



Année Universitaire : 2010-2011

Licence Sciences et Techniques : géoscience appliquée

Projet DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de licence Sciences et
Techniques

Titre :

*Valorisation physico-chimique Granulométrie minéralogie et
technologie des marnes de la région de Moulay Yacoub*

Présenté par:

Majda Najm

Encadré par: Mr. Raouf Jabrane
Mme. Leila Mesrar

Soutenu Le 25 Juin 2010 devant le jury composé de :

- | | |
|---------------------------|-------------|
| - Mr. Raouf Jabrane | Encadrant |
| - Mme. Leila Mesrar | Encadrante |
| - Mr. Moustafa El Quandil | Examinateur |
| - Mr. Mohamed Tibyaoui | Examinateur |
| - Mr. Mohamed Boumashouli | Examinateur |

Stage effectué au : Laboratoire de Géoressources et Environnement
Faculté des Sciences et Technique, Fès
: Laboratoire des travaux public NBR
: Centre Universitaire Régional d'Interface (CURI)
L'université Sidi Mohamed Ben Abdallah





Sommaire

Introduction générale	4
Chapitre I : cadre géologique et climatique de la zone d'étude	4
Situation géographique	5
I.2. Cadre socio-économique:.....	6
I. 2.1 Cadre économique.....	6
I.2.1.1.L'agriculture	6
I.2.1.2 l'elvage	6
I.2.2Cadre sociologique	7
I.3.Climatologie	8
I.3.1. Le climat	8
I.3.2. Précipitation	8
I.3.3. La température	9
I.4. Hydrologie et hydrogéologie	10
I.4.1. Hydrologie	10
I.4.2. Hydrogéologie	11
I.5. Cadre géologique	13
I.5.1. Représentation	13
I.5.2. cadre structurel	14
I.5.3. lithostatigraphie	14
Chapitre II :Echantillonnage et méthode d'analyse.....	16
II.1. Echantillonnage.....	17
II.1.1. Prélèvements des échantillons.....	17
II.2. Méthodologie.....	17
II.2.1. Préparation des échantillons	18
II.2.2. Analyses physico-chimiques du sol	19
II.2.2.1. Détermination de l'humidité résiduelle	19
II.2.2.2. Détermination du pH dans l'eau de sol.....	19
II.2.2.3. Conductivité électrique du sol	20
II.2.2.4. Dosage de la matière organique totale par perte au feu (PAF)	20
II.2.2.5. Dosage du calcaire par Calcimétrie du Bernard	21
II.2.3. Granulométrie.....	22
II.2.3.1. Texture :.....	22
II.2.3.2. Séparation granulométrique par tamisage humide.....	22
II.2.3.3. Analyse granulométrique par sédimentation	23
II.2.3.Les analyses géochimiques	24
II.2.3.1 Mise en solution des sols par attaque acide	24
II.2.4. Essais technologiques	25
II.2.4.1. Essai géotechnique	25
II.2.4.1.1Teneur en l'eau	25
II.2.4.1.2 Limite de liquidité et de plasticité	25
II.2.4.1.3 Essai au Bleu de Méthylène	26
II.2.4.1.4. essai coulabilité	27
II.2.4.2. Essais sur briquettes	28
II.2.4.2.1. Confection des briquettes.....	28





II.2.4.2.2. Echantillons cuits	29
II.2.4.2.3. Texture	29
II.2.4.2.4. Résistance à la flexion.....	29
Chapitre III :résultats et discussions.....	30
Introduction	31
III.1. Les analyses physicochimiques	31
III.1.1. Humidité résiduelle	31
III.1.2. pH-mètre.....	31
III.1.3. Conductivité électrique.....	32
III.1.4. Teneur en matière organique.....	33
III.1.5. Teneur en carbonate de calcium :	33
III.2 .Les analyses granulométries	34
III.2.1 Séparation granulométrique par tamisage humide	35
III.2.2 Analyse granulométrique par sédimentation	36
III.3. Les analyses géochimies	37
III.3.1 Attaque triacide	37
III. 3.2. Analyse minéralogie.....	39
III. 4. Essaies d'identifications de sol	41
III.4.1. Teneur en l'eau	41
III 4.2 limite de plasticité et de liquidité	41
III.4.3. Essaie bleu de méthylène :.....	42
III.4.4. Essaie coulabilité	43
III.5. Les essaies technologiques sur les briquettes	45
III.5.1.Les effets de séchage à température ambiante et de la cuisson à 105C	45
III.5.2. Perte de retrait en fonction de la température	46
III.5.3 Perte de poids en fonction de la temperature de cuisson :	48
III.5.4. Porosité en fonction de la temperature de cuisson :	49
III.5.5 Essaie de compression.....	51
Conclusion.....	54





Introduction générale

La **marne** que l'on nomme aussi, en fonction de sa qualité, **Pierre de France**, est une roche sédimentaire contenant du calcaire CaCO_3 et de l'argile en quantités à peu près équivalentes (35 % à 65 %).

Depuis l'âge de bronze, on extrait la marne sous forme de blocs de pierre destinés à la construction. On retrouve ce matériau abondant, facile à extraire et à façonner dans de nombreux bâtiments anciens modestes ou prestigieux. Avec l'épuisement des carrières en marne de qualité, la faible dureté du matériau et sa mauvaise résistance conduira cependant à un abandon progressif de cet usage. Apparut il y a peu, le phénomène des pluies acides constitue un redoutable ennemi des bâtiments construits en matériaux marneux. Les derniers gisements de marnes de qualité sont donc réservés à la restauration.

Au XIX^e siècle on industrialisa la production de chaux. La marne avec sa composition calcaire élevée et son abondance était un ingrédient idéal pour les usages qui ne requéraient pas en final une chaux d'un haut niveau de pureté :

- l'élaboration de mortier par exemple. Le ciment utilise toujours la marne comme ingrédient principal Broyé.
- C'est aussi un produit d'amendement des cultures afin de rendre les sols moins acides.
- Comme matériau de construction dès que les outils en métal furent connus.
- et le plus importante c'est l'utilisation dans l'industrie céramique...

Dans le cadre de la préparation d'un mémoire de fin d'étude de Licence Appliquée
« Géoscience Appliquée »

Mon travail sera consacré à une valorisation des marnes de la région de Moulay Yacoub dont les étapes se déclinent comme suit :





- Echantillonnage des sols situés à Moulay Yacoub.
- Caractérisation physico-chimique (séparation granulométrique, calcimétrie, pH, conductivité électrique, humidité) dans le laboratoire de Géoscience et l'environnement dans la Faculté des Sciences et Technique de Fès saïs.
- Caractérisation Géochimique par ICP et R.X, les analyses thermiques par ATD ATG, et les analyses minéralogiques au Centre Universitaire de Recherche D'Interface **CURI**.
- Caractérisation technologique (essais géotechniques, essais sur briquettes) dans le laboratoire de Géoscience et l'environnement dans la faculté des Sciences et Techniques.
- Essaie de compression dans le laboratoire des travaux public **NBR**.

Ce mémoire se subdivise en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente le cadre général de la zone d'étude à savoir situation géographique et socioéconomique, climat, hydrologie, hydrogéologie et géologie de la région.
- Le second chapitre développe la méthodologie, à savoir les différentes techniques de préparation, d'analyse et de caractérisation utilisées dans ce mémoire.
- Le dernier chapitre présente les différents résultats de notre étude et leur interprétation.





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma



Chapitre I :

Cadre géographique, géologique et climatique de la zone d'étude

Faculté des Sciences et Techniques - Fès
☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
■ 212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14



I.1 Situation géographique

Située au Nord-ouest de Fès (fig1), la région de Moulay Yacoub se trouve limitée au Nord par le front du "complexe préifain", au Sud par la dépression de Douyet, à l'Est par l'oued Kreieb et à l'Ouest par Jbel Guerzine (5).

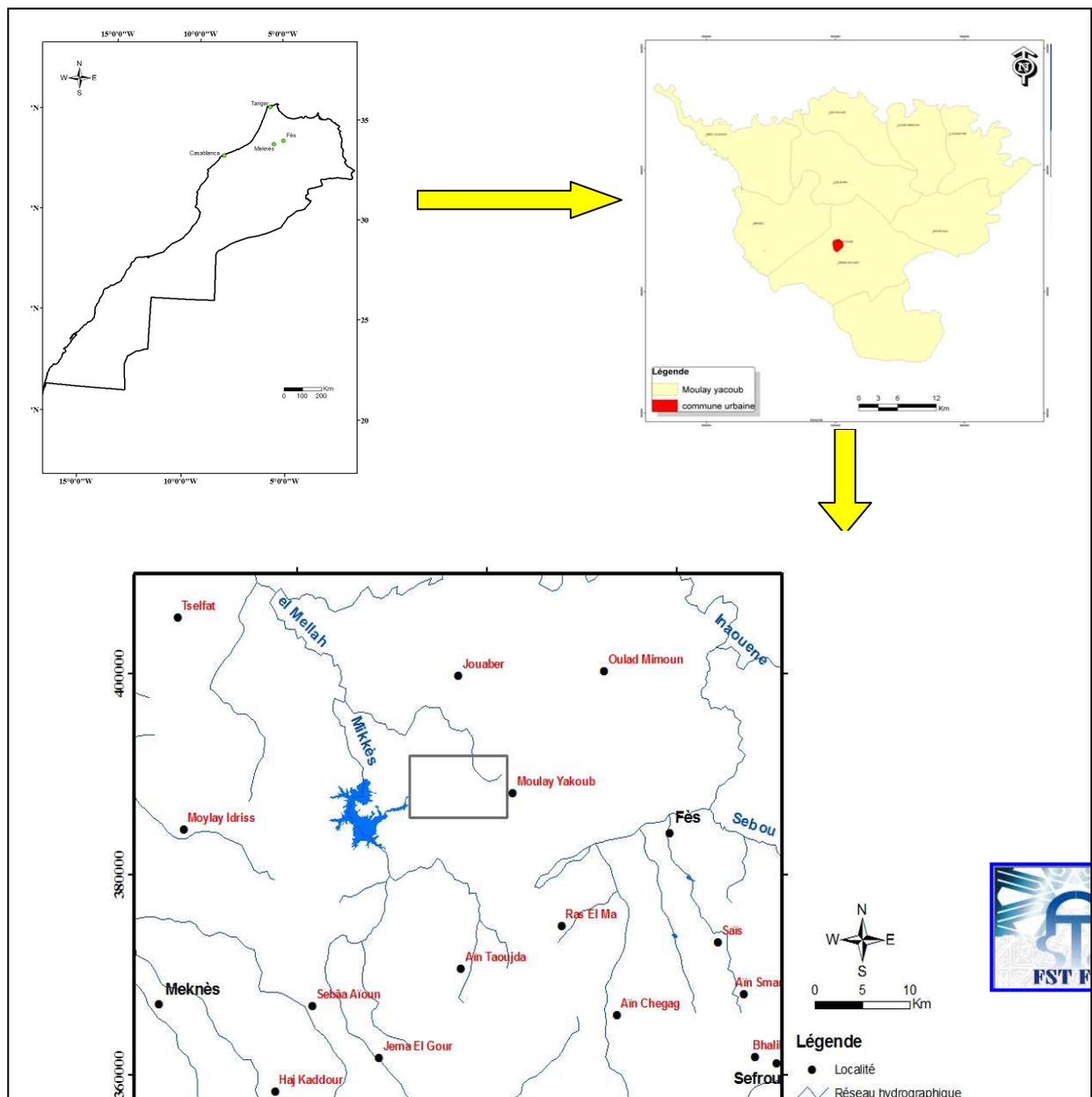


Figure. 1 : carte de localisation de la zone d'étude

I. 2 Cadre socio-économique

I.2.1- Cadre économique

L'activité économique principale de la population dans la commune Moulay Yacoub est l'Agriculture. L'élevage vient en seconde position.(1)

I.2.11.L'agriculture

- L'agriculture est la principale activité de la commune.
- Superficie agricole utile fait partie de celle de Sbaa Rouadi 17469ha.
- Superficie agricole irriguée est de 1298ha. (1)
- Occupation de sols montre une dominance des céréales (fig2).

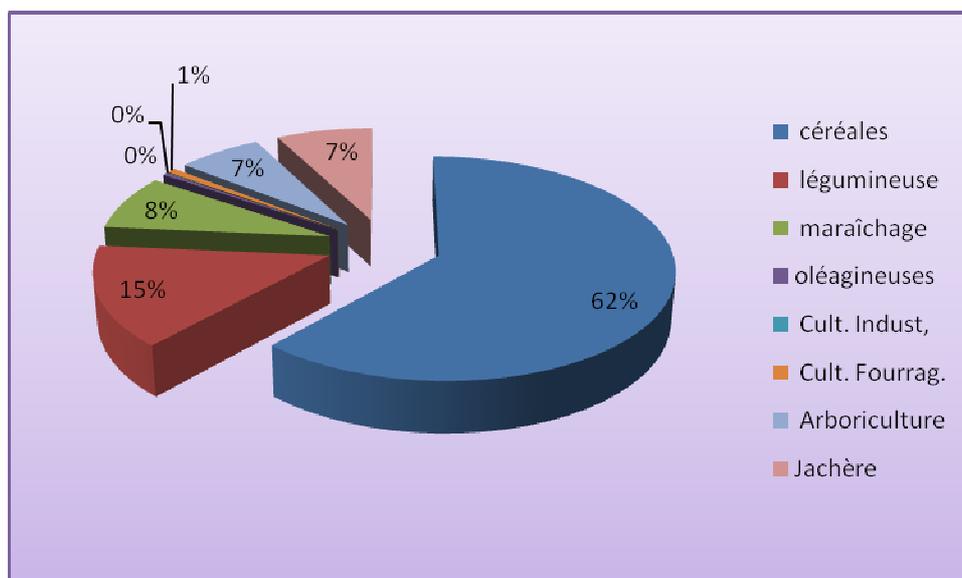




Figure 2 : Occupation des sols (ABHS 2004)

I.2.1.2. L'élevage :

L'élevage constitue la seconde activité du monde rural et se pratique souvent en corrélation avec l'agriculture. L'effectif du cheptel s'intègre dans celui de la commune rurale Sbaa Rouadi est estimé à environ : 2309 bovins, 16791 ovins, et 711 caprins.

La commune possède d'énormes potentialités pour l'activité de l'élevage en raison des pâturages abondants, de la disponibilité constante d'eau.(1)

I.2.2. Cadre sociologique :

- La population de la commune est de 3153 habitants selon ABHS, 2004.
- Nombre de foyers : 736.

