre ou fumée silice	10 à 35 %
CEM IV /B		45 à 64 %		36 à 55 %
CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	Laitier et cendre	18 à 30 %
CEM V/B		20 à 39 %		31 à 50 %

**Tableau III .5: Liste des différents types des ciments courants normalisés par la norme NF P 15-301.**

**Le ciment utilisé est le ciment de la cimenterie Lafarge de hammam dalâa (wilaya de M'Sila) « MALAKI » CPJ-CEM II 42**

Le ciment Blanc Malaki 42,5 est idéal pour Le Béton Blanc, les applications exigeantes en matière de Blancher et les travaux de maçonnerie d'art.

### **E-AVANTAGES**

- Idéal pour les travaux de maçonneries et de jointement.
- Permet de réaliser des éléments en béton blanc avec un niveau de finitions inégalé.
- Favorise l'obtention d'une gamme importante de couleurs.
- Adapté pour les structures en béton apparent.

## Chapitre III

### F-Application :

- Maçonnerie d'art.
- Travaux de jointement de carreaux.
- Construction des ouvrages architectoniques, esthétiques, et éléments décoratifs.
- Béton prêt à l'emploi blanc.
- Béton architectonique des parements.
- Béton brut de décoffrage, blanc ou coloré.
- Béton décoratifs : Relief, Sablé. Poli

### III.8.Les adjuvent :

Nous avons utilisé deux types :



Figure III.14 : les adjuvants

#### III.8.1.Hydrofuge de masse pour béton et mortier

Conforme à la norme EN 934-2 : T1 ; TAB 9.TAB 2 / NA 774 **DESCRIPTION**

**NOVA FUGE LIQUID** est un adjuvant liquide prêt à l'emploi permettant de diminuer le taux d'absorption d'eau des bétons et mortiers. Il est compatible avec tous les ciments.

#### **MODE D'EMPLO**

Le **NOVA FUGE LIQUID** doit être ajouté après avoir introduit les autres composants (ciment, sable, agrégats)

## Chapitre III

---

L'action de **NOVA FUGE LIQUID** est optimale si le ciment et les agrégats sont déjà mouillés au moins 50 à 70% avec l'eau de gâchage

### **DOMAINES D'UTILISATION**

Le **NOVA FUGE LIQUID** est un hydrofuge de masse destiné pour :

#### **L'imperméabilisation :**

- Mortiers de façade exposée aux pluies battantes

#### **Etanchéité des ouvrages :**

- Béton de fondation au-dessus de la nappe de préfabriqué
- Béton enterré
- Béton pour réservoir et bassin canalisations, tunnels, barrages, airs de lavages

### **PROPRIETES**

Les bétons sans adjuvant présentent une structure non homogène, la cause de l'infiltration d'eau par capillarité qui engendre la corrosion des armatures

Le **NOVA FUGE LIQUID** se combine avec la chaux libre du ciment, cette dernière forme des cristaux qui comblent les vides interstitiels du béton. Il élimine ainsi les infiltrations des eaux. Parmi ses effets :

#### **Sur le béton frais :**

- Amélioration de la fluidité du béton
- Diminution du rapport Eau/Ciment
- Réduction de ressuage

#### **Sur les bétons durcis**

- Imperméabilisation des bétons
- Elimination des remontées capillaires
- Amélioration de la résistance et la durabilité

### **CARACTERISTIQUES**

Plage de dosage recommandée : est de 0.2 à 1.2% de poids de ciment

**NOVA FUGE LIQUID** peut être combiné avec le **NOVA SUPERFLOW**, **NOVA SUPERFLOW E200** ainsi que le **NOVA PLAST 117** après avoir effectué des essais.

Conditionnement : Jerrican de 5 et 11kg Futs de 215kg

IBC 1100 kg



Figure III.15: Hydrofuge

### III.8.2 MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774, NA 5102 et NA 5075

#### **Super plastifiant-haut réducteur d'eau**

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut Réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Poly carboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et Mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, Il permet sans modifier la consistance, de réduire Fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de Retard de prise.

#### **Domaines D'application**

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

## Chapitre III

---

### Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
  - Faciliter la mise en oeuvre du béton



**Figure III.16:** MEDAFLOW 30

### Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
  - Diminuer le retrait et le risque de fissuration

### Caractéristique

- Aspect .....Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité .....  $1,07 \pm 0,01$
- Teneur en chlore .....  $< 0,1 \text{ g/l}$
- Extrait sec ..... 30%

### Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

### III.9.Facteur :

Nous avons utilisé les facteurs suivants :

**Combinaison A :**

**Facteur 1 : Type de mélange.**

**Facteur 2 : Ciment.**

**Facteur 3 : Rapport eau.**

## Chapitre III

---

**Facteur 4 : ADJUVANT 1**

**Facteur 5 : ADJUVANT 2**

**Tableau III .6 : Tableau représentant les facteurs de composition A**

FORMULATION	F1 TYPE DE MILANGE	F2 DOSAGE EN CIMENT	F 3 Eau	F4 Adjuvant1	F5 Adjuvant2
1	M1	5	8	avec	avec
2	M2	5	8	avec	avec
3	M1	10	8	avec	avec
4	M2	10	8	avec	avec
5	M1	5	10	avec	avec
6	M2	5	10	avec	avec
7	M1	10	10	avec	avec
8	M2	10	10	avec	avec
9	M1	5	8	sans	avec
10	M2	5	8	sans	avec
11	M1	10	8	sans	avec
12	M2	10	8	sans	avec
13	M1	5	10	sans	avec
14	M2	5	10	sans	avec
15	M1	10	10	sans	avec
16	M2	10	10	sans	avec
17	M1	5	8	avec	sans
18	M2	5	8	avec	sans
19	M1	10	8	avec	sans
20	M2	10	8	avec	sans
21	M1	5	10	avec	sans
22	M2	5	10	avec	sans
23	M1	10	10	avec	sans
24	M2	10	10	avec	sans
25	M1	5	8	sans	sans

## Chapitre III

26	M2	5	8	sans	sans
27	M1	10	8	sans	sans
28	M2	10	8	sans	sans
29	M1	5	10	sans	sans
30	M2	5	10	sans	sans
31	M1	10	10	sans	sans
32	M2	10	10	sans	sans

### Combinaison C :

Facteur 1 : Ajouts.

Facteur 2 : adjuvent1

Facteur 3 : adjuvent2

Facteur 4 : la cure

**Tableau III .7 : Tableau représentant les facteurs de composition C**

FORMULATION	F1 AJOUT	F2 ADJ1	F3 ADJ2	F4 LA CURE
F1	0	avec	avec	humidité
F2	0	avec	avec	eau
F3	0	avec	sans	humidité
F4	0	avec	sans	eau
F5	0	sans	avec	humidité
F6	0	sans	avec	eau
F7	0	sans	sans	humidité
F8	0	sans	sans	eau
F9	10	avec	avec	humidité
F10	10	avec	avec	eau
F11	10	avec	sans	humidité
F12	10	avec	sans	eau
F13	10	sans	avec	humidité
F14	10	sans	avec	eau
F15	10	sans	sans	humidité
F16	10	sans	sans	eau
F17	20	avec	avec	humidité
F18	20	avec	avec	eau

## Chapitre III

F19	20	avec	sans	humidité
F20	20	avec	sans	eau
F21	20	sans	avec	humidité
F22	20	sans	avec	eau
F23	20	sans	sans	humidité
F24	20	sans	sans	eau

### Combinaison B :

Facteur 1 : type de mélange

Facteur 2 : ciment

Facteur 3 : eau

Facteur 4 : adj NFL

Facteur 5 : adj me

**Tableau III.8 : Tableau représentant les facteurs de composition B :**

FORMULATION	Type de mélange	F CIMENT	F EAU	F ADJ NFL	F ADJ ME	F La cure
B1	50 R 50S	10%	8%	/	/	HUM
B11	50 R 50S	10%	8%	/	/	EAU
B2	50B 50S	10%	8%	/	/	HUM
B22	50B50S	10%	8%	/	/	EAU
B3	50R50S	10%	8%	AVEC	/	HUM
B33	50R50S	10%	8%	AVEC	/	EAU
B4	50B50S	10%	8%	AVEC	/	HUM
B44	50B50S	10%	8%	AVEC	/	EAU
B5	50S50B	10%	8%	/	/	HUM
B55	50S50B	10%	8%	/	/	EAU
B6	50R50B	10%	8%	AVEC	/	HUM
B66	50R50B	10%	8%	AVEC	/	EAU
B7	100S	5%	7%	/	/	HUM
B77	100S	5%	7%	/	/	EAU
B8	100S	5%	7%	/	AVEC	HUM
B88	100S	5%	7%	/	AVEC	EAU
B9	100S	5%	7%	AVEC	/	HUM
B99	100S	5%	7%	AVEC	/	EAU
B10	100S	5%	7%	AVEC	AVEC	HUM
B1010	100S	5%	7%	AVEC	AVEC	EAU
B11	33R33B33S	5%	7%	/	/	HUM
B1111	33R33B33S	5%	7%	/	/	EAU

### III.10. Matériel spécifiques :

#### III.10.1. Moule utilisés :

Un moule cylindrique a les dimensions suivantes :

Hauteur de mole : 22 cm.

## Chapitre III

---

- Diamètre intérieur de moule : 7 cm.
- Diamètre extérieur de moule : 10 cm.
- Hauteur de piston : 8 cm.
- Diamètre de piston : 7 cm.

### III.10. 2. Presse manuelle :

- le plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble – moule + Mélange + piston, le plateau supérieur reste fixe. L'opération est conduite Jusqu'à l'affichage sur l'écran de lecture de la pression voulue.

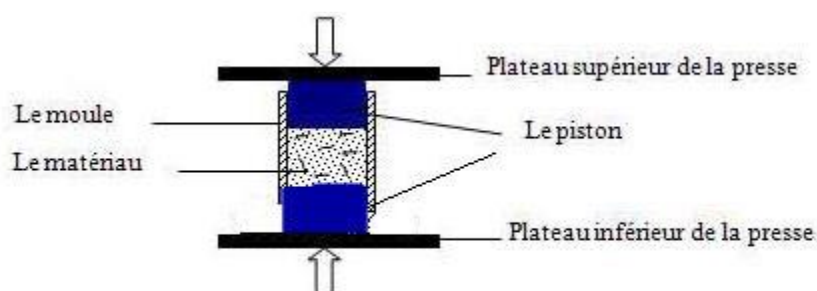


Figure III.17 : Le schéma du moule utilisé pour la fabrication des BT

### III.11. Préparation de Mélange :

#### III.11.1. Etapes de préparation des mélanges :

- Sécher le sol à température 105
- Tamiser le sol dans un tamis de (5mm)
- On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : argile, ciment, chaux et eau.

