



Année Universitaire : 2014-2015



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude du comportement mécanique des marnes Au cours de la cuisson

Présenté par:

Safouane HMAMOUCHI

Encadré par:

-Pr. Raouf JABRANE, FST-Fès
- Dr Laila MESRAR, FST - Fès

Soutenu le 25 juin 2015 devant le jury composé de:

- **Pr. Raouf JABRANE**
- **Dr. Laila MESRAR**
- **Pr. Abdelkader EL GAROUANI**
- **Pr. Naoual Rais**

Stage effectué à : laboratoire de Géo-ressources et Environnement(GE), FST Fès

DÉDICACES

A nos parents

A nos frères et sœurs

A nos cousins et cousines

A notre famille

A tous nos amis

A toute la promotion en **HYDROLOGIE DE SURFACE ET QUALITES DES**

EAUX (HSQE) à la FST

A tous ceux qui nous sont chers

Je dédie ce modeste travail

Remerciements

Ce manuscrit ne serait pas ce qu'il est sans la collaboration, l'aide et le soutien de nombreuses personnes. il m'a permis de vivre une expérience très enrichissante au niveau professionnel et humain.

Je voudrais tout d'abord remercier Monsieur le professeur **Raouf JABRANE**, mon encadrant qu'est à l'origine de ce travail. C'est un honneur pour travailler avec lui et je ne peux qu'admirer son talent. je suis infiniment reconnaissant non seulement parce qu'il a accepté de me prendre en projet de fin d'étude, mais aussi parce qu'il a partagé ses idées avec moi, il a dirigé mon projet avec beaucoup de patience et il a dédié beaucoup de temps à mon travail en étant toujours très disponible et en venant me chercher très souvent pour que l'on discute, ce qui m'a énormément en courage.

Je tiens à remercier également **Madame .MESRAR Laila** pour son encadrement, son suivi et ses conseils avisés.

Je remercie toute l'équipe du Laboratoire de **Géo-ressources et Environnement (GE)** à la faculté de sciences et techniques de Fès au sein duquel s'est effectué ce travail.

je tiens à remercier aussi Monsieur **Abdelhamid Taouche** professeur à la Faculté des Sciences et techniques de Fès de m'avoir autorisé à continuer mes travaux au sein du Laboratoire de **Résistance des matériaux (RDM)**.

Je suis très reconnaissant de l'honneur que madame, **Naoual RAJSS** professeur à la faculté des sciences et technique, Monsieur **Abdelkader EL GAROUANI** professeur à la faculté des sciences et technique pour avoir accepté, en qualité de membre de jury, porter un jugement sur ce travail.

Merci!



<u>Introduction:</u>	1
<u>Objectif et choix du terrain:</u>	1
<u>Méthode d'échantillonnage.</u>	2
<u>Chapitre I: Présentation de la zone d'étude & Méthodes.</u>	2
<u>De caractérisation</u>	2
<u>I.1.Présentation de la Zone d'étude</u>	2
<u>I.1.1.Cadre géographique.</u>	2
<u>I.1.2.Cadre géologique et Lithostratigraphique.</u>	3
<u>I.1.2.1. Géologie et lithostratigraphie de la Plaine Saïs</u>	4
<u>I.1.2.2. Géologie et lithostratigraphie de Koudiat Ben Jallik.</u>	7
<u>I.1.3.Contexte climatique.</u>	10
<u>I.1.3.1.Précipitation</u>	10
<u>I.1.3.1.1.La variabilité interannuelle des précipitations</u>	10
<u>I.1.3.1.2. La variabilité mensuelle des précipitations</u>	11
<u>I.1.3.2.Température</u>	12
<u>I.1.3.2.1.Régime interannuelles</u>	12
<u>I.1.3.2.2. Température intra annuelle</u>	12
<u>I.2 Matériels et Méthodologies du travail.</u>	14
<u>I.2.1.Préparation des échantillons</u>	14
<u>I.2.2.Méthode de caractérisation structurale : Diffraction du rayon X.</u>	14
<u>I.2.2.1.Objectif</u>	14
<u>I.2.2.2.Principe</u>	14
<u>I.2.2.3.Préparation des échantillons</u>	14
<u>I.2.2.4.Résultats</u>	15
<u>I.2.3.Confection des briquettes</u>	15
<u>I.2.4.Caractérisations Technologiques</u>	15
<u>II.2.4.1.Séchage à l'air libre</u>	15
<u>II.2.4.2.Séchage à l'étuve</u>	15
<u>II.2.4.3.Cuissons des briquettes</u>	15
<u>II.2.4.4.Mesure de retrait et Poids</u>	16
<u>II.2.4.5.Couleur après cuisson</u>	16
<u>I.2.5.Méthodes de caractérisations mécaniques</u>	17
<u>I.2.5.1.Essai de flexion à trois points</u>	17

<u>I.2.5.2.essai de compression</u>	17
<u>Chapitre II : Résultats et Perspectives</u>	19
<u>II.1 Caractérisations Technologiques</u>	19
<u>II.1.1.Séchage à l'aire libre</u>	19
<u>II.1.1.1.Retrait</u>	19
<u>II.1.1.2.Perte de Poids</u>	20
<u>II.1.2.Effet de la cuisson</u>	21
<u>II.1.2.1.Retrait</u>	21
<u>II.1.2.2.Perte de Poids</u>	22
<u>II.1.2.3.La couleur</u>	23
<u>II.2. Caractérisation mécanique</u>	25
<u>II.2.1.Essai de Compression</u>	25
<u>II.2.1.1. L'évolution de la résistance à la compression en fonction de température de calcination.</u>	25
<u>II.2.1.2. Résistance à la compression à différents températures de cuisson.</u>	29
<u>II.2.2.Essais de Flexion</u>	33
<u>Conclusion générale</u>	37
<u>Références bibliographiques</u>	38

Liste des figures

Figure I.1 : Cartes de localisation de la zone d'étude (Carrière de Ben Jallik).....	3
Figure I.2 : Domaines structuraux du nord du Maroc.....	5
Figure I.3 : Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin de Saïss (In Mesrar .L, 2013).....	7
Figure I.4 : Carte Géologique de Koudiat ben Jallik. (d'après M. Charai et M. Charroud , 2004).....	9
Figure I.5 : Colonne litho stratigraphique synthétique au niveau de la carrière de Ben Jallik (L.Chojaa, 2009).....	10
Figure I.6 : Précipitations moyennes annuelles de la période de 1978 à 2013(DRH Fès).....	11
Figure I.7 : Précipitation moyennes mensuelles (Station DRH Fès).....	12
Figure I.8 : Les températures moyennes annuelles.....	13
Figure I.9 : Température moyenne mensuelle : 1978/2001.....	14
Figure I.10 : Méthode manuelle de quartage, méthode du cône.....	15
Figure I.11 : test flexion à trois points.....	18
Figure II.1 : Evolution du retrait en fonction de temps (jours).....	20
Figure II.2 : Evolution du de la perte de poids au cours du séchage à l'air libre.....	23
Figure II.3 : Evolution du retrait en fonction de la température de cuisson des trois échantillons.....	24
Figure II.4 : Evolution du de la perte de poids au cours de la cuisson à différents température.....	25
Figure II.5 : Résistance à la compression pour le Premier échantillon à différents températures de cuisson.....	29
Figure II.6 : Résistance à la compression pour le Deuxième échantillon à différents températures de cuisson.....	30
Figure II.7 : Résistance à la compression pour le troisième échantillon à différents températures de cuisson.....	31
Figure II.8 : Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=700°C.....	32
Figure II.9 : Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=750°C.....	32
Figure II.10 : Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=800°C.....	33
Figure II.11 : Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=850°C.....	33
Figure II.12 : Relation Effort(N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=900°C.....	34
Figure II.13 : Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=950°C.....	34
Figure II.14 : Résistance à la flexion du premier échantillon (Ech I) à différents température de cuisson.....	37

Figure II.15: Résistance à la flexion du premier échantillon (Ech II) à différents températures de cuisson.....	38
Figure II.16 : Résistance à la flexion du Troisième échantillon (Ech III) à différents températures de cuisson.....	39

Liste des Photos

Photo I.1: Vue rapprochée montrant la marne grise finement compacte de Kodiak Ben Jallik.....	10
Photo I.2 : Une machine d'essais électromécanique EM550, de capacité 50 kN.....	20
Photo I.3 : Cylindres cuits à différents température avant la compression.....	20
Photo II.1 : Couleurs des briquettes d'échantillon I après cuisson à différentes températures.....	27
Photo II.2 : Couleurs des briquettes d'échantillon II après cuisson à différentes températures.....	27
Photo II.3 : Couleurs des briquettes d'échantillon III après cuisson à différentes température.....	27

Introduction:

La présente étude est focalisée sur la valorisation de la marne du Miocène dans une perspective de développement local durable. Elle a l'avantage de contribuer à la promotion des matériaux locaux de construction tout en améliorant la qualité des matériaux produits. Les sédiments utilisés dans cette étude proviennent de la région de Fès (Koudiat Ben Jaliik) utilisés à l'échelle nationale dans la fabrication poterie traditionnelle et du zellige. Dans le cadre de ce travail, nous avons procédé à une caractérisation minéralogique, technologiques et mécanique de ces marnes au cours de la cuisson afin de comprendre certaines transformation minéralogique au cours des cuissons, et leurs relations avec le caractère mécanique de ces matériaux. Ainsi Leurs potentialités en industrie des briques et céramique.

Objectif et choix du terrain:

Les marnes constituent avec les argiles la majorité des substrats qui affleurent dans le sillon sud rifain, Situé dans la partie Est de Fès, l'affleurement se localise au niveau de la Carrière de Ben Jallik.

Cette formation miocène est caractérisée par sa grande homogénéité lithologique et par son épaisseur qui atteint parfois 1000 mètres, ce qui offre un bon domaine de recherche et d'étude.

Ce mémoire a pour objectif :

- Réaliser une étude technologique ;
- Caractériser l'évolution minéralogique des marnes brut et à différents température de cuisson ;
- Identifier la température de cuisson qui donne la meilleure Résistance mécanique ;

Enfin fournir un document d'aide à la décision de domaine d'utilisation de ces marnes dans les géo matériaux.

Méthode d'échantillonnage

Dans le but de situer géographiquement et géologiquement la région étudiée, à savoir la nature, les épaisseurs et l'âge du terrain qui la constitue et le domaine d'échantillonnage, une étude préliminaire détaillée a été réalisée : consultation des cartes géologiques, topographiqueetc.

Trois échantillons ont été prélevés des marnes de la séquence miocène qui affleure au niveau de la carrière de Ben Jallik. Ces échantillons qui sont destinés aux études technologiques, mécaniques et surtout minéralogique nécessitent des quantités importantes (plus de 30 kg pour chaque échantillon).

Secteur d'échantillonnages	Coordonnées (WGS84)	Echantillons	Niveau litho stratigraphique
Carrière de Ben Jallik	34°02'18,2" 4°56'49,1"	ECH I : Jaune	Miocène sup
	34°02'16,9" 4°56'53,2"	ECH II : Bleue Foncé	Miocène Sup
	34°02'14,8" 4°56'56,9"	ECH III : Bleue Clair	Miocène Sup

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude &

Méthodes De caractérisation

I.1.Présentation de la Zone d'étude

I.1.1.Cadre géographique

La zone d'étude est Kodiât ben Jallik (Fig.I.1) fait partie de la plaine de Saïs, elle est limitée au nord par le rif et la chaîne du moyen atlas au sud, les coordonnées géographiques de Lambert sont : Latitude= $34^{\circ}02'14,8''$ et

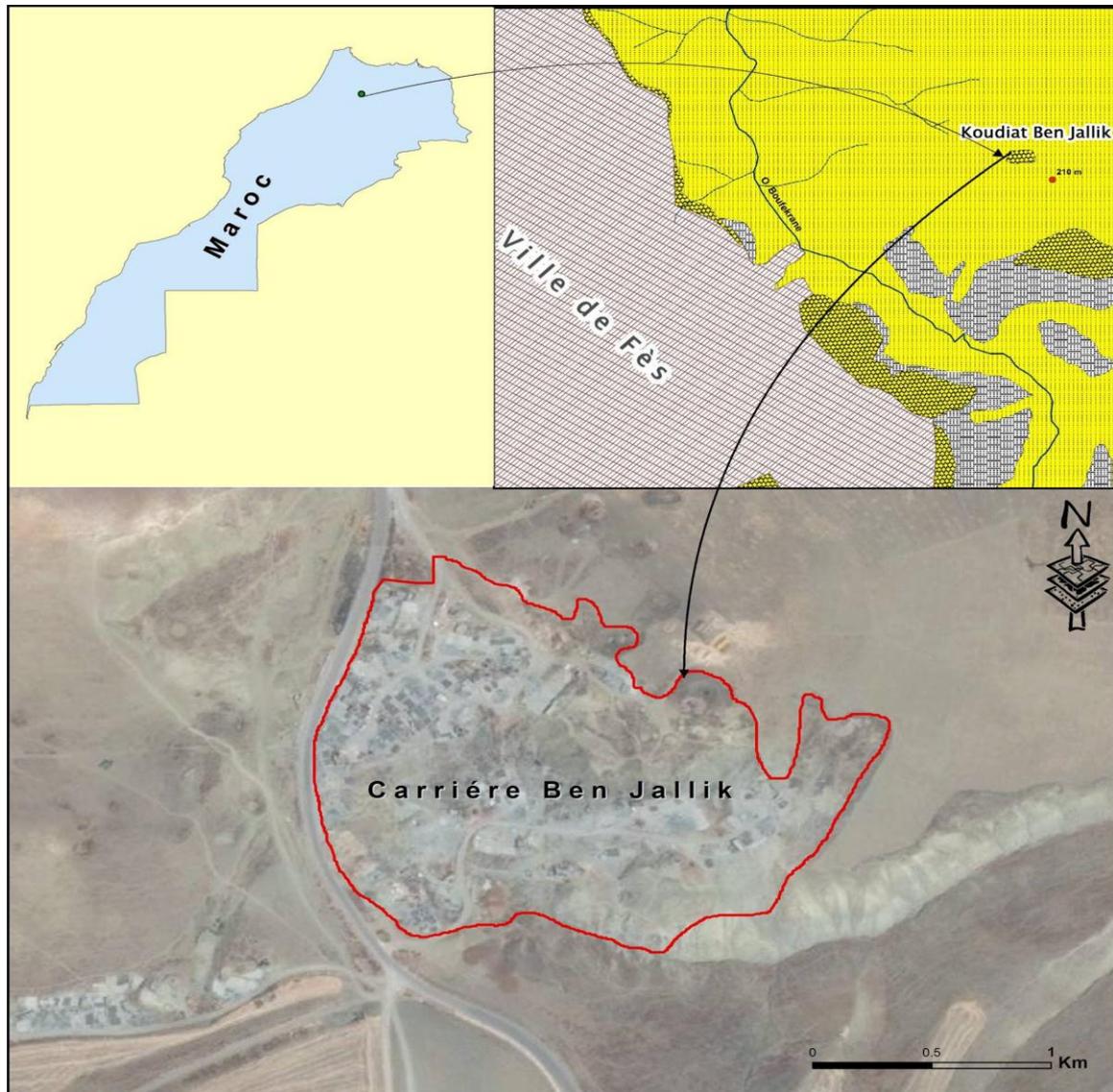


Figure I.1 : Cartes de localisation de la zone d'étude (Carrière de Ben Jallik)

Longitude= $4^{\circ}56'56,9''$.

I.1.2.Cadre géologique et Lithostratigraphique

Kodiât ben Jallik fait partie de la plaine de Saïs, elle est encadrée par deux unités structurales qui sont le rif au nord et la chaîne du moyen atlas au sud. Dans la première partie on va présenter d'une manière générale la géologie de la plaine de Saïs après on va traiter dans deuxième partie la géologie de notre zone d'étude d'une manière plus précise.

I.1.2.1. Géologie et lithostratigraphie de la Plaine Saïs

La plaine de Saïs est une dépression orientée généralement E-W. Il est bordé par trois ensembles structuraux majeurs :

- Domaine atlasique au Sud
- Domaine mésétien à l'Ouest
- Domaine rifain au Nord

▪ **Domaine rifain**

Le domaine rifain se présente à l'extrême nord du Maroc sous forme d'arc bordant la côte sud de la méditerranée. Il est subdivisé en trois grandes parties du nord vers le sud ; la zone interne, le domaine des nappes de flyschs et le domaine externe. Ce dernier est présenté par deux sous unités:

▪ **Zone prériefaine:**

Comporte essentiellement des faciès marneux. Le prérief externe se présente sous forme de nappes de charriages « olistostromes » dont la complexité géologique ne permet pas d'y établir une succession stratigraphique continue et complète.