Le tableau suivant illustre les résultats du recensement de 2004.(1)

Tableau.1 : statistiques de la population (ABHS 2004)

Population	1994		2004		TA
	Total	Ménages	Total	Ménages	
	2726	615	3153	736	1.5



TA : taux d'accroissement interannuel

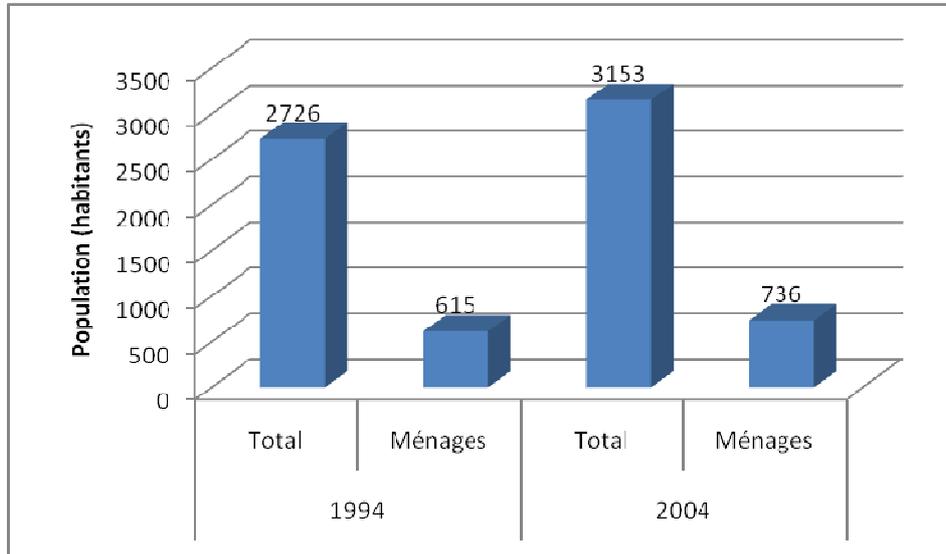


Figure.3 : évolution de la population de la commune (ABHS 2004)

Le taux d'accroissement de la population est de 1.5% pour l'ensemble de la commune (fig.3). Cette croissance s'explique par le fait que la municipalité connaît un fort développement. Les prévisions de la population de la municipalité sont illustrées dans la figure ci-dessous. (1)

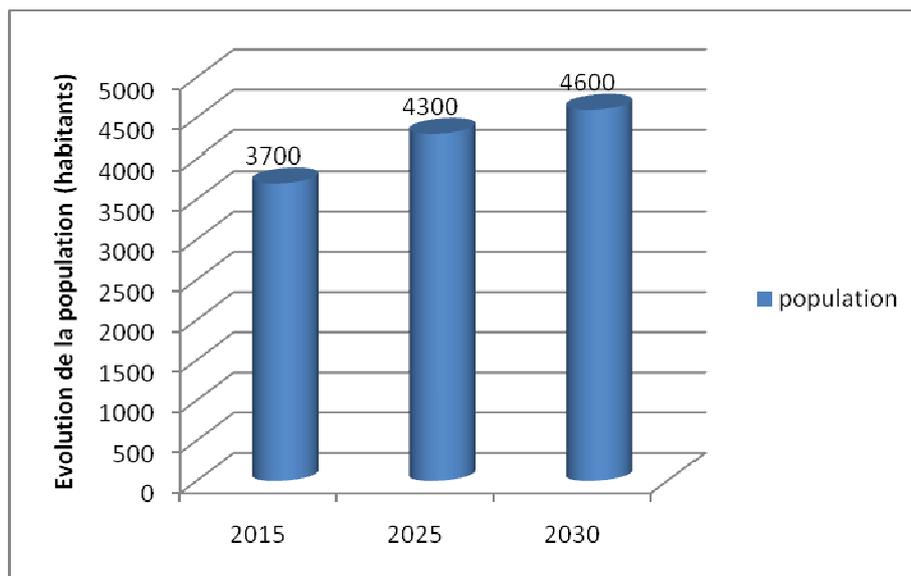




Figure 4 : Projection de la population urbaine (ABHS 2004)

I.3. Climatologie

I.3.1. Le climat :

Le climat de la région est considéré comme un climat de type semi aride.

I.3.2. Précipitation :

Les précipitations forment un paramètre hydrologique d'une grande importance dans le fonctionnement d'un bassin versant. Ces dernières jouent un rôle essentiel dans la recharge des nappes phréatiques, ainsi que dans le remplissage des Oueds.

- La station pluviométrique de référence est celle de Fès (fig.5).
- Le graphique montre que le mois de Décembre est le mois le plus pluvieux.
- La moyenne des précipitations annuelles est de l'ordre de 430 mm/an.(1)



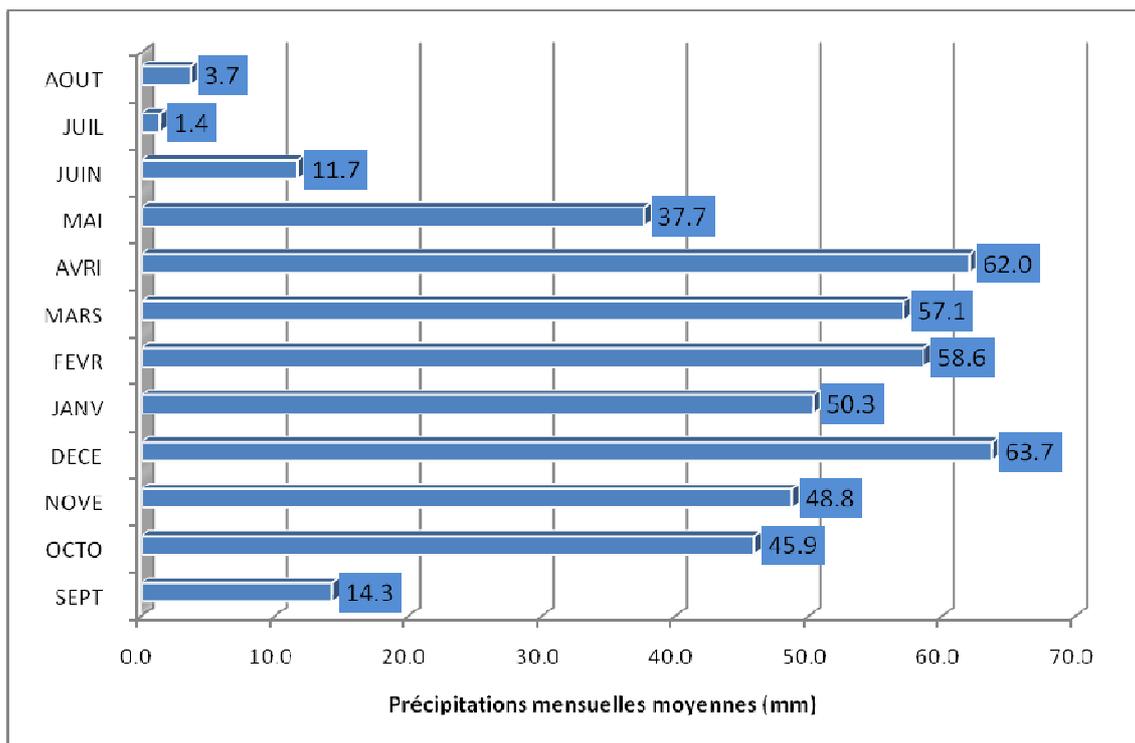


Figure 5 : précipitation mensuelle station de Fès (ABHS 2004)

1.3.3 La température :

La température est une donnée importante, elle contrôle l'intensité de certains facteurs du cycle de l'eau, notamment, l'évaporation et la transpiration des végétaux, et elle dépend de deux types d'agents :

- ◆ Intrinsèques: latitude, relief, sol;
- ◆ Extrinsèques: masse d'air, nébulosité, saison.

Pour cette étude nous disposons des températures mensuelles de la station de Fès (fig.6)

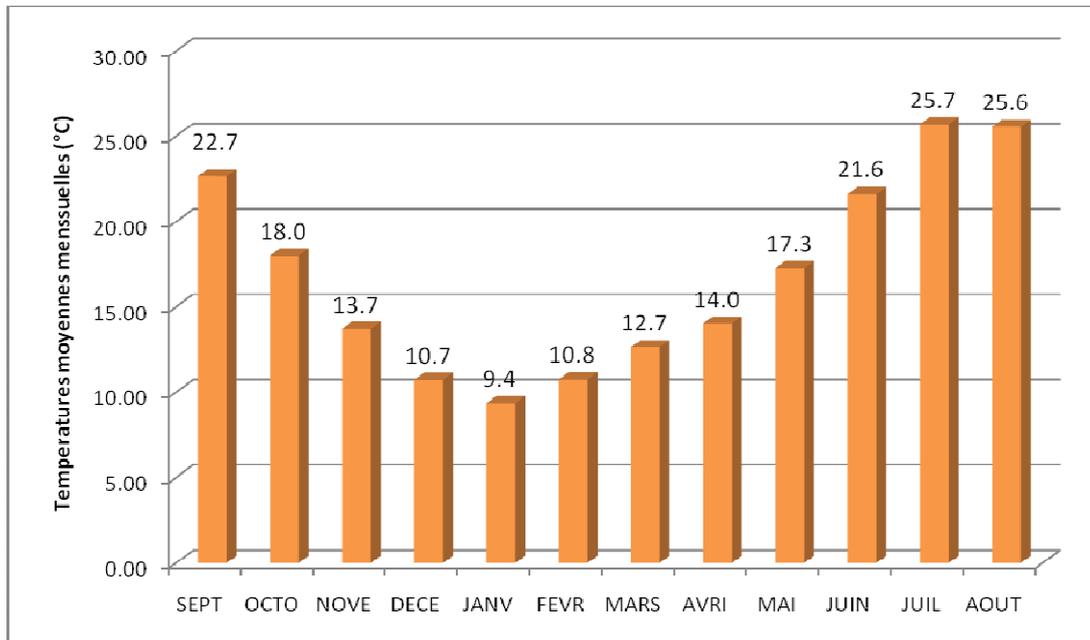


Figure.6 : températures moyenne mensuelle enregistrées (ABHS 2004)

D'une manière générale la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 17°C, marquant ainsi une température plus ou moins élevée. L'allure générale montre une augmentation thermique progressive du mois le plus froid (janvier) : 9.4°C jusqu'aux mois les plus chauds (juillet) 25.7°C. (1)

I.4. Hydrologie et hydrogéologie de la zone d'étude:

I.4.1. Hydrologie :

La région de Moulay Yacoub est traversée par un seul réseau hydrographique, c'est l'oued Mikkés (fig7).

- *Oued Mikkès.*

Oued	Station de référence	Apports (Mm ³ /an)	BV (km ²)
Mikkes	El Hajra	47	1384

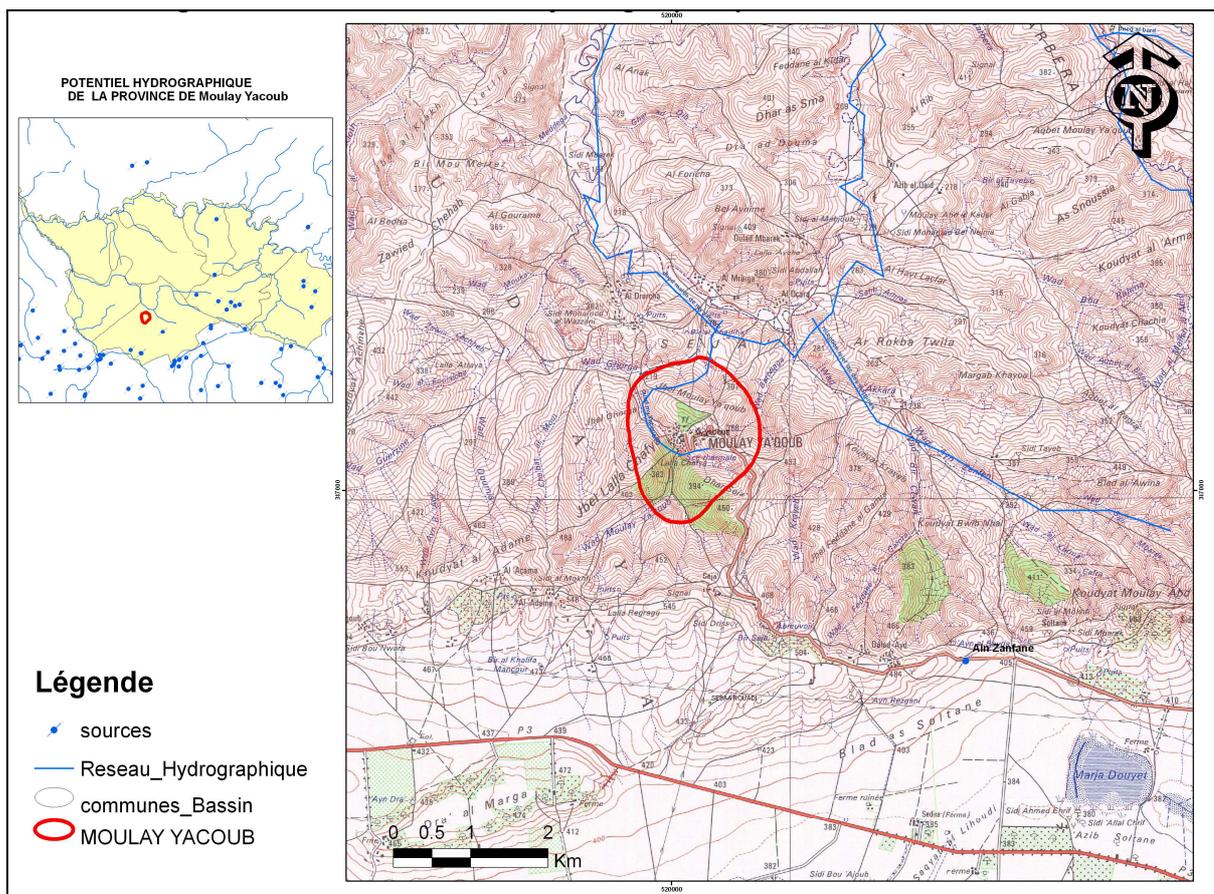


figure.7 : carte du réseau hydrographique de Moulay Acoub :(ABHS 2004)

I.4.2. Hydrogéologie :

- Sur le plan géologique, la commune appartient à l'unité géologique du couloir sud rifain qui est constitué par des terrains calco-dolomitiques du Lias.



- Cette unité comporte 2 nappes souterraines (phréatique et profonde) qui sont riches en eau (fig.8). (1)



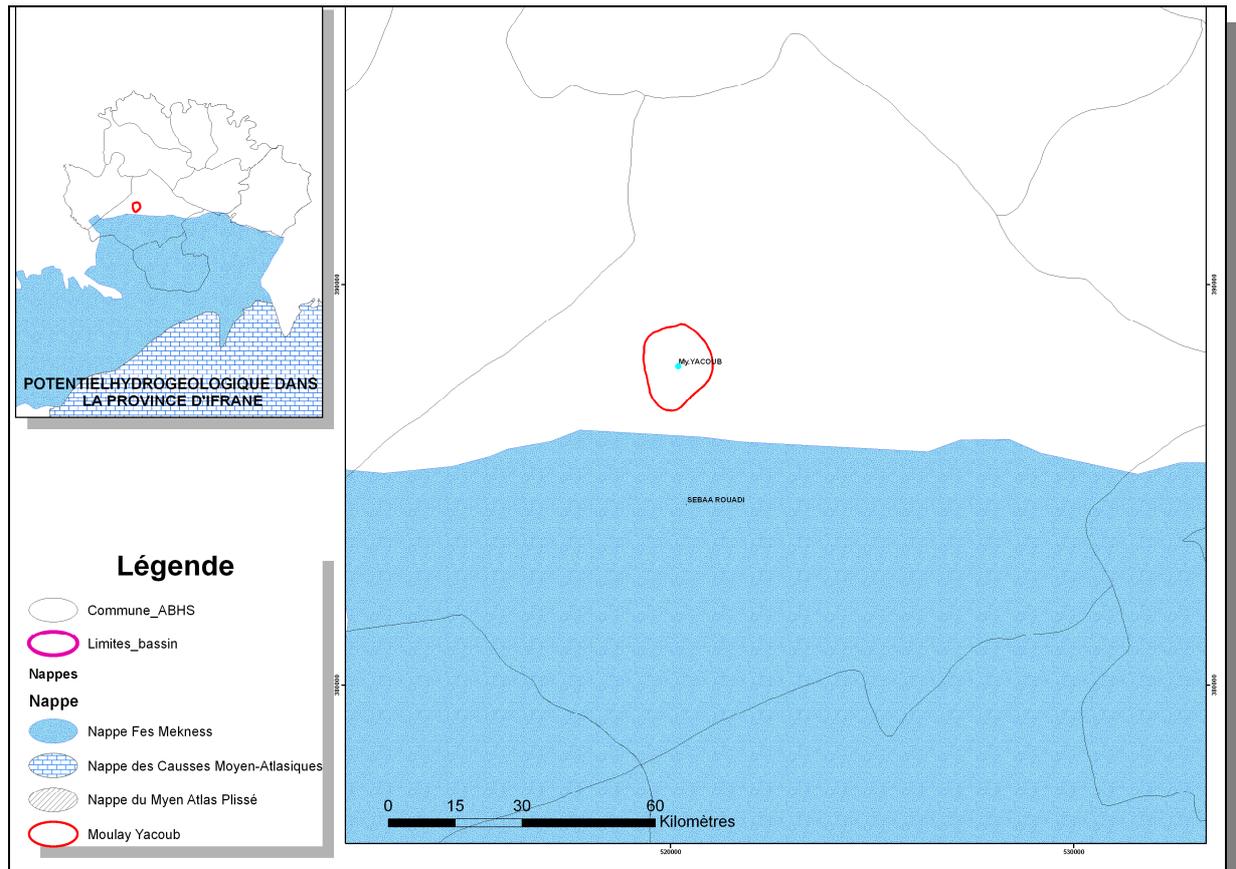


figure.8 : Carte hydrogéologie de Moulay Yacoub (ABHS 2004)