**Préparation des moules :** après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile les Moules sont prêts pour utilisation.

**Le malaxage :** L'opération est exécutée comme suit :

On pose l'argile sèche avec la quantité du ciment ou la chaux et on malaxe le mélange à sec durant 1 à 2 minutes

**Le moulage des éprouvettes :** cette opération est exécutée à l'aide d'une presse manuelle du laboratoire de développement Géo matériaux d'université de M'sila

**Le démoulage des éprouvettes :** exécuté à l'aide d'un extracteur mécanique le poids du mélange humide pour chaque éprouvette est maintenu constant toutes les étapes à 700g, les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cylindriques.

Après le démoulage, les éprouvettes sont introduites dans une chambre de cure (température 50° C, Humidité  $\leq 100$  %) pendant 28 Jours



**Figure III.18 : Le moule utilisé.    Laboratoire de Géo matériaux, Université de M'sila.**



**Figure III.19 : Presse manuelle du laboratoire de développement Géo matériaux, Université de M'sila.**



**Figure III.20 :** chambre de cure (Température, Humidité) Laboratoire géo matériaux M'sila

**-L'expérience porosité a été appliquée aux échantillons prélevés.**



**Figure III.21: Des éprouvettes confectionnées.**

### **III.12. La porosité accessible à l'eau : Peau**

1. Objectif : Déterminer la porosité accessible à l'eau

Mesurer le pourcentage de vide connecté la surface du béton

2. Préparation des corps d'épreuve :

- Mise sous vide de la cloche pendant 4h (pression 25 mbar)
- Aspiration de l'eau grâce au vide (recouvrir les corps d'épreuve par 20mm d'eau mini.)
- Saturation sous vide pendant 72h

## Chapitre III

### 3. Mode opératoire :

- Pesée hydrostatique,  $M_{eau}$
- Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau,  $M_{air}$
- Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche,  $M_{sec}$

Séchage = étuve 105°C jusqu'à obtenir une masse constante  
(ie : Masse ne varie pas de plus de 0,05% entre deux pesées espacées de 24h)



**Figure III.22 :** étuve du laboratoire de développement Géo matériaux, Université de M'sila.

## Chapitre III

---

### 4. Calcule de la porosité accessible à l'eau :

$$Peau = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

n	masse à l'air(g)	masse hydrostatique (g)	masse sèche(g)	Porosité en %	moy en %
1	2414	1429	2276	14,01	13,67
2	2458	1453	2347	11,04	
3	2453	1463	2295	15,96	

### 5. Conclusion :

En expérimentant la porosité à la portée de l'eau, nous avons constaté que plus le facteur de perméabilité est faible, meilleure est la qualité du béton et vice versa.

La présence de perméabilité dans le béton l'expose aux attaques acides et sulfatées Et il réduit sa résistance et réduit sa durabilité (19) .

- L'expérience de résistance a été appliquée à tous les échantillons réalisés.



**Figure III.23 :** presse hydraulique (Laboratoire géo matériaux M'sila)

### **III.13.Conclusion :**

Le travail a pour but d'atteindre, la synthèse et l'analyse des résultats qui sont détectés par le logiciel mini TAB.

Les combinaisons et l'interaction des facteurs seront analysés par le logiciel afin de déterminer les facteurs les plus influents.

# Chapitre IV

Résultats et conclusion

## IV.1 .Introduction :

Dans ce chapitre, après avoir réalisé toutes les formulations nécessaires de tous les mélanges des éprouvettes. On va présenter les résultats et donner les interprétations convenables pour les valeurs obtenues par les différents essais.

Tableau IV-1:Tableau de résultat porosité et résistance A :

Num	Coulage	masse1	Cure	28 J	Dif M	Dif %	m		la	porosité	sol R
							humide g	m eau g			
A1	14/03/2022	696	Hum	677,1	-18,9	-2,72	699,7	388,7	636,2	20,41	50%
A11	14/03/2022	705	eau	707,5	2,5	0,35	711,8	395,8	661,9	15,79	50%
A2	14/03/2022	698	Hum	679,2	-18,8	-2,69	699,7	388,1	649,5	16,11	33%
A22	14/03/2022	659,5	eau	663,4	3,9	0,59	667,2	367,8	607,1	20,04	33%
A3	14/03/2022	695	Hum	680,9	-14,1	-2,03	702,5	391	649,3	17,07	50%
A33	14/03/2022	692	eau	710,5	18,5	2,67	714	394,5	675,3	12,11	50%
A4	14/03/2022	699	Hum	687,8	-11,2	-1,60	719,7	397,7	656,6	19,59	33%
A44	14/03/2022	699	eau	719,2	20,2	2,89	723	396,1	676	14,37	33%
A5	14/03/2022	695	Hum	670,4	-24,6	-3,54	697	386,7	630,5	21,43	50%
A55	14/03/2022	698	eau	697,9	-0,1	-0,01	701,6	385,9	632,1	21,98	50%
A6	14/03/2022	699	Hum	676,1	-22,9	-3,28					33%
A66	14/03/2022	698	eau	703,5	5,5	0,79	707,6	386,2	627,2	25,01	33%
A7	14/03/2022	698	Hum	677,9	-20,1	-2,88	703,7	391,7	641,5	19,93	50%
A77	14/03/2022	698	eau	705	7	1,00	708,1	388,6	644,5	19,9	50%
A8	16/03/2022	699	Hum	678,6	-20,4	-2,92	706,8	391,1	659,8	14,88	33%
A88	16/03/2022	699	eau	710,4	11,4	1,63	714,3	390,2	650,7	19,62	33%
A9	16/03/2022	699	Hum	679,4	-19,6	-2,80	712,2	396,2	645,3	21,17	50%
A99	16/03/2022	697	eau	708,9	11,9	1,71	713,9	393,4	646,3	21,09	50%
A10	16/03/2022	679	Hum	680,9	1,9	0,28	711,8	391,7	635,4	23,87	33%
A10 10	16/03/2022	649	eau	663,2	14,2	2,19	666,6	364,4	596,3	23,27	33%
A11	16/03/2022	696	Hum	682,3	-13,7	-1,97	715,6	397,6	654,6	19,18	50%
A11 11	16/03/2022	697	eau	718,6	21,6	3,10	721,5	397,4	659	19,27	50%
A12	16/03/2022	698	Hum	686,8	-11,2	-1,60	722,6	396,9	646,9	23,3	33%
A12 12	16/03/2022	698	eau	723,8	25,8	3,70	727,7	395,6	654,4	22,79	33%
A13	16/03/2022	696	Hum	669,7	-26,3	-3,78	713,8	387,9	631,3	25,31	50%
A13 13	16/03/2022	700	eau	710,2	10,2	1,46	613,9	390,6	653,8	17,86	50%
A14	19/03/2022	698	Hum	672,4	-25,6	-3,67					33%
A14 14	19/03/2022	698	eau	700,9	2,9	0,42	705,6	385,5	628,4	24,11	33%
A15	19/03/2022	698	Hum	674,6	-23,4	-3,35	705,4	391,9	655,3	15,98	50%
A15 15	19/03/2022	697	eau	704	7	1,00	708,2	387,3	642,8	20,38	50%
A16	19/03/2022	698	Hum	680	-18	-2,58	708,9	393,9	643,1	20,88	33%
A16 16	19/03/2022	698	eau	708,7	10,7	1,53	712,9	390,9	635,1	24,16	33%
A17	19/03/2022	699	Hum	678,3	-20,7	-2,96	712,1	394	647,3	20,37	50%
A17 17	19/03/2022	698	eau	706,6	8,6	1,23	712,2	390,4	647,2	20,19	50%
A18	19/03/2022	699	Hum	681,4	-17,6	-2,52	712,5	395,5	645,7	21,07	33%
A18 18	19/03/2022	699	eau	710,3	11,3	1,62	714,2	392,9	634,8	24,71	33%

## Chapitre I

A19	19/03/2022	698	Hum	680,8	-17,2	-2,46	708,1	390,5	650,3	18,19	50%
A19 19	19/03/2022	698	eau	709,3	11,3	1,62	713	392,3	652,3	18,92	50%
A20	19/03/2022	699	Hum	686,5	-12,5	-1,79	719,4	398,7	649,5	21,79	33%
A20 20	19/03/2022	698	eau	719,2	21,2	3,04	723,7	400,7	653,6	21,7	33%
A21	21/03/2022	685	Hum	678,7	-6,3	-0,92	703,5	387,4	632,4	22,49	50%
A21 21	21/03/2022	683,6	eau	705,6	22	3,22	710,3	386,1	643,4	20,63	50%
A22	21/03/2022	692,7	Hum	678,4	-14,3	-2,06	690,4	381,9	630,4	19,44	33%
A22 22	21/03/2022	694,5	eau	707,6	13,1	1,89	712,6	387,4	628	25,83	33%
A23	21/03/2022	698	Hum	680,8	-17,2	-2,46	711,7	391,9	646,7	20,32	50%
A23 23	21/03/2022	697	eau	712,7	15,7	2,25	717,1	390,4	647,8	21,21	50%
A24	21/03/2022	699	Hum	683,9	-15,1	-2,16	716,3	394	639,7	23,76	33%
A24 24	21/03/2022	698	eau	712,5	14,5	2,08	715,3	391	646,1	21,33	33%
A25	21/03/2022	697	Hum	682,4	-14,6	-2,09	717,2	394	653,4	19,74	50%
A25 25	21/03/2022	698	eau	720,1	22,1	3,17	725,2	392,3	652,9	21,71	50%
A26	22/03/2022	699	Hum	683,8	-15,2	-2,17					33%
A26 26	22/03/2022	699	eau	700,4	1,4	0,20	703,6	385,8	645,6	18,25	33%
A27	22/03/2022	694	Hum	685,1	-8,9	-1,28	718,9	398,5	653,9	20,28	50%
A27 27	22/03/2022	698	eau	727,7	29,7	4,26	729,8	400,6	661,4	20,8	50%
A28	22/03/2022	698	Hum	690,4	-7,6	-1,09	726,2	400,6	677,8	14,86	33%
A28 28	22/03/2022	697	eau	727	30	4,30	730,3	400,2	694,9	10,72	33%
A29	22/03/2022	698	Hum	678,2	-19,8	-2,84	704,6	394,3	643,1	19,81	50%
A29 29	22/03/2022	702	eau	706,1	4,1	0,58	709,5	394,7	646,5	20,01	50%
A30	22/03/2022	698	Hum	676,6	-21,4	-3,07	703,8	392,5	654	15,99	33%
A30 30	22/03/2022	698	eau	704	6	0,86	707,6	391,9	661,3	14,66	33%
A31	22/03/2022	697	Hum	682,1	-14,9	-2,14	704,8	391,5	646,9	18,48	50%
A31 31	22/03/2022	699	eau	706,8	7,8	1,12	709,5	393,5	650,4	18,7	50%
A32	22/03/2022	698	Hum	685	-13	-1,86	715,8	396,2	644,9	22,18	33%
A32 32	22/03/2022	698	eau	714,8	16,8	2,41	718	393,1	648	21,54	33%

