



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	11
CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.....	11
I.1 CADRE GEOGRAPHIQUE.....	11
I.2 CADRE GEOLOGIQUE.....	12
I.2.1. Les différentes formations géologiques.....	12
I.2.1.1 Le complexe pré-rifain.....	12
I.2.1.2. Le causse moyen atlasique.....	13
I.2.1.3. Formation du Sillon sud rifain.....	13
I.3. La LITHO STRATIGRAPHIE(<i>Région de Fès</i>).....	14
I.4 HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE.....	17
I.5 LE CLIMAT.....	18
I.5.1. <i>Région de Fès</i> :.....	18
I.5.2. <i>Région de Taza</i>	20
CHAPITRE II: ECHANTILLONNAGE ET METHODE D'ANALYSE.....	21
II.1. INTRODUCTION.....	17
II.2 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	19
I.2.1. Détermination de l'humidité résiduelle.....	22
I.2.2. Dosage de la matière organique totale par la perte au feu.....	23
I.2.3. Détermination du pH des marnes.....	23
I.2.4. Conductivité électrique des marnes.....	24
I.2.5. Essai de calcimétrie.....	25
I.3.1. Granulométrie.....	26
I.3.2. Texture.....	23
I.3.3. Séparation granulométrique par tamisage.....	23
I.3.4. Analyse granulométrique par sédimentation.....	27
II.4. Limites d'Atterberg.....	28
I.4.1. Limite de liquidité.....	29
I.4.2. Indice de liquidité:.....	30
I.5. Essai au bleu de méthylène (NF P 96-068).....	31
I.6. Essai de coulabilité.....	31
I.7. Confection des briquettes et principe de mesure du retrait, poids et porosité.....	31



CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	35
III.1. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	35
III.1.1. Humidité résiduelle.....	35
III.1.2. Dosage de la matière organique.....	35
III.1.3. Le pH.....	36
III.1.4. Conductivité électrique.....	37
III.1.5. Essai de calcimétrie.....	38
III.2. ESSAIS TECHNOLOGIQUES.....	38
III.2.1. Analyse granulométrique.....	38
III.2.2. Limites d'Atterberg.....	39
Chapitre IV Conclusion et perspectives.....	54



Liste des tableaux

Tableau .III.1 : Humidité résiduelle	34
Tableau.III.2 Qualification des sols en fonction de leur teneur en MO	35
Tableau.III.3 : Taux de matière organique.....	35
Tableau.III.4 : pH des échantillons.....	36
Tableau.III.5 : Conductivité électrique des échantillons.....	36
Tableau.III.6 : Teneur en carbonates des différents échantillons.....	37
Tableau.III.7 Granulométrie.....	38
Tableau.III.8. Différentes valeurs de W_l et de W_p	40
Tableau III.9. Qualification des matériaux en fonction de leur IP.....	41
Tableau.III.10. Différent	



Liste des figures

Figure.I.1 : carte géologique simplifiée du Sillon sud rifain et de son avant pays	12
Figure I.2: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin de Saïss	15
FigureI.3 Température moyenne mensuelle: station ABHS, Fès-Saïss(1978/2001)	18
Figure.I.4 : Précipitations annuelles : station ABHS, Fès-saïss (1971-2009)	18
Figure.II.1 : Carte de localisation des sites de d'échantillonnage de Fès et Taza.....	21
Figure.II.2. : Pipette de Robinson.....	28
Figure.II.3. Différents états d'un sol.....	29
Figure.III.4 : Triangle des textures	42
Figure.III.5: Etat du sol en fonction de l'indice de consistance	45
Figure.III.6. : Diagramme de Casagrande	46
Figure.III.7. Courbes de défloculation de quelques uns des échantillons.....	49
Figure.III.8. : Evolution du retrait des échantillons de Fès au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C.....	50
Figure.III.9 : Evolution du retrait des échantillons de Taza au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C.....	51
Figure.III.10 : Evolution de la perte de poids au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C (éch .de Fès).....	51
Figure.III.11. : Evolution de la perte de poids au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C (éch .de Fès).....	52
Figure.III.12. : Evolution de la perte de poids au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Fès).....	53
Figure.III.13. : Evolution de la perte de poids au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Taza).....	54
Figure.III.14. : Evolution de la porosité au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Fès).....	55
Figure.III.15. : Evolution de la porosité au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Taza).....	55
Figure.III.16. Résistance à la compression à différentes température de cuisson (ech de Fès).....	56
Figure.III.17. : Résistance à la compression à différentes température de cuisson (éch. deTaza).....	56
Figure.IV.1 : Effet de l'amélioration à la chaux sur la plasticité d'un sol	60