I.5. Cadre géologique :

I.5.1. Présentation :

La région de Moulay Yacoub est caractérisée par des formations miocènes du Sillon Sud Rifain. Ce dernier est localisé entre les domaines Rifain (Pré et Mesorifain) au Nord, le Massif Hercynien Central (Meseta marocaine) et le Moyen Atlas, au sud. Ces deux unités, bien individualisées par leur style de déformation et leur sédimentation ont largement influencé l'évolution tectono- sédimentaire. (4)

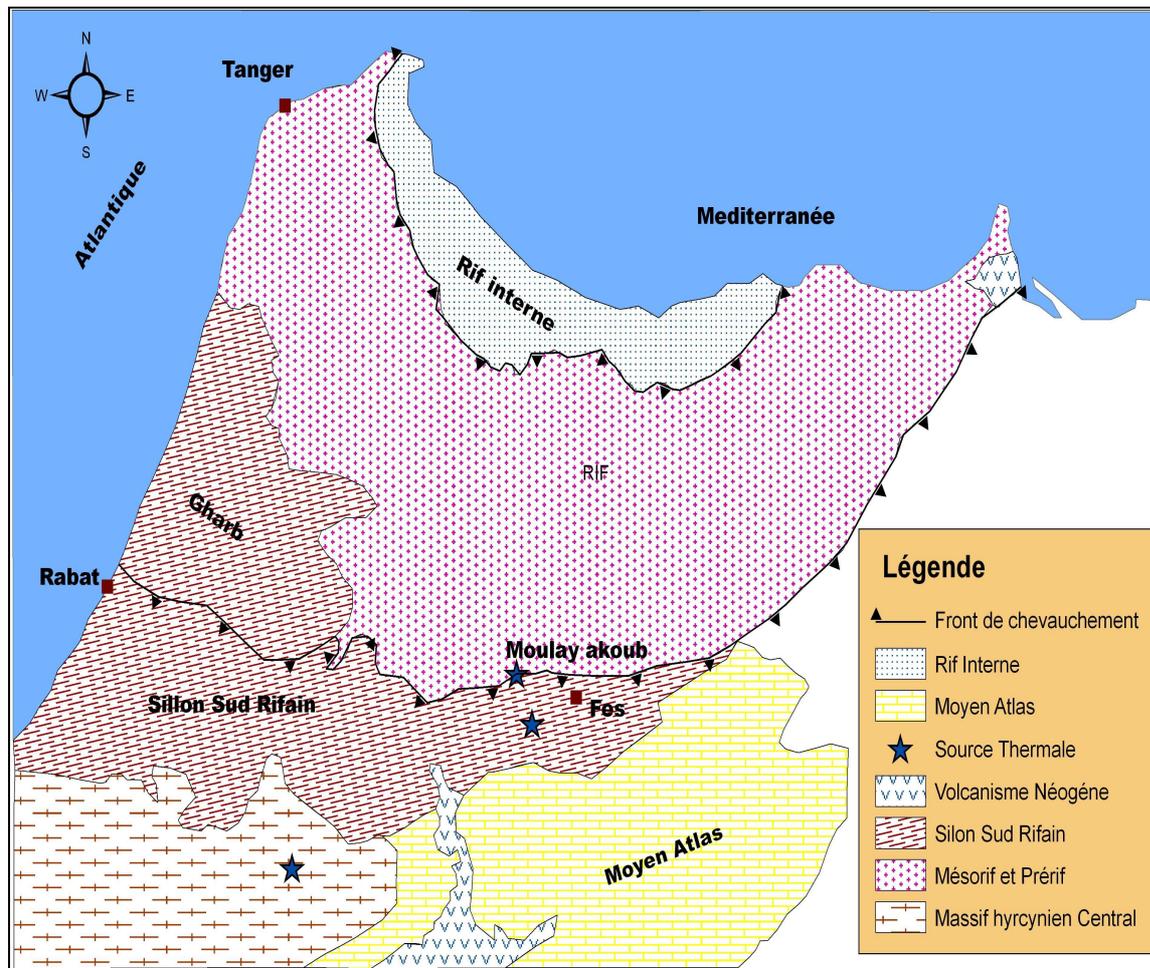


figure.9 : Carte de situation géographique de la région de Moulay Acoub (redessinée par le logiciel Arcgis 9.2 à partir du Carte géologique des résurgences de Moulay Yacoub : Nouvelle Approche Géologique et Géodynamique du Complexe Hydrothermal de Moulay Yacoub (Bordure Septentrionale du Sillon Sud Rifain) 2006.

I.5.2. Cadre Structural :

La structuration observée dans la région de Moulay Yacoub s'intègre dans le cadre de la tectonique chevauchante alpine de la chaîne rifaine. Cette structuration est induite par la migration des chevauchements vers l'extérieur de la chaîne rifaine (fig.9)

I.5.3. Litho stratigraphie :

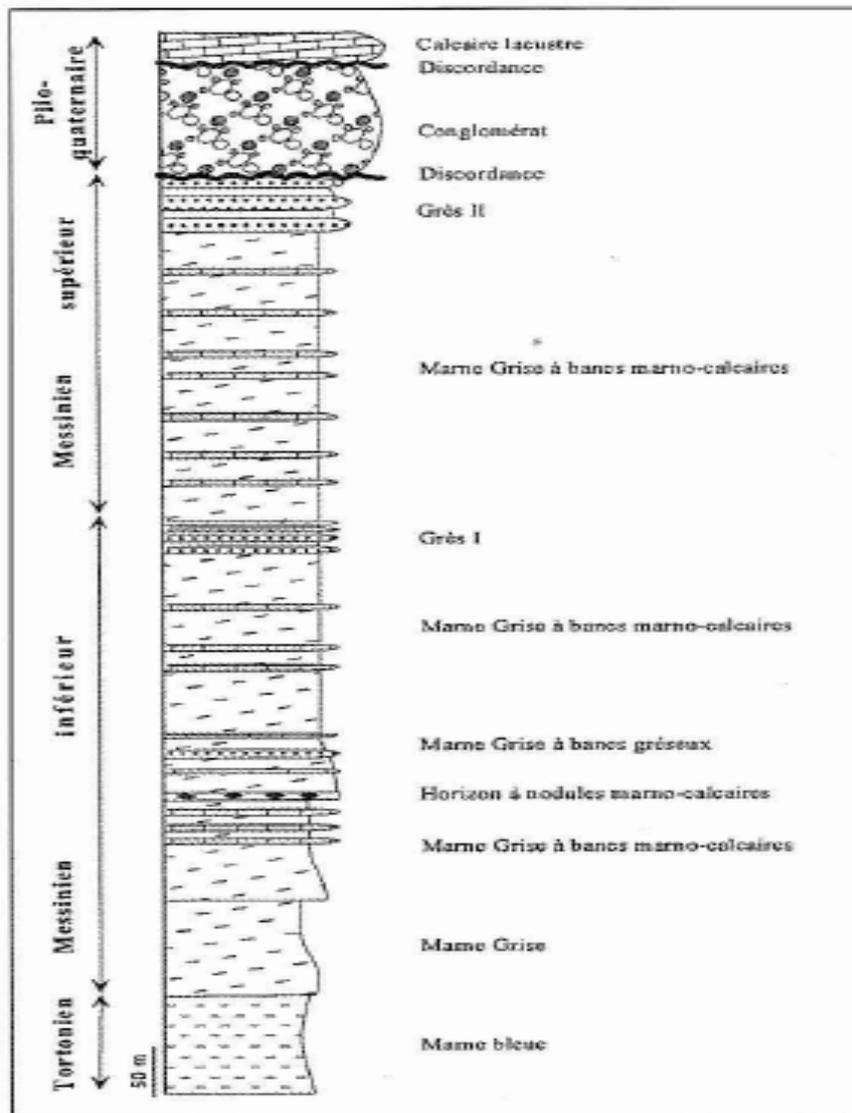




figure.10 : Colonne stratigraphique de la zone thermo minéral de Moulay Yacoub

Le Sillon Sud Rifain est défini comme un bassin d'avant fosse comblé par une épaisse série sédimentaire du Miocène et du Plio-quaternaire. Dans la région de Moulay Yacoub, cette Série est constituée de bas en haut par :

- des marnes bleutées compactes du Tortonien basal (Marne bleue) imprégnées aux prés des résurgences chaudes de cristaux jaunâtres de pyrite.
- une série marneuse du Messénien inférieure intercalée à la base par des niveaux noduleux calcaires et au sommet par des bandes sablo ferrugineux. Elle est surmontée par une formation gréseuse à caractère turbiditique nommé « Grés I ».
- des marnes du Messénien supérieur marquées par des intercalations de bandes calcaires et surmontées par une barre gréseuse nommée « Grés II».
- une formation chaotique d'une centaine de mètres environ de puissance, englobant des blocs décamétriques de nature et d'âge variable. Des blocs de calcaire jurassique et des grés du Miocène ont été identifiés. Ces dépôts présentent les mêmes caractéristiques que ceux au niveau des pentes où la topographie et la sédimentation sont contrôlées par les effets de la tectonique locale. (6)





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma



Chapitre II:

Echantillonnage et méthodes d'analyses

Faculté des Sciences et Techniques - Fès
☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
■ 212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14





II.1 Echantillonnage

II.1.1. Prélèvements des échantillons :

Les 2 échantillons de sols MY1, MY2 ont été récoltés sur les marnes de tortonien.



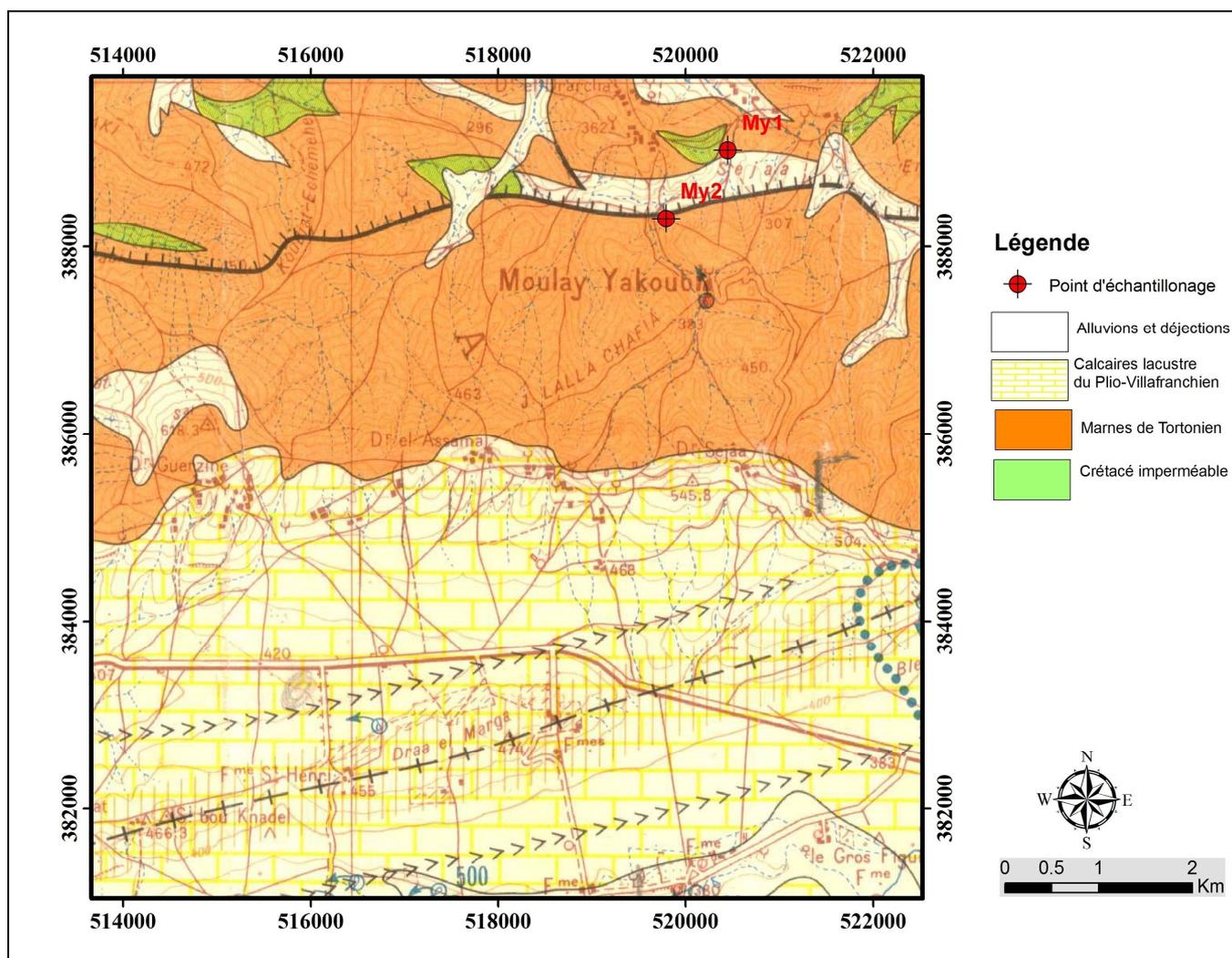


Figure 11: Carte illustrant la localisation des sites d'échantillonnage de la région de Moulay Yakoub

Secteur d'échantillonnage	Les coordonnées X, Y en (m)	Echantillons	Niveau litho stratigraphique
Douar Bnaiss	X=519796,93 Y=388296,43	MY1 Gris	Marne de tortonien
Douar Bnaiss	X=520458,22 Y=388957,76	MY2 Gris	Marne de tortonien

Tableau 2 :secteur de la localisation des sites d'échantillonnage de la région de Moulay Yakoub

Pour chaque site, le prélèvement est effectué sur une profondeur de 0 à 30 cm. Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'un marteau et une pelle en plastique, puis placés dans des sacs en plastiques.

II.2 Méthodologie

II.2.1. Préparation des échantillons :

Les échantillons de sol ont été séchés à l'air ambiant, concassés et tamisés à 2mm. Ensuite, on a procédé à un quartage des échantillons. Le quartage 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) jusqu'à l'obtention de la quantité réduite désirée, qui sera toujours représentative de l'échantillon de départ.

*Quartage par la méthode du cône :

Il s'agit d'une méthode manuelle qui ne demande que très peu de matériel.

- verser l'échantillon en un cône régulier sur une feuille;
- à l'aide d'une petite pelle ou d'une lame de papier rigide, séparer le cône verticalement par son sommet en deux moitiés symétriques et écarter l'une des deux moitiés de quelques centimètres en prenant garde à ce qu'un minimum de poudre reste sur la feuille de base;
- scinder ensuite les deux moitiés par un nouveau plan vertical perpendiculaire au premier, puis séparer l'échantillon de sorte que l'on obtienne quatre quarts de cône identiques;
- prélever et rassembler les quarts 2 et 4 (**Fig.12**) avec lesquels l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.

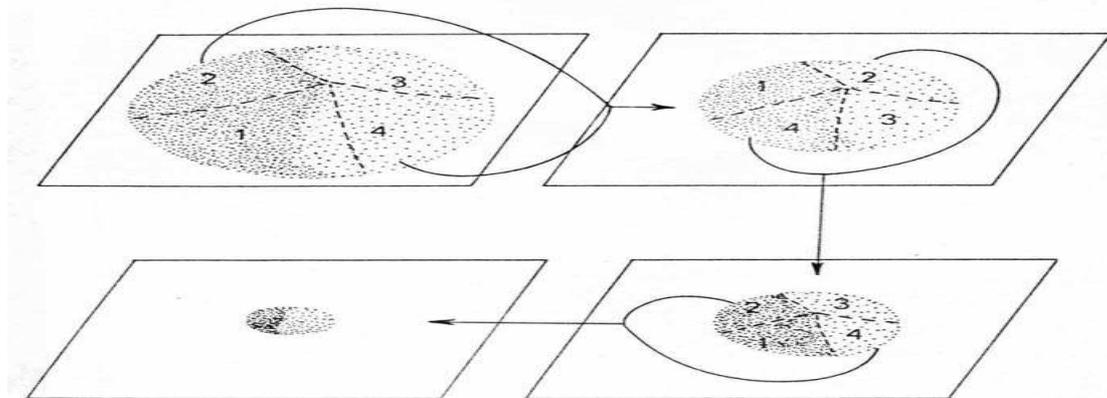




Figure.12: Méthode manuelle de quartage (méthode du cône) (CAUL 2009)

II.2. 2 Analyses physico-chimiques :

II.2.2.2. Détermination de l'humidité résiduelle :

La détermination de l'humidité du sol s'applique à tous types d'échantillons de sols (CIRAD, NF ISO 11465).