Tableau IV-2 :Tableau de résultat porosité et résistance B :

numéro déchantillon	date de coulage	la masse g	poids après			la porosité	sol		sable	sol S	eau	
			28 jours	m humide	m eau		m sèche	R				sol B
B1	23/03/2022			712,7	390,3	647	20,37	50%	0	50%	0	8%
B1-1	23/03/2022			722,3	398,7	642	24,81	50%	0	50%	0	8%
B2	23/03/2022			727,6	393,9	649	23,55	0	50%	50%	0	8%
B22	23/03/2022			731,7	393,7	644	25,24	0	50%	50%	0	8%
B3	23/03/2022			715,7	390,6	655	18,67	50%	0	50%	0	8%
B33	23/03/2022			723	396,3	656	20,5	50%	0	50%	0	8%
B4	23/03/2022			725,3	389,7	639	25,71	0	50%	50%	0	8%
B44	23/03/2022			732,5	393,2	641	26,96	0	50%	50%	0	8%
B5	23/03/2022			738	397	636	29,91	50%	50%	0	0	8%
B55	23/03/2022			742,6	393,4	626	33,39	50%	50%	0	0	8%
B6	26/03/2022	699		742	393	626	33	50%	50%	0	0	8%
B66	26/03/2022	698,7		721,1	384,2	624	28,82	50%	50%	0	0	8%
B7	26/03/2022	697		706,6	396,8	654	16,97	0	0	0	100%	8%

## Chapitre I

B77	26/03/2022	632	640,6	357,9	594	16,48	0	0	0	100%	8%
B8	26/03/2022	698	710,4	397	657	17,05	0	0	0	100%	8%
B88	26/03/2022	636	645	359,3	609	12,63	0	0	0	100%	8%
B9	26/03/2022	694	704,2	391,8	653	16,32	0	0	0	100%	8%
B99	26/03/2022	639	648	360,8	602	16,01	0	0	0	100%	8%
B10	26/03/2022	651	662,2	386	614	17,45	0	0	0	100%	8%
B10 10	26/03/2022	682	694,1	386	643	16,59	0	0	0	100%	8%
B11	26/03/2022	696	727,7	398,7	656	21,74	33%	33%	33%	0	8%
B11 11	26/03/2022	694	731,2	397,9	661	21,06	33%	33%	33%	0	8%

TableauIV-3 :Tableau de résultat porosité et résistance C :

Numéro déchantillon	date de coulage	la masse g	la cure	poids après m		m		la porosité	sol rouge		ajou
				28 jour g	m humide g	m eau g	séche g		sol 3 g	g	
C1	27/03/2022	698	humidité		705,5	394,4	666,6	12,5	100%		
C1-1	27/03/2022	696	humidité		706,6	393,8	654,5	16,65	100%		
C2	27/03/2022	697	eau		707,1	394,5	655,9	16,37	100%		
C2-2	27/03/2022	698	eau		711,7	396,6	668,6	13,77	100%		
C3	27/03/2022	710	humidité		723,1	405,4	679,1	13,84	100%		
C33	27/03/2022	699	humidité		713,3	404,1	659,4	17,73	100%		
C4	27/03/2022	699	eau		709,6	396,1	656,7	16,87	100%		
C44	27/03/2022	698	eau		709,5	394,7	657,2	16,61	100%		
C5	27/03/2022	699	humidité		710	396,2	656,2	17,14	100%		
C55	27/03/2022	699	humidité		709,9	395,3	656,2	17,06	100%		
C6	27/03/2022	699	eau		710,2	395	656,3	17,1	100%		
C66	27/03/2022	695	eau		708	393,5	653,1	17,4	100%		
C7	27/03/2022	698	humidité		710,3	396,5	656,1	17,27	100%		
C77	27/03/2022	698	humidité		710,7	396,7	655,3	17,64	100%		
C8	27/03/2022	699	eau		713,3	394,5	654,8	18,44	100%		
C88	27/03/2022	698	eau		710,5	392,4	655	17,44	100%		
C9	27/03/2022	699	humidité						100%		
C99	27/03/2022	698	humidité		725,3	401,4	653,4	22,19	100%		
C10	28/03/2022	698	eau		725,3	396,8	653,8	21,76	100%		
C10 10	28/03/2022	698	eau		733,6	401	657,1	23	100%		
C11	28/03/2022	698	humidité		727,8	399,2	657,3	21,45		40%	
C11 11	28/03/2022	700	humidité		720,2	400,4	666,3	16,85		40%	
C12	28/03/2022	698	eau		731,1	404,6	669,2	18,95		40%	
C12 12	28/03/2022	699	eau		730,5	403,7	653,3	23,62		40%	
C13	28/03/2022	698	humidité							40%	
C13 13	28/03/2022	698	humidité		731,2	400	665,4	19,86		40%	
C14	28/03/2022	699	eau		730	400,5	659,3	21,45		40%	
C14 14	28/03/2022	698	eau		729,5	398,5	651,4	23,59		40%	
C15	28/03/2022	698	humidité		725,6	405,9	656,9	21,48		40%	
C15 15	28/03/2022	697	humidité		724,1	400,9	666,6	17,79		40%	
C16	28/03/2022	698	eau		726,6	399,5	658,5	20,81		40%	

## Chapitre I

C16 16	28/03/2022	699	eau	729,2	402,1	655	22,68	40%
C17	29/03/2022	699	humidité	709,4	392,6	652,2	18,05	40%
C17 17	29/03/2022	699	humidité	728,9	404,9	669	18,39	40%
C18	29/03/2022	697	eau	733,1	404,4	671,5	18,74	40%
C18 18	29/03/2022	698	eau	732,2	402,9	671,2	18,52	40%
C19	29/03/2022	698	humidité	731	402,4	654,3	23,38	40%
C19 19	29/03/2022	698	humidité	731,3	403,9	666,1	19,85	40%
C20	29/03/2022	698	eau	736	402,7	663,9	21,63	40%
C20 20	29/03/2022	698	eau	737,9	404,4	654	25,15	40%
C21	29/03/2022	698	humidité	728,5	401,2	656,9	21,87	40%
C21 21	29/03/2022	698	humidité	730	401,5	661,5	20,85	40%
C22	29/03/2022	697	eau	733,8	401,1	669,2	19,41	40%
C22 22	29/03/2022	697	eau	736	402,4	669,3	19,99	40%
C23	29/03/2022	698	humidité	730,5	402,7	669,6	18,57	40%
C23 23	29/03/2022	698	humidité	730,3	402	658,9	21,74	40%
C24	29/03/2022	699	eau	732,3	402,1	658,5	22,35	40%
C24 24	29/03/2022	695	eau	730,8	403,3	658,2	22,16	40%
C11 S A	28/03/2022		humidité	729,2	398,4	659	21,22	40%
C11-11 SA	28/03/2022		humidité	728,9	397	660,1	20,72	40%

TABLEAU IV-4: resultats porosité et Résistance

Num	la porosité	LA RESISTANCE MPA
A1	20,41	10
A11	15,79	21,71
A2	16,11	20,49
A22	20,04	28,42
A3	17,07	28,27
A33	12,11	35,97
A4	19,59	32,21
A44	14,37	30,8
A5	21,43	19,04
A55	21,98	21,18
A6		
A66	25,01	20,58
A7	19,93	32,36
A77	19,9	26,23
A8	14,88	26,69
A88	19,62	31,05
A9	21,17	21,5
A99	21,09	23,61
A10	23,87	19,5
A10 10	23,27	20,26
A11	19,18	29,01
A11 11	19,27	34,15
A12	23,3	25,27
A12 12	22,79	29,52
A13	25,31	19,3

## Chapitre I

---

A13 13	17,86	10,86
A14		
A14 14	24,11	22,22
A15	15,98	28,3
A15 15	20,38	30,14
A16	20,88	30,29
A16 16	24,16	27,1
A17	20,37	16,63
A17 17	20,19	21,85
A18	21,07	23,23
A18 18	24,71	20,34
A19	18,19	28,05
A19 19	18,92	28,76
A20	21,79	26,75
A20 20	21,7	32,66
A21	22,49	14,83
A21 21	20,63	20,17
A22	19,44	12,72
A22 22	25,83	16,92
A23	20,32	24,02
A23 23	21,21	25,39
A24	23,76	23,43
A24 24	21,33	28,02
A25	19,74	16,99
A25 25	21,71	16,43
A26		
A26 26	18,25	13,07
A27	20,28	20,69
A27 27	20,8	28,92
A28	14,86	21,67
A28 28	10,72	25,26
A29	19,81	26,94
A29 29	20,01	25,1
A30	15,99	22,23
A30 30	14,66	20,34
A31	18,48	35,75
A31 31	18,7	34,19
A32	22,18	23,54
A32 32	21,54	28,16

TABLEAU IV-5: resultats porosité et Résistance

numéro déchantillon	RÉSISTANCE	
	la porosité	mpa
B1	20,37	16,39
B1-1	24,81	18,85
B2	23,55	14,04
B22	25,24	12,98
B3	18,67	18,57
B33	20,5	19,08

## Chapitre I

---

B4	25,71	10,85
B44	26,96	12,14
B5	29,91	13,29
B55	33,39	7,5
B6	33	7
B66	28,82	8,51
B7	16,97	18,75
B77	16,48	24,97
B8	17,05	19,36
B88	12,63	17,3
B9	16,32	20,52
B99	16,01	22,59
B10	17,45	21,44
B10 10	16,59	22,21
B11	21,74	18,08
B11 11	21,06	29,69