s indices de plasticités des différents échantillons.....	41
Tableau.III.11. : Indices de consistance des différents échantillons	42
Tableau.III.12. Valeur de bleu de méthylène et de surfaces spécifiques.....	43
Tableau.III.1 3. Catégorie de sol en fonction de VBS.....	44

Résumé

La **marne** que l'on nomme aussi pierre de [Maastricht](#), 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 à destination de la construction. On retrouve ce matériau abondant, facile à extraire et à façonner dans nombre de bâtiments anciens modestes ou prestigieux.

Le Couloir su-rifain, appelé également le Sillon ou le Détroit sud-rifain, se situe dans la septentrionale du Maroc. Il correspond à une dépression orientée sensiblement Est-Ouest, s'étendant de l'atlantique au col de Touacher (Couloir de Taza), et se prolongeant jusqu'à la Méditerranée par l'intermédiaire du couloir Taza-



Oujda. Ce couloir constitue une grande réserve de ces matériaux qui sont jusqu'à présent faiblement exploités.



INTRODUCTION

La marne que l'on nomme aussi, pierre de Maastricht, 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 à destination de la construction. On retrouve ce matériau abondant, facile à extraire et à façonner dans nombre de bâtiments anciens modestes ou prestigieux.

Le Couloir sud-rifain, appelé également le Sillon ou le Déroit sud-rifain, se situe dans la septentrionale du Maroc. Il correspond à une dépression orientée sensiblement Est-Ouest, s'étendant de l'atlantique au col de Touacher (Couloir de Taza), et se prolongeant jusqu'à la Méditerranée par l'intermédiaire du couloir Taza-Oujda. Ce couloir constitue une grande réserve de ces matériaux qui sont jusqu'à présent faiblement exploités.

Le but de ce travail est de déterminer les caractéristiques physico-chimiques (l'humidité résiduelle, la conductivité électrique, le pH, le taux de calcium) et géotechniques (la granulométrie, les limites d'Atterberg, la valeur de bleu de méthylène, mesure du retrait, la porosité, la perte du poids) de ces matériaux en vue de les utiliser dans tel ou tel domaine et de proposer si possible un traitement pour leur utilisation dans les domaines où ils sont moins appropriés.

Cet ouvrage est subdivisé en quatre chapitres :

- un premier chapitre intitulé « Cadre géologique et géographique » est consacré à la situation géographique, à la description litho stratigraphique et géologique de la zone d'étude.
- le second intitulé « Echantillonnage et Méthodes d'Analyses » décrit les matériels et méthodes utilisés lors de cette étude.
- quant au troisième chapitre nommé « Résultats et Discussions », renferme les différents résultats issus des analyses du chapitre précédent.
- le quatrième et dernier chapitre intitulé « Conclusion et Perspectives » regorge les conclusions qu'on a pu tirer de cette étude.