▪ **Les Rides sud rifains :**

Elles sont définies par FAUGERES (1978) comme des reliefs ou rides constitués de terrains jurassiques, qui dominent vers le nord la dépression du Saïss. FAUGERES a distingué deux ensembles :

- un ensemble occidental constitué de quatre Rides principales (Jbel Bou Draa, Jbel Outita, Jbel Ari Khaloua et Jbel Kefs) ;

- un ensemble oriental formé par le massif de Moulay Idriss, J. Zerhoun et J. Nesrani ; plus à l'est, se situent deux autres rides isolées isolées sont : le Jbel Tghat et Zalagh.

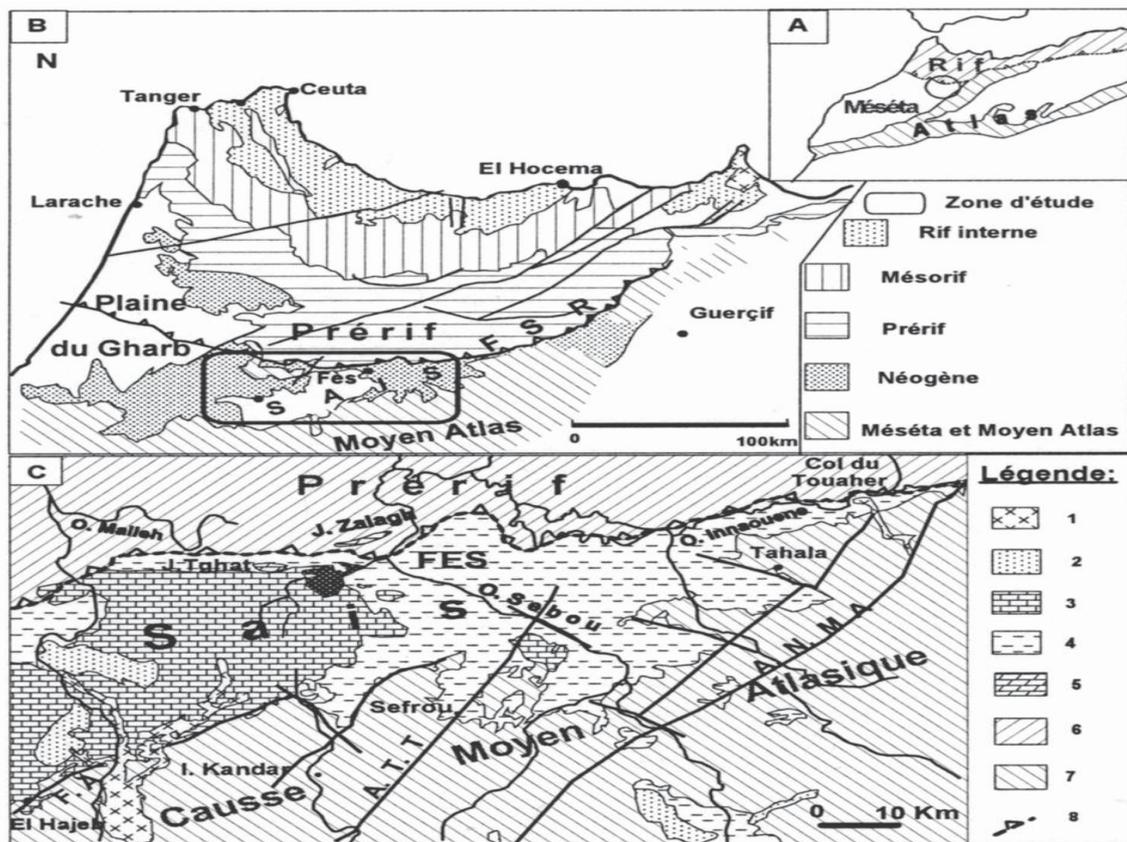


Figure I.2: Domaines structuraux du nord du Maroc, (B) : Esquisse structurale de la partie nord du Maroc, (C) : Esquisse géologique simplifiée de la partie orientale du Saïss : la plaine de Fès et ses bordures atlasiques et rifaines (Charroud et al., 2007). 1 : basalte du Quaternaire ; 2 : marnes sableuses du Pliocène inférieur et moyen ; 3 : conglomérats et calcaires du Pliocène supérieur ; 4 : marnes du Miocène supérieur ; 5 : Rides prérifaines ; 6 : Prérif ; 7 : Moyen Atlas ; 8 : Front sud-rifain(FSR);F.A:faille d'Adarouch;A.T .T :Accident de Tizin'Tretten;A.N.M.A: Accident Nord Moyen Atlasique.

Litho stratigraphie

Par sa position entre deux domaines structuraux très différents, le Moyen Atlas au Sud et le domaine rifain au Nord, la plaine de Saïss a fait l'objet de nombreuses études qui ont porté, essentiellement, sur la litho stratigraphie de ces formations.

- **Le Paléozoïque**

Il n'affleure qu'au sud de plateau de Meknès (entre El Hajeb et Agourai), il est représenté par des schistes bruns et fins à intercalations gréseuses en bancs épais.

- **Le Mésozoïque**

Les formations mésozoïques n'affleurent que dans les extrémités de la plaine, soit au Moyen Atlas soit au niveau des rides sud Rifaines.

- **Le Trias**

Affleure aussi à la bordure Sud-ouest du bassin. Il est constitué essentiellement par des argiles salifères et gypsifères. On distingue entre les argiles inférieures et les argiles supérieures, par rapport aux basaltes doléritiques et tholeitiques qui les intercalent, d'où on distingue entre les argiles inférieurs et les argiles supérieurs.

- **Le Lias**

On distingue :

- le Lias inférieur (Lotharigien) constitué de dolomies massives.
- le Lias moyen (Domérien et Carixien) formé par des calcaires et des calcaires dolomitiques.
- le Lias supérieur composé d'une série litée marno-calcaire qui disparaît souvent en profondeur vers le sud.

- **Le Cénozoïque**

- **Le Miocène**

Les dépôts miocènes surmontent de manière discordante le Lias. Cette discordance est marquée par l'absence de dépôts d'âge jurassique moyen à Oligocène. L'épaisseur de la série miocène augmente progressivement vers le nord pour atteindre les 1000 m dans la bordure nord de la plaine de Saiss.

- **Le Pliocène**

- **Pliocène marin**

Il est constitué par des grès jaunes et des sables, le contact de ces dernières avec les marnes bleues du Tortonien représente le contact entre les terrains aquifères contenant la nappe phréatique et les terrains imperméables formant le mur de cette nappe.

- **Le Quaternaire**

Le quaternaire est représenté par divers dépôts : basaltes, éboulis, travertins, croûtes calcaires, dépôts marécageux et alluvions. L'épaisseur de ces dépôts est faible mais variable. Il ne dépasse généralement pas 100m mais elle peut atteindre 120m dans les zones marécageuses de l'étang de Douyet. (Sendide, 2000).

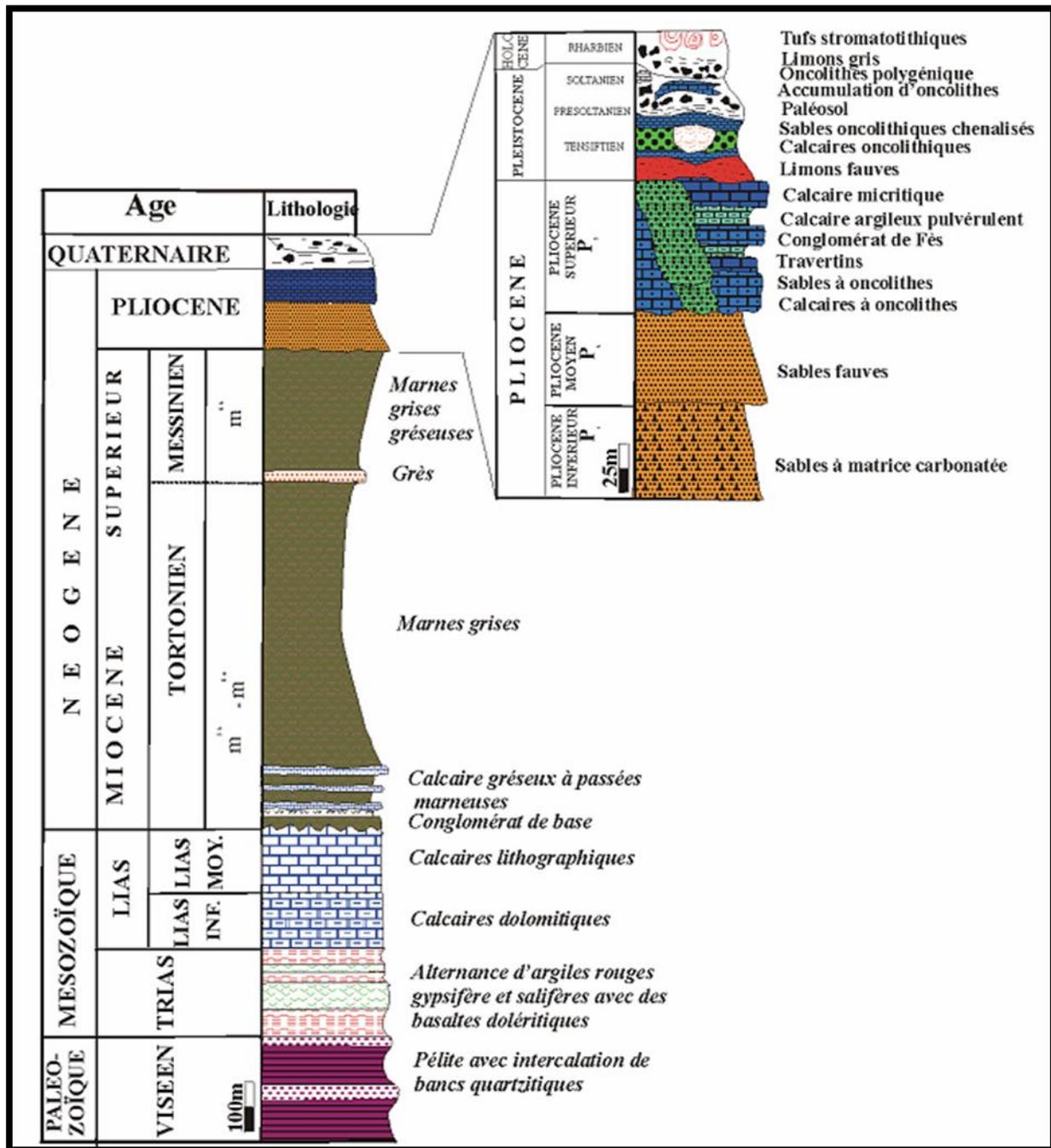


Figure I.1: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin de Saïss (In Mesrar .L, 2013)

I.1.2.2. Géologie et lithostratigraphie de Koudiat Ben Jallik

La région de Koudiat Ben Jallik est située à l'extrémité orientale de la plaine de Saïss, elle appartient au complexe marneux préifain surmontée par la nappe d'Ouezzane.

Le substratum est représenté par des marnes bleues d'âge miocène, ce sont des dépôts marins transgressifs sur les terrains carbonatés d'âge jurassique. Ces marnes présentent une tranche supérieure jaunâtre résultant de l'altération.

D'une manière plus approfondi Les marnes grises ou bleues de Koudiat Ben Jallik , attribuées au Tortonien, forment une puissante série monotone et d'une grande homogénéité lithologique atteignant à Fès près de 1 000 m. La base de la série est constituée par des faciès transgressifs (sables plus ou moins consolidés passant à des grès compacts, calcaires sableux localement cristallins, conglomérats) pouvant passer latéralement ou verticalement aux marnes bleues du Tortonien, situées normalement au-dessus.

Les marnes bleues sont très compactes et présentent des traces de stratification. Elles sont souvent affectées par au moins trois familles de diaclases verticales, obliques .Ces marnes constituent le substratum régional de toute la région et appariassent localement dans les collines de Koudiat Ben Jallik Cette marne se distingue par sa couleur grise ou bleue. Les couches superficielles de celle-ci sont généralement altérées et prennent la couleur jaunâtre.

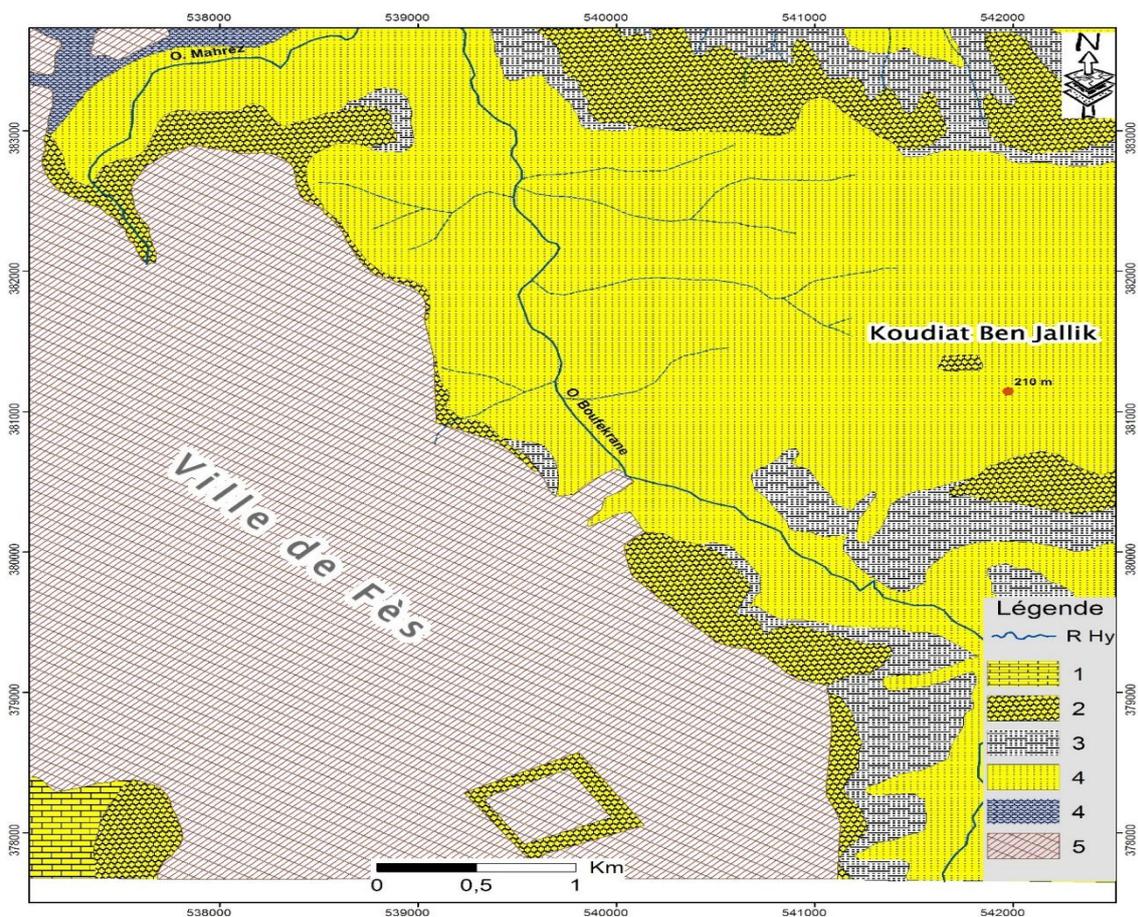


Figure I.2: R Hy: réseau hydrographique, 1 : limons et Argiles (Quaternaire), 2 : Conglomérats (Pliocène .Sup), 3 : Glacis terrasses (Quaternaire), 4 : Marnes bleues de Fès (Miocène. Sup), 5 : Terrace de L'oued Sebou(Quaternaire), 6 : Ville de Fès. (d'après M. Charai et M.Charroud , 2004).



Photo I.1: Vue rapprochée montrant la marne grise finement compacte de Kodiat Ben Jallik.