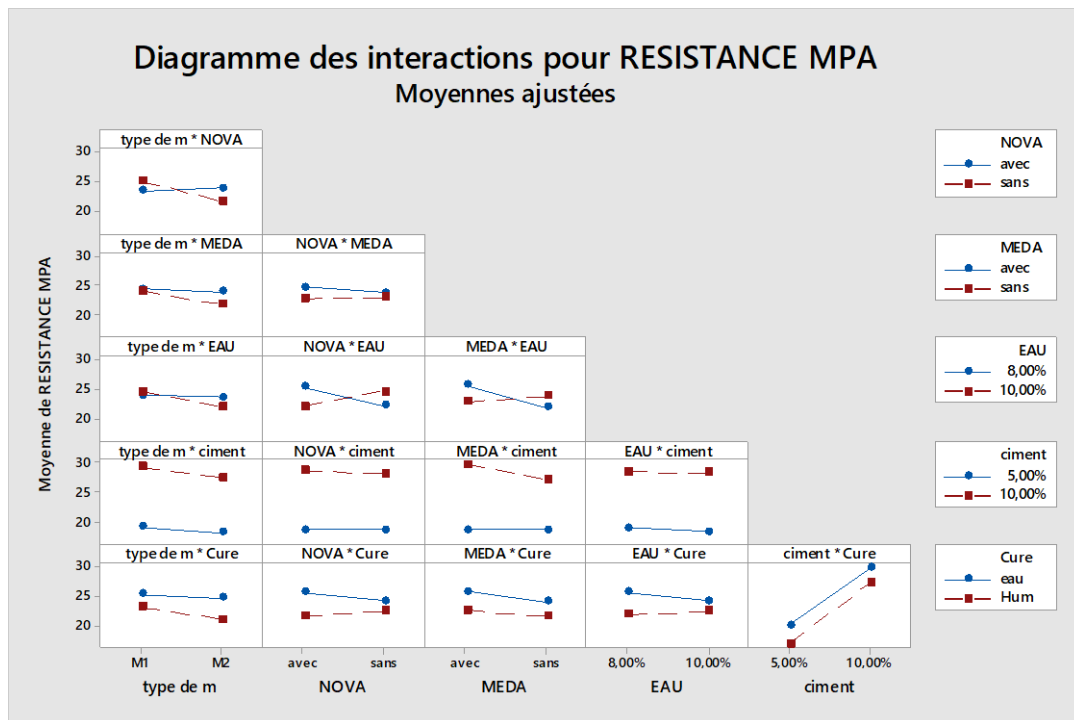
### TA BLEAU IV-6 : resultats porosité et Résistance

Numéro d'échantillon	la porosité	Résistance MPA
C1	12,5	15,68
C1-1	16,65	20,48
C2	16,37	21,25
C2-2	13,77	14,13
C3	13,84	15,33
C33	17,73	19,45
C4	16,87	21,76
C44	16,61	22,72
C5	17,14	21,54
C55	17,06	19,86
C6	17,1	21,62
C66	17,4	21,04
C7	17,27	22,33
C77	17,64	21,03
C8	18,44	7,47
C88	17,44	16,98
C9	23	8
C99	22,19	15,47
C10	21,76	13,16
C10 10	23	14,5
C11	21,45	15,83
C11 11	16,85	13,79
C12	18,95	18,2
C12 12	23,62	15,88
C13	24	10

## Chapitre I

---

C13 13	19,86	14,44
C14	21,45	16,44
C14 14	23,59	13,09
C15	21,48	16,63
C15 15	17,79	18,17
C16	20,81	20,08
C16 16	22,68	17,91
C17	18,05	11,37
C17 17	18,39	16,95
C18	18,74	14,75
C18 18	18,52	11,82
C19	23,38	13,4
C19 19	19,85	18,73
C20	21,63	15,95
C20 20	25,15	11,68
C21	21,87	14,89
C21 21	20,85	14,25
C22	19,41	15,24
C22 22	19,99	13,83
C23	18,57	15,47
C23 23	21,74	15,54
C24	22,35	16,55
C24 24	22,16	17,55
C11 S A	21,22	139300%
C11-11 SA	20,72	15%



## IV.2. Analyse :

**Type de M +cure :** le mélange M1 a l'humidité affecte une forte résistance par rapport au mélange M2

La cure eu eau du mélange M1 et M2 affecte une résistance, rapprochée.

### **Type de ciment :**

Le type m1 effet présente une forte résistance avec un dosage de ciment 10%

-le pourcentage de 10% affecte une bonne résistance aux deux mélanges.

### **Type de m +eau :**

Le pourcentage d'eau (8 ou 10%) affecte une résistance rafferchée aux deux mélanges.

-le pourcentage de (8 ou 10%) n'affecte pas considérablement, la résistance des deux mélanges.

### **Type du m\* Meda :**

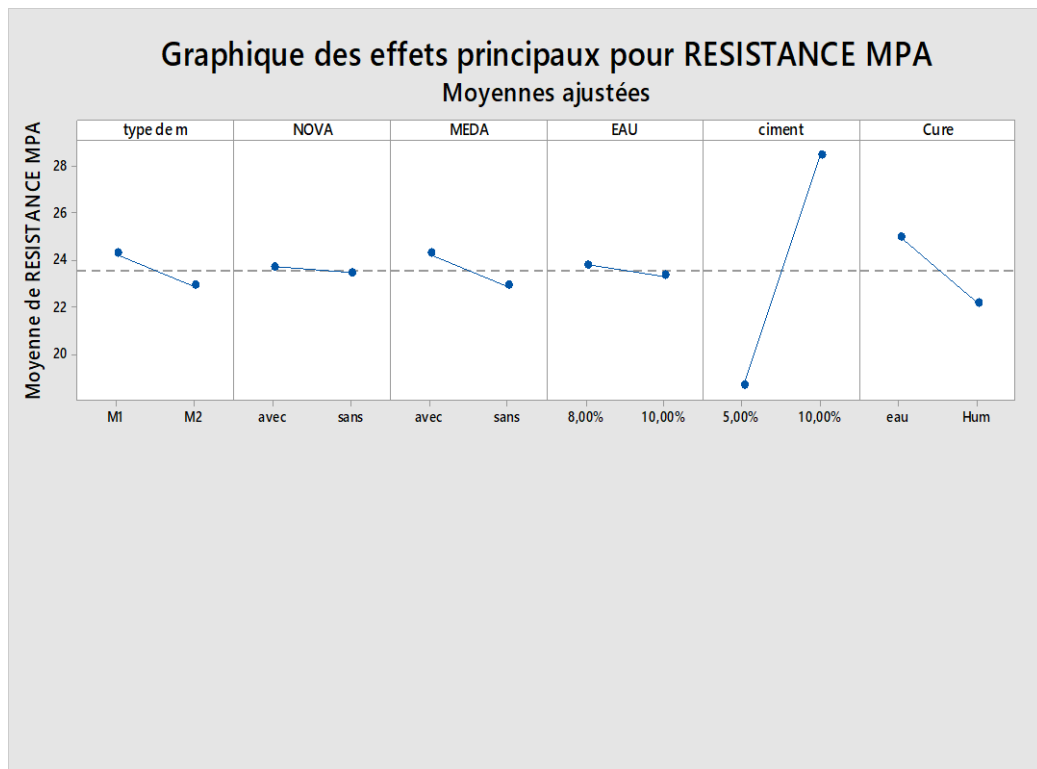
Le facteur Meda n'a pas d'influence sur la résistance des mélange M1 ou M2

### **Type de m+ nova :**

Le facteur nova n'affecte pas considérablement la résistance au deux mélanges (m1 ou m2).

### **Type de m +nova :**

Le facteur nova : le facteur nova n'affecte pas considérablement la résistance aux deux mélange (m1 ou m2) .



### IV.3. ANALYSE

**Le type de mélange :** m1 est un facteur principal influant sur la résistance de l'échantillon.

**Nova :**

Avec l'adjuvant ou sans adjuvant la résistance est constante donc c'est un facteur qui n'affecte pas la résistance de l'échantillon. Ce **n'est pas un facteur influent**.

**Meda :**

-Sans l'adjuvant Meda, la résistance de l'échantillon, présente une forte résistance c'est un facteur un fluent à la résistance de l'échantillon.

**Eau :**

C'est un facteur non influent sur la résistance de l'échantillon, la valeur est constance, soit au dosage de 8% ou 10%

**Ciment :**

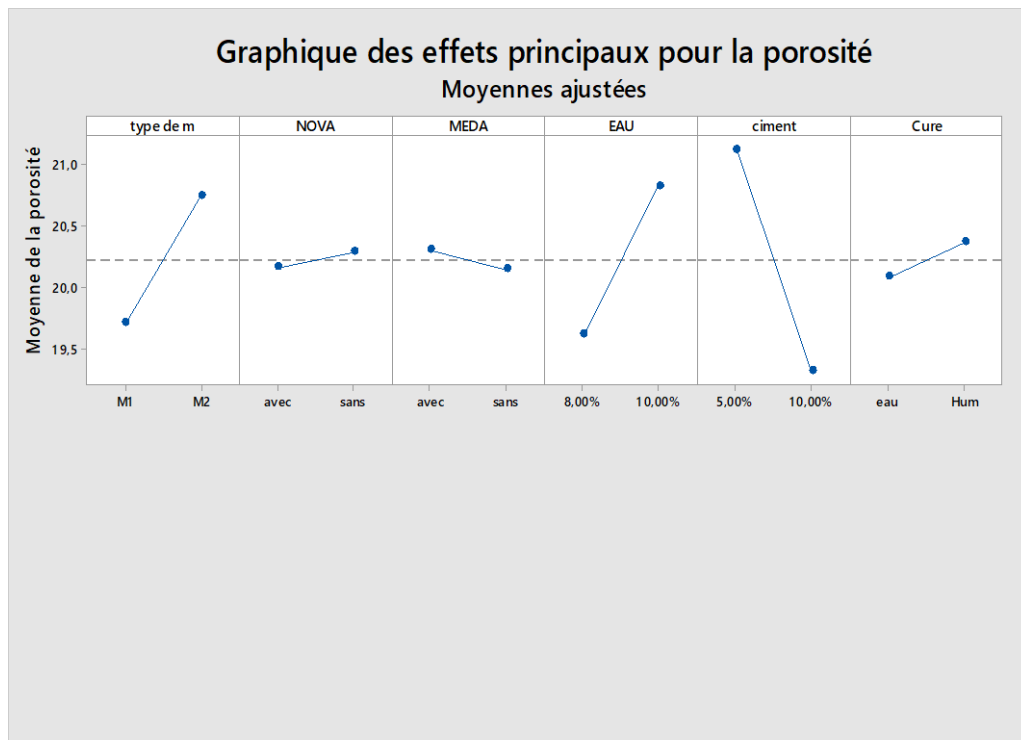
La résistance est très forte à un dosage de ciment de 10% contrairement à celle de 8% le ciment est un facteur principal.