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

I.1 CADRE GEOGRAPHIQUE

Notre étude porte sur une région qui s'étend de Fès à l'Ouest jusqu'à Taza à l'Est. Elle forme une jonction entre le Prérif, le moyen Atlas et le Sillon sud-rifain. Situé dans la partie orientale du bassin de Saïss, ce secteur est encadré au Nord et au Sud



par deux chaînes montagneuses à morphologies bien distinctes. Au nord les collines à aspect moutonné du Préfif, alors qu'au sud se dressent les montagnes du moyen Atlas septentrional et du massif paléozoïques du Tazekka. Ce massif est caractérisé par une topographie très accidentée ; le point culminant est le jbel Tazekka (1989).

I.2 CADRE GEOLOGIQUE

C'est une dépression très étroite, allongée de l'Ouest en Est limitée au Sud par le Causse moyen atlasique et le massif de Tazekka et au Nord par le front du complexe préfifain.

Ce couloir se ferme au niveau du col de Touaher, situé à 20 Km à l'Ouest de Taza, et qui constitue une limite naturelle entre le Maroc oriental et le Maroc occidental. C'est une zone de confrontation entre les deux grands domaines structuraux du Maroc : le domaine atlasique au sud et le domaine rifain au nord.

I.2.1. Les différentes formations géologiques

I.2.1.1 Le complexe préfifain

Adopté en 1969 par Suter, Vidal et Leblanc pour désigner la zone externe préfifaine, formée de collines très ravinées à relief généralement mou et dont le faciès à dominance argilo-marneuse, renferme dans un grand désordre des éléments "exotiques" d'âge et de taille extrêmement variables (Vidal et al. Leblanc, 1975).

On peut y voir des passées blanches gypseuses, souvent accompagnées d'argiles rouges dites "triasiques", ou de marnes blanches à silex noir de l'Eocène, ou encore des marnes sombres du Crétacé.

L'Olistostrome de préfifain, dans son avancée vers le sud, vient reposer jusque sur les formations autochtones du remplissage du Sillon sud rifain, ou même sur leur substratum liasique ou paléozoïque (col de Touaher)

Le front du "complexe" préfifain dont le contact avec l'autochtone est souvent masqué par les alluvions récentes, longe de la rive droite de l'oued Inaouène, sauf dans de rares endroits, où des lambeaux avancés du "complexe" subsiste localement en rive gauche (ex : Koudiat el Abiod), posés sur le glacis miocène, juste avant la localité d'Oued amlil.

Vidal (1977) a introduit au Maroc le terme de "mélange" pour désigner ce "complexe" préfifain formé, selon lui, par juxtaposition chaotique d'éléments, dont le volume varie dans de grandes proportions, constituées des roches dont le faciès, la nature et l'âge sont très variés.

D'après cet auteur, la formation "des mélanges" du Rif ne résulte pas de phénomènes tectoniques de compression, mais de l'accumulation progressive de leurs éléments, déplacés par glissement gravitaire. "Le complexe", dans cette zone frontale, serait la partie supérieure des marnes bleues autochtones du couloir sud rifain.



D'après cette théorie, il s'agit d'une formation dont le bassin de dépôt serait différent de celui de la série pré-rifaine (Vidal, 1971).

Au contraire, selon Leblanc (1979), « le complexe » n'est que la formation la plus jeune de l'ensemble pré-rifain charrié.

I.2.1.2. Le causse moyen atlasique

Il forme avec le massif de Tazzeke la bordure méridionale du couloir. Il se distingue du Pré-rif de par la nature lithologique des faciès et le style tectonique ; style qui est principalement cassant à cause de la grande compétence des roches. Au contraire, dans le Pré-rif où les formations en présence sont plus ductiles, la déformation est souple et est marquée par des glissements.

Cette bordure est constituée de formations liasiques essentiellement carbonatée : calcaires de plate-forme, dolomite, calcaire oolithiques, marno-calcaires...

Ces formations reposent sur des dépôts argileux rouges d'âge présumé Permian-triasique, entrecoupés d'épanchements doléritiques (Robillard, 1987).