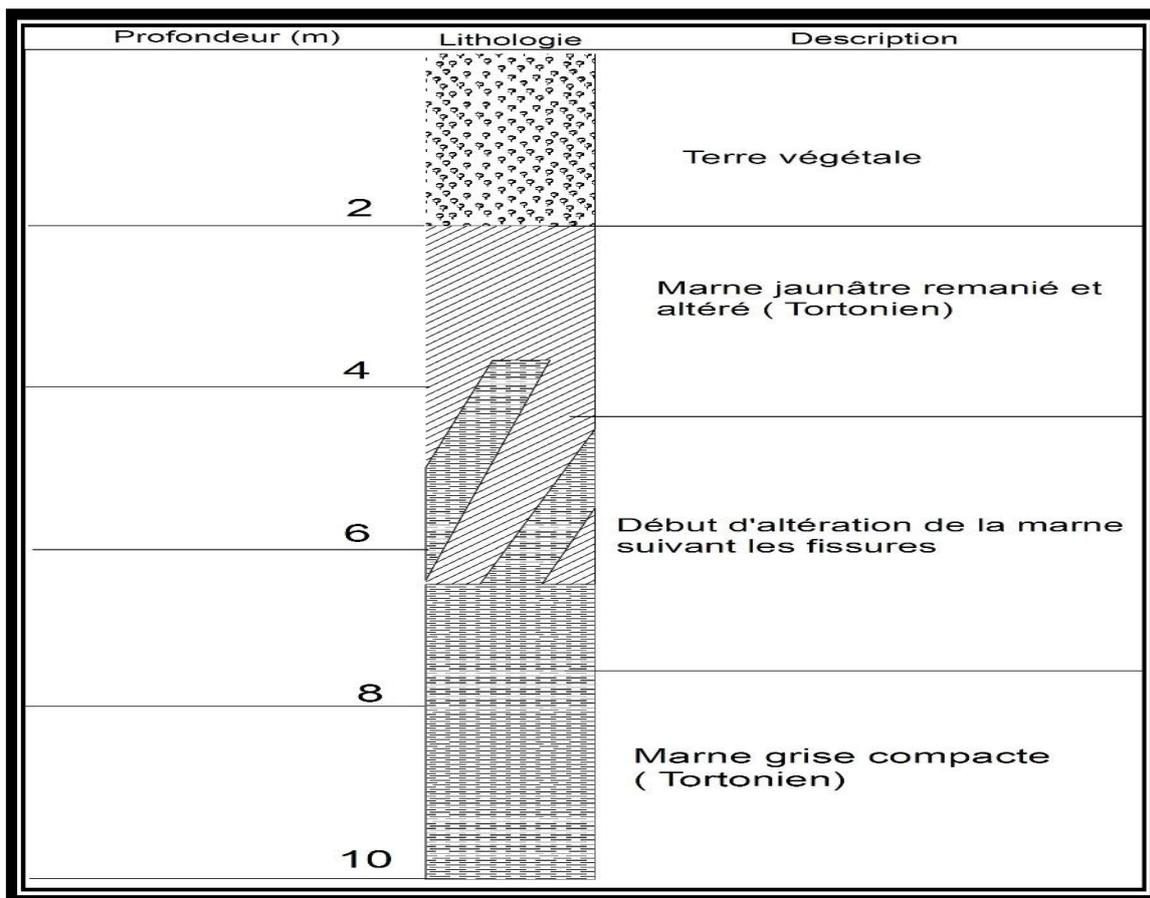


Figure I.3: Colonne litho stratigraphique synthétique au niveau de la carrière de Ben Jallik (L.Chojaa, 2009)

I.1.3. Contexe climatique

L'identification des caractéristiques climatiques de Koudiat Ben Jallik est d'une importance primordiale, vu son influence directe sur les cycles hydrologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude, et de point de vue vulnérabilité.

Pour cette étude, on dispose seulement des données disponibles de la station DRH Fès des précipitations (1978/2013), température (1978/2001) de la station Fès Saïs.

- Station DRH Fès : X =53540 m ;Y=38480; Z=415
- Station Fès Saïs : X=53990 ; Y=39640 ; Z=56900

I.1.3.1. Précipitation

I.1.3.1.1. La variabilité interannuelle des précipitations

Pour la station de DRH Fès, les précipitations moyennes annuelles, pendant une série de 35 ans est de 416,5mm. L'année (2009-2010) a connu la pluviosité maximale (838 mm), tandis que l'année (94-95) a enregistré la valeur minimale (181mm) (Fig. I.6). La comparaison entre les années extrêmes de la pluviométrie montre une ampleur très épaisse entre les lames d'eau tombées en période hivernale (jusqu'à 132 mm de différence entre la P_{max} et P_{min} au mois de décembre au niveau de

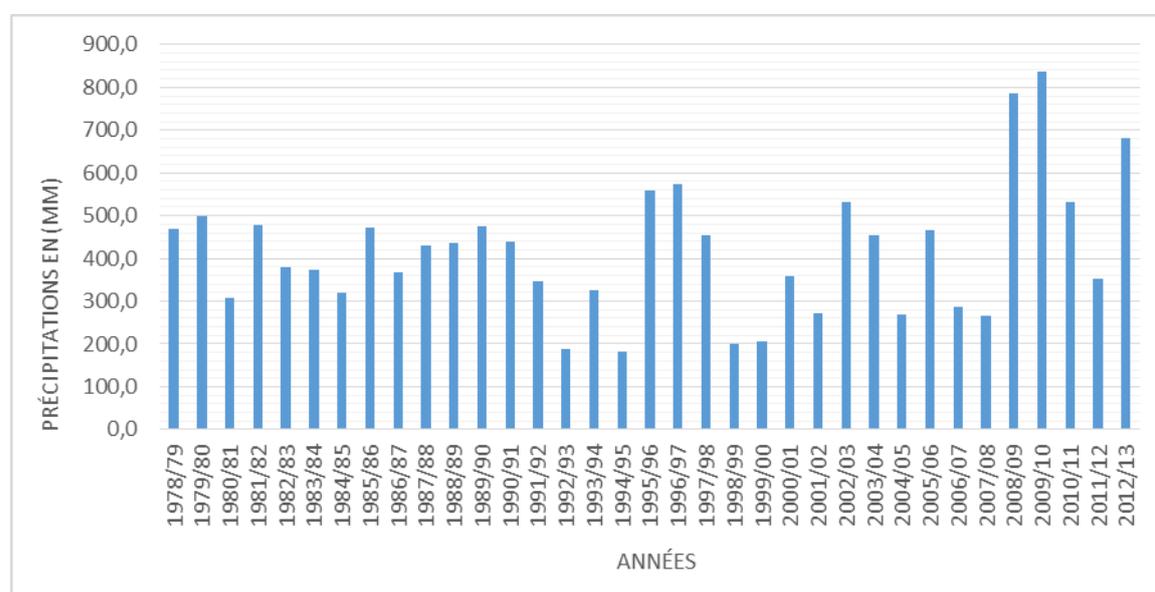


Figure I.6 : Précipitations moyennes annuelles de la période de 1978 à 2013(DRH Fès) la station de DRH.

I.1.3.1.2. La variabilité mensuelle des précipitations

Pour cette station (DRH Fès), le régime des précipitations est méditerranéen typique. On y retrouve la succession des mois humides et d'autres presque à sec. À l'échelle de cette station, les mois les plus pluvieux sont: novembre, décembre, janvier et avril alors que les mois de juin, juillet et août enregistrent les faibles valeurs des précipitations (Fig. I.7).

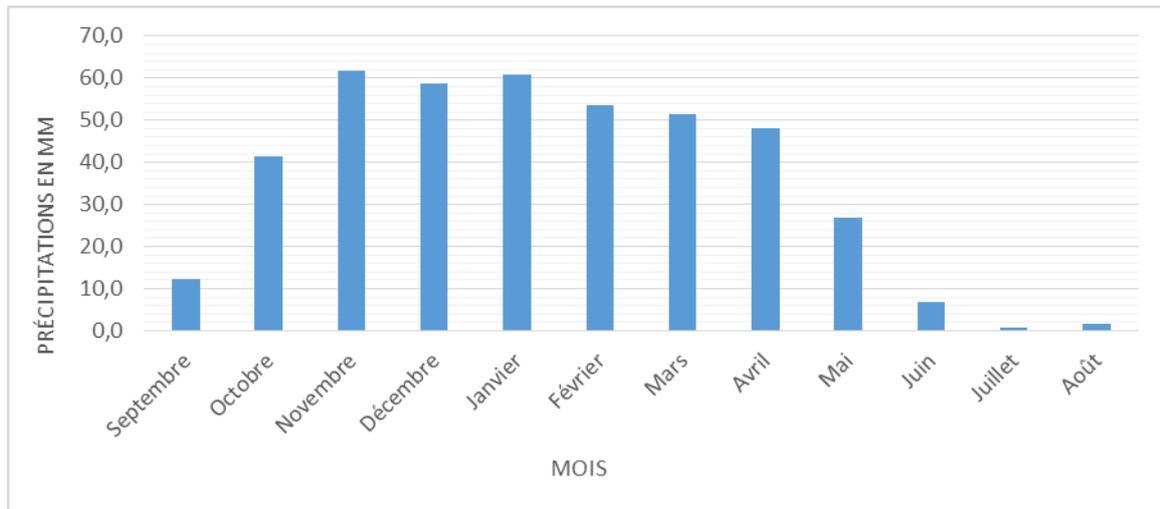


Figure I.7 : Précipitation moyennes mensuelles (Station DRH Fès)

I.1.3.2. Température

I.2.3.2.1. Régime interannuelles

La figure I.8 montre que la température moyenne annuelle calculée pour la période 1978-2001 est de l'ordre de 17.76 °C. L'année 2000-2001 est considérée comme étant la plus chaude (20.5°C) tandis que l'année 1982-1983 a été la plus froide

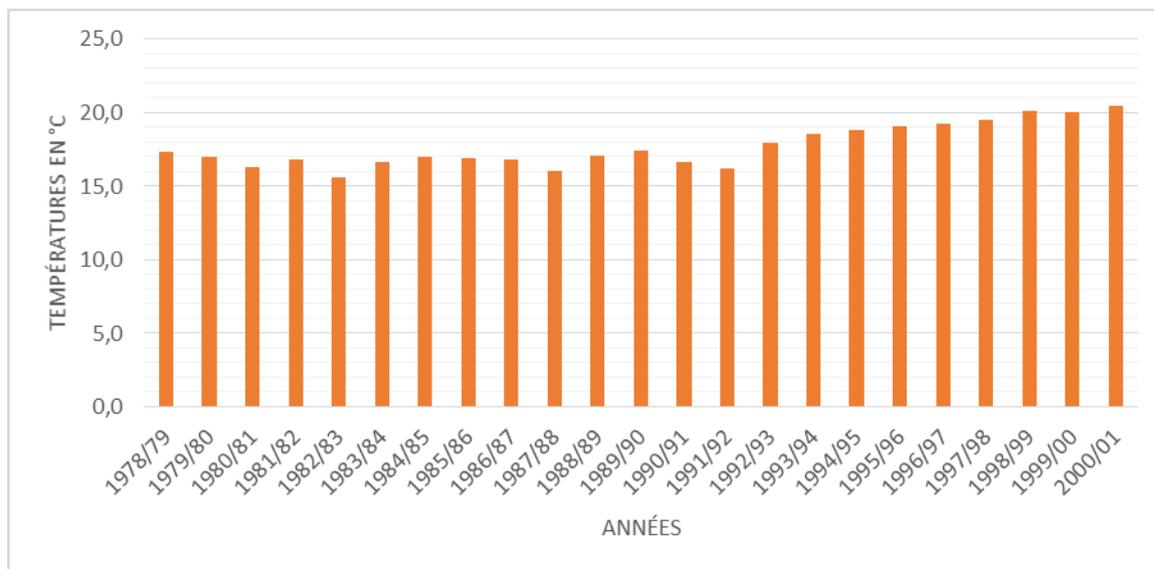


Figure I.8 : Les températures moyennes annuelles

I.1.3.2.2. Température intra annuelle

La figure. I.9, regroupe les données moyennes mensuelles de la température de l'aire. La première remarque concerne la répartition des mois chauds et des mois froids. Décembre, janvier et février constituent le triplet le plus froid avec une moyenne minimum au mois de janvier (9 °C). Juin, juillet août et septembre forment la saison chaude avec une moyenne maximum au mois août (28.2 °C).

L'allure générale de la figure 4 montre une augmentation thermique progressive du mois le plus froid (janvier) jusqu'aux mois les plus chauds (juillet et août).

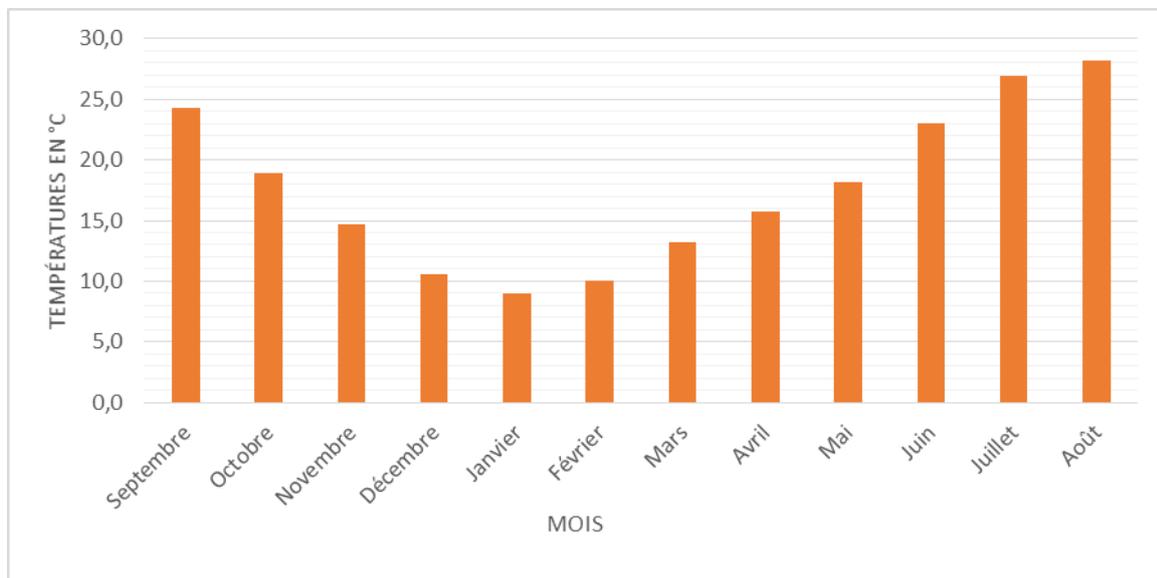


Figure I.9 : Température moyenne mensuelle : 1978/2001

I.2 Matériels et Méthodologies du travail.

I.2.1.Préparation des échantillons

Les échantillons de sol ont été séchés à l'étuve et tamisés à 2mm ensuite, on a procédé à un quartage des échantillons, le quartage (Fig. I.10) a comme but de diviser une certaine quantité de matière meuble en deux portions de poids égaux, l'une des portions peut à son tour, être divisée (et ainsi de suite).

I.2.2.Méthode de caractérisation structurale : Diffraction du rayon X

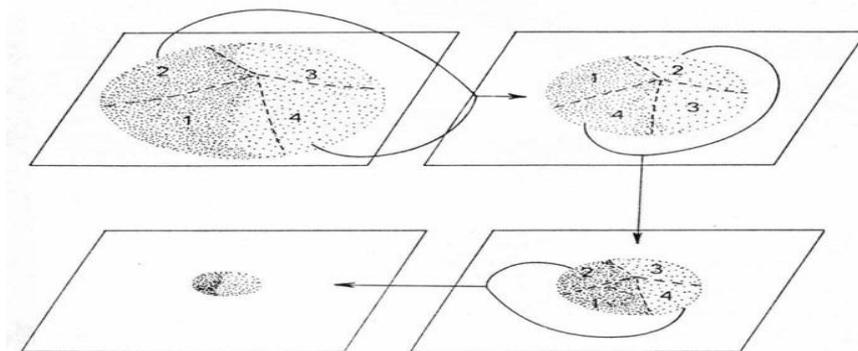


Figure I.10:Méthode manuelle de quartage, méthode du cône.

I.2.2.1.Objectif

Le but de cette technique est d'identifier la composition minéralogique des trois échantillons avant et après cuissons à différentes températures à savoir : 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C.

I.2.2.2.Principe

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde ($0.1 < \lambda < 10 \text{ nm}$) sur un échantillon marneux orienté ou non. On utilise un rayonnement électromagnétique en cuivre dont la longueur d'onde est $\text{Cu } K\alpha = 1.542 \text{ \AA}$. ce rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

I.2.2.3.Préparation des échantillons

- Préparation de l'échantillon

Après séchage de la marne dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures, on broyé la marnes dans un broyeuragate afin d'obtenir une poudre très fin (diamètre des grains inférieur à 80 μm). On met 10 g de l'échantillon dans des sacs plastiques propres afin d'éviter toutes type de contamination.

- Préparation des échantillons cuits

Après cuisson des briquettes des trois échantillons à différentes températures, on prend une briquette de chaque échantillon pour chaque température et on prépare la poudre fine de la même manière.

I.2.2.4.Résultats

Les résultats obtenus sont des diffractogrammes montrent les phases responsables des pics présents en utilisant la base des données (Power diffraction file compilée).