***Principe**

Les échantillons sont séchés à l'étuve à $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante. Une nuit, soit environ 16 heures, suffit généralement. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial.

***Procédures**

1. Peser le bécher en verre;
2. Peser environ 10 g de sol dans le bécher en verre;
3. Mettre au four à 105°C pendant 16h;
4. Peser;
5. Obtenir la masse de sol sec par soustraction

$$\text{Masse sol sec} = (\text{Masse de bécher vide} + \text{sol sec}) - \text{Masse de bécher vide}$$

6. Calculer le % d'humidité du sol.

***Calculs**

- Calcul pour obtenir le % d'humidité du sol:

$$\% \text{ Humidité du sol} = (\text{Masse humide} - \text{Masse sec}) / (\text{Masse humide}) * 100$$

II.2.2.2 Détermination du pH dans l'eau de sol :

***Définition**

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène.

$$PH = -\log_{10} a_{H^+}$$





Il est mesuré à l'aide d'une électrode de verre, dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogènes suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé pH-mètre.

Cette méthode instrumentale de mesure du pH est appliquée à tous les types de sols séchés à l'air selon les protocoles *AFNOR X 31-103* et *AFNOR X 31-104*.

La mesure s'effectue à l'aide d'une électrode de verre combinée trempée dans une suspension de sol dans:

- L'eau distillée: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

***Principe :**

On réalise une mise en équilibre ionique entre la phase solide et la phase liquide. La mesure est effectuée dans des conditions déterminées (rapport sol/solution=1/2:5).

***Mode opératoire :**

pH sol/H₂O

- tamiser 20g de sol sec tamisé à 2mm;
- mettre dans un bécher avec 50 ml d'eau distillé et un barreau aimanté;
- placer sur un agitateur magnétique pendant 30mn;
- mesurer avec l'électrode après étalonnage du pH-mètre.

II.2.2.3. Conductivité électrique du sol :

***Définition :**

La conductivité électrique (CE) est une mesure de la matière dissoute dans une solution aqueuse, ce qui a trait à la capacité du matériau à conduire le courant électrique à travers celle-ci. L'unité de la conductivité est Siemens/surface (MS/cm) ou microSiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

***Principe :**

La détermination de la conductivité électrique (CE) est réalisé avec une cellule de conductimètre par mesure de la quantité des ions solubles dans le sol.





***Mode opératoire :**

- peser 10g de sol sec tamisé à 2mm;
- mettre dans un bécher avec 50 ml d'eau distillé et un barreau aimanté;
- placer sur un agitateur magnétique pendant 30mn;
- étalonner le conductimètre selon les instructions du fabricant en utilisant le KCl comme solution tampon pour obtenir la constante de la cellule;
- mesurer avec l'électrode la conductivité de la suspension du sol.

II.2.2.4 Dosage de la matière organique totale par perte au feu (PAF) :

***Principe :**

C'est une détermination pondérale basée sur la calcination de la matière organique totale en condition sèche. Les échantillons sont placés à 375°C pendant 16h. A cette température, la

Matière organique est détruite et la perte en eau structurale des argiles et carbonates, à même de fausser la mesure, est minime, (*NF ISO 14235*) (*Ball, 1964*).

***Mode opératoire :**

- peser 10g d'échantillon dans une coupelle de porcelaine, sur une balance de précision au 1/1000^{ème};
- Déposer les coupelles dans l'ordre, toujours de haut en bas, de gauche à droite dans le four à moufle;
- afficher la température: 375 °C;
- attendre 16h;
- ouvrir la porte du four et laisser refroidir;
- mettre les échantillons dans un dessiccateur pour laisser refroidir à l'abri de l'humidité de l'air;
- peser chaque coupelle en le sortant du dessiccateur juste avant la pesée.

***Calcul**





$$\%MO = \frac{(Pds\ coupelle+terre) - (Pds\ coupelle+terre\ calciné)}{Pds\ terre\ utilisé}$$

II.2.2.5. Dosage du calcaire par Calcimétrie du Bernard :

La connaissance du pourcentage de calcaire dans un sédiment est utile dans de nombreux cas, que ça soit dans des sédiments continentaux ou marins. Le principe d'analyse repose sur l'action de l'acide chlorhydrique sur le carbonate de calcium. Le volume de gaz carbonique dégagé lors de l'attaque chlorhydrique d'un poids connu de sédiments permet de calculer le pourcentage de carbonate de calcium total présent dans le sédiment.



L'appareil utilisé est le Calcimètre Bernard, qui permet d'effectuer rapidement une série d'analyses, avec une précision satisfaisante.

***Mode opératoire :**

- peser exactement 0.250 g de calcite sec, a but d'étalonner l'appareil. Au début et à la fin d'une série de mesures (4 ou 5 échantillons);
- broyer une même quantité d'échantillon à 1 mm et sécher (0.250g);
- introduire avec beaucoup de précaution dans un erlenmeyer de 100 ml propre et sec;
- remplir un tube de verre aux $\frac{3}{4}$ avec l'acide chlorhydrique à 30 %;
- boucher soigneusement l'erlenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué du calcimètre;
- amener au même niveau le liquide du tube gradué et celui de l'ampoule, on note la division **d₁**.
- incliner l'erlenmeyer de façon à ce que l'acide du petit tube se répande sur l'échantillon. La stabilisation du niveau du liquide dans le tube indique la fin de la réaction; on note la division **d₂**.





La valeur d_2-d_1 est le volume de CO_2 dégagé.

$$\% \text{ CaCO}_3 = V * 100 / v$$

v = volume de CO_2 dégagé par la calcite;

V = volume de CO_2 dégagé par le poids P d'échantillon.

II.2.3. Granulométrie :

II.3.2.1. Texture

*Définition

Caractérise la composition granulométrique de la terre fine du sol ($< 2\text{mm}$). Les particules élémentaires du sol sont classées selon leur taille: *argiles* ($< 2 \mu\text{m}$), *limons fins* ($2-20 \mu\text{m}$), *limons grossiers* ($20-50 \mu\text{m}$), *sables fins* ($50-200 \mu\text{m}$), *sables grossiers* ($200-2000 \mu\text{m}$).

Au-delà de 2 mm , on a les éléments grossiers qui constituent le refus. Les classes de texture sont déterminées par les pourcentages relatifs ou la dominance des constituants granulométriques (argileuse, limoneuse, sableuse, argilo-sableuse...).

II.3.2.2. Séparation granulométrique par tamisage humide :

*Définition

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,050** et **2mm**.

→ On appelle :

- *REFUS* sur un tamis: quantité de matériau retenue sur le tamis;
- *TAMISAT* (ou passant): quantité de matériau qui passe à travers le tamis.





***Principe**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de *tamis* un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisas sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme numérique et sous forme graphique.

La granulométrie est une technique qui permet d'étudier la fréquence des grains de différentes dimensions, et faciliter ainsi les analyses du contenu pétrographique et minéralogique du sol référence (*Rouiller et al. 1972*).

***Préparation des échantillons (AFNOR X 31-107)**

***Mode opératoire**

- 1- peser 150 g d'échantillon.
- 2- verser cette quantité dans le tamis à 2 mm situé en haut de la colonne de tamis, après l'installation de fond de tamis.
- 3- Essayer de laver les matériaux avec l'eau distillée
- 4- après récupérer le refus de chaque tamis, mettre dans l'étuve à 105°C pendant 24h et après on le pèse.

Les résultats obtenus sont représentés sous formes (Histogramme).

II.2.3.3. Analyse granulométrique par sédimentation

➤ Méthode de pipette de ROBINSON

Toutes les analyses par sédimentation, d'après la loi de stock, acquise au bout d'un certain temps par toute particule se déplaçant dans un fluide sous l'effet d'accélération. Cette vitesse limite est rapidement atteinte dans le cas de particules sédimentaires fines dispersées dans l'eau distillé immobile, et soumise à la pesanteur. Elle dépend du poids apparent des particules (densité relative entre milieu dispersant et milieu dispersé) (*Rouiller et al. 1984*).

L'utilisation de la pipette de robinson a pour objectif la détermination du pourcentage de limons et d'argiles. La méthode consiste à prélever, à un instant et à une profondeur donnés,





un certain volume de la suspension en cours de sédimentation et d'y doser la quantité de particules (AFNOR X 31-107).

*** Mode opératoire**

- peser 30g d'échantillon sec < à 0,05 mm
- verser l'échantillon dans l'éprouvette graduée, ajouter de l'eau distillée et agiter plusieurs fois à la main;
- placer l'éprouvette sous la pipette, descendre cette dernière jusqu'à ce que la pointe touche le niveau supérieur de la suspension;
- descendre la pipette de 10cm et aspirer 10ml, verser dans une capsule tarée;
- évaporer à l'étuve et peser le résidu.

Opérer de la même façon 8h après, à une température de 20° C.

II.2.3. Les analyses géochimiques :

II.2.3.1 Mise en solution des sols par attaque acide :

Le dosage des métaux lourds a été effectué par spectroscopie d'absorption atomique qui nécessite une solubilisation des éléments à analyser (Norme AFNOR NFX31-147).

***Mode opératoire**

La préparation de l'échantillon consiste à procéder comme suit:

- après broyage du sédiment (200µm), une prise d'essai environ 0,5g d'échantillon est attaquée dans une capsule en téflon à froid;
- après homogénéisation, on ajoute 5ml d'acide nitrique, 5 ml d'acide perchlorique et 10 ml d'acide fluorhydrique (HF);
- on couvre et on laisse agir à froid pendant une nuit sous la hotte;
- les béchers sont ensuite placés sur une plaque chauffante (100°C sans atteindre l'ébullition), pour évaporer les acides;
- on commence à chauffer légèrement jusqu'à apparition de vapeurs blanches de HClO₄.





- la présence de grains non solubilisés au fond des béchers indique la présence de matière organique. Après l'évaporation, on refroidit les échantillons et on ajoute 2 ml de H₂O₂ à 35% pour attaquer la matière organique persistante;
- on augmente la température jusqu'à assécher tout le liquide et l'obtention d'un mélange visqueux;
-
- on laisse refroidir, puis on ajoute 2,5ml d'acide nitrique et on reprend l'évaporation totale (on obtient une perle);
- On met le culot en solution avec 5ml d'acide nitrique à 50% et 10ml d'eau distillée, et on porte à ébullition pendant 5min;
- on transvase dans une fiole jaugée de 100 ml, après refroidissement, on jauge avec l'eau distillée;
- On ajoute 10 gouttes de HNO₃ concentré et on met les fioles au réfrigérateur à 4°C.
- La solution est prête pour le dosage des éléments traces.

La caractérisation est effectuée via ICP-AES au Centre Universitaire de Recherche et d'Interface à Fès.

La caractérisation granulométrique, minéralogique et géochimique des échantillons solides et celle physico-chimiques des échantillons liquides ont nécessité le recours à plusieurs modes opératoires de préparation d'échantillon avant de procéder aux différentes analyses. La lecture des résultats ainsi que leurs interprétations sont détaillées dans le chapitre suivant.

II.2.4. Essais technologiques

II 2.4.1. Essai géotechnique





II.2.4.1.1 Teneur en l'eau :

Teneur en l'eau la teneur en l'eau naturel d'un échantillon correspond au rapport du poids d'eau P_w contenu dans cet échantillon et de son poids sec P_s . (2)

$$W (\%) = \frac{P_w}{P_s}$$

II.2.4.1.2 Limite de liquidité et de plasticité :

Limite de liquidité :

La limite de liquidité (w_l) caractérise la transition entre un état plastique et un état liquide. C'est la teneur en eau pondérale, exprimée en pourcentage, au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide visqueux sous l'influence de son propre poids.

Formule de la teneur en eau pondérale: Masse d'eau (g)/Masse de sol sec (g).

Le mode opératoire:

Le sol est mélangé à une quantité d'eau. La pâte obtenue est placée dans une coupelle de 100 mm de diamètre environ. On trace sur la pâte lissée une rainure normalisée avec un outil spécial. A l'aide d'une came, on fait subir une série de chocs à la coupelle. On observe en fin d'expérience le contact des deux lèvres de la rainure. La limite de liquidité est la teneur en eau en % qui correspond à une fermeture en 25 chocs.(2)

$$WL = W * (N/25)^{0.121}$$

N : nombre de coups correspondant à la fermeture du mortier sur 1 cm de long
dans la coupelle

W : teneur en l'eau de mortier

Limite de plasticité :

La limite de plasticité (w_p) caractérise la transition entre un état solide et un état plastique. Cette limite indique la teneur en eau pondérale, en pourcentage, maximale pour travailler





Un échantillon et éviter la compaction. En deçà de cette limite, le sol est friable ou facilement travaillable d'un point de vue agronomique.

Mode opératoire:

On mélange l'échantillon avec des quantités variables d'eau; on façonne avec la pâte un rouleau de 3 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm

Indice de plasticité :

L'indice de plasticité IP est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, il mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol. Cette notion d'indice de plasticité à une grande importance dans tous les problèmes géotechniques du sol.

Il s'exprime donc par la relation :(2)

Indice de consistance :

$$IP = WL - Wp$$

$$IC = WI - W / Ip$$

IC: indice de consistance.

II.2.4.1.3 Essai au Bleu de Méthylène

But de l'essai :

Cet essai permet de mesurer la capacité d'adsorption ionique des sols à l'aide du bleu de méthylène (NF P 94-068):

Il a pour but de caractériser la fraction argileuse d'un sol 'c'est à dire que le résultat de l'essai dépend de la quantile et de la nature minéralogique de cette fraction.

Principe de l'essai :

Il consiste à introduire des quantités croissantes de solution de bleu de méthylène dans un bain aqueux contenant une prise d'essai (30 à 120g de matériau inférieur à 0,4 mm en





suspension dans 500 cm³ d'eau).sa dépend de l'échantillon pour les sols argileux entre 30g et 60g pour les sols peu argileux entre 60g et 120g jusqu'a ce que les particules argileuses en soient saturées. Il apparaît alors un début d'excès qui marque la fin de l'essai et que l'on détecte par le test dit "à la tache».

La "valeur de bleu" des fines est la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100g de sol.

$$\text{Valeur de bleu : } VB = \frac{V}{M}$$

V : volume total de solution de bleu de méthylène introduit (cm³).

M : masse sèche de la prise d'essai (g) avec:

$$M = \frac{\text{masse humide} \times 100}{100 + \text{teneur en eau}}$$

II.2.4.1.4. essaie coulabilité :

Principe :

La coulabilité est la propriété d'une argile à être coulée dans un moule : la dispersion de l'argile dans l'eau forme une barbotine qui va être coulée dans un moule en plâtre qui absorbera l'eau par effet de succion. Après un certain temps, la pâte dans le moule se raffermi et se détache, tout en gardant la forme de celui-ci. Parfois, le mélange d'eau et d'argile forme des flocons. Pour éviter ce phénomène, on ajoute un défloculation, tel le carbonate de sodium **Na₂CO₃**.





Mode opératoire :

Dans une barbotine composée de 220 g d'argile et 200 ml d'eau distillé, on ajoute progressivement des quantités Croissantes de défloculation ; à chaque dosage, on laisse agiter pendant 15 min, puis on mesure la viscosité de la barbotine.(9)

II.2.4.2. Essais sur briquettes :

II.2.4.2.1. Confection des briquettes:

But:

Cet essai permet de mettre en valeur certaines caractéristiques de l'argile testée afin de pouvoir donner une base ou abaque pour son utilisation dans le domaine de la briqueterie, céramique etc. (10)

Principe:

La préparation de l'échantillon consiste à faire sécher 1 Kg de matériau dans l'étuve (à 105°C) puis le brayer finement.