A l'extrémité orientale du couloir, les formations liasiques viennent s'adosser sur le massif de Tazzeke, dont les terrains schisteux affleurent largement au col de Touaher et au contact desquelles, viennent butter les terrains du complexe "pré-rifain" qui aboutissent, à cet endroit, à l'orientation définitive du couloir de Taza.

I.2.1.3. Formation du Sillon sud rifain

Considéré comme un bassin intra-montagneux ou intra-chaine, il s'est individualisé au Tortonien inférieur suite à l'importante phase de distorsion de contrainte Nord-Sud qui a affecté l'ensemble de l'arc de Gibraltar au début du Tortonien (Cirac, 1985).

La distension générale des contraintes nord-sud serait à l'origine de l'allongement est-ouest de ce sillon les jeux de failles bordières ont entraîné par la suite l'enfoncement des bordures septentrionales de la Meseta à l'Ouest et du Moyen atlas à l'Est. A ces jeux de failles, s'ajoute la surcharge sédimentaire due à l'érosion de l'arrière-pays en remontée isostasique, pour concourir au développement du Sillon et de sa subsidence (Rachid, 1997). Celui-ci diminue d'importance à partir du Messinien supérieur début Pliocène pour permettre au Sillon de passer à la phase de comblement. Phase qui est le résultat de la dégradation des nappes de remblayage et de l'accrétion verticale des dépôts conduisant dans les deux cas au colmatage du bassin et au retrait de la mer.

Les dépôts néogènes, quant à eux, sont caractérisés par une puissante série sédimentaire marneuse ou mollassique de l'importante transgression du Miocène. Celle-ci, repose en discordance sur un substratum néogène du sillon du sud rifain formé par des calcaires et des dolomies du Lias, les argiles du Trias et les schistes primaire.

Au bout du Pliocène, la régression s'amorçera, des sables firent suite aux marnes et bientôt s'établit dans le Saïss un régime fluvio-lacustre caractérisé par les dépôts de calcaire et de conglomérats ; les dernières phases de l'orogénèse rifaine vidèrent le lac et plissèrent, parfois violemment, les formations lacustres, tandis qu'au Quaternaire de nombreux dépôts s'installèrent et couronnèrent les formations sous-jacentes. Cette dernière couverture est reconnue sous forme de :

- Croûtes calcaires largement répandues sur le bassin du saïss et l'âge moulouyen probables ;
- Limons rouges qui recouvrent le plus souvent les croûtes moulouyennes ; au fond des vallées ces limons sont généralement recouverts par des limons gris ou noirs graveleux du Rharbien et de l'actuel ;
- Terrasses fluviales reconnues par les conglomérats à éléments calcaire lacustre, Liasique et de travertins,
- Travertins, cônes des déjections et éboulis qui sont très rependus sur le versant Nord du Moyen Atlas et le versant du sud des nappes prérfaines,
- Dépôts marécageux caractérisées par des limons gris ou noirs très riches en pseudoolithes,
- Enfin, sous forme de coulées basaltiques en provenances de volcans du Moyen Atlas et qui couvrent de grandes surfaces au sud de la plaine de saïss.