Influent sur la résistance.

**Cure :**

L'échantillon à l'eau présente une forte résistance par rapport à celui de l'humidité

Le mode de cure en eau est un facteur en eau est un facteur principal influent à la résistance de l'échantillon.



#### IV.4.Analyse :

Type de mélange :

- le mélange M1 présente une porosité très faible.
- le mélange M2 présente une porosité très importante.

#### ADJUVANT NOVA MEDA :

- l'adjuvant nova n'a pas d'effet sur la porosité de la brique.
- l'adjuvant meda n'affecte pas la brique un sa porosité.

#### Eau :

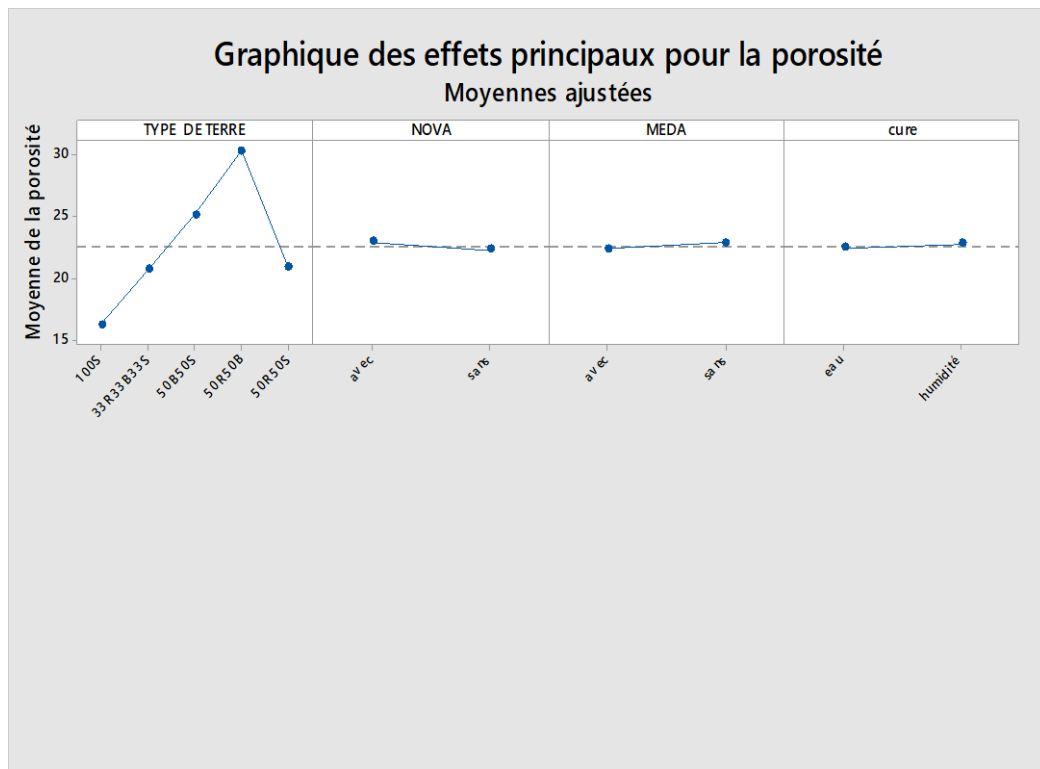
- le dosage d'eau à 8% a un grand effet sur la porosité.
- le dosage de 10 l'eau présente une brique très poreuse.

#### Ciment :

- Le dosage de 10% de ciment influe sur la porosité de la brique donnant une brique moins poreuse.
- Le dosage de 5% de ciment effectue une brique très poreux.

#### La cure :

La cure en eau et humidité n'a pas représenté une grande influence sur la porosité du brique.



## IV.5.ANALYSE :

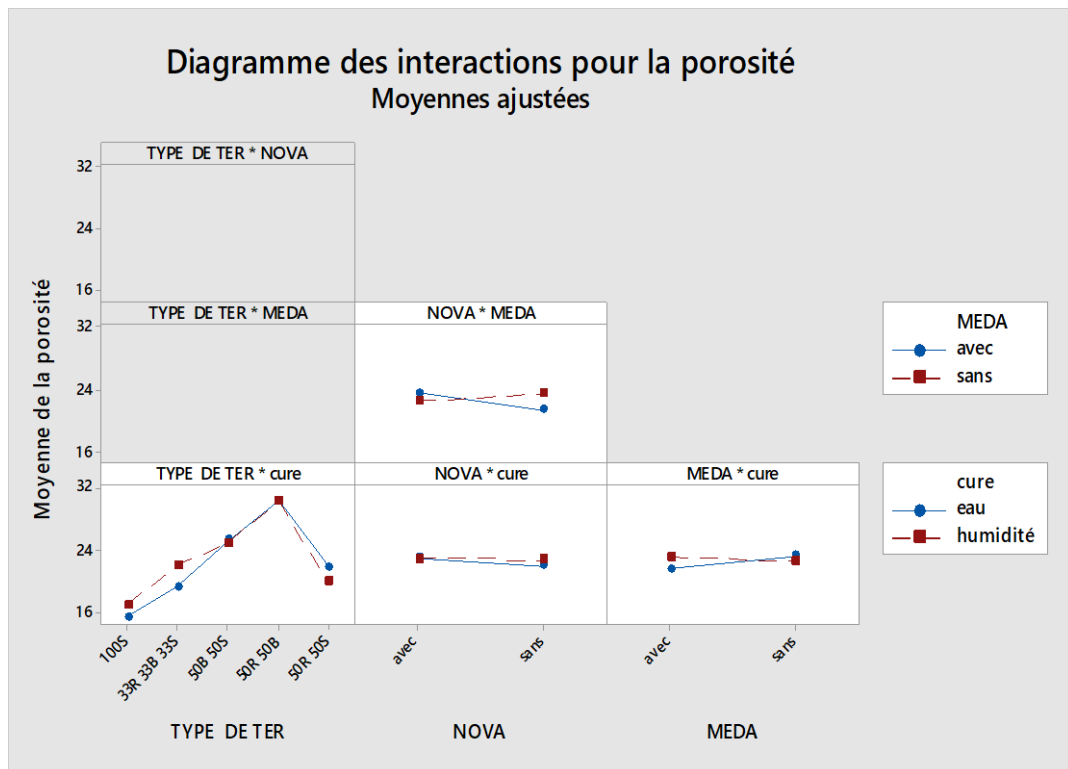
Type de terre :

Le mélange **100s** a présenté une très faible porosité, c'est un facteur principal influent à la porosité .

Le mélange 33r33b33s et 50r50s présente la même faible valeur de porosité

-les facteurs Nova, Meda n'ont aucun effet sur la porosité des mélanges

-la cure : le mode de cure en eau à l'humidité, présente une porosité moyenne constante.



## IV.6. Analyse :

Type de terre+ cure :

Le mélange de 100s en mode de cure eau a humidité a présenté une très faible porosité c'est eu facteur un influent ci la porosité de l'échantillon.

Le mélange 50%r50s présente une faible porosité.

Un mode de cure en eau et humidité peut être considéré autant que facteur influent à la porosité.

**Nova+meda** : l'ajout des adjuvant Meda et Nova donnent une faible porosité contrairement au mélange sans adjuvant

C'est un facteur influent à la porosité

Nova +cure : l'adjuvant Nova ou Meda en mode de cure eau ou humidité n'affecte pas fortement une faible porosité.

### Le type de terre

Le type de 33R33B33s présente une forte résistance à la compression.

Le type 100s a présente une forte résistance à la compression.

Le type 50r50s a présente une résistance moyenne.

Le type 50r50b a présenté une très faible résistance

Le type 33r33b33s et le type 100s sont considéré autant que des facteurs influant à la résistance du mélange.

Nova :

Avec l'utilisation de l'adjuvant nova le mélange a présenté une meilleure résistance par