On procède ensuite à la recherche de l'eau de gâchage avec laquelle on mélangera le matériau pour avoir son indice de plasticité.

On procède à la confection des briquettes en mélangeant 400g de matériau avec un quantile d'eau jusqu'à la formation d'une pâte. On laisse séjourner cette pâte pendant 24h dans un dessiccateur, puis on fabrique avec cette pâte 12 briquettes à l'aide d'un moule métallique prévu à cet effet

On marque sur leur face supérieure deux segments diagonaux, chacun d'une longueur de 50 mm, ainsi que les références de l'échantillon.

Mesure du retrait :

Après le démoulage, 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 diagonales à l'aide de la pierre à coulisse jusqu'à stabilisation du poids et du retrait.

On sèche les briquettes dans l'étuve à 105 .C et on répète la même opération de pesée et de mesure du retrait.





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma



Faculté des Sciences et Techniques - Fès
☒ B.P. 2202 – Route d’Imouzzer – FES
☎ 212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14





II.2.4.2.2 Echantillons cuits :

Chaque triplet de briquettes va subir une série de cuissons à différentes températures: 900.C, 1000.C, 1100.C et dans un four programmable avec un palier de 30 minutes et une vitesse de montée de température de cuisson de 10.C / mn .

L'opération de pesée et de mesure de retrait se continue pour chaque cuisson. On détermine ainsi les caractéristiques du matériau à savoir le retrait, la perte de poids, la porosité, la résistance à la flexion et la couleur.

II.2.4.2.3 Texture :

Cette caractéristique permet d'évaluer le pourcentage des vides dans chaque briquette. Pour cela, on plonge les briquettes dans un bêcher rempli d'eau distillée qu'on chauffe jusqu'à ébullition qu'on maintient pendant deux heures.

On retire ensuite le bêcher du feu et on laisse séjourner pendant 24 heures après qu'on retire les briquettes du bêcher, on élimine l'excès d'eau à leur surface et on les pèses

La porosité s'exprime par: $P (\%) = \frac{(M_0 - M_1)}{M_0} \times 100$

M₀

Avec: M₀ = Masse initiale de la briquette cuite (g).

M₁ = masse finale de la briquette après l'essai (g).

II.2.4.2.4. Résistance à la flexion:

Elle est déterminée à l'aide d'un appareil modèle "NETSZH" qui peut développer une force allant jusqu'à 60 Kgf. Cet appareil possède plusieurs calibres pour l'intensité de la force maximale exercée ainsi que pour la vitesse de déplacement du poids métallique responsable de cette force et par conséquent le temps de maintien d'une charge de valeur donnée.

Après la lecture de l'intensité de la force à laquelle il y a rupture de la briquette, on effectue plusieurs mesures de la largeur et de l'épaisseur de cette briquette afin d'avoir la valeur moyenne de ces deux dimensions. (10)

La résistance à la flexion est donnée par la formule empirique :

$$RF (\text{Kgf/cm}^2) = F/S$$





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma



Tel que: S (cm²)=l.L

Chapitre III : Résultats et discussion

Faculté des Sciences et Techniques - Fès
B.P. 2202 – Route d’Imouzzer – FES
212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14



Introduction

La caractérisation granulométrique, minéralogique géochimique et technologique des marnes ont nécessité le recours à plusieurs modes opératoires de préparation d'échantillon avant de procéder aux différentes analyses. La lecture des résultats analytiques obtenus ainsi que leurs interprétations sont détaillées dans le chapitre suivant.

III.1. Les analyses physico-chimiques

III.1.1. Humidité résiduelle

L'humidité varie entre **6,98 %** et **17,89 %**, respectivement pour (MY1) et (MY2) (**fig13**).

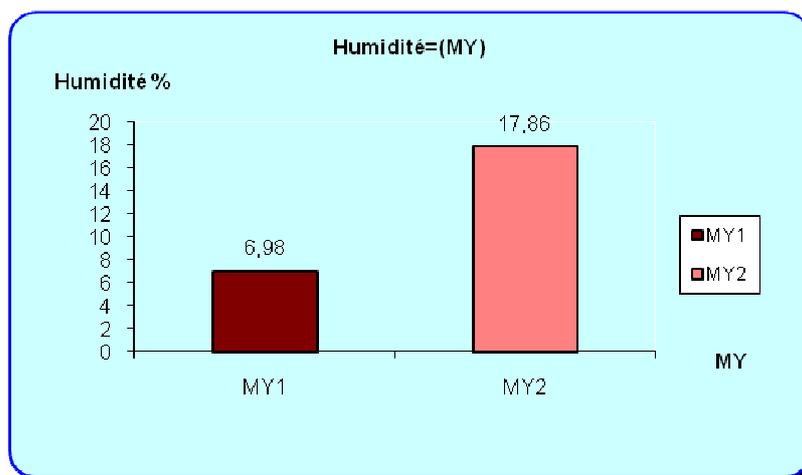


Figure.13 : % d'humidité résiduelle des marnes

III.1.2. ph-mètre

Dans les deux échantillons, le pH_{H2O} est basique.

Tableau .4 : pH_{H2O} pour les deux échantillons

Référence d'échantillon	pH H ₂ O	Température en C°
MY1	9.20	31.4
MY2	8.80	29.4

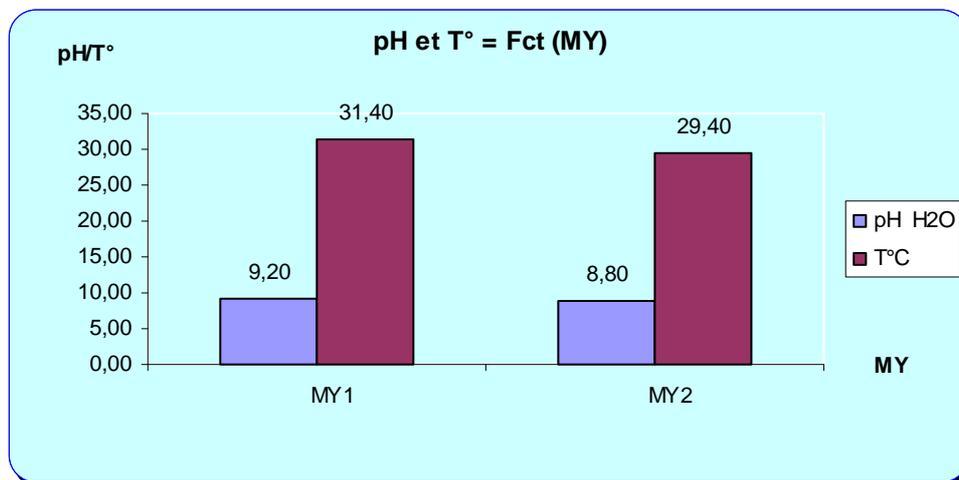


Figure 14 : pH H₂O pour les deux échantillons

III.1.3. Conductivité électrique :

Pour les échantillons étudiés, la conductivité électrique mesurée varie entre 356 μ S/cm et 4780 μ S/cm respectivement pour **MY1** et **MY2**.

Tableau.5: conductivité électrique des échantillons par μ S/cm

<i>Référence d'échantillon</i>	<i>Conductivité par μS/cm</i>
MY1	356
MY2	4780

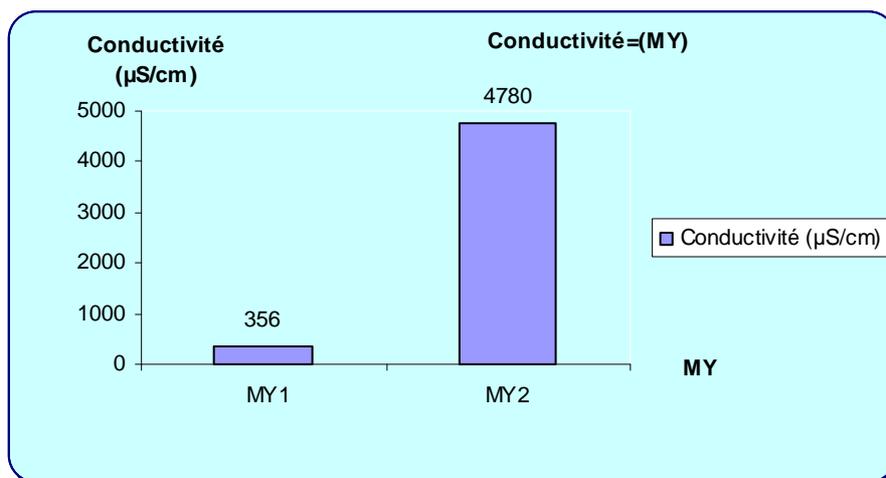


Figure 15: Conductivité électrique des échantillons par μS/cm

Donc d'après ces résultats (*Fig.15*) on constate que : les marnes de MY1 moins conducteur par rapport MY2.

III.1.4. Teneur en matière organique :

La teneur en matières organiques permet de classer les marnes suivant les valeurs ci-dessous.

- $MO \leq 3$ non organique
- $3 < MO \leq 10$ faiblement organique
- $10 < MO \leq 30$ Moyennement organique.
- $MO > 30$ Très organique

Tableau 6: % de Matière organique des échantillons

Référence d'échantillon	%De la matière organique
MY1	26,56
MY2	29.92

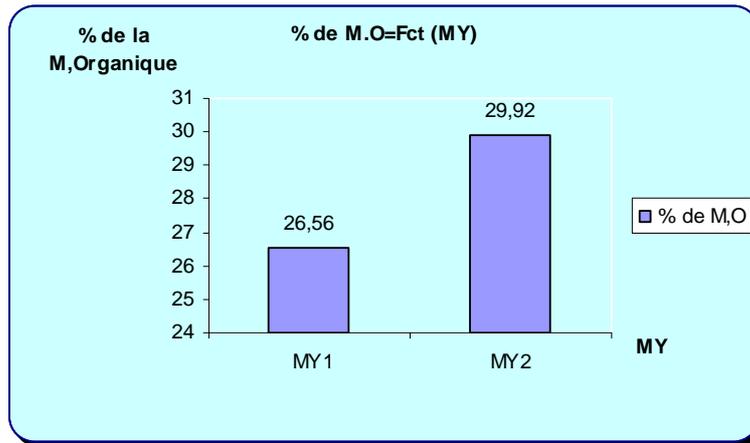


Figure 16 : % de Matière organique des échantillons

D'après Les résultats de la (Fig.16) on peut dire que nos échantillons sont moyennement organiques puisque les teneurs en matières organiques varient entre **26.56%** à **29.92%**. Respectivement pour (MY1) et (MY2)

III.1.5. Teneur en carbonate de calcium :

Les teneurs en CaCO_3 a un rôle très important dans la résistance du matériau qui proportionnelle à la sensibilité à l'eau. En effet la (Fig.17) montre que les échantillons

Sont très calcaire .Ils ont des teneurs en CaCO_3 varie entre **30,22 %** et **37.15 %**. Respectivement pour (MY1) et (MY2),

tableau.7 : %de CaCO_3 dans les échantillons

Référence d'échantillon	la teneur en CaCO_3
MY1	30,22
MY2	37,15

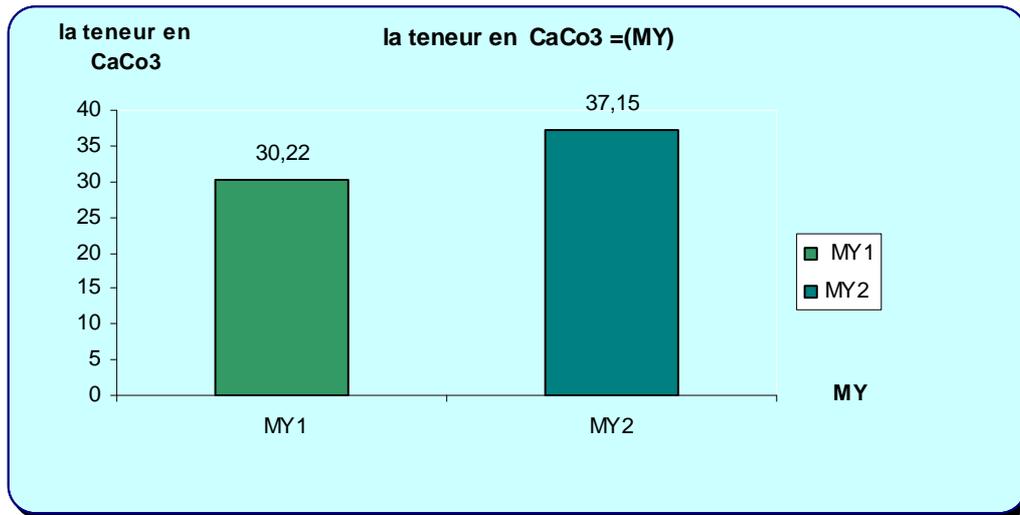


Figure.17 : Pourcentage de CaCO₃ dans les échantillons

III.2 .Les analyses granulométriques

III.2.1 Séparation granulométrique par tamisage humide

D'après l'analyse granulométrique sur les marnes, on construit un histogramme de pourcentage de toutes les fractions pour chaque échantillon (**fig.18**), Les marnes sont composées :

- Sable grossier (2 mm - 0,63 mm) ;
- Sable moyen (0,63mm - 0,315 mm) ;
- Sable fin à très fin (0,315mm - 0,05mm) ;
- Limons (0,05 mm - 0,002 mm) ;
- Argiles (< 0,002 mm).(8)

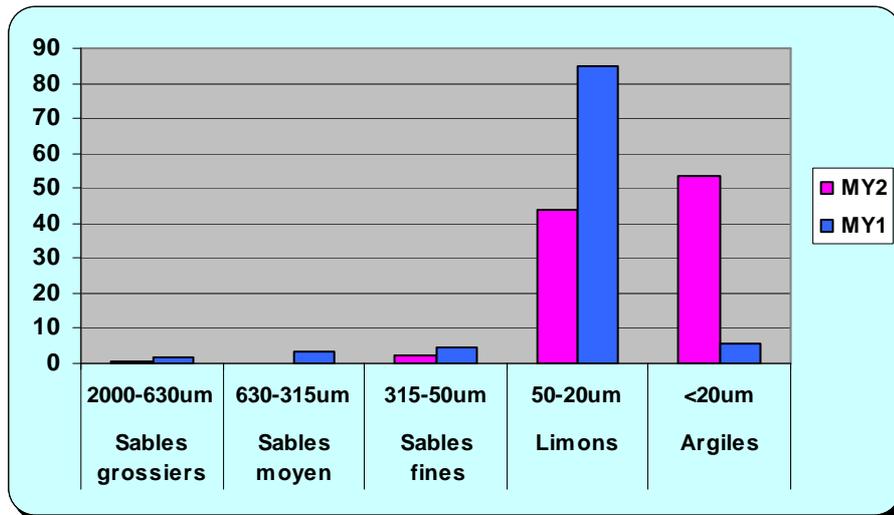


Figure.18 : courbe représente les différents fraction granulométriques dans chaque échantillon

III.2.2 Analyse granulométrique par sédimentation

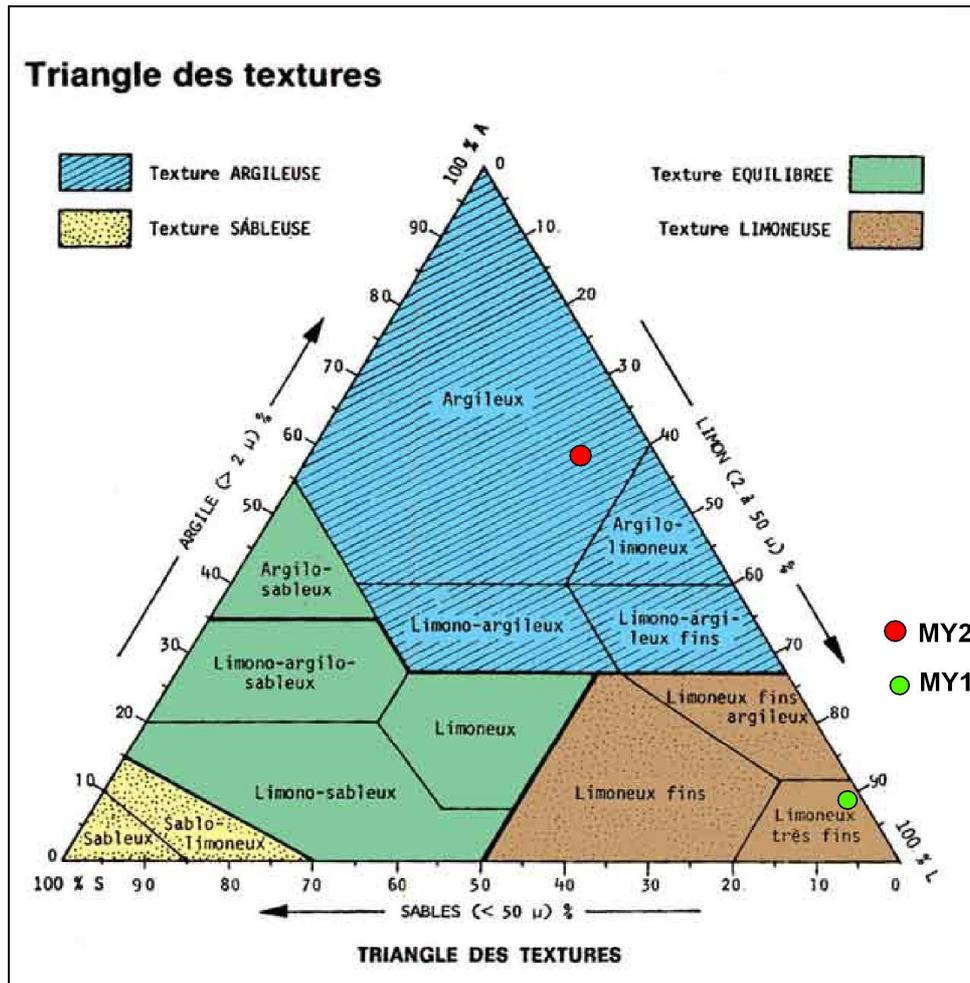


Figure.20 : Triangle de GEPPA (Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquées) de texture de sols

L'utilisation de triangle textural montrant les pourcentages d'argiles, de limons et de sables Confirme que les textures déjà observées sur le terrain. On constate ainsi que :

MY1: texture limoneux très fin

MY2 : texture argileux

III.3. Les analyses géochimies

III.3.1 Attaque triacide



Une analyse géochimique des éléments majeurs a été effectuée par ICP-AES, pour chaque échantillon (fig.21).