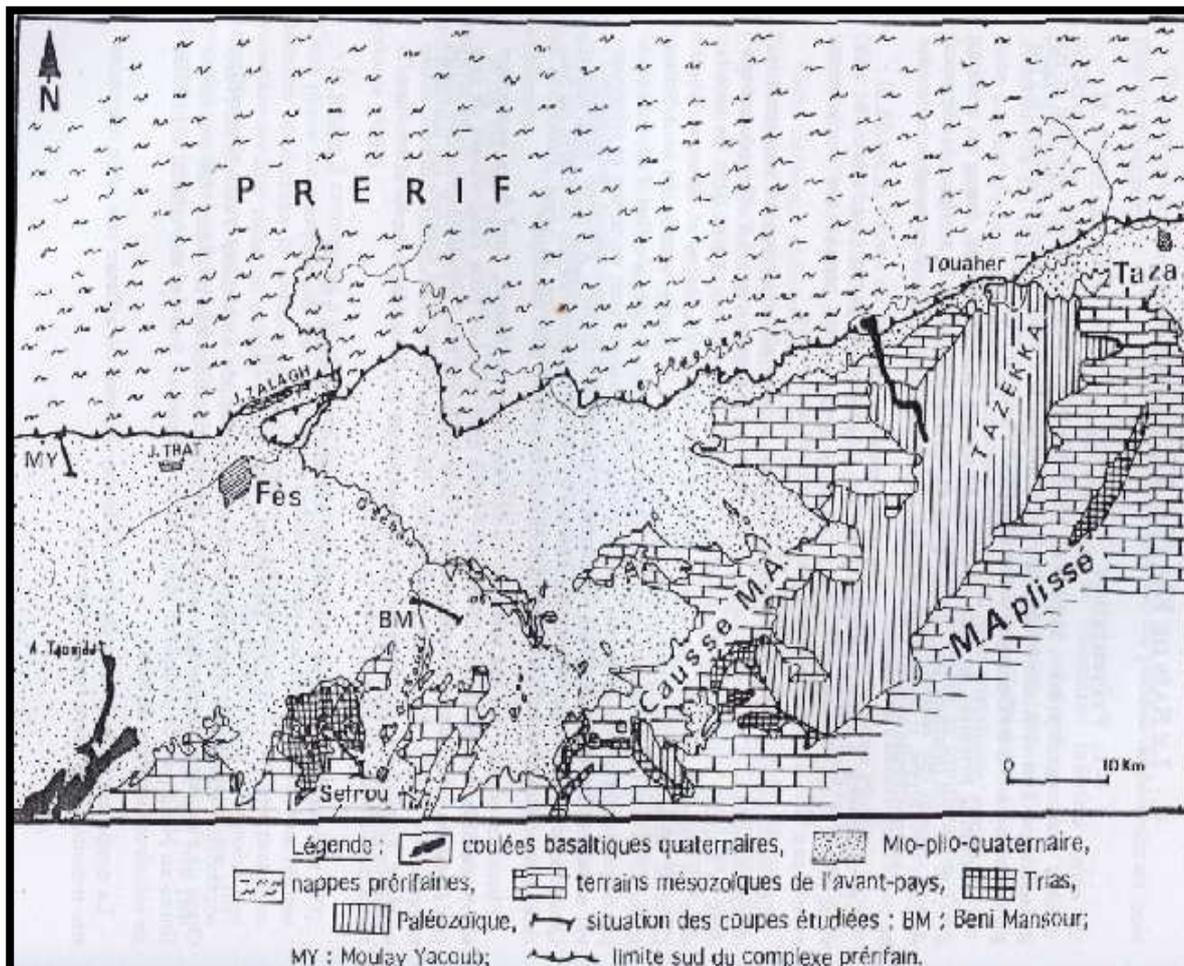


Figure.I.
 1 : carte géologique simplifiée du Sillon sud rifain et de son avant pays (in Rachid EL KORCHI, 2009)

I.3. La LITHO STRATIGR



APHIE (Région de Fès)

Par sa position entre deux domaines structuraux très différents, le Moyen Atlas au sud et le domaine Rifain au Nord (Humphrey et al 1978), la plaine de Saïs a fait l'objet de nombreuses études qui ont portées essentiellement sur la litho stratigraphie de ces formations.

I.3.1. Le Paléozoïque

Les formations paléozoïques affleurent largement, au sud de la plaine de Saïs, à la faveur des accidents de NE-SW, ou au N-S aussi affleurent la partie méridionale du secteur. Sa lithologie renferme des roches métamorphiques, des schistes et des grès quartzitique (*ressources en eau au Maroc Tome2, 1974*)

I.3.2. 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 (*A. Pique 1994*)

I.3.3. Le Trias

Le Trias repose en discordance sur le socle paléozoïque fissuré, et dont la sédimentation mésozoïque commence par une série de rouge triasique. Cette série comporte deux cycles ; le premier comporte des argilites, siltites, avec parfois des lentilles conglomératiques à la base ; et le deuxième comporte une sédimentation argilo-évaporitique du Trias supérieur (Taltass 1953).