I.2.3.Confection des briquettes

La confection des briquettes se fait en mélangeant de matériau broyé avec une quantité d'eau correspondant à l'eau de gâchage. On malaxe l'échantillon jusqu'à avoir une pâte qu'on laisse séjourner dans le dessiccateur pendant 24h puis on fabrique avec cette pâte des briquettes à l'aide d'un moule métallique de 8 cm de longueur, 4 cm de largeur et 1.5 cm d'épaisseur prévu à cet effet.

Les références de l'échantillon et de la briquette, ainsi que deux segments diagonaux (de 50 mm de longueur chacun qui permettront de mesurer le retrait) sont marquées sur les briquettes. Ces dernières sont pesées puis laissées sécher à l'air libre.

I.2.4.Caractérisations Technologiques

II.2.4.1.Séchage à l'air libre

On mesure le poids de ces briquettes à l'aide d'une balance sensible (1/400 g), et le retrait à l'aide d'un pied à coulisse (± 0.1 mm). Cette opération est faite chaque jour après le passage de 24 heures.

II.2.4.2.Séchage à l'étuve

Après la stabilisation de leur retrait et de leur poids, les briquettes sont placées à l'étuve à 105°C pendant 24 h, puis prendre les nouvelles valeurs de poids et de retrait.

II.2.4.3.Cuissons des briquettes

Nos briquettes sont cuites dans un four programmable de température maximale 1500°C. Les traitements ont portés sur les températures suivantes : 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C. La durée du traitement pour toutes les températures est de 1heure30 min.

II.2.4.4.Mesure de retrait et Poids

Après le moulage, on pèse les briquettes puis on les laisse sécher à l'air libre en les pesant périodiquement et en mesurant toutes les 24h la longueur des diagonale à l'aide du pied à coulisse jusqu'à la stabilisation de du poids et du retrait. On sèche les briquettes dans l'étuve à 105°C et on répète les mêmes opérations. A différent températures à savoir 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, 900C°,950C° dans un four programmable avec un palier de 1heure 30 minutes et une vitesse de montée de température de cuisson de 10°C/mn.

L'opération de peser et de mesure de retrait continue pour chaque cuisson, on détermine ainsi les caractéristiques du matériau à savoir le retrait et la perte de poids.

II.2.4.5.Couleur après cuisson

C'est une caractéristique importante, dans les domaines de l'industrie céramique et de sanitaire, elle est évaluée visuellement.

I.2.5.Méthodes de caractérisations mécaniques

I.2.5.1.Essai de flexion à trois points

L'essai de flexion 3 points (Fig. I.11) permet de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une briquette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture. Comme l'essai de compression, l'essai de flexion ne permet généralement pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles. L'essai de flexion est surtout adapté aux matériaux fragiles. Cet essai se caractérise par la simplicité du montage de l'éprouvette et sa géométrie simple (peu ou pas d'usinage). Lors du test, la partie supérieure est en compression et la partie inférieure en traction.

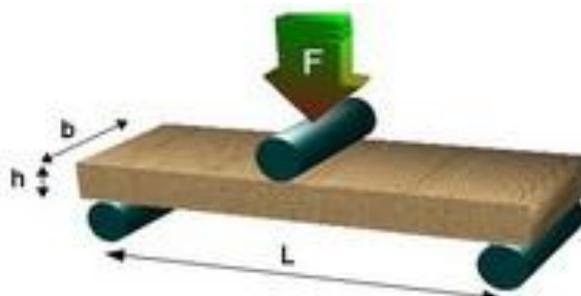


Figure I.11 : test flexion à trois points

Pour cela nous avons réalisé des essais de flexion sur une série de 54 briquettes de marne de mêmes géométries nominales (parallélépipédiques, 8 cm de longueur, 4 cm de largeur et 1.5 cm d'épaisseur). Nous avons mesuré les dimensions réelles de ces éprouvettes puis les avons mises sous chargement monotone, en pilotant l'essai en déplacement et en mesurant l'effort appliqué ainsi que les déplacements relatifs jusqu'à la rupture de notre briquette.

I.2.5.2.essai de compression

I.2.5.2.1.Objectif de l'essai

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression des éprouvettes marneuses calcinées à différentes températures.

I.2.5.2.2.Principe de l'essai

Cet essai consiste à appliquer un effort de compression à un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de notre cylindre. On mesure simultanément les contraintes et déformations aux cours de l'essai. Pour obtenir des résultats comparatifs en compression il est nécessaire

d'employer des éprouvettes de forme, de dimensions et de mode d'obtention identiques, et de les soumettre à essais dans des conditions bien définies de traitement préalable, de température, d'humidité et de vitesse de mise en charge.

I.2.5.2.3.Appareillage

Une machine d'essais électromécanique EM550, de capacité 50 kN, en compression, est adaptée spécifiquement aux besoins pédagogiques dans les laboratoires de mécanique. Elle permet de réaliser des essais avec pilotage asservi en vitesse ou en force.

Un ordinateur qui nous permet de piloter la machine en mode automatique par un logiciel EM 506 ce dernier affiche la variation des paramètres au cours de l'essai tel que l'effort, le déplacement et le temps ...etc.

Des éprouvettes marneuses de forme cylindrique (Photo .I.3), de dimensions et de mode d'obtention identiques.



Photo I.2 : Une machine d'essais électromécanique EM550, de capacité 50 kN

I.2.5.2.4.Calcul et expression des résultats

L'exploitation des résultats issus de l'essai nous permet de tracer le graphique de

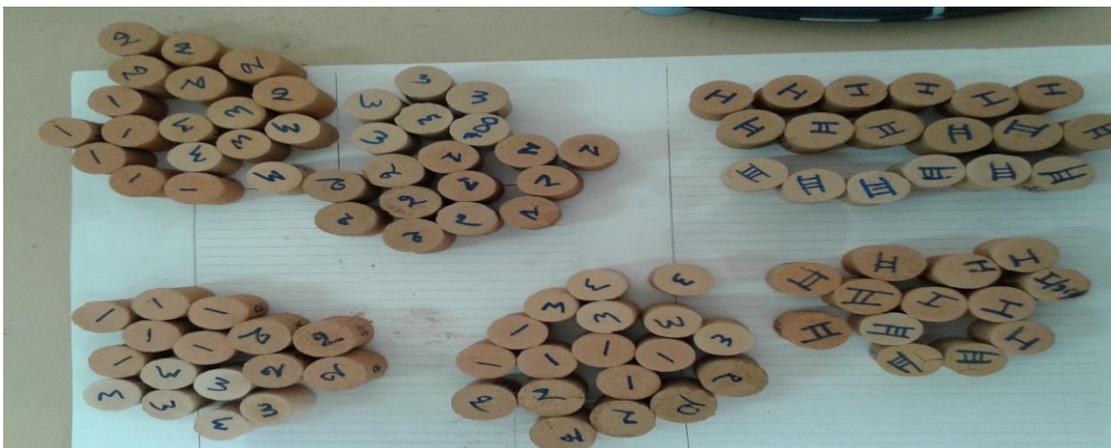


Photo I.3 : Cylindres cuits à différents température avant la compression

l'effort en KN en fonction de déplacement (mm) à l'aide du logiciel Origine.

Chapitre II : Résultats et Perspectives

II.1 Caractérisations Technologiques

II.1.1.Séchage à l'aire libre

II.1.1.1.Retrait

Les courbes de l'évolution du retrait dû au séchage des trois échantillons(Fig.II.1) ne sont pas parfaitement superposables. Ceci est dû à l'emplacement des briquettes lors du séchage; en effet, les briquettes les plus exposées aux courants d'air sèchent beaucoup plus vite par l'évaporation d'un maximum d'eau, évaporation facilitée par la structure encore lâche des particules élémentaires en conséquence de quoi ces briquettes accusent un retrait plus important dès le premier jour (Mesrar. L, 2013). On peut aussi ajouter à ceci des erreurs dans l'emplacement des marques qui servent à prendre les mesures du retrait durant le séchage ainsi que, bien évidemment, les conditions atmosphériques.

On peut ajouter que l'évolution du retrait en fonction du séchage et du temps est conditionnée par la quantité d'eau liée ainsi que la disposition des briquettes.

Pour les trois échantillons nous remarquons que les courbes ont une forte pente durant les premiers jours. C'est la première phase de la perte en eau ,les trois échantillons atteint entre 4% et 10% , durant cette phase les particules minérales ont tendance à se contacter pour occuper l'espace laissé par l'eau libre de façonnage qui s'évapore , après les courbes devient de plus en plus douce durant cette phase le reste de l'eau de façonnage est éliminée et l'évaporation touche l'eau de constitution et donc les points de contacts entre les particules solides sont en nombre suffisant pour assurer la tenue de la forme de la briquette d'où le ralentissement du retrait , les derniers jours à l'air libre la pente devient subhorizontale chose qui traduit un arrêt du retrait ce blocage du retrait est le résultat de l'apparition d'un nombre suffisant de point de contact entre les particules de l'échantillon à cause de l'épuisement de l'eau d'imbibition.

Toutes fois l'échantillon III présente un retrait plus au moins important par rapport aux autres échantillons.

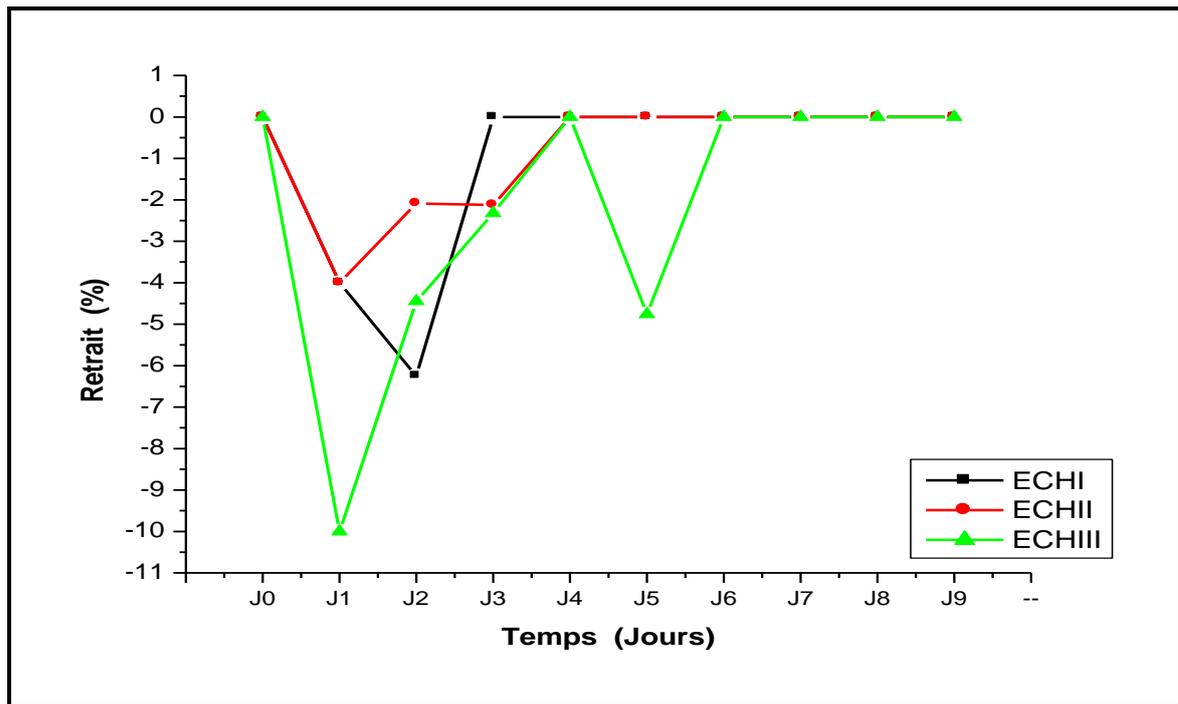


Figure II.1: Evolution du retrait en fonction de temps (jours)

I.1.1.2. Perte de Poids

Le graphe ci-dessus (Fig.II.2) représente les courbes de la perte de poids en fonction du temps de nos échantillons, D'après l'allure du graphique on distingue 3 phases pour chaque échantillon :

Pour les échantillons II et III :

- **[J0, J1]** : les courbes montrent des droites descendantes à partir du moment de leur confection, cette diminution du poids est due à l'évaporation de l'eau libre absorbée par nos échantillons durant la confection des briquettes. De plus on observe que les briquettes ont perdu entre 4% et 7% du poids dès le premier jour.
- **[J5, J7]** : les courbes deviennent des droites ascendantes puisque le taux de la perte de poids commence à se réduire dans cette deuxième phase puisque le stock en eau libre est presque épuisé.
- **[J7, J9]** : le taux de la perte en poids va évidemment se stabiliser à partir de septième jour car l'eau libre est épuisé.

Pour l'échantillon I :

Pour cet échantillon on garde les mêmes observations sauf pour la période de chaque phase est décalé d'un jour.

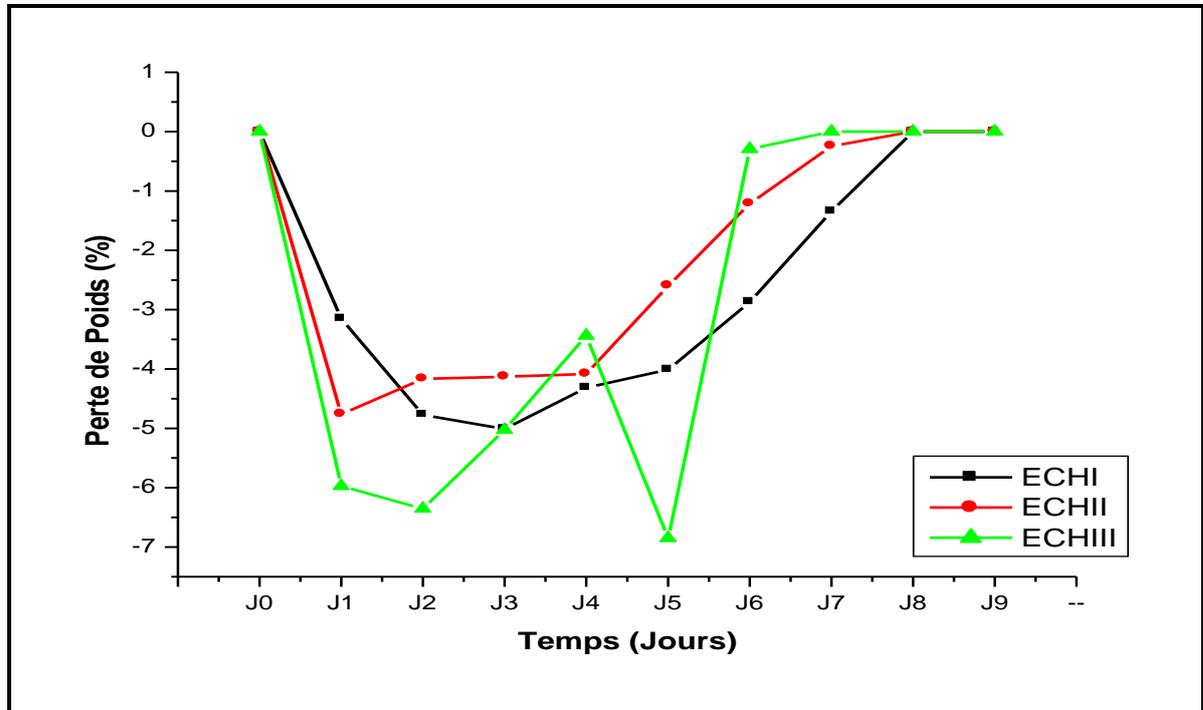


Figure II.2: Evolution du de la perte de poids au cours du séchage à l'air libre.

II.1.2.Effet de la cuisson

II.1.2.1.Retrait

D'après l'allure du graphique ci-dessous (Fig.II.3) on remarque que la variation du retrait est faible pour l'Echantillons I et II par contre l'échantillon III montre un taux de variation du retrait très remarquable surtout un niveau des températures 700°C et 750 °C. Ce retrait est dû au départ des carbonates et à la transformation du quartz α en quartz β .