Tableau8 : les pourcentages des éléments majeurs dans chaque échantillon

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mg O	Na ₂ O
%MY1	5,064	2,459	7,793	1,536
%MY2	4,723	2,173	3,183	1,914



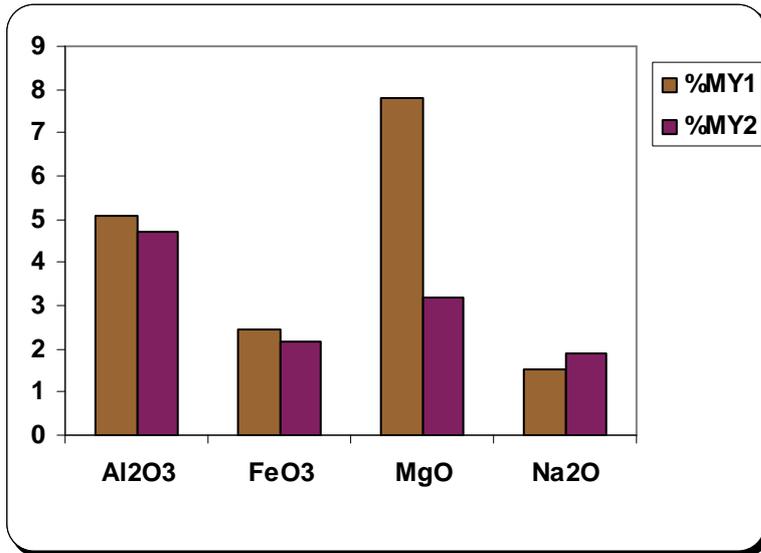


Figure21 : les pourcentage des éléments majeurs dans chaque échantillons

***Al₂O₃ :**

La teneur en Al₂O₃ présente des pourcentages qui varient de 5,064% pour MY1 et 4,723% pour MY2.

***FeO₃ :**

Il représente des teneurs qui varient de 2,4595% pour MY1 et 2,173 % pour MY2. Ces teneurs en FeO₃ correspondent donc soit aux carbonates , soit aux sulfures sous forme d'oxyde de fer libre telle que la pyrite .il est toutefois probable des colorations, allant du bleu au gris .

***Na₂O :**

Les teneurs en Na₂O révélées par l'analyse chimique des échantillons sont faible. Ils varient de 1.536% pour MY1 et 1.914% pour MY2.

***MgO :**

La teneur en MgO représente des valeurs qui varient de 7,793 % pour MY1 et 3,183 % pour MY2 en peut dire que MgO est plus importante pour MY1 par rapport à MY2.

III. 3.2. Analyse minéralogie

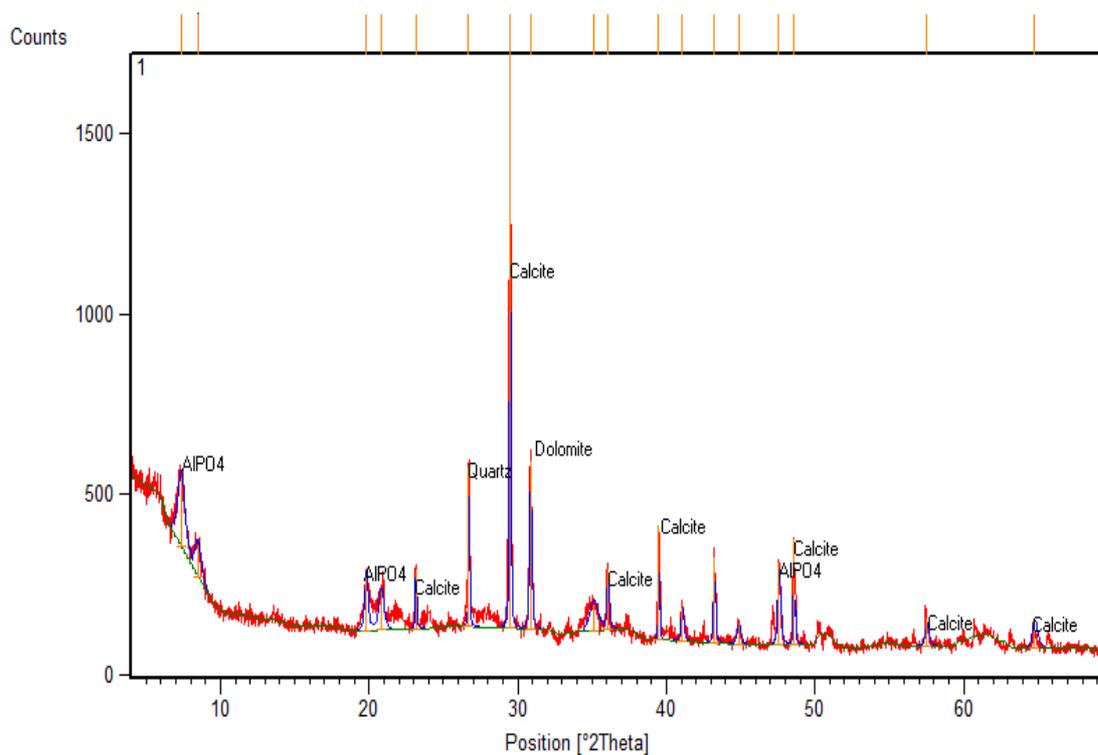


Figure.22 : diffractogramme de l'échantillon MY1

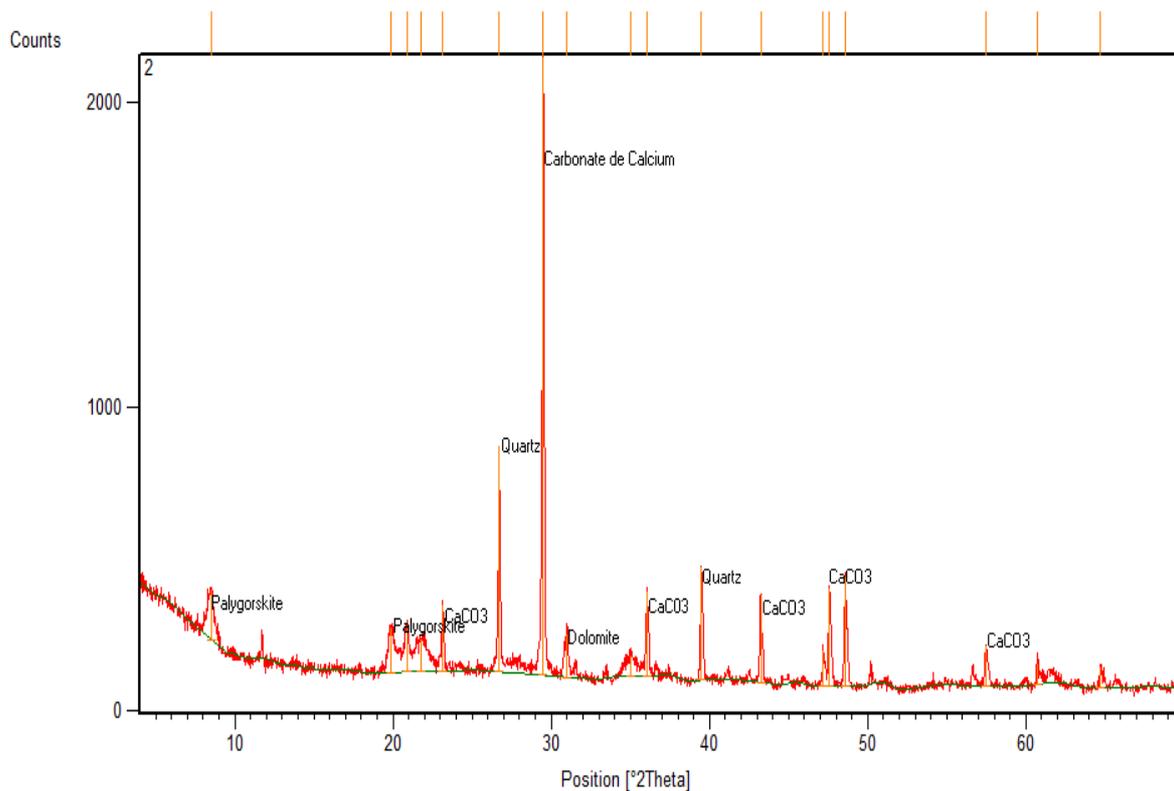




Figure.23 : diffractogramme de l'échantillon MY2

***interprétation des résultats :**

L'examen des diffractogrammes de nos échantillons montre l'existence d'interstratifiés surtout réguliers.

L'étude des diffractogrammes de tous les échantillons décèle la présence des minéraux carbonatés (calcite et dolomite), ainsi que des minéraux non carbonatés (quartz et palygorskite).

III.3.2.L'analyse thermique

-ATD et ATG :

Les minéraux argileux comprennent différents types d'eau ou d'ions OH dans leur structure, Caractérisés par leur énergie de liaison.

L'analyse thermo-gravimétrique consiste à suivre la perte en poids d'un minéral argileux en

Fonction de la température de chauffe.

L'analyse thermique différentielle est basée sur les réactions thermiques qui se produisent Lorsqu'un minéral est chauffé. Les variations de températures sont reportées en fonction du Temps et de la température. La courbe enregistre les pertes d'eau (réactions endothermiques), mais aussi les recristallisations et les recombinaisons (réaction Exothermiques). (10)



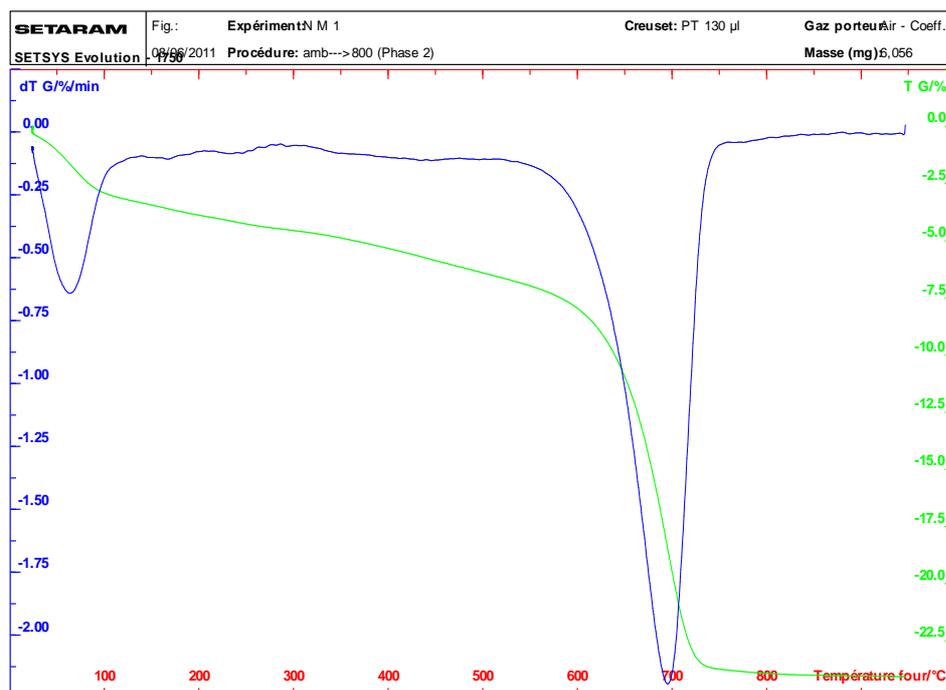


Figure 24 : la Température en fonction de ATD et ATG pour MY1

La première perte de poids est entre 50°C et 100°C qui correspond à la perte de l'eau hydroscopie.

La deuxième perte de poids à partir de 450°C jusqu'à 750°C correspond à la déshydratation des minéraux argileux et décarbonatation total, la perte de poids est entre 50°C et 900°C est de 24%.

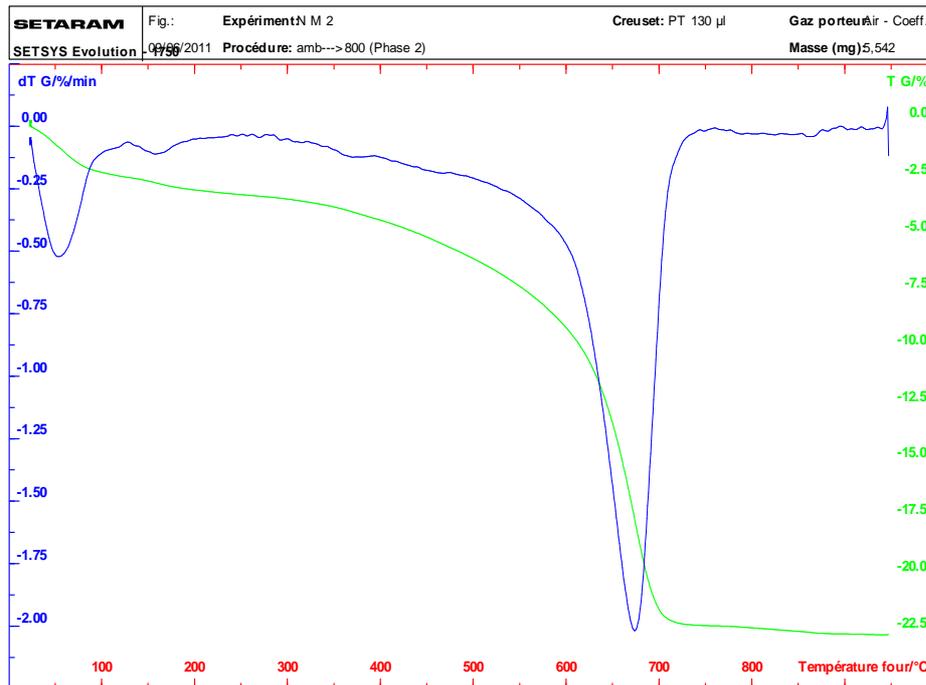


Figure 24 : la Température en fonction de ATD et ATG pour MY2

La première perte de poids est entre 50°C et 100°C qui correspond au perte de poids hydroscopie.