I.3.4. Le Lias

Les formations liasiques s'enfoncent progressivement vers le Nord dans la plaine de Saïs à des profondeurs de plus en plus grandes, avant de se terminer brusquement au niveau du front de la nappe pré-rifaine. Ces formations sont effacées par un certain nombre de flexures à grande échelle, ces flexures sont orientées soit NE-SW, soit NW-SE (*A. Brahim, 1983*)

I.3.5. Le cénozoïque

a) Le Miocène

Les dépôts miocènes surmontent de manière discordante le Lias. Cette discordance est marquée par l'absence de dépôts de l'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 Saïs.

b) 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.

- Pliocène continental

Les conglomérats : Ces conglomérats Mio-pliocènes occupent le versant sud du jbel Tghat s'étendent sur une bande Est-Ouest depuis la route de Moulay Yacoub et s'étant à l'Est sous les constructions de Ben Debab et jusqu'à la région de Jnanates (A. Brahim, 1983)

Les calcaires lacustres : Ces calcaires sont discordants sur les marnes de Miocène, les majeurs affleurements sont localisés de part et d'autres de l'oued Aïn Smen et principalement à Bled Ben souda

- Le quaternaire

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

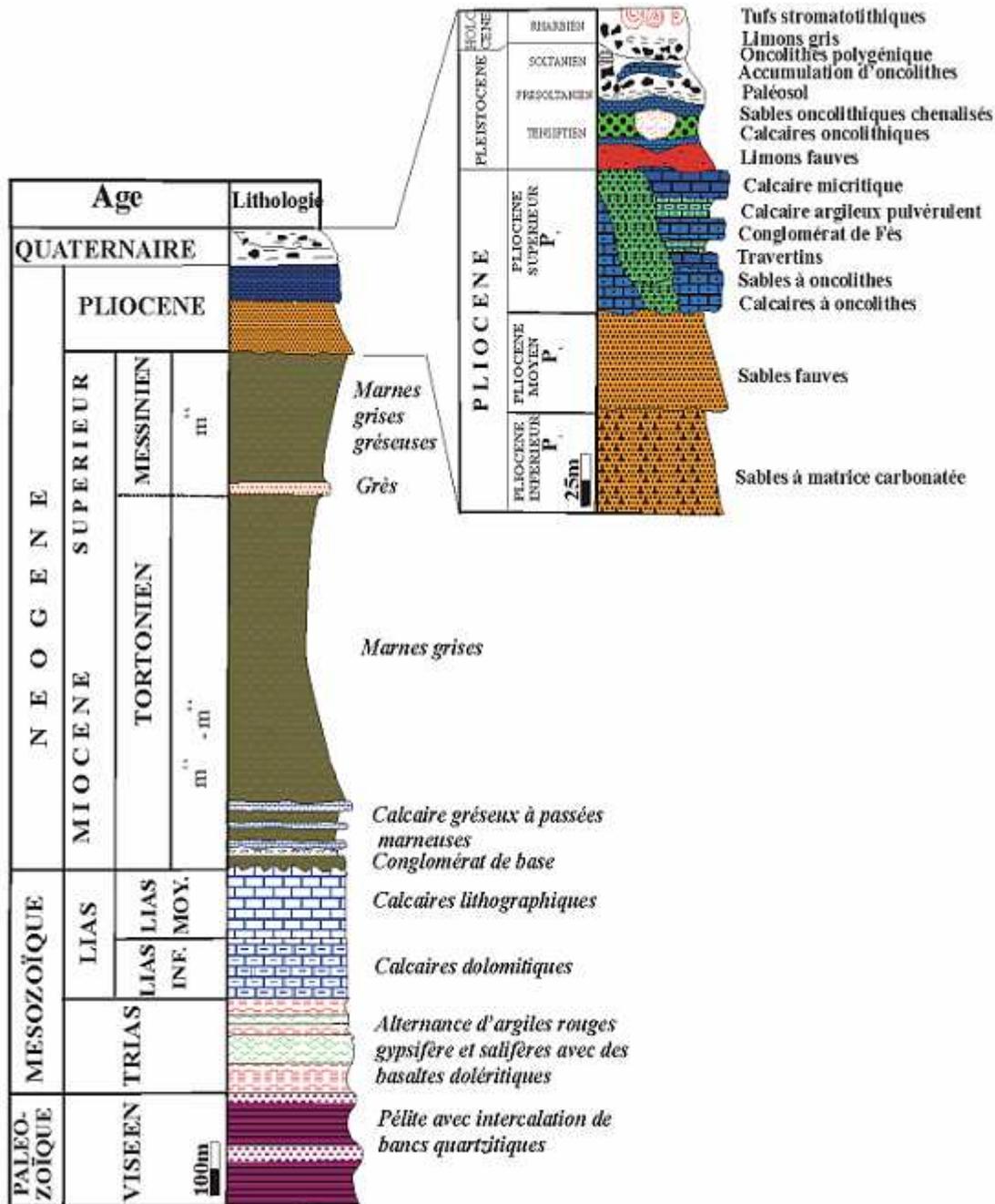


Figure I.2: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin de Saïss (Essahlaoui, 2000)

I.4 HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Les réservoirs carbonates jurassiques des Atlas marocains sont réputés pour leur fort potentiel en eau souterraine et pour des productivités unitaires élevées. Cependant, ces réservoirs sont caractérisés par une hétérogénéité manifeste, liée à des variations lithologiques, structurales et hydrodynamiques, en relation avec leur