# Chapitre I

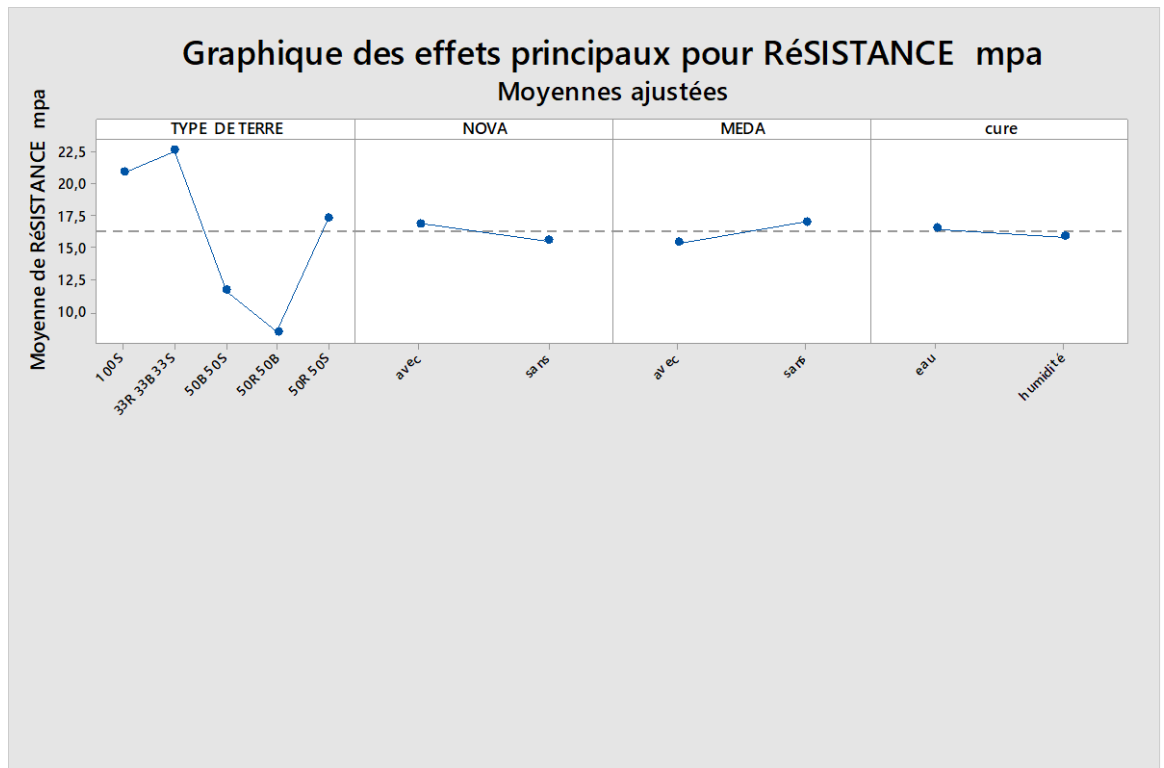
rapport sans adjuvant

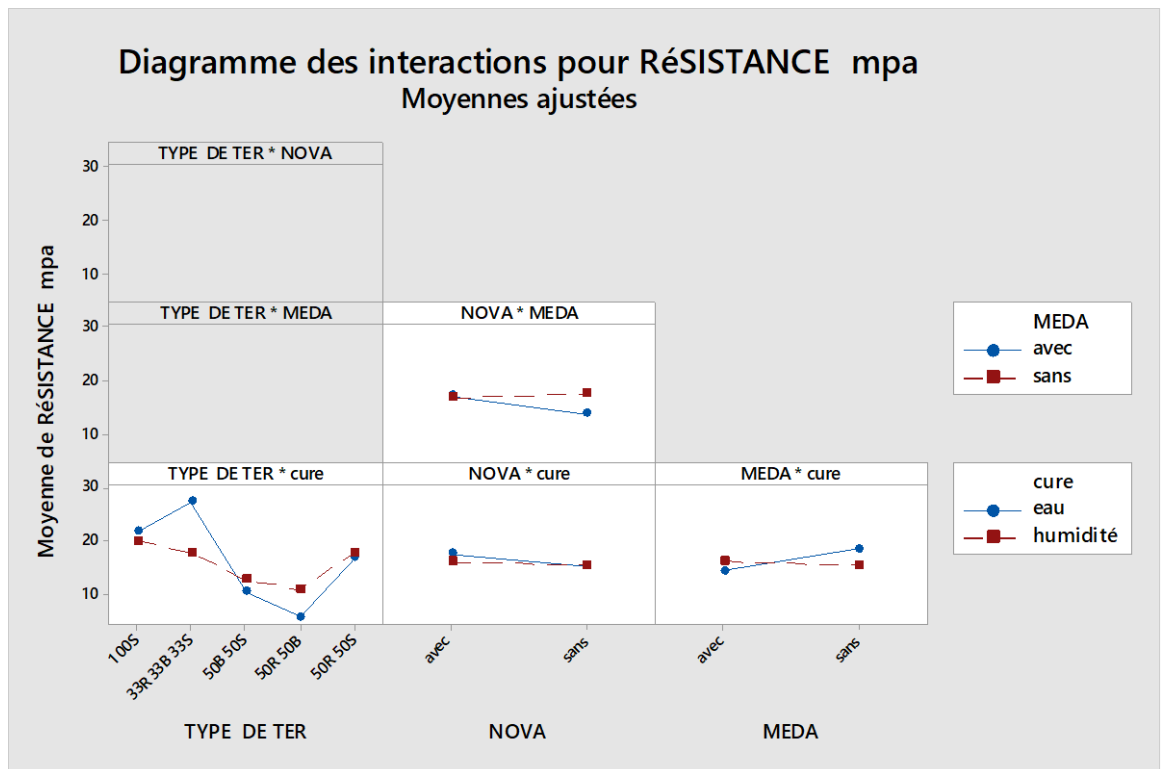
Meda :

Avec l'ajout d'adjuvant Meda le mélange présenté une faible résistance. Meda est un facteur non influent à la résistance du mélange.

Cure :

Le mode de cure en eau ou à l'humidité n'affecte pas une forte résistance de l'échantillon





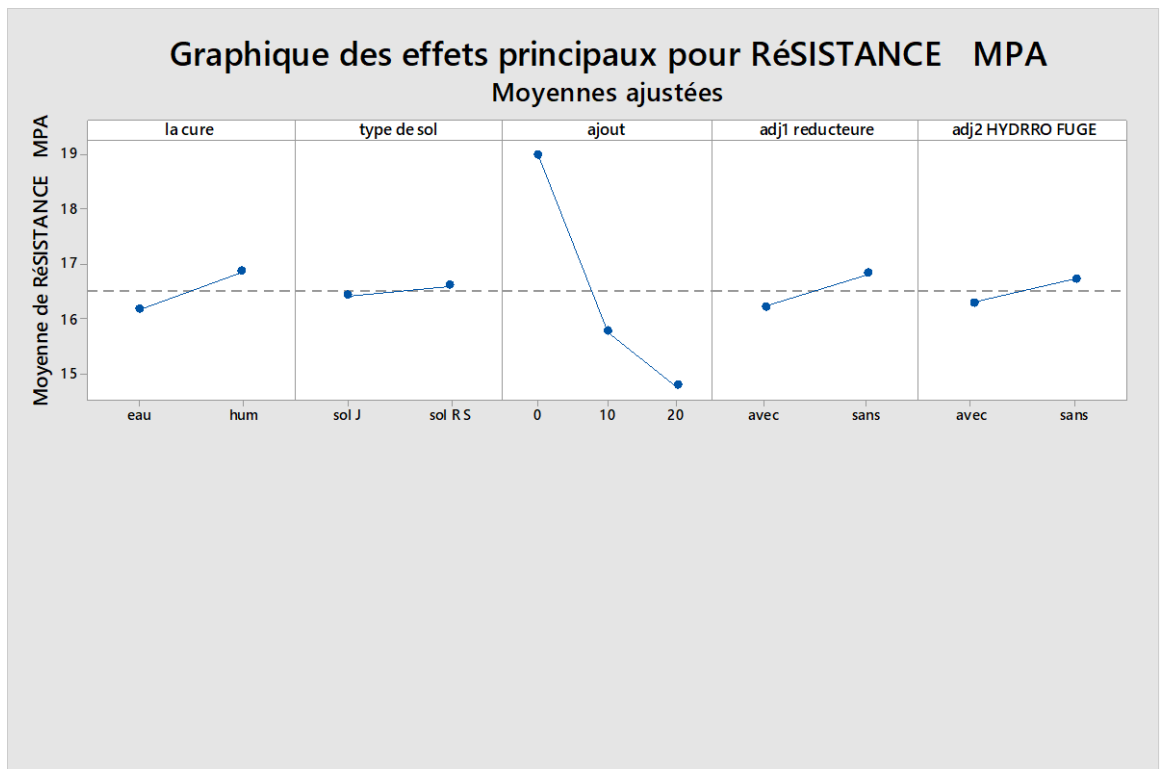
## IV.7. Analyse :

Type de terre +cure :

Le type du mélange 33r33b33s a présenté une très forte résistance eu mode de cure eu eau.

Le type 50r50B a donné une très faible résistance eu mode cure eu eau.

Le type 100s a présenté une forte résistance, contrairement au type 50r50b qui a présenté la plus faible résistance eu humidité.



IV.8.Analyse :

La cure :

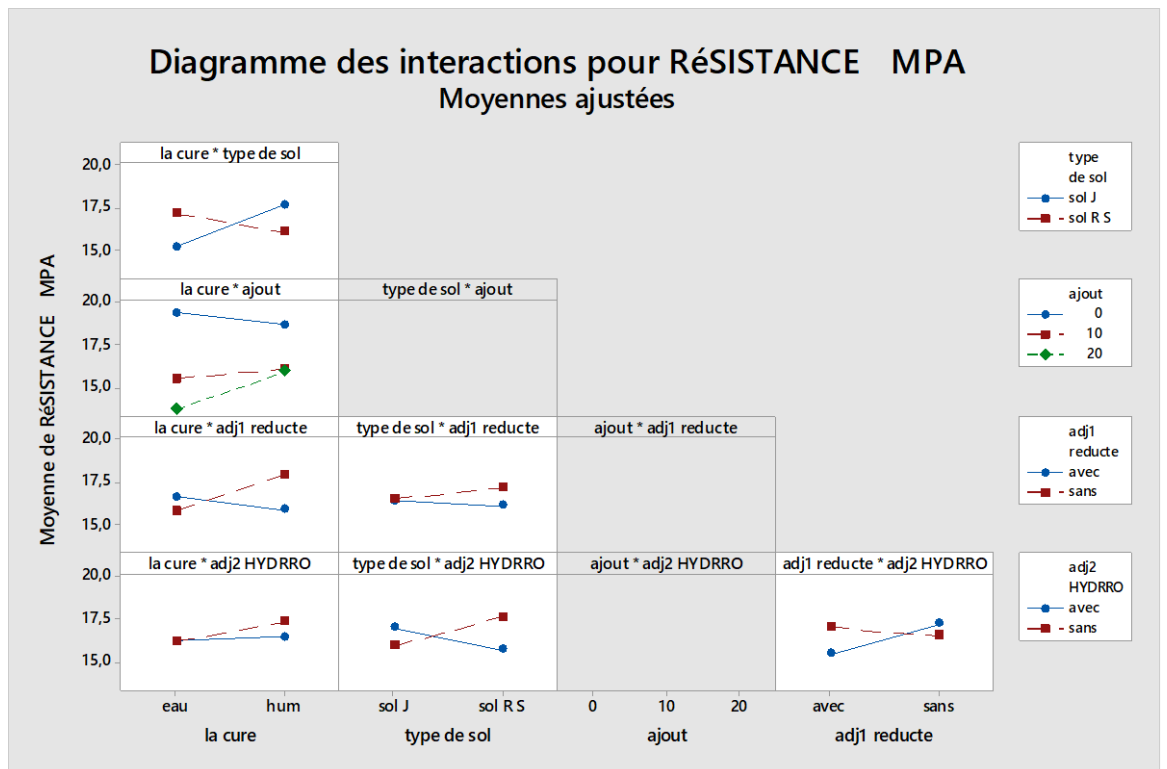
Le mode de cure en humidité affecte une forte résistance aux échantillons par rapport un mode de cure eu eau

Type de sol :

Le type de sol rouge ou sol j présentent la meme résistance

-L'ajout à affecte une forte résistance à 20%

-Les adjuvant 1 ou2 n'affectent absolument pas une forte résistance ou mélange



## IV.9. Analyse :

### -la cure

En mode de cure humidité du mélange sans adjuvant2 a présenté une meilleure résistance c'est un facteur légèrement influent