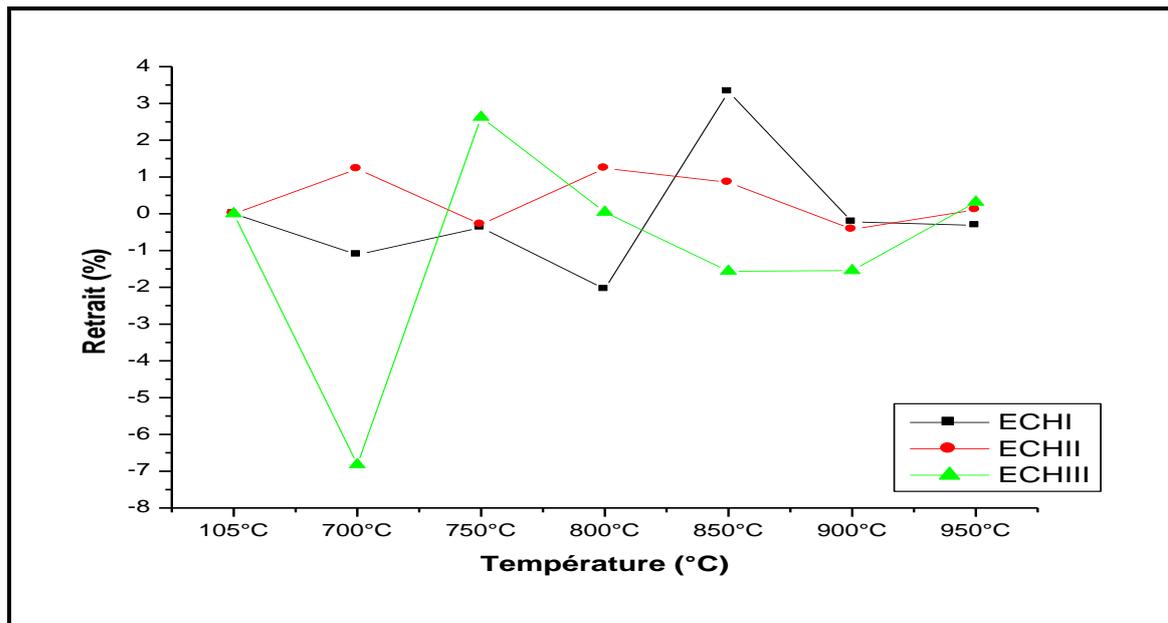


Figure II.3: Evolution du retrait en fonction de la température de cuisson des trois échantillons.

II.1.2.2. Perte de Poids

La perte de poids (Fig. II.4) est généralement attribuée à la déshydratation, sous l'action de la température, des espèces minérales en présence, et donc de la nature de ces espèces, de leurs proportions respectives et de leur états d'altération. Ceci rend la quantification de la proportion de la perte de poids de chaque espèce minérale très difficile sinon impossible dans un mélange à plusieurs composantes minéralogiques (Mesrar.L, 2013). En effet, dans une atmosphère de cuisson plus ou moins oxydante, les pertes de poids sont estompées par les réactions de déshydratation.

- De 105°C à 700°C : on remarque que nos échantillons ont perdu 4.8%, 5.2%, 11.2% respectivement Ech I Ech II Ech III de la perte en poids total, qui peut s'expliquer par l'évaporation de l'eau zéolithique et par la déshydratation de certains minéraux.
- De 700°C à 750°C : les échantillons I, II dont les pertes de poids sont respectivement de 0.37%, 0.29%, contrairement à l'échantillon III qui subit une augmentation de masse d'environ 2.6%.
- De 800°C à 850°C : les échantillons I, II dont les gains de poids sont respectivement de 3.32%, 0.85% par contre l'EchI a perdu un poids d'environ 1.56%.

- De 900°C à 950°C : la calcination s'accompagne d'une perte de poids d'environ 0.32% pour l'échantillon I. Pour les autres échantillons le poids à augmenter de 0.1% pour l'échantillon II et de 0.3% pour l'échantillon III.

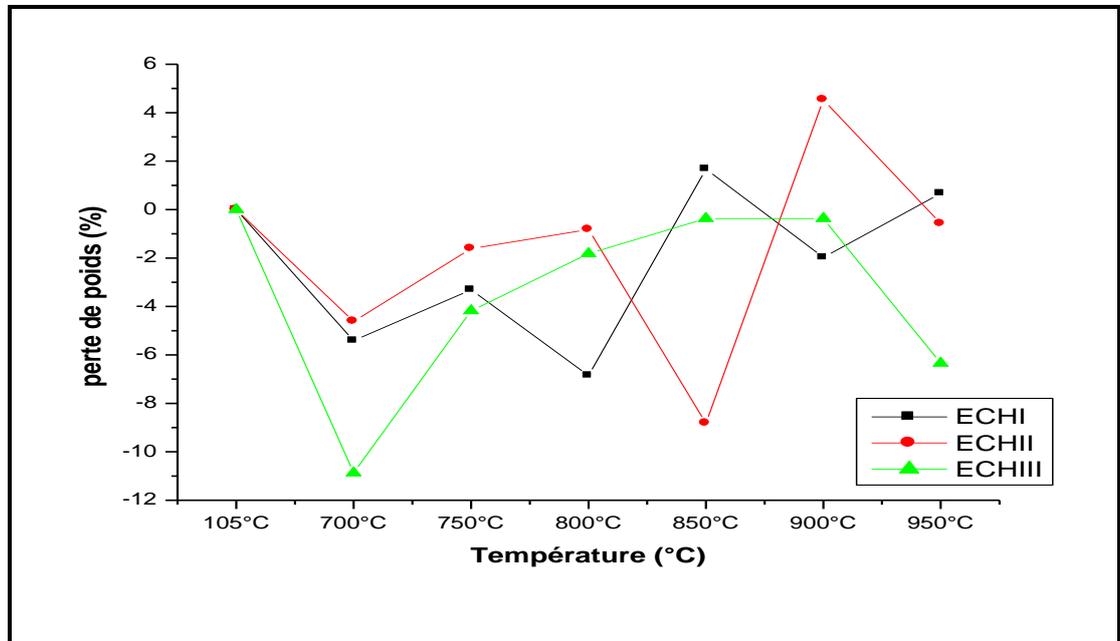


Figure II.4: Evolution de la perte de poids au cours de la cuisson à différentes températures.

II.1.2.3. La couleur

Les échantillons de notre secteur (Photos. II.1, 2,3), aboutissent après chaque cuisson presque à la même gamme de couleur, à l'exception de l'échantillon I qui est Jaune avant la cuisson et rouge brique pour toutes les températures de cuisson.

L'évolution de la couleur en fonction de la température pour nos marnes se caractérise par:

- Passage de gris vers le rouge brique à 700°C. Ceci est vrai pour les échantillons II et III, contrairement à l'échantillon I qui est Jaune avant la cuisson. A cette température (700°C) le changement de la couleur reste partiel et la partie intérieure du cylindre reste grise
- A partir de 900°C on remarque un changement total de la couleur initial. En effet, la couleur des briquettes du premier d'échantillon I après cuisson à différentes températures. Couleurs des briquettes d'échantillon I après cuisson à différentes températures. Couleurs des briquettes du premier d'échantillon I après cuisson à différentes températures. Même si les trois échantillons ont la

même gamme de couleur (rouge brique) à différentes température de cuisson, on peut signaler que cette coloration est un peu claire pour l'échantillon III.

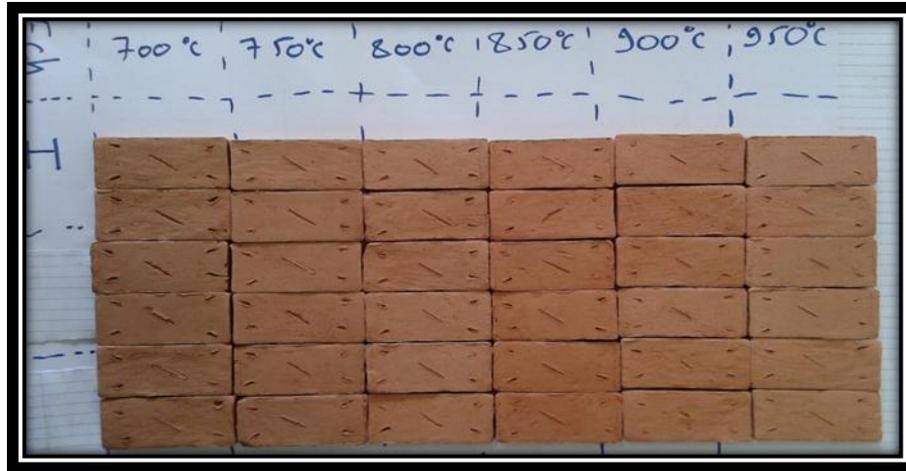


Photo II.1 : Couleurs des briquettes d'échantillon I après cuisson à différentes températures.

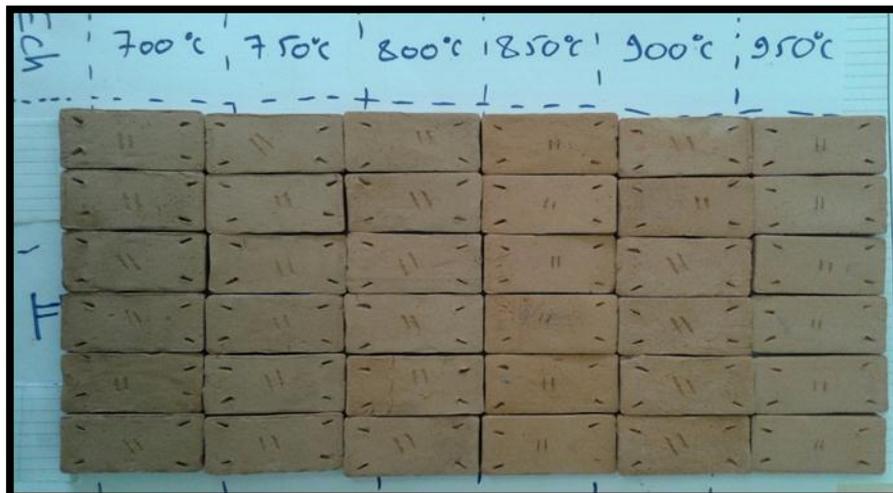


Photo II.2 : Couleurs des briquettes d'échantillon II après cuisson à différentes températures.



Photo II.3 : Couleurs des briquettes d'échantillon III après cuisson à différentes température.

II.2. Caractérisation mécanique

II.2.1. Essai de Compression.

II.2.1.1. L'évolution de la résistance à la compression en fonction de température de calcination.

Les essais de compression sont réalisés par une machine W500 au laboratoire de résistance des matériaux (RDM) à la FST de Fès pour les petits éprouvettes normalisés, la représentation Effort=f (déplacement) montre 3 intervalles distingués.

Pour chaque échantillon et à chaque température de cuisson on a effectué trois essais, les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression est énormément améliorée par la cuisson l'explication de cette augmentation est liée à la modification de structure cristalline dans le matériau terre cuite.

Les graphiques ci-dessous résument les résultats de la résistance avant et après.

- **Echantillon I**

Les courbes présentent toutes le même aspect, on observe une augmentation d'une manière exponentielle au fur et à mesure que l'effort augmente jusqu'à un maximum après on observe une chute brutale. Les courbes de rupture se traduisent par des pics qui sont des droites descendantes presque verticales (Fig.II.5).

La résistance à la rupture due à la compression pour les différentes températures de cuisson varie entre 4.8KN et 7.7 KN pour la marne jaune (Ech I) mais le plus important dans ce résultat c'est le fait qu'on a obtenu une résistance à la rupture jusqu'à 7.7KN à une température de cuisson de 900 °C.

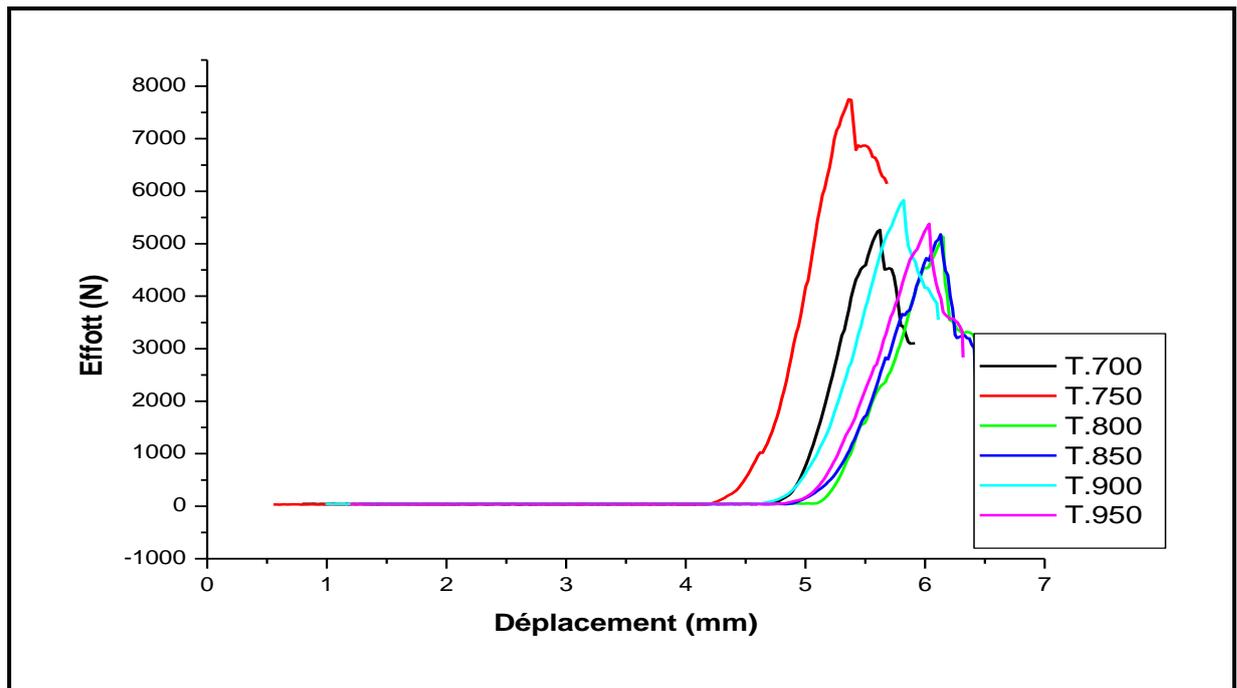


Figure II.5 : Résistance à la compression pour le Premier échantillon à différents températures de cuisson.

- **Echantillon II**

D'après l'allure du graphique (Fig.II.6) on remarque que les cylindres cuites des marnes de l'échantillon II se comporte presque d'une manière similaire sauf une petite différence détecté au niveau de la valeur de déplacement qui est généralement élevé pour les briquette cuites à $T=900^{\circ}\text{C}$, il faut signaler que la valeur de la résistance pour les différents échantillons est généralement faible et varie entre 1.5 KN et 4 KN la dernière valeur se coïncide avec la température de cuisson $T=950^{\circ}\text{C}$.

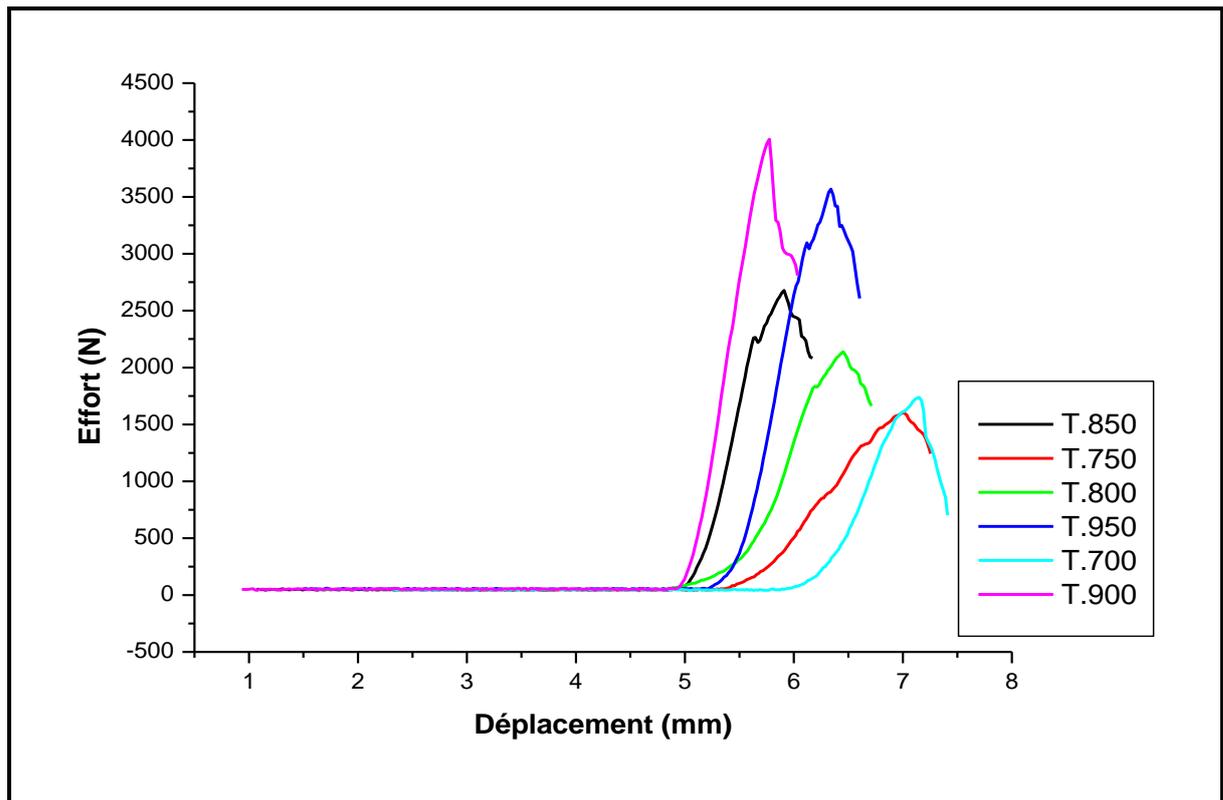


Figure II.6: Résistance à la compression pour le Deuxième échantillon à différentes températures de cuisson.