évolution diagénétique, leur déformation fragile engendrant la fracturation, et leur dissolution engendrant la karstification.

Lorsqu'ils constituent des nappes libres, les guides de prospection des ressources en eau de ces aquifères peuvent être directement établis à partir des données de surface (Fassi-Fihri, 1996). Cependant, lorsque ces formations sont couvertes par les remplissages des bassins sédimentaires bordant les chaînes atlasiques, la prospection de leur ressource en eau est plus complexe.

L'aquifère liasique du couloir Fès-Taza s'étend sur une surface totale de 1500 km². Il représente le prolongement vers l'est de la nappe profonde du bassin Fès-Meknès (Combe, 1975). Au nord, il s'étend sur la plaine de Sebou à l'est de Sidi Harazem et sur la rive gauche de l'Oued Inaouène jusqu'au col de Touahar Au sud, il couvre les cuvettes de Ghomra et Matmata, les gorges de Sebou en aval d'Ain Sebou, et la partie septentrionale du causse moyen-atlasique (Bentayeb & Leclerc, 1975). Ses limites sont constituées par l'accident sud-rifain au nord, les limites des affleurements du socle schisteux au sud et à l'est, et le système de failles de Sidi Harazem à l'ouest (McDonald & Partners, 1990).

Le Paléozoïque affleure au niveau du massif de Tazekka et au sein des boutonnières du causse moyen-atlasique. Il est constitué de schistes parfois traversés par des bancs quartzitiques et des filons siliceux

Le Permo-Trias affleure au niveau des accidents et borde le socle Paléozoïque. Il est constitué par une intercalation doléritique au sein de deux séries argileuses.

L'épaisseur des dolérites varie entre 100 et 200 m. Les séries d'argiles rouges ont, quant à elles, une épaisseur variant de 50 à 100 m pour la série inférieure et de 0 à 20 m pour la série supérieure. Ces formations sont parfois gypsifères et/ou salifères (Colo, 1961, 1964).