-En mode de cure une eau avec ou sans adjuvant2 la résistance est constante c'est et un facteur non influent

La cure +adjuvant1

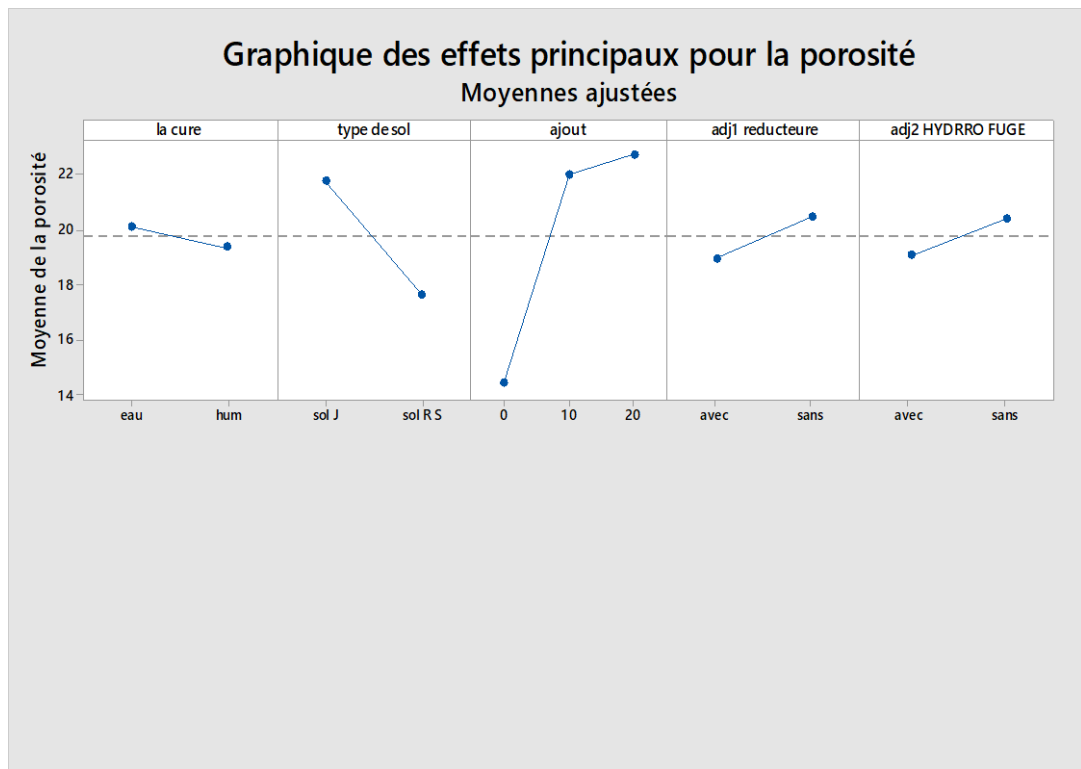
L'ajout d'adjuvant1 en mode de cure (eau+hum) n'affecte pas une forte résistance c'est un facteur non influent

L'ajout n'affecte en aucun cas de mode cure ou de pourcentage de la résistance de l'échantillon

### Cure+type de sol

-le cure en eau pour le sol SR présente une forte résistance

-la cure en humidité influe sur la résistance de mélange en sol Sj



#### IV.10.ANALYSE :

La cure

Le mode de cure à l'humidité affecte une faible porosité

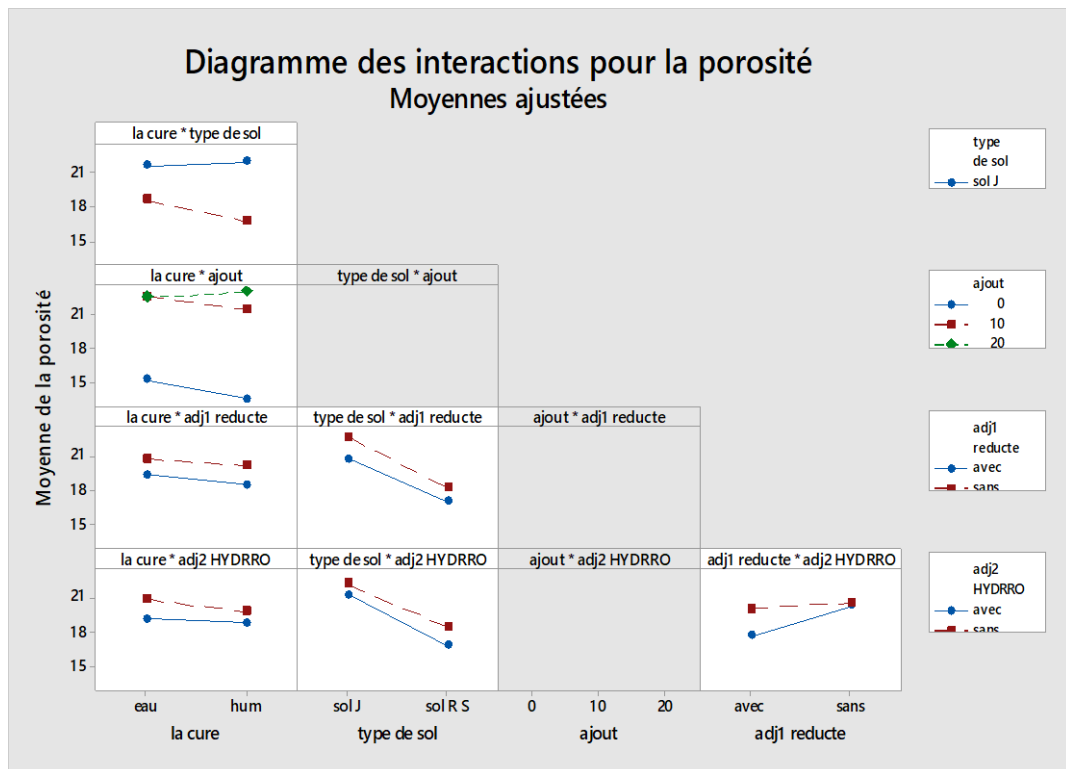
-Type de sol le sol rouge (sol RS) est un facteur influent à la porosité de l'échantillon

-L'ajout à un pourcentage de 0% affecte considérablement à la porosité de

l'échantillon contrairement en au tres pourcentage 10% ou20%

Adjuvant 1et 2

L'utilisation des adjuvant nature 1au 2 n'affectent pas à la porosité de l'échantillon



IV.11.Analyse :

**-La cure +adj2**

En mode de cure en eau on humidité l'adj2 présente une porosité constante

**-La cure+adj redure**

En mode de cure en eau on humidité l'adj redure présente une porosité constante

-la cure +ajout

En mode de cure eau on humidité

**L'utilisation d 'ajout n'affecte pas une faible porosité**

**-Cure +type de sol**

Le sol RS présente une faible porosité en eau au dans l'eau c'est un facteur influent à la porosité de l'échantillon

### IV.12. Conclusion générale

La terre crue est utilisée dans la construction depuis les temps les plus reculés, comme un témoin d'habitat traditionnel en de nombreux points de notre planète, vu son intérêt économique et sa facilité d'exploitation. Après avoir été abandonnée et oubliée avec l'évènement des matériaux de construction industriels, en particulier le béton et l'acier.

Un intérêt croissant est porté à la terre crue en tant qu'éco-matériau de construction pour son caractère local et la faible consommation d'énergie qui caractérise son cycle de vie global.

Le principal but de cette étude est d'améliorer la durabilité de briques de terre crue stabilisé par l'emploi d'une nouvelle procédure de compactage à pression élevée maintenue dans des conditions de cure bien déterminés.

La méthode de plan d'expérience est la méthode de base de notre étude car la théorie des plans d'expérience assure les conditions pour lesquelles on obtient la meilleure précision possible avec le minimum d'essais. On a donc le maximum d'efficacité avec le minimum d'expériences et par conséquent le cout minimum.

Comparée à l'histoire de la construction terrestre, la technologie de la masse terrestre comprimée (CTB) est une technique moderne, une évolution moderne de la masse terrestre moulée, plus communément connue sous le nom de masse laitière. Comparé au yogourt, le BTC est très régulier en forme et en taille et plus dense et a une meilleure résistance à la pression et à l'eau.

Pour améliorer les matériaux et le savoir-faire locaux, des blocs de terre comprimés sont fabriqués après leur installation par le ciment et la chaux.

Notre travail est conçu en 3 tests utilisant le logiciel Mini tab, le premier test a 4 facteurs avec 64 tests, et le second test a 4 facteurs donnant 24 tests avec 5 facteurs donnant 22 tests.

Le but est de produire une brique à faible porosité

Les résultats obtenus ont montré ce qui suit :

- Addition de ciment avec un facteur de porosité élevé
- Le choix du type de boue affecte la valeur poreuse
- L'emploi de l'addition donne une valeur de porosité élevée
- L'utilisation d'adjuvant n'a aucun effet
- La pression des briques joue un rôle important dans la résistance à la pression.

Nous pouvons compléter ce travail avec une recommandation pour étudier la durabilité de ces briques moulées comprimées et stabilisées par des essais humides et secs.