- **Echantillon III**

L'analyse du diagramme de la figure au-dessus nous permet de déduire rapidement que 900°C est la température de cuisson idéal pour la marne de l'échantillon N°3 par qu'elle apporte une importante résistance mécanique qui peut aller jusqu'à 13.8 KN.

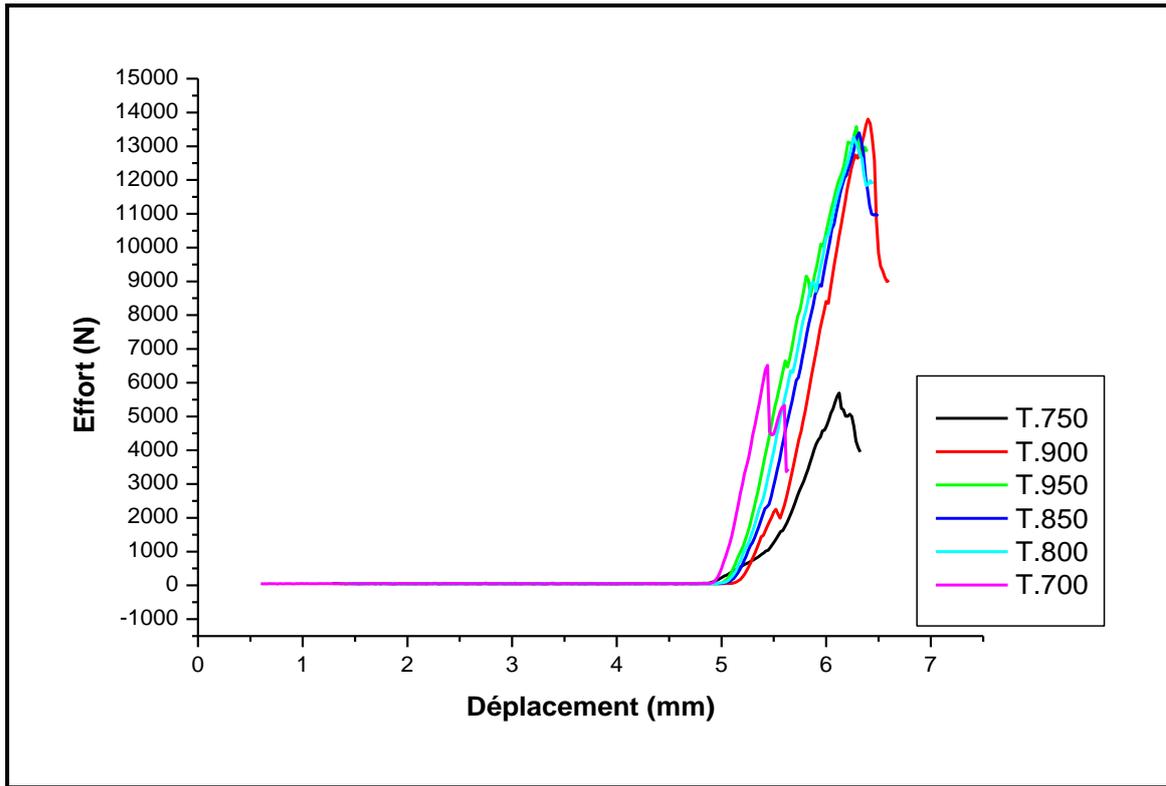


Figure II.7: Résistance à la compression pour le troisième échantillon à différentes températures de cuisson.

II.2.1.2. Résistance à la compression à différents températures de cuisson.

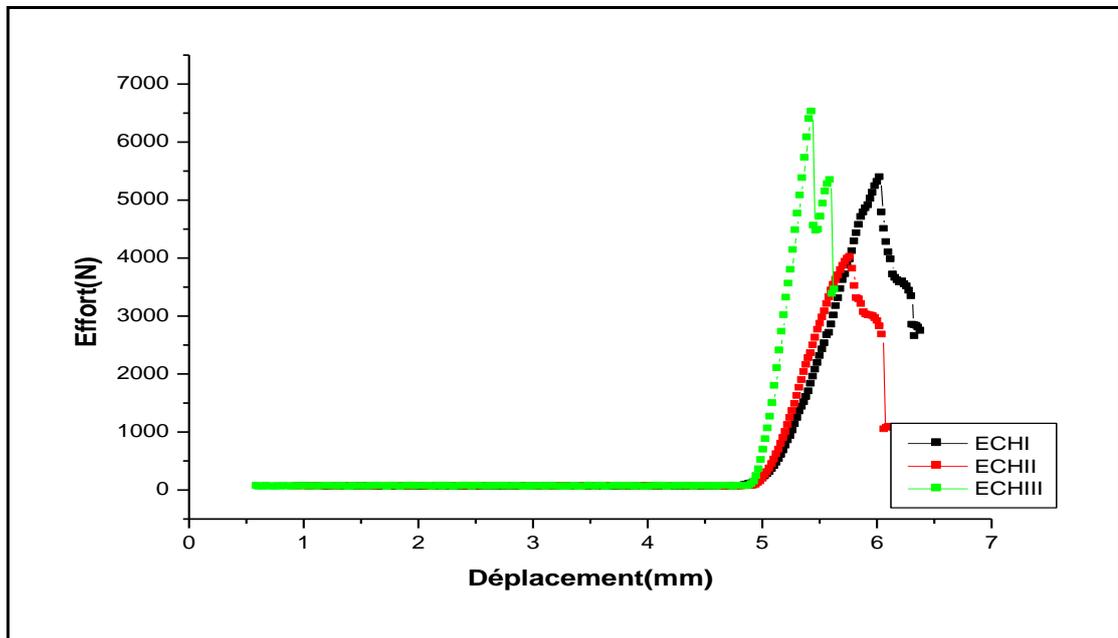


Figure II.8: Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=700°C

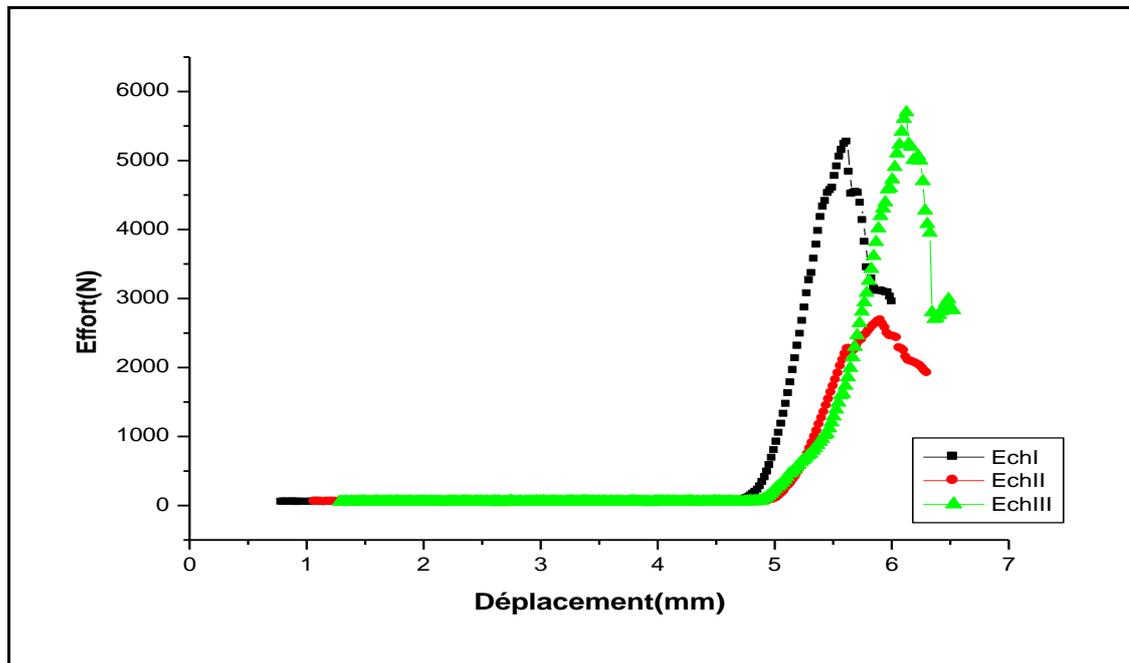


Figure II.9: Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=750°C.

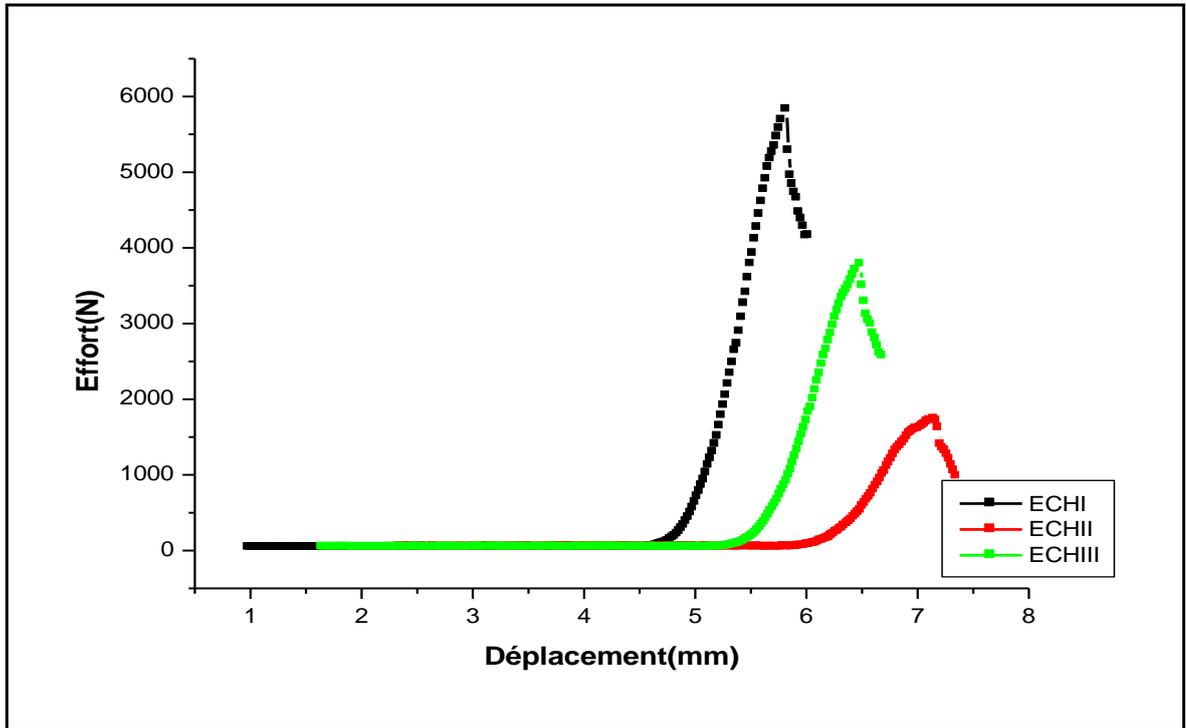


Figure II.10: Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=800°C

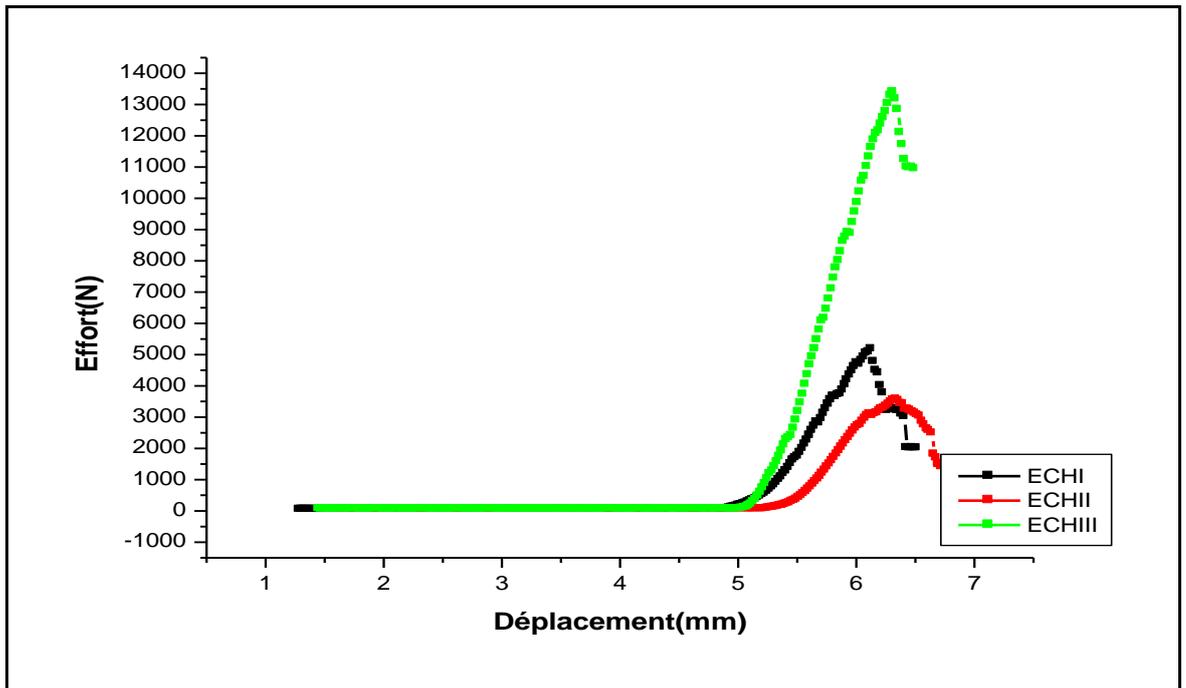


Figure II.11: Relation Effort (N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=850°C