La deuxième perte de poids a partir de 450°C jusqu'à 750°C correspond a la déshydratation des minéraux argileux et décarbonatation total la perte de poids est entre 50°C et 900°C est de 22 ,62%.

III. 4. Essais d'identifications de sol

III.4.1. Teneur en l'eau

Elle influe sur l'état de sol, sa sensorialité son potentiel de gonflement.....

La connaissance de la teneur en eau d'un échantillon est donc très importante, car elle permet avec autres caractéristiques, d'apprécier l'état dans lequel trouve ce sol.

Le teneur en eau varie de 7.5% et 21.79% respectivement pour MY1 et MY2

III .4.2 limite de plasticité et de liquidité :

Les propriétés mécanique d'un échantillon évoluent depuis celle d'un solide (w faible) jusqu'à d'un liquide (w élevé). entre ces deux état, le sol est à l'état plastique c.à.d. qu'il est capable de Subir des déformations rapide et considérable, sans casser, ni se fissurer ou changer de volume, et sans présenter de déformation.

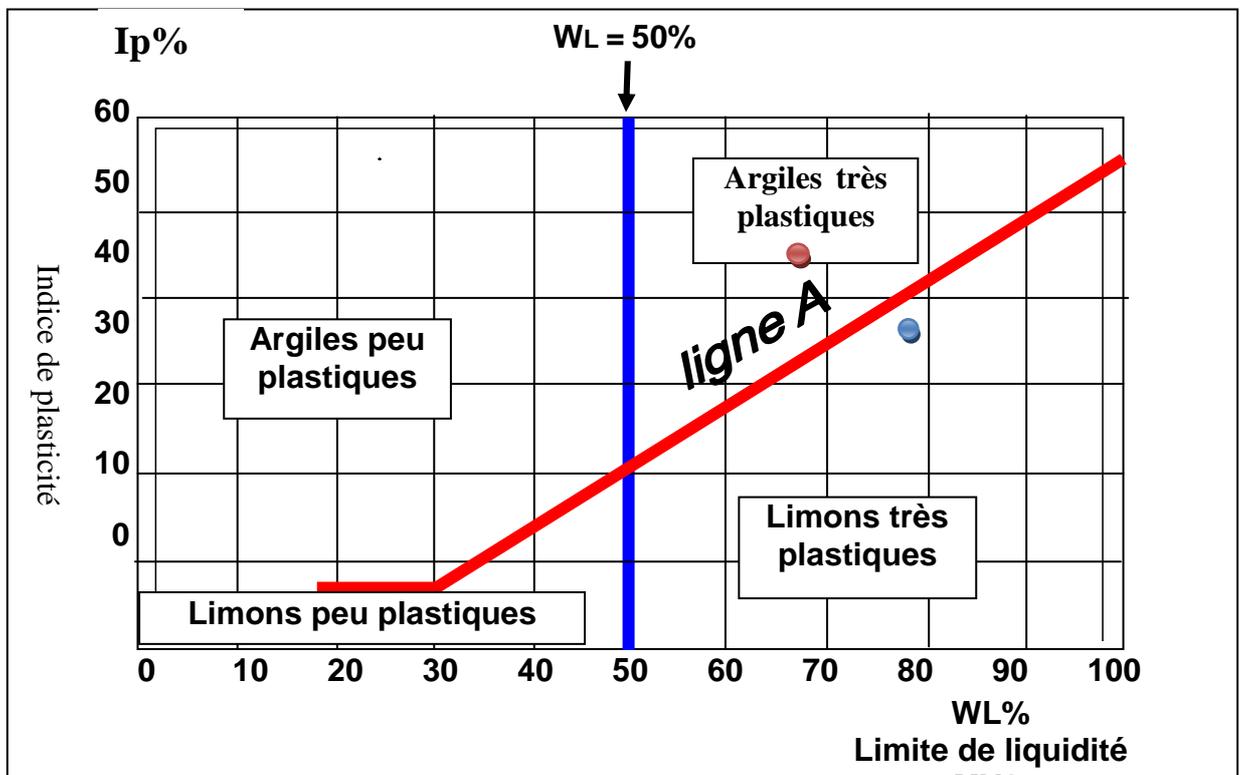
Tableau 8 : limites d'Attemberg des échantillons

Echantillon	WP	WL	Ip	Ic
MY1	48.48	79.06	30.58	2.00
MY2	32.72	68.03	35.32	1.72

Les valeurs moyenne des limites de liquidité et de plasticité varient respectivement de 79.06% et 48.48% pour MY1 et de 68.03% 32.72% pour MY2.

D'après les résultats de I_p qui comprit entre 30.58 % et 35.32 % Respectivement pour (MY1) et (MY2) en peut dire que les deux échantillons ont une forte argilosité. Et pour les résultats de I_c qui comprit entre 2 % et 1.72% Respectivement pour (MY1) et (MY2) en peut dire que les deux échantillons sont consistants. (2)

Figure 21 : situations des points étudiés dans le diagramme casagrande





:

D'après le diagramme de casagrande on peut dire que

MY1: des limons très plastiques

MY2 : des argiles très plastiques

III.4.3. Essai bleu de méthylène :

L'essai de bleu de méthylène consiste à mesurer la capacité d'absorption ionique à l'aide du bleu de méthylène. Son principe étant de mesurer la surface spécifique totale, la valeur en bleu (VB) représente alors un indice permettant la quantification du degré argileux des sols. D'où l'importance de cet essai du bleu méthylène qui détermine les surfaces spécifiques totales qui sont à l'origine de rôle des argiles. (10)

Le Guide des Terrassements Routiers (GTR) six catégories de sols sont définies selon la valeur de V_{BS} (NF P 94-068).

	MY1	MY2
Conséquence :		
VB en %	0.26	6.48

- $V_{BS} < 0.2$: sols sableux (peu sensible à l'eau)
- $0.2 < V_{BS} < 2.5$: sols limoneux
- $2.5 < V_{BS} < 6$: sols limono-argileux
- $6 < V_{BS} < 8$: sols argileux
- $V_{BS} > 8$: sols très argileux

Tableau 9 : les pourcentages des valeurs de VB



La valeur de bleu méthylène varie entre 0.26 % pour (MY1) et 6.48 %, pour (MY2) en constate donc que :

MY1: sol limoneux

MY2: sol argileux

III.4.4. Essai coulabilité

Tableau10 : la viscosité en fonction de défloculation

NaCO3 (ml)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Viscosité:MY2	2120	1221	750	610	575	510	554	590	640
Viscosité:MY1	2530	1440	840	675	650	588	613	650	725

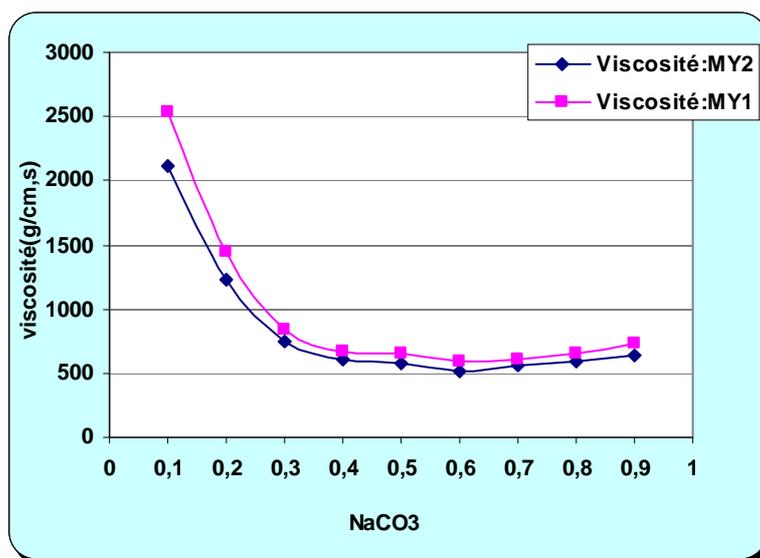


figure22 : évolution du viscosité en fonction de défloculation



En général les courbes de défloculation présentent deux courbes qui peuvent être subdivisées en trois parties.

- une première partie descendante, de très forte pente, située, généralement, entre 0 et 0,4 de carbonate de sodium Na_2CO_3 , pour les deux échantillons. Durant cette phase Na^+ se trouve retenu dans l'atmosphère ionique des particules argileuses impliquant une dispersion entre les forces répulsive et force attractives. Cette dispersion étant en faveur de cette dernière, entraîne la défloculation de la suspension argileuse, jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint.

- une deuxième partie caractérisée par un palier matérialise la zone de stabilité de la suspension argileuse. durant cette phase, l'équilibre étant atteint, la suspension se comporte comme une solution tampon en intégrant des quantités croissantes d'ions Na^+ sans rendre implications sur l'état de stabilité de la suspension jusqu'à rupture de cette équilibre.

- Une dernière phase ascendante, de pente variable. En effet, quand cette concentration dépasse cette concentration dépassent certaines valeurs propres à chaque échantillon ; les

Particules se rapprochent d'avantage et ce sont les forces d'attraction qui prédominent en provoquant la floculation de la suspension

III.5. Les essais technologiques sur les briquettes

III.5.1. Les effets de séchage à température ambiante et de la cuisson à 105°C°



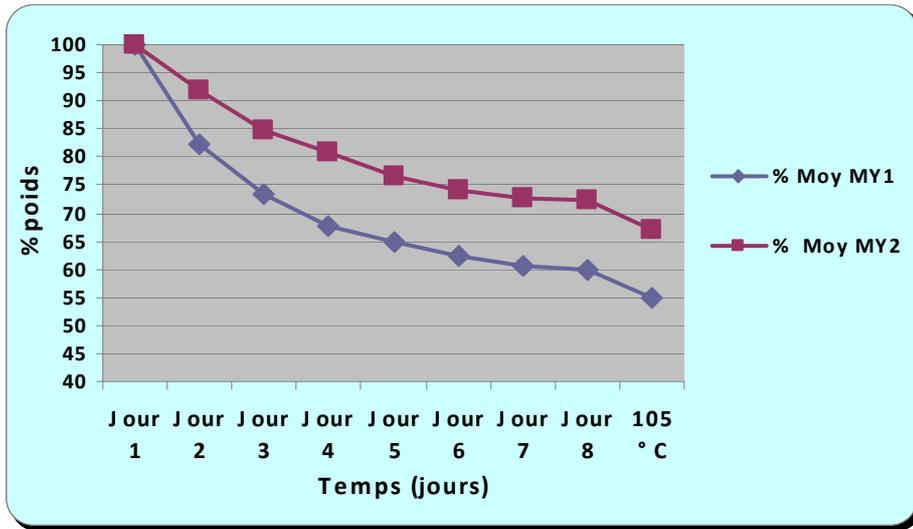


Figure 23 : évolution du poids au cours du séchage a l'air libre et à l'étuve a 105C°

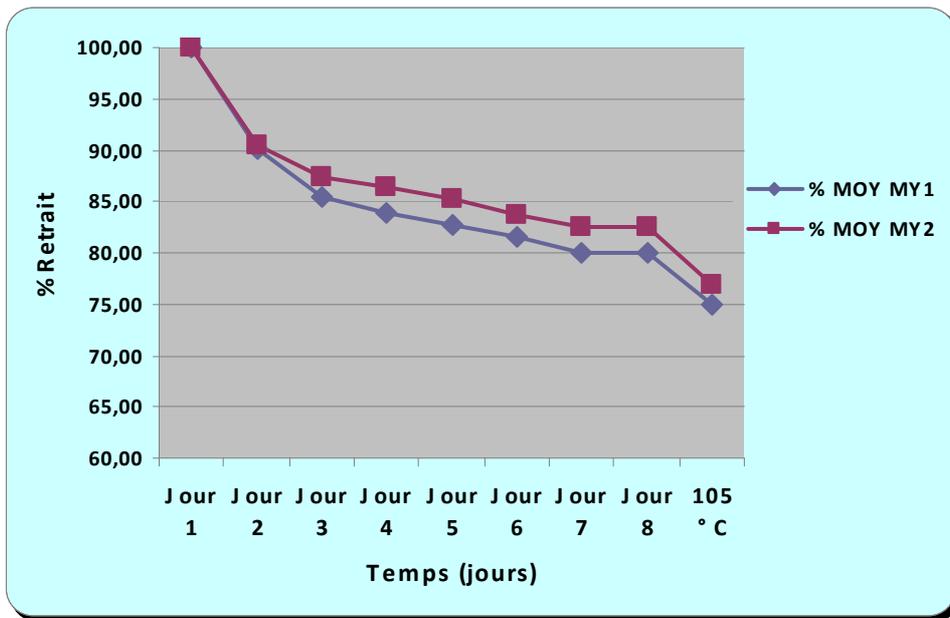


Figure 24 : évolution du retrait au cours du séchage a l'air libre et a l'étuve a 105C°

Le matériau ainsi modelé à partir du quel nous avons, fonctionnée des briquette. Contient une part important d'eau absorbée. C'est à la cour de séchage libre de cette briquette qu'on obtient l'élimination progressive de cette eau par simple évaporation ; cela entraîne une



diminution de volume, c'est à dire le **retrait** qui est proportionnel au volume d'eau éliminé par séchage, et par conséquent **une perte de poids**.

Les effets de la cuisson :

Au ! cour de l'élévation de la température dans le four qui représente la cuisson, un certain nombre de phénomène : tels que les transformations physico-chimique vont affecter la phase argileuse du produit considéré

La perte de poids et de retrait à 105°C :

Le séchage à 105°C dans l'étuve correspond à la dernière phase de la dessiccation des briquettes ; il entraîne l'élimination des fractions résiduelles d'eau absorbée. Le départ de cette eau se traduit par une perte de poids et de volume par rapport à son poids et son volume initial.

Perte de poids :

Nous notons qu'au, la perte de poids à 105°C respectivement pour MY1 et MY2 est de 5.01% et 5.52%

Perte de retrait :

Les retraits mesurés à 105°C s'identifié par une valeur qui varie de **3.15 %**. Et de **4.41%**.respectivement pour MY1 et MY2.

On général, à cette température, la perte de poids des deux les échantillons est moyennement faible

III.5.2. *Perte de retrait en fonction de la température*

Tableau 11 : % du retrait en fonction de la T° de cuisson

T°C	900	1000	1100
Retrait %MY1	5,4	3,5	5,47
Retrait% MY2	6,18	4,3	6,15



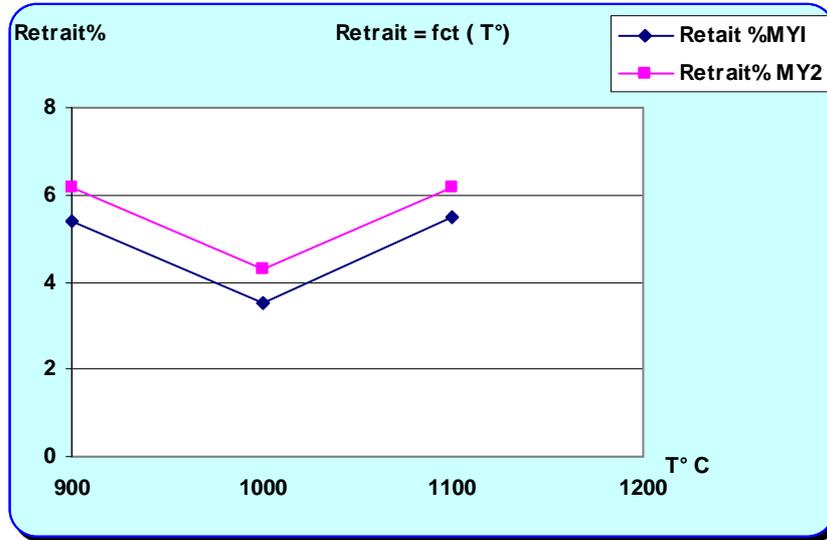


Figure 25 : variation de retrait en fonction de la T° du cuisson

***A 900°C :**

Les deux échantillons affichent une très légère augmentation du retrait 5.4% et 6.18% respectivement pour MY1 et MY2.

À cette température les minéraux silicatés sous des hydroxylées leur structure cristalline ; il se forme donc une métaphase.

Au cours de cette transformation, il se produit des phases intermédiaires de contraction /délitation.