## Référence bibliographique

- (1) Jean Claude benet 3 et François zougmore (2019) Évaluation des propriétés thermo-hydro-mécaniques des briques en terre compressée (BTC) issues de la carrière de Matourkou, au Burkina Faso, article.
- (2) **Ben Ayed H.\*, Limam O., Kallel A (2011)** BETON D'ARGILE : APPLICATION AUX BRIQUES DE TERRE COMPRIMEE, *Tunisie*, article.
- (3) Ouanmini Bobet, Mohamed Seynou, Lamine Zerbo, Halidou Bamogo, Issiaka Sanou, Moustapha Sawadogo(2020) Propriétés mécanique, hydrique et thermique de briques en terre crue amendées aux coques d'arachide, article
- (4) Publié le 20 mai 2015 | Par Martin Dubois
- (5)Ahmed Ali29 août 2021
- (6) Rédigé par des auteurs spécialisés Ooreka
- (7) DELLALI SLIMANE (2019) Formulation et fabrication d'un mortier en terre cure résistant et durable, mémoire master 2
- (8) Hamdoune Abdelhamid (2019) Contribution à la production des blocs de terre, mémoire master 2
- (9) Kouka Amed Jérémy Ouedraogo Le 21 Novembre 2019
- (10) tallah B (2014). Étude du comportement physico –mécanique de bloc de terre comprimée avec fibres.
- (11) CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponibles, Ed CNERIB, 2000, p31
- (12) Zerrouki Ishak (2019) Effet de déchet de brique rouge sur la stabilisation des briques de terre crue, Mémoire de Master
- (13) HABETA FOUZIA et KADDOUR IMANE (2019) L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des mortiers, mémoire master 2
- (14) BOUSSAYOUD Lokman 2020 L'effet des ajouts cimentaires (la fumée de silice et le laitier granulé) Sur les propriétés des Bétons A Hautes Performances
- (15) Herizi Boudjmaa- Achour Mohamed ( 2020) Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier, Mémoire master 2
- (16) ERCE – CTC-Est - GRANITEX LES 2004
- (17) SALHI OKBA AMEUR SMAIL (2021) Etude expérimental de l'effet du rapport G/S sur les propriétés du transfert d'eau dans béton, Mémoire master 2

(18) BOUDALI Sara ( 2018) DURABILITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DE GRANULATS RECYCLES,DOCTORAT

(19)) TP MESSELMY ABDERREZAK

(20)*Sarmouk Farida et Melle Chouiter Halima* (2020) CONSTRUCTION MODERNE EN BRIQUE DE TERRE CRUE STABILISE ET COMPRIME : DISPOSITIONS

QUALITATIVES ETCONSTRUCTIVES Application A Un Cas Pratique : M'sila-Algérie,

Mémoire master2

(21) Khodja Djouhina Guerbas Rania (2019)Effet du type et pourcentage de stabilisation sur la durabilité de la brique de terre crue Mémoire master 2

(22)Tinsson, 2010.

(23)ARIOUA A. et TAHMI(2018) Caractérisation de durabilité de la brique de terre comprimée et stabilisée (BTC) sous l'effet des actions cycliques de mouillage- séchage,

Mémoire master 2

.(24) **Mekkaoui .H (2018)** caractérisation mécanique de le brique de terre comprimée et stabilisée(BTCS) sous l'effet des efforts de compression et de flexion , Mémoire master 2

(25) Diaf Oussama (2018) Valorisation de la brique de terre comprimée et stabilisée par du ciment et de la chaux, Mémoire master 2

# Annexes



NOUVEAU

ALGÉRIE

ملكي  
MALAKI

42,5

50kg

LAFARGE  
لافارج

## Malaki Ciment Blanc 42,5 Ciment Portland au Calcaire ⵍⵔ NA 442 CEM II/B-L 42,5 N

Le ciment Blanc **Malaki** 42,5 est idéal pour Le Béton Blanc, les applications exigeantes en matière de Blancheur et les travaux de maçonnerie d'art .

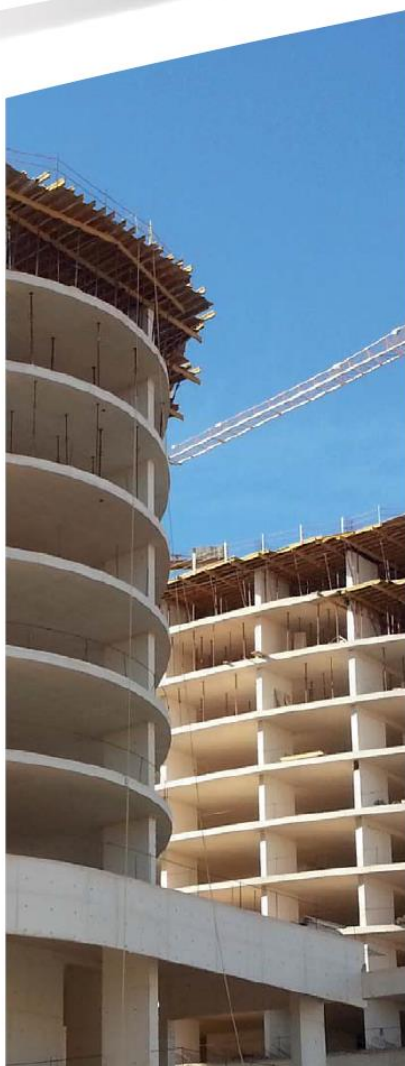
**Malaki**  
ⵍⵔ NA 442 CEMII/B-L 42,5 N

**Malaki** est conforme à la norme Algérienne (NA442 - 2013), Européenne (EN197-1).

### AVANTAGES PRODUIT



- Idéal pour les travaux de maçonneries et de jointement.
- Permet de réaliser des éléments en béton **blanc** avec un niveau de **finitions inégalé**.
- Favorise l'obtention d'une gamme importante de couleurs.
- Adapté pour les structures en béton apparent.









 A member of  
LafargeHolcim

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Maçonnerie d'art .
- Travaux de jointement de carreaux .
- Construction des ouvrages architectoniques, esthétiques, et éléments décoratifs.
- Béton prêt à l'emploi blanc.
- Béton architectonique des parements.
- Béton brut de décoffrage, blanc ou coloré.
- Béton décoratifs: Relief, Sablé, Poli



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable Moyen (sec) 0/4 	Gravillons (sec) 8/15mm 	Gravillons (sec) 15/25mm 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C30/37	X 1 	+ X6 	+ X4,5 	+ X3,5 	+ 25 L

**Remarque: un bidon = 10 Litres**

Cette formule est proposée en l'absence d'une formulation étudiée et délivrée par un laboratoire spécialisé.

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	11,5 ± 1
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2,6 ± 0,6
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	2,5 ± 0,8
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	< 0,1

### • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	54 ± 3
C3A (%)	10 ± 1

### • Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	28 ± 2
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	4500 - 5500
Retrait à 28 jours (µm/m)	≤ 1 000
Blancheur (Y)	85 ± 2

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150 ± 40
Fin de prise (min)	210 ± 40

### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 19
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Ces données sont communiquées à titre informatif et sont susceptibles d'être modifiées en fonction des paramètres de production.

Conditionnement: Sac, Vrac

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

**1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU :** Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

**2- MANUTENTION :** Levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



**L** A member of  
**LafargeHolcim**

## CONSEILS DE STOCKAGE

- Dans un endroit couvert.
- Ne pas entreposer directement au sol.

### LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,  
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.  
tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tél: 021 98 55 55

**LAFARGE**  
لافارج

Avril 2019

# MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

## Description

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

## Domaines D'application

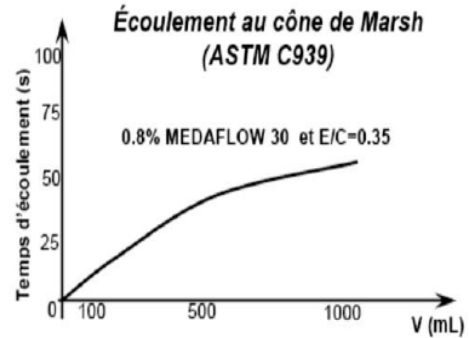
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

## Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



## Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

## Caractéristique

- Aspect .....Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1, 07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec ..... 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granl  
فرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



# MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

**Super plastifiant-haut réducteur d'eau**

## Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le **MEDAFLOW 30** peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le **MEDAFLOW 30** à un béton qui ne soit pas trop ferme

### **Dosage :**

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

## Conditionnement Et Stockage

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg.

### **Délai de conservation :**

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ( $5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$ ).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

## Précautions D'emploi

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

**NB** : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en 22 AVR 2012

*Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour.il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



**Granitex**  
قرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

[www.granitex.dz](http://www.granitex.dz) - E-mail: [granitex@granitex.dz](mailto:granitex@granitex.dz)



## NOVA FUGE LIQUID

### Hydrofuge de masse pour béton et mortier

Conforme à la norme EN 934-2 : T1 ; TAB 9.TAB 2 / NA 774

**DESCRIPTION** NOVA FUGE LIQUID est un adjuvant liquide prêt à l'emploi permettant de diminuer le taux d'absorption d'eau des bétons et mortiers. Il est compatible avec tous les ciments.

**MODE D'EMPLOI** Le NOVA FUGE LIQUID doit être ajouté après avoir introduit les autres composants (ciment, sable, agrégats)  
L'action de NOVA FUGE LIQUID est optimale si le ciment et les agrégats sont déjà mouillés au moins 50 à 70% avec l'eau de gâchage.

**DOMAINES D'UTILISATION** Le NOVA FUGE LIQUID est un hydrofuge de masse destiné pour :

**L'imperméabilisation :**

- Mortiers de façade exposée aux pluies battantes
- Pose et jointement de maçonnerie
- Chape d'arase de fondation

**Etanchéité des ouvrages :**

- Béton de fondation au-dessus de la nappe de préfabriqué
- Béton enterré
- Béton pour réservoir et bassin canalisations, tunnels, barrages, airs de lavages
- Cuvelage

**DONNEES TECHNIQUES**

État physique à 20 °C :	liquide
Couleur :	marron
Densité :	1.08 ± 0.02
PH	7-8
Teneur en chlore	< 1G/L

**PROPRIETES** Les bétons sans adjuvant présentent une structure non homogène, la cause de l'infiltration d'eau par capillarité qui engendre la corrosion des armatures  
Le NOVA FUGE LIQUID se combine avec la chaux libre du ciment, cette dernière forme des cristaux qui comblent les vides interstitiels du béton. Il élimine ainsi les infiltrations des eaux. Parmi ses effets :

**Sur le béton frais :**

- Amélioration de la fluidité du béton
- Diminution du rapport Eau/Ciment
- Réduction de ressuage

**Sur les bétons durcis**

- Imperméabilisation des bétons
- Elimination des remontées capillaires
- Amélioration de la résistance et la durabilité

---

**CARACTERISTIQUES**    **Plage de dosage recommandée** : est de 0.2 à 1.2% de poids de ciment  
NOVA FUGE LIQUID peut être combiné avec le NOVA SUPERFLOW, NOVA SUPERFLOW E200 ainsi que le NOVA PLAST 117 après avoir effectué des essais.

**Conditionnement** : Jerrican de 5 et 11 kg  
Futs de 215 kg  
IBC 1100 kg

---

**RECOMMANDATIONS**

- Porter des gants, des vêtements et des lunettes de protection.
- Pour une parfaite application, le produit doit être utilisé impérativement lorsque la température de l'air et des supports est comprise entre 5°C et 35°C.

---

**PRECAUTIONS D'EMPLOI ET DE STOCKAGE**

**NOVA FUGE LIQUID** est un produit qui se conserve un an dans son emballage d'origine à l'abri du gel, de la chaleur et de l'humidité.

- Stockage dans un lieu sec et aéré.
- Tenir éloigné des enfants.

*Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées non seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences sur terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée.*