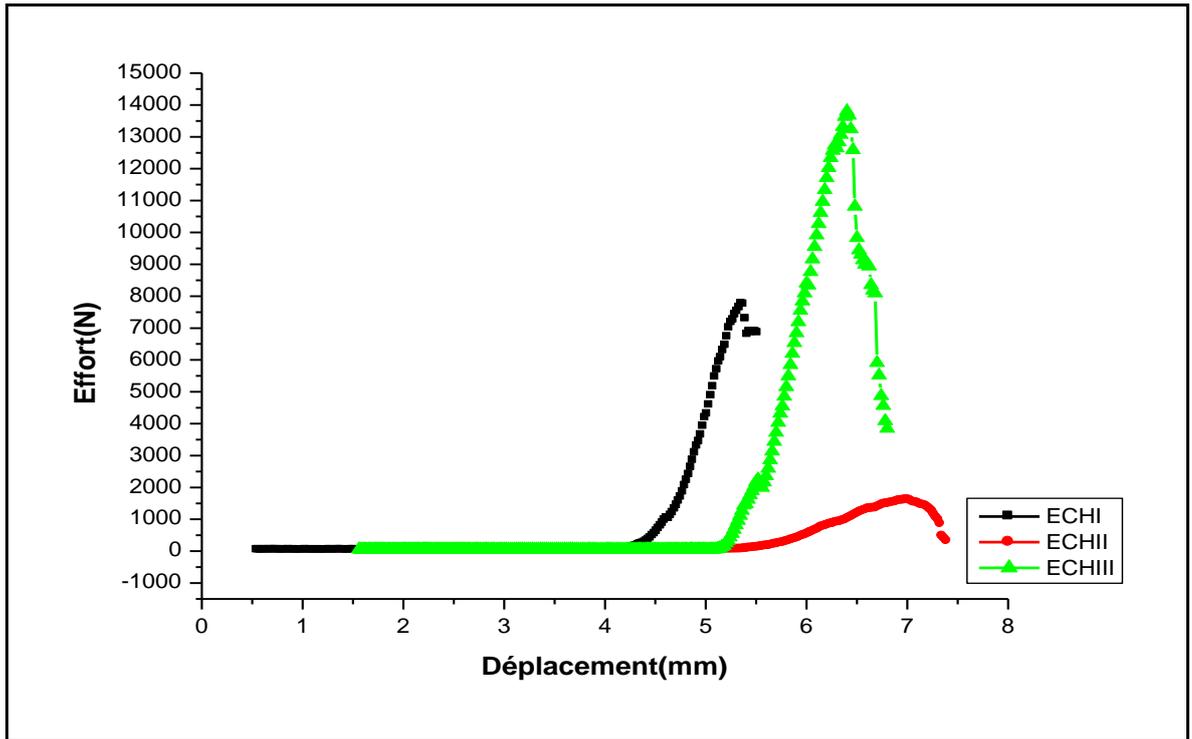


Figure II.12: Relation Effort(N) -Déplacement (mm) des marnes cuites à T=900°C

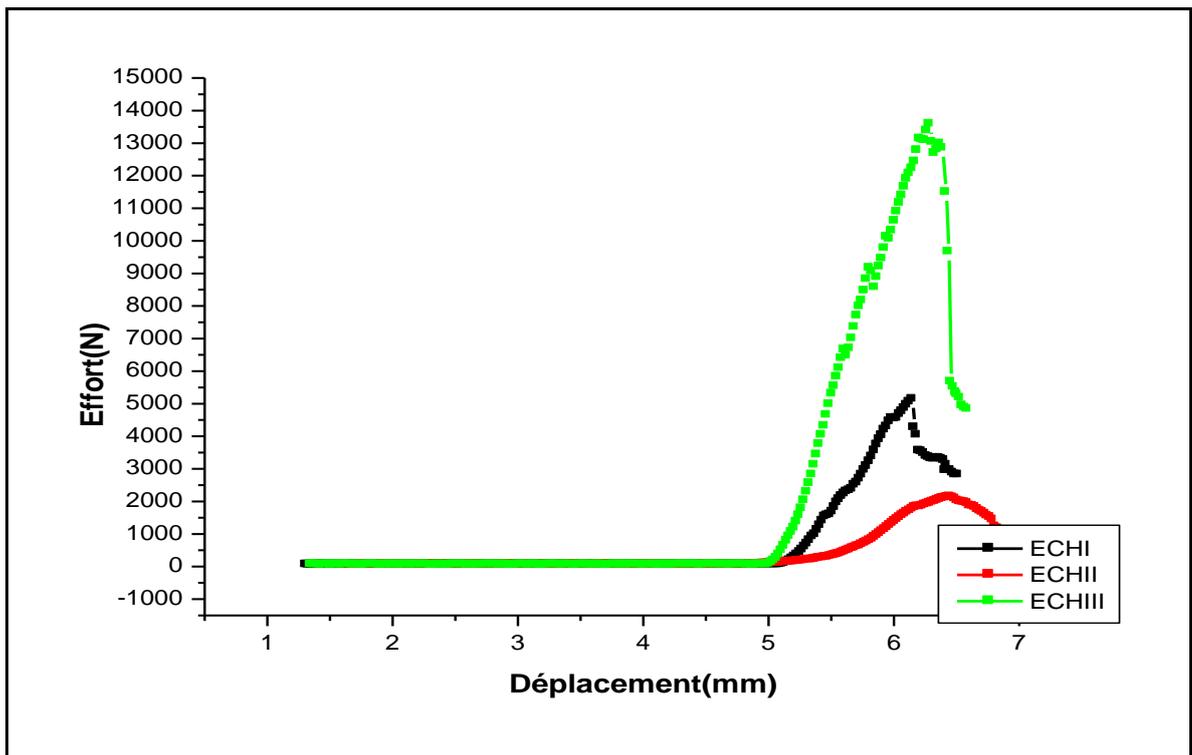


Figure II.13: Relation Effort (N) –Déplacement (mm) des marnes cuites à T=950°C.

Les figures ci dessus nous permetts d'identifier l'échantillon le plus résistants à chaque température de cuisson .En se basant sur les courbes on peut tirer les résultats suivantes :

- **T=700°C : $R_{EchIII} > R_{EchI} > R_{EchII}$; avec : $R_{EchIII}=6.5KN$.**
- **T=750°C : $R_{EchIII} > R_{EchI} > R_{EchII}$; avec : $R_{EchIII}=5.6KN$.**
- **T=800°C : $R_{EchI} > R_{EchIII} > R_{EchII}$; avec : $R_{EchI}=5.8KN$.**
- **T=850°C : $R_{EchIII} > R_{EchI} > R_{EchII}$; avec : $R_{EchIII}=13.4KN$.**
- **T=900°C : $R_{EchIII} > R_{EchI} > R_{EchII}$; avec : $R_{EchIII}=13.8KN$.**
- **T=950°C : $R_{EchIII} > R_{EchI} > R_{EchII}$; avec : $R_{EchIII}=13.5KN$.**

après une petite observation on peut dire que l'échantillons III présente une meilleur résistance mécanique à la compression qui peuve aller jusqu'à 13.8KN à une température de cuisson de 900°C.

II.2.2.Essais de Flexion

Afin de déterminer de comportement mécanique de notre marne à différents température de cuisson on a utilisé l'essai de flexion qui est caractérisé par sa facilité de mise en œuvre et par la richesse de l'information fournie.

Au cours de l'essai on exerce une force de flexion à trois point sur une briquette de dimension normalisée ($L=63\text{mm}$; $e=10\text{mm}$; $l=30\text{mm}$), jusqu'à sa rupture, en suivant un processus de mise en charge à une vitesse de déplacement constante ($v=0.2\text{mm/s}$).

En enregistrant la force appliquée à l'éprouvette par la machine de flexion et son Déplacement progressif on obtient un diagramme Résistance à la flexion-déplacement.

L'application d'une force provoque initialement une déformation élastique de l'éprouvette. Cela se traduit sur le diagramme par une droite horizontal car la déformation est proportionnelle à la contrainte (loi de HOOKE).

Cette déformation élastique est réversible. Si la contrainte est annulée, la briquette revient instantanément à sa forme initiale. Cette déformation élastique est suivie d'une déformation irréversible (permanente) appelée déformation plastique, qui se traduit sur le diagramme par une courbe qui se termine au moment de la rupture de la briquette.

Au-dessous ont présente les résultats obtenu aux cours de l'essai après un traitement à l'aide du logiciel Excel et Origine .Les courbes présentent toutes le même aspect. Elles augmentent à mesure que l'effort augmentent jusqu'à un maximum et chutent brutales .les courbes de rupture se traduisent par des pics qui sont des droites descendantes presque verticales.

- **Echantillon I**

La figure II.7 représente les courbes de la résistance à la flexion de la marne jaune (ECH I) à différents température de cuisson, on remarque que la résistance mécanique est énormément améliorée par la cuisson. L'explication de l'augmentation de la résistance avec la température jusqu'à 900°C est liée à la modification de la structure cristallin dans la marne cuite.

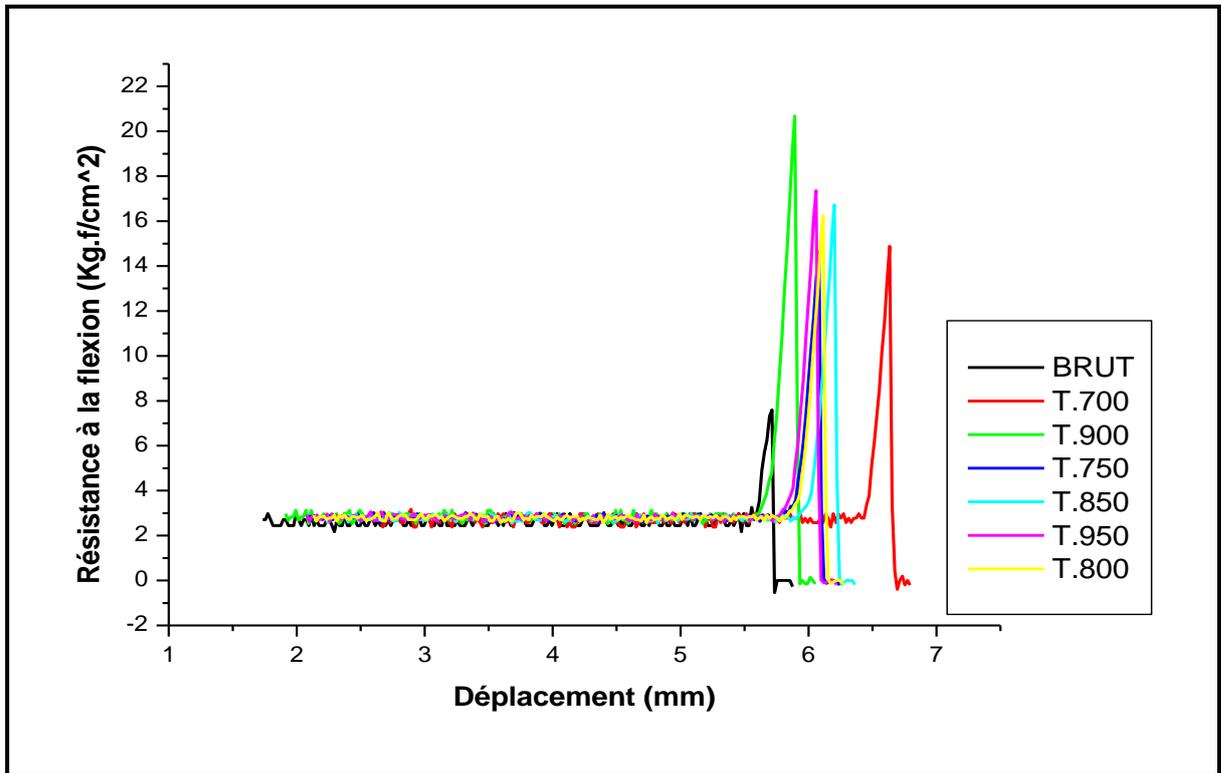


Figure II.14: Résistance à la flexion du premier échantillon (Ech I) à différents température de cuisson.

- **Echantillon II**

La figure II.8 illustre la variation de la résistance à la flexion de la marne (Ech II) à différentes températures de cuisson, il est montré que le comportement mécanique de la terre cuite reste très fragile mais énormément amélioré par la cuisson. On remarque que la résistance à la flexion de notre marne cuite à différent température est presque similaire, varie entre 7Kg/cm²et 10kgf/cm² avec un déplacement de 0.2 mm à 2.2mm.

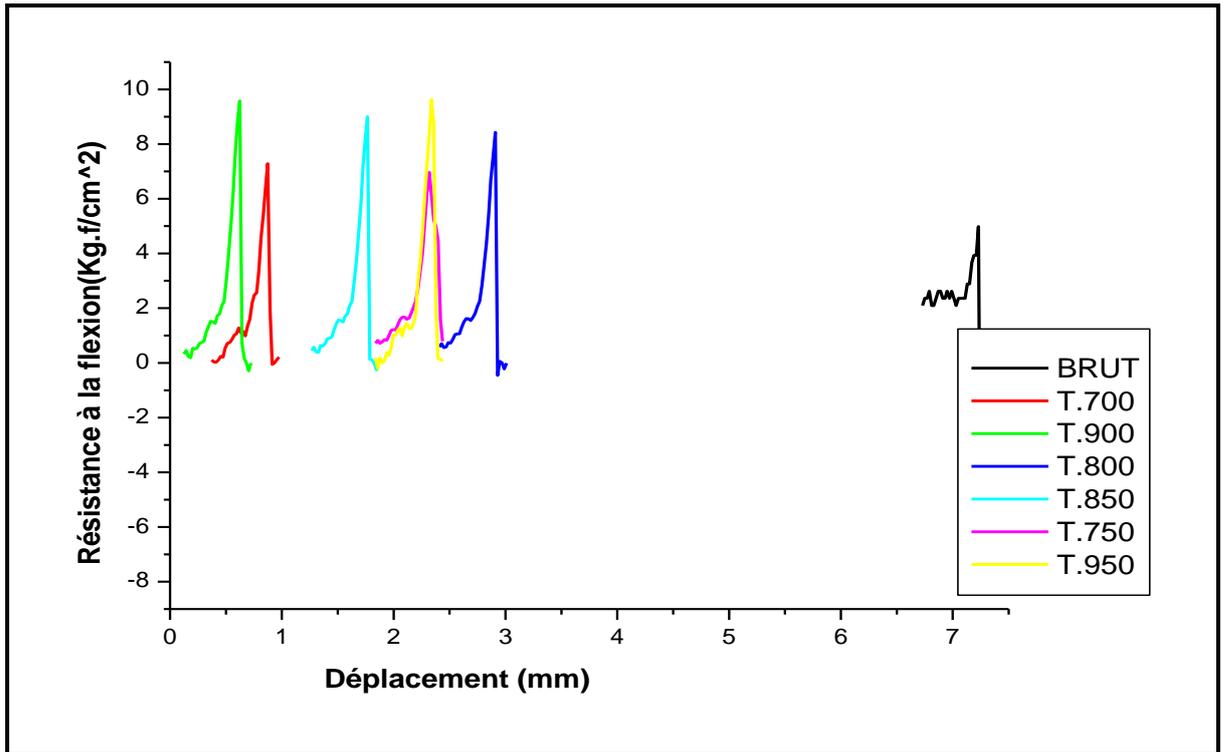


Figure II.15: Résistance à la flexion du premier échantillon (Ech II) à différents température de cuisson.

- **Echantillon III**

L'analyse du diagramme de la figure au-dessous nous permet de déduire rapidement que 900°C est la température de cuisson idéal pour la marne de l'échantillon N°3 par qu'elle apporte une importante résistance mécanique que peut aller jusqu'à de 42kgf/cm².

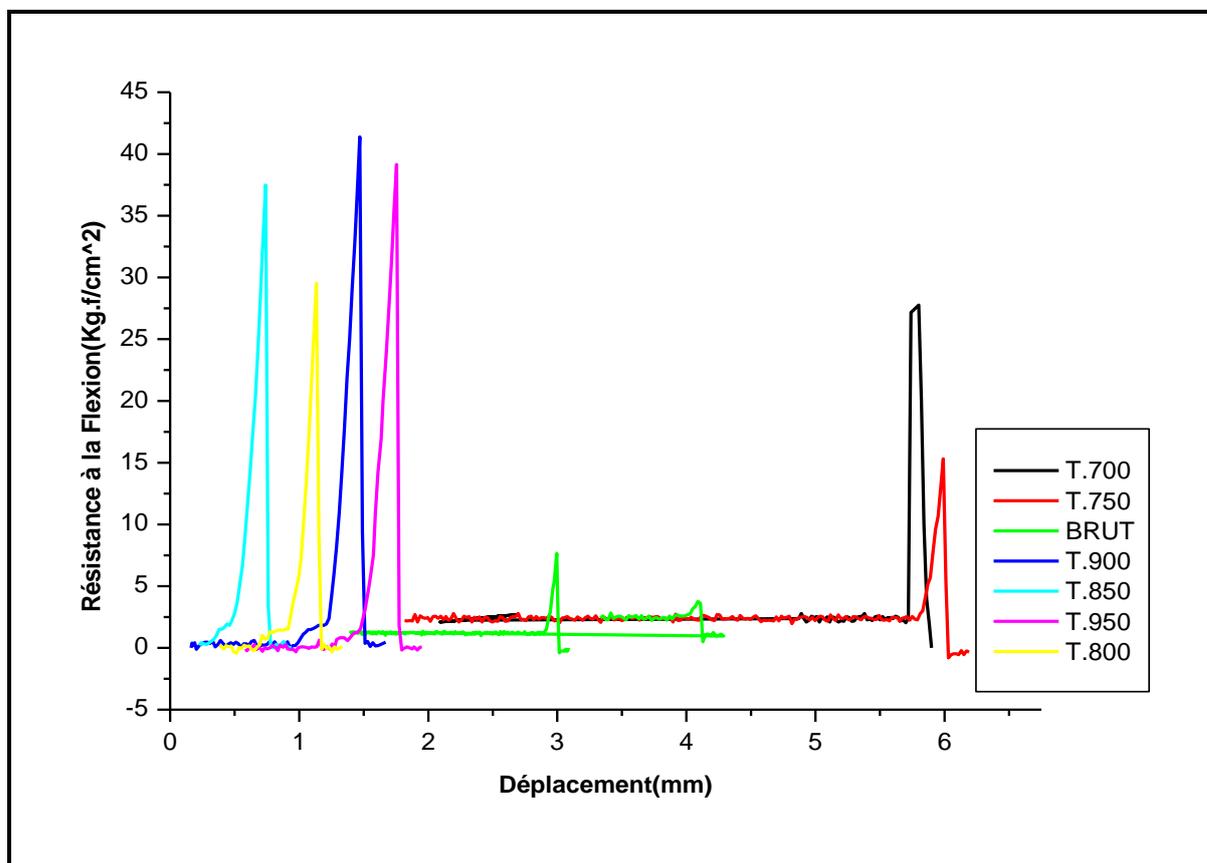


Figure II.16 : Résistance à la flexion du Troisième échantillon (Ech III) à différentes température de cuisson.