***A 1000°C :**

À cette température est pour les deux échantillons nous remarquons une diminution du retrait jusqu'à 3.5% et 4.3% respectivement pour MY1 et MY2 cette diminution traduite par une nette dilatation de toute la brique ce phénomène est dû à des interactions entre divers composés individualisés à cette température qui ne correspondent pas encore à la température de vitrification.

***A 1100°C :**

À cette température est pour les deux échantillons nous remarquons une légère augmentation du retrait. Jusqu'à 5.47% et 6.15% respectivement pour MY1 et MY2.

Elle est évident que cette augmentation est due au début de la transformation de la phase vitreuse ou la métaphase commence à cristalliser pour former de nouveaux minéraux

III.5.3 Perte de poids en fonction de la température de cuisson :

Tableau 11 : % du poids en fonction de la T° de cuisson

T°C	900	1000	1100
Poids %MY1	33,26	37,11	49,2
Poids% MY2	39,8	41,86	52,4

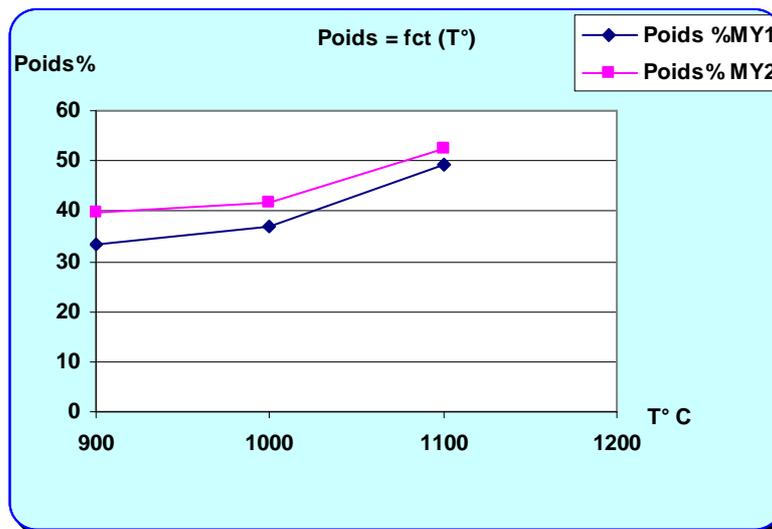


Figure 26 : variation du poids en fonction de la T° du cuisson

À ces températures apparaissent plus ou moins les valeurs maximales de la perte de poids situés entre :

- 33.26 % et 39.8% respectivement pour MY1 et MY2 à 900°C.
- 37.11 % et 41.86% respectivement pour MY1 et MY2 à 1000°C.

- 49.2 % et 524% respectivement pour MY1 et MY2 à 1100°C.

Ces fortes valeurs de la perte de poids peuvent être interprétées d'une part par la nature et la proportion des minéraux argileux et d'autre part une quantité importante de la matière organique

III.5.4. Porosité en fonction de la température de cuisson

Tableau 13 : pourcentage de porosité en fonction de la T° de cuisson

T°C	900	1000	1100
porosité MY1	24,47	30,97	15,04
porosité MY2	17,15	22,8	11,4

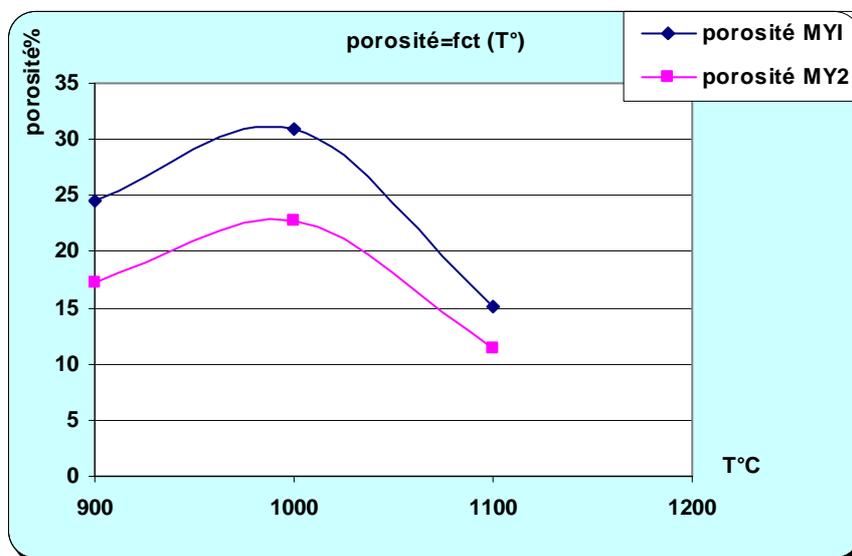


Figure 27 : variation du porosité en fonction de la T° du cuisson



Après la cuisson le matériau obtenu qui n'est plus constitué que par le squelette des argiles ou la métaphase englobant le dégraissant, est poreux et plus ou moins perméable. Cette porosité est composée :

- * une macroporosité due au bulle d'air et aux végétaux par leurs empreintes, qui constituent donc des vides supplémentaires a la porosité due au départ de l'eau de modelage ;
- * et surtout d'une microporosité au niveau des structures argileuses détruites ; celle –ci est la plus importante dans la mesure ou les pattes ne sont pas grisées. Elle est caractérisée par des microcavités communicant toutes plus ou moins entre elles et avec l'extérieur : c'est ce qu'on appelle « une porosité ouverte » par opposition a la porosité fermée qui est celle des bulles incluses dans les verres.(10)

***A 900°C**

La porosité à cette température affichant des valeurs allant de 24.47% à 17,15% respectivement pour MY1 et MY2.

La porosité augmente en allant MY2 vers MY1 ; chose qui peut être liée à la nature et la proportion des composés minéralogique et des impuretés présentes dans les matériaux donc essentiellement au fort taux de silice et de l'abondance de la matière organique ainsi qu'au pourcentage de carbonate .

***A1000 C° :**

on général , l'évolution des courbes de la porosité en fonction de la température montre une très léger augmentation des valeurs de celle –ci pour les deux échantillons entre 900 C° et 1000C°.

Par ailleurs et sachant que chaque échantillons se comporte dans un mélange comme s'il était seul, ces variations de porosité peuvent être en relation avec le comportement des assemblages minéralogiques tels que :





La kaolinite : qui, à 600C° et jusqu'à 975C° ou a lieu une réorganisation interne des feuillets octaédriques du metakaolin, présente une grande proportion des pores très fins et faible proportion des pores gros ; à 100C° , la texture globale et la porosité restent peu changées .C'est le cas des le cas des échantillons du premier groupe.

L'illite pour qui et des 900C° , une augmentation est notée des pores gros qui deviennent prépondérants a 1000C° alors que le pourcentage des pores fins diminue.

Cette modification coïncide avec la destruction du réseau de l'illite et du chlorite et avec sa recristallisation en mullite qui est une solution solide de SiO_2 dans Al_2O_3 SiO_2 Formée lors de la cuisson de l'argile, quartz et spinelle .Ceci est le cas des échantillons du deuxième et troisième groupe.

La smectique, avec un comportement analogue a celui de l'illite, a 800C° , plus de 10% de la porosité est constitué de pores est constitué de pores fins .Le volume de ces pores diminue avec la température et n'est plus que de 2% a 1000C° . (10)
De ce fait, nous pouvons déduire qu'a cette température 900C° et 1000C° mis appart

L'influence des impuretés organiques et minéraux les échantillons a dominance kaolinitique présent une porosité assez faible alors que ceux a dominance illitique smectique et chlorotique accusent une porosité relativement importante. (10)

***A1100 C° :**

En général la porosité a cette température, après avoir son maximum vers 1000C° . Déroit pour atteindre des valeurs relativement faibles à 1100C° cette zone correspond a la vitrification des constituants.

III.5.5 Résistance a la flexion

Tableau 14 : la résistance a la flexion en fonction de la T° de cuisson



T°C	900	1000	1100
R.F MY1	104,02	182,6	247,57
R.F MY2	152,85	217,86	272,23

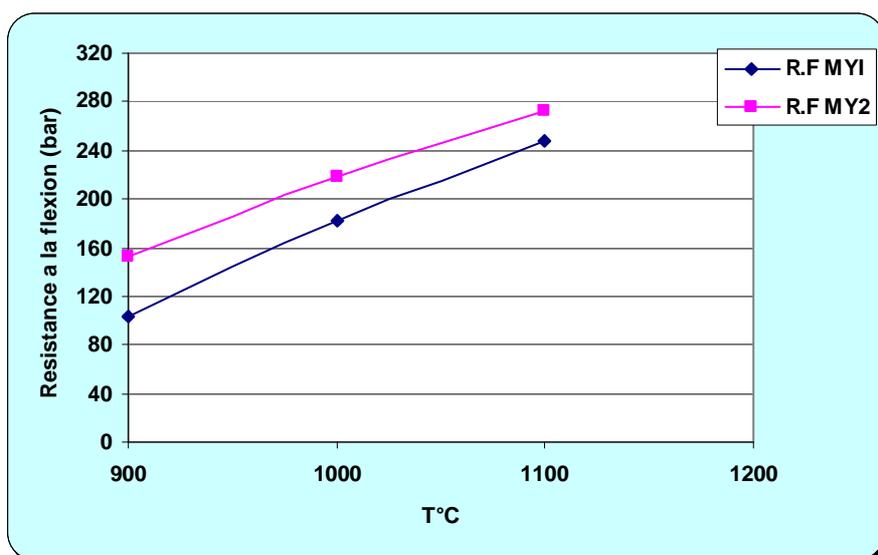


Figure 28 : variation de la résistance à la flexion en fonction de la T° de cuisson

***A 900°C :**

D'une manière général, la compression croit avec la température de cuisson en effet a cette température nous notons des valeurs qui varient entre 104.02 bar et 152.85 bar respectivement pour MY1 et MY2.

Ce qui traduit un notable augmentation qui peut être expliqué par la faible porosité de ces échantillons.

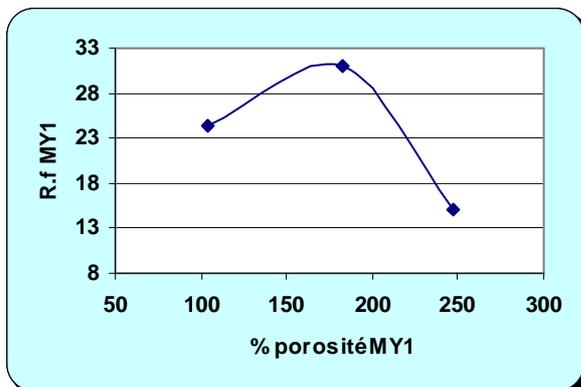
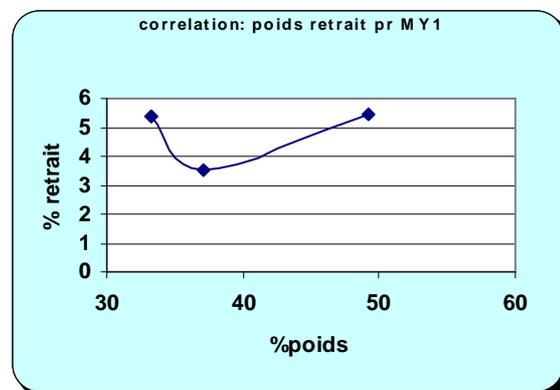
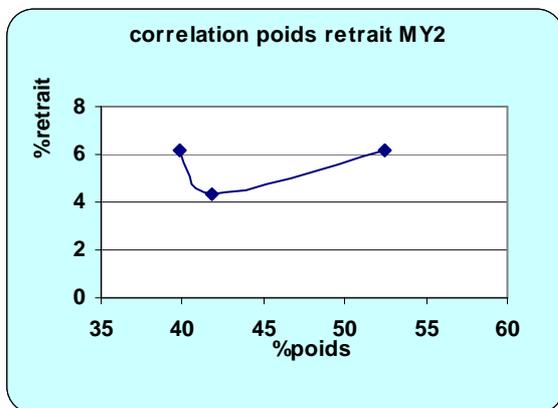
***A 1000°C**

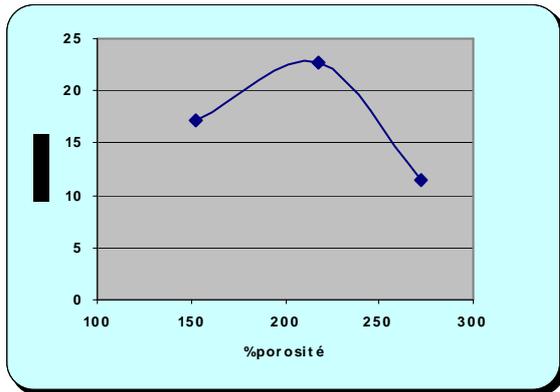
Les deux échantillons montrent une évolution croissante de la résistance en fonction de l'augmentation graduelle de la température entre 900°C et 1000°C.

*** A 1100°C**

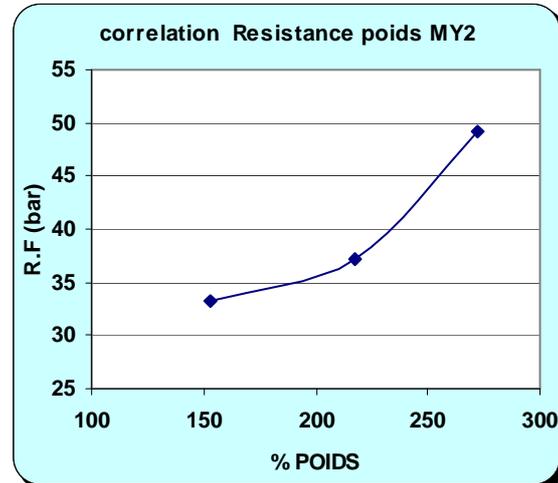
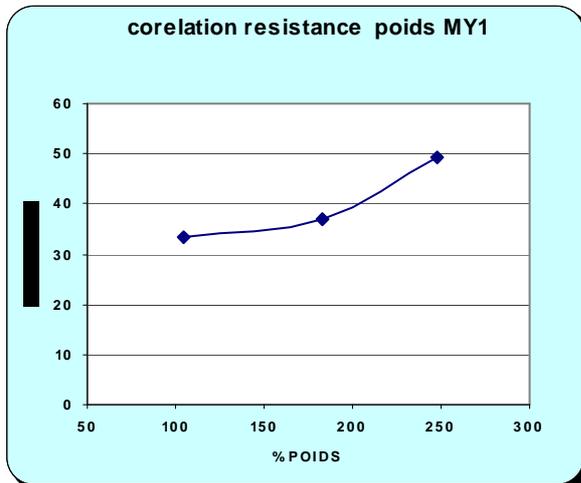
A cette température la compression est maximale et est probablement en liaison avec le développement de la phase vitreuse.

Les corrélations :





*pas de corrélation



* corrélation est positif entre la résistance et le poids pour MY1 etMY2



Conclusion

D'après les résultats obtenus dans le cadre de valorisation des marnes de la région de Moulay Yacoub en constat que. :

Pour l'étude physico-chimique Les marnes étudiées sont de texture de limoneux très fin à argileux. Le pH des marnes est basique, leur conductivité électrique varie du faible jusqu'à forte conductivité, ainsi que leurs humidités sont corrélées avec la texture des marnes. Ils sont aussi riches en matière organique, et en carbonate de calcium.

Pour l'étude géochimique montre que les échantillons ont les mêmes éléments chimiques mais avec des concentrations variables.

Pour l'étude minéralogique et a partir de diffractométrie, cette analyse nous a servi en grande partie à mettre en évidence l'homogénéité de point de vue qualitatif des principaux minéraux non argileux (quartz, dolomite, calcaire et paligorskite).

Pour l'étude technologique les résultats obtenus ne peuvent ne pas donner des limites précises les différents phénomènes survenus au cours de la cuisson compte tenu de la variation





de la nature et proportions des minéraux entrant dans la cuisson de leurs échantillons. Car au cours de l'élévation de la température pendant la cuisson, tous les minéraux vont se trouver plus ou moins déstabilisés et entre de la réaction les uns avec les autres.

Mais toutefois, ces résultats permettent de différencier les matériaux étudiés en vue de leur utilisation dans différents domaines industriels.