Conclusion générale

Ce stage est focalisé sur l'étude du comportement mécanique des marnes du Miocène, qui affleurent au niveau de la carrière de Ben Jallik, ces marnes sont caractérisées par sa grande homogénéité lithologique et par son épaisseur qui atteint parfois 1000 mètres, ce qui offre un bon domaine de recherche.

L'analyse des résultats technologiques nous ont permis d'en déduire que le taux de variation du retrait des briquettes à l'air libre des trois échantillons est moyennement élevé notamment pour l'échantillon III, les trois échantillons atteignent entre 4% et 10% du retrait dès les premiers jours.

Après la cuisson de nos échantillons à différentes températures, on constate que la variation du retrait est faible pour l'échantillon I et II par contre l'échantillon III montre un taux de variation du retrait très remarquable surtout un niveau des températures 700°C et 750°C. Ce retrait est dû au départ des carbonates et à la transformation du quartz α en quartz β .

La résistance à la compression des différents échantillons est fortement améliorée par la cuisson, l'échantillon III présente une meilleure résistance mécanique à la compression qui peut aller jusqu'à 13.8KN à une température de cuisson de 900°C.

L'analyse des diagrammes obtenus par l'essai de flexion corrobore avec celle de la résistance compression. En effet, nous permet de déduire rapidement que 900°C est la température de cuisson idéale pour la marne de l'échantillon N°3 parce qu'elle apporte une importante résistance mécanique qui peut aller jusqu'à de 42kgf/cm².

Références bibliographiques

BARGACH.K., (2011).Les déformations plio-quaternaires dans la partie frontale de la chaîne du Rif (Rides pré-rifaines, et bassin du Saïs) un exemple de la tectonique en coins expulsés, Thèse de doctorat..Fac.Sc ; Rabat.

CAMILLE.T., (2010). Caractérisation et quantification des minéraux argileux dans les sols expansifs par spectroscopie infrarouge aux échelles du laboratoire et du terrain, thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

CHARROUD.M., CHERALB., BENABDELHADIM., FALGUERES.C., (2007).Impact de la néotectonique quaternaire sur la dynamique sédimentaire du saïs (Maroc) : du bassin d'avant fosse pliocène au plateau continental quaternaire, *Quaternaire*, **18**, (4), 2007, p. 327-334.

CHIKOUCHE.M.A., SILINE.M., BIBI.M., GHORBEL E., (2013).Valorisation d'une marne argileuse comme ajout dans les matériaux cimentaires. 31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S.

EI BOUMASHOULLI.S.M., (2010) Etude géotechnique du sous sol urbain de la ville de Fès et cartographie des zones à risques moyennant le système d'information géographique(SIG),thèse de doctorat,Fac Sc Technique,Fès.

EL QANDIL.M., (2007).Recherche et valorisation des matériaux de constructions et des argiles industrielles dans les provinces nord centrales du Maroc ; possibilités d'exploitation et problèmes environnementaux, Thèse d'état.Fac.Sc ; Rabat.

LAAROUSSLO., (2014). Etude de l'érosion et de la déposition des sols à l'échelle du bassin versant de l'Oued El Malleh (Fès-Maroc) par l'utilisation conjointe de la télédétection, du SIG et des techniques de mesures sur le terrain, thèse de doctorat.ES.Sc.F.S.T. Fès.Saïss.

MESRAR.L.,(2013).Caractérisationgéotechnique,Minéralogiques,Technologiques et nanotechnologique des marnes Miocènes du couloir sud rifain(Fès-Taza) :Etude et valorisation, thèse de doctorat.ES.Sc.F.S.T. Fès.Saïss.

SALHAOUI.A.,(2000).Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le bassin de Meknès-Fès(Maroc),Prospection géotechnique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau, thèse de Université Mohammed VI,Rabat,Maroc.

Annexe

Annexe 1

Tableau 1: Pluie mensuelle (Station DRH Fès)

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1978/79	0,0	5,0	12,0	70,0	89,0	224,0	45,0	19,0	4,0	0,0	0,0	0,0
1979/80	4,0	184,0	37,0	13,0	23,0	23,0	133,0	51,0	29,0	1,0	0,0	0,0
1980/81	11,0	60,0	67,0	16,0	29,0	23,0	38,0	60,0	5,0	0,0	0,0	0,0
1981/82	3,0	15,0	0,0	85,0	57,0	80,0	31,0	155,0	46,0	0,0	0,0	5,0
1982/83	0,0	104,0	64,0	56,0	0,0	98,0	37,0	3,0	17,0	0,0	0,0	0,0
1983/84	0,0	0,0	96,0	62,0	14,0	7,0	61,0	33,0	84,0	17,0	0,0	0,0
1984/85	0,0	1,0	60,0	10,0	113,0	29,0	13,0	61,0	30,0	3,0	0,0	0,0
1985/86	2,0	7,0	104,0	37,0	105,0	80,0	57,0	71,0	0,0	9,0	0,0	0,0
1986/87	3,0	40,0	31,0	15,0	122,0	129,0	0,0	21,0	7,0	0,0	0,0	0,0
1987/88	6,0	43,0	100,0	63,0	59,0	57,0	17,0	25,0	61,0	0,0	0,0	0,0
1988/89	0,0	59,0	73,0	11,0	33,0	53,0	56,0	127,0	22,0	1,0	0,0	0,0
1989/90	1,0	55,0	93,0	<u>146,0</u>	37,0	0,0	44,0	86,0	14,0	0,0	0,0	0,0
1990/91	10,0	21,0	79,0	97,0	5,0	83,0	124,0	16,0	0,0	4,0	0,0	0,0
1991/92	54,0	52,0	18,0	14,0	<u>0,0</u>	27,0	65,0	45,0	27,0	44,0	0,0	0,0
1992/93	0,0	25,0	18,0	12,0	10,0	30,0	33,0	39,0	22,0	0,0	0,0	0,0
1993/94	1,0	<u>33,0</u>	83,0	17,0	52,0	104,0	18,0	6,0	12,0	0,0	0,0	0,0
1994/95	22,0	18,0	31,0	0,0	1,0	25,0	24,0	17,0	12,0	29,0	0,0	2,0
1995/96	9,0	3,0	38,0	99,0	178,0	39,0	81,0	49,0	55,0	6,0	2,0	0,0
1996/97	33,0	15,0	9,0	219,0	102,0	0,0	75,0	75,0	38,0	9,0	0,0	0,0
1997/98	41,0	7,0	104,0	79,0	39,0	47,0	21,0	15,0	88,0	13,0	0,0	0,0
1998/99	26,0	11,0	0,0	48,0	56,0	22,0	25,0	0,0	10,0	2,0	0,0	0,0
1999/00	1,0	36,0	32,0	20,0	<u>28,0</u>	0,0	0,0	59,0	30,0	0,0	0,0	1,0
2000/01	5,0	65,0	38,0	110,0	79,0	29,0	12,0	0,0	20,0			0,0
2001/02	3,0	1,0	7,0	<u>91,0</u>	1,0	3,0	46,0	107,0	14,0			
2002/03	0,0	66,0	163,0	38,0	88,0	47,0	79,0	34,0	9,0	7,0	1,0	0,0
2003/04	0,0	74,0	88,0	115,0	33,0	34,0	19,0	35,0	49,0	0,0	7,0	
2004/05	0,0	103,0	40,0	41,0		51,0	23,0			10,0		

2005/06	0,0	40,0	78,0	27,0	112,0	82,0	55,0	35,0	26,0	11,0		
2006/07	10,0	19,0	13,0	30,0	25,0	39,0	41,0	106,0	5,0			
2007/08	1,0	24,0	42,0	10,0	50,0	80,0	15,0	29,0	15,0			
2008/09	96,0	122,0	107,0	155,0	110,0	87,0	83,0	9,0	1,0	16,0	0,0	
2009/10	36,0	4,0	23,0	164,0	202,0	117,0	175,0	66,0		12,0	6,0	33,0
2010/11	0,0	56,0	114,0	50,0	52,0	45,0	51,0	69,0	94,0			0,0
2011/12	21,0	52,0	115,0	10,0	25,0	12,0	12,0	97,0	9,0			0,0
2012/13	33,0	26,0	187,0	25,0	136,0	68,0	189,0	17,0				

Annexe 2

Tableau 2 : Température mensuelle (Station Fès Saïs)

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1978/79	25,0	18,3	14,0	12,8	11,8	11,4	11,3	13,4	17,7	21,3	25,6	25,4
1979/80	22,1	17,4	13,4	10,6	9,9	11,7	12,3	15,3	16,4	21,9	25,9	27,1
1980/81	24,9	17,5	12,7	8,4	7,8	9,4	14,1	12,9	16,0	22,5	25,1	23,8
1981/82	22,0	19,5	15,9	11,6	10,0	10,0	12,4	13,4	17,1	21,6	23,3	24,8
1982/83	22,0	15,5	12,6	7,8	9,0	9,5	14,2	14,0	15,8	22,8	21,8	22,4
1983/84	24,6	20,4	15,2	10,8	8,0	9,3	10,7	15,8	13,3	20,1	27,7	24,3
1984/85	22,0	16,4	13,7	10,5	13,5	12,9	10,6	15,3	15,5	21,0	26,3	26,5
1985/86	24,4	19,7	14,5	10,1	9,2	10,7	11,1	11,1	20,0	20,5	26,5	25,1
1986/87	23,1	18,0	12,6	9,2	9,9	10,5	13,1	16,7	17,7	21,9	24,2	24,7
1987/88	25,4	17,5	12,9	11,4	9,5	10,2	12,3	14,6	16,3	19,6	26,7	
1988/89	24,3	18,5	14,9	8,6	7,8	10,8	13,0	12,2	17,9	22,0	27,3	27,2
1989/90	23,2	20,0	14,5	<u>12,4</u>	7,7	11,7	13,7	12,7	18,2	21,1	27,0	26,7
1990/91	24,5	17,7	13,8	10,3	8,2	8,4	11,2	13,0	16,3	22,7	26,3	27,2
1991/92	22,9	15,9	12,5	10,7	<u>7,8</u>	10,7	11,7	14,6	18,7	17,4	25,4	26,3
1992/93	24,0	20,0	14,9	11,1	8,9	9,8	12,5	15,0	18,6	25,0	26,9	28,6
1993/94	24,6	<u>19,8</u>	15,2	9,5	9,9	11,6	14,0	17,5	19,0	24,0	28,0	29,6
1994/95	25,9	20,9	16,2	10,0	7,9	10,7	13,9	18,0	19,8	25,6	27,0	30,0
1995/96	24,3	21,0	15,9	11,4	8,3	8,8	15,0	18,6	20,3	24,9	27,8	32,9
1996/97	26,1	18,9	14,6	9,6	7,8	10,2	16,1	19,2	20,5	26,0	29,0	33,0
1997/98	24,8	19,7	16,0	10,9	8,2	10,6	15,7	19,8	19,9	25,8	30,1	32,9
1998/99	25,7	20,3	17,2	12,4	9,4	11,3	14,9	18,9	21,0	26,9	29,8	33,6

1999/00	26,3	21,0	16,7	11,2	<u>7,7</u>	9,6	15,3	19,4	21,5	27,0	31,0	34,0
2000/01	27,2	20,9	18,0	10,8	8,0	10,2	15,8	20,0	21,3	29,0	30,6	34,2

Annexe 3

Tableau3 : tableau de mesure et de calcul des essais de briqueterie des échantillons.

	EchI		EchII		EchIII	
	Poids(g)	retrait(mm)	Poids(g)	retrait(mm)	Poids(g)	retrait(mm)
J0	47,6	50	50,4	50	45,2	50
J1	46,1	48	48	48	42,5	45
J2	43,9	45	46	47	39,8	43
J3	41,7	45	44,1	46	37,8	42
J4	39,9	45	42,3	46	36,5	42
J5	38,3	45	41,2	46	34	40
J6	37,2	45	40,7	46	33,9	40
J7	36,8	45	40,6	46	33,9	40
J8	36,7	45	40,6	46	33,9	40
J9	36,8	45	40,6	46	33,9	40
105°C	35,1	45	39	46	32,2	40
700°C	33,2	45	37,2	46	28,7	40
750°C	32,1	45	36,6	46	27,5	40
800°C	29,9	45	36,3	46	27	40
850°C	30,4	45	33,1	46	26,9	40
900°C	29,8	45	34,6	46	26,8	40
950°C	30	45	34,4	46	25,1	40

Annexe 4

Tableau 4 : Exemple d'un tableau de mesure d'essai de Compression/Flexion.

Temps	Déplacement	Effort	Extenso	Auxilaire
0	0	6,1	0	0
0,1	0	-3,05	0	0
0,2	0,01	4,58	0	0
0,3	0,03	6,1	0	0
0,4	0,05	0	0	0
0,5	0,07	7,63	0	0
0,6	0,09	0	0	0
0,7	0,11	1,53	0	0

0,8	0,13	0	0	0
0,9	0,15	3,05	0	0
1	0,17	0	0	0
1,1	0,19	0	0	0
1,2	0,21	6,1	0	0
1,3	0,23	-4,58	0	0
1,4	0,25	3,05	0	0
1,5	0,27	6,1	0	0
1,6	0,29	1,53	0	0
1,7	0,31	0	0	0
1,8	0,33	12,21	0	0
1,9	0,35	0	0	0
2	0,37	-12,2	0	0
2,1	0,39	4,58	0	0
2,2	0,41	-1,52	0	0
2,3	0,43	0	0	0
2,4	0,45	1,53	0	0
27,7	5,51	1220,7	0	0
27,8	5,53	1342,7	0	0
27,9	5,55	1434,3	0	0
28	5,57	1538	0	0
28,1	5,59	1683	0	0
28,2	5,61	1843,2	0	0
28,3	5,63	2012,6	0	0
28,4	5,65	2177,4	0	0
28,5	5,67	2357,4	0	0
28,6	5,69	2481	0	0
28,7	5,71	2629	0	0
28,8	5,73	2795,4	0	0
28,9	5,75	2960,2	0	0
29	5,77	2911,3	0	0
29,1	5,79	3028,8	0	0

29,2	5,81	2888,4	0	0
29,3	5,83	3030,3	0	0
29,4	5,85	3186	0	0
29,5	5,87	3332,5	0	0
29,6	5,89	3448,4	0	0
29,7	5,91	3555,2	0	0
29,8	5,93	3666,6	0	0
29,9	5,95	3747,5	0	0
30	5,97	2697,7	0	0
30,1	5,99	2667,2	0	0
30,2	6,01	2687	0	0
30,3	6,03	2752,6	0	0
30,4	6,05	2775,5	0	0
30,5	6,07	2731,3	0	0
30,6	6,09	2700,8	0	0
30,7	6,1	2565	0	0
30,8	6,12	2484,1	0	0
30,9	6,14	2520,7	0	0
31	6,16	2575,6	0	0
31,1	6,18	2618,4	0	0
31,2	6,2	2667,2	0	0
31,3	6,22	2713	0	0
31,4	6,24	2740,4	0	0
31,5	6,26	2758,7	0	0
31,6	6,28	2770,9	0	0
31,7	6,3	2778,6	0	0
31,8	6,32	2734,3	0	0
31,9	6,34	2641,2	0	0



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: HMAMOUCI Safouane

Année Universitaire : 2014/2015

Titre: Etude du comportement mécanique des marnes au cours de la cuisson

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des marnes Miocène de la carrière de Ben Jallik, ces marnes sont caractérisées par sa grande homogénéité lithologique et par son épaisseur qui atteint parfois 1000 mètres. Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé à une caractérisation technologique et mécanique de ces marnes au cours de la cuisson.

L'analyse des résultats technologiques nous ont permis d'en déduire que le taux de variation du retrait des briquettes à l'air libre des trois échantillons est moyennement élevé notamment pour l'échantillon III, les trois échantillons atteignent entre 4 et 10% du retrait total dès les premiers jours.

Après la cuisson de nos échantillons à différentes températures on constate que la variation du retrait est faible pour l'échantillons I et II par contre l'échantillon III montre un taux de variation du retrait très remarquable surtout un niveau des températures 700°C et 750°C.

Les résultats de la résistance mécanique des différents échantillons est fortement améliorée par la cuisson, l'échantillon III présente une meilleure résistance mécanique à la compression et à la flexion ceci à une température de cuisson de 900°C.

Mots clés: Marne de Miocène, Comportement mécanique, Essai de Compression, Essai de Flexion