Au sein de cet ensemble, on peut distinguer deux formations: un Lias inférieur représenté par des dolomies et un Lias moyen représenté essentiellement par un calcaire oolitique en gros bancs. Ces deux formations sont séparées par une intercalation d'argiles rouges ou/et chocolat d'épaisseur variant entre 10 et 20 m. Le Lias inférieur affleure sur tout le pourtour atlasique et disparaît au profit des marnes miocènes. Le Lias moyen affleure au niveau du synclinal de l'Oued Zereg entre l'Oued Kaouane et Oued Amlil (Vidal et al, 1979). Ces formations présentent une importante zone d'affleurement et une porosité triple (fissurale, karstique et/ou d'interstices).

I.5 LE CLIMAT

I.5.1. Région de Fès :

La région de Fès est soumise à 3 types de climats :



Un climat continental dans la partie nord, très chaud et très sec en été et froid et humide en hiver. La moyenne des précipitations y est de 480 à 800 mm et les vents y sont secs et froids ou bien froids et humides en hiver et chauds en été.

Un climat froid et humide en zone montagneuse, très froid et très neigeux en hiver et tempéré en été. La moyenne des précipitations dépasse les 900 mm avec des chutes de grêles et des inondations suite aux averses.

Un climat semi-aride dans les hautes collines de Boulemane, où la moyenne des précipitations n'excède pas le cap des 400 mm. Les hivers y sont très froids et neigeux, avec des gelées quasi-quotidiennes et un nombre non négligeable de jours sans dégel.

I.5.1.1. Température

La température est un facteur important qui contrôle l'intensité d'autres facteurs comme ceux 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

Sur la figure ci-dessous, on dispose des températures mensuelles et annuelles de la station de Fès saïs, pour une période de 1978 à 2001

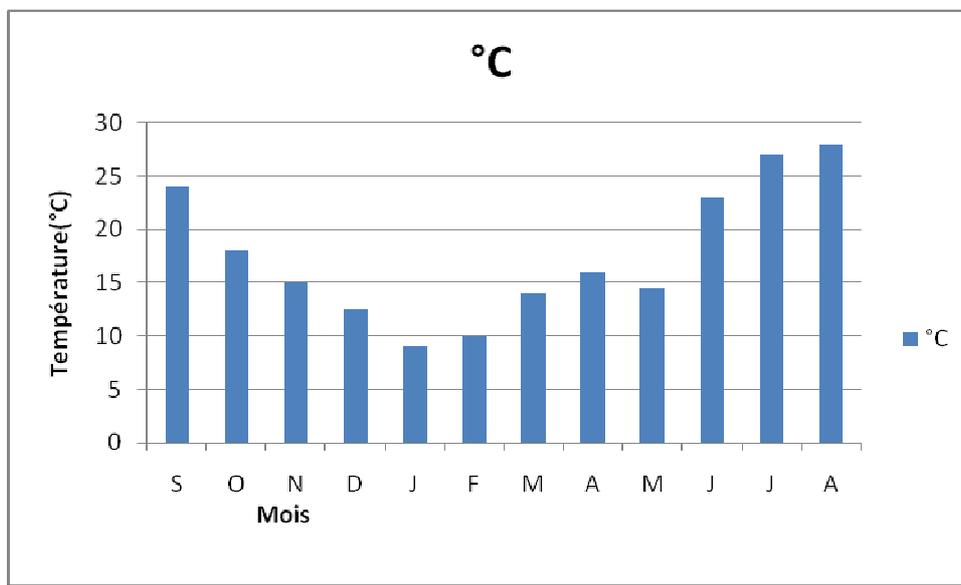


Figure I.3 Température moyenne mensuelle: station ABHS, Fès-Saïs(1978/2001)

I.5.1.2. Précipitations



A l'échelle annuelle, le régime pluviométrique de la plaine varie dans le temps et dans l'espace. L'année 2008 représente l'année la plus pluvieuse depuis 1978. La figure ci-dessous présente les précipitations annuelles de 1971 à 2009.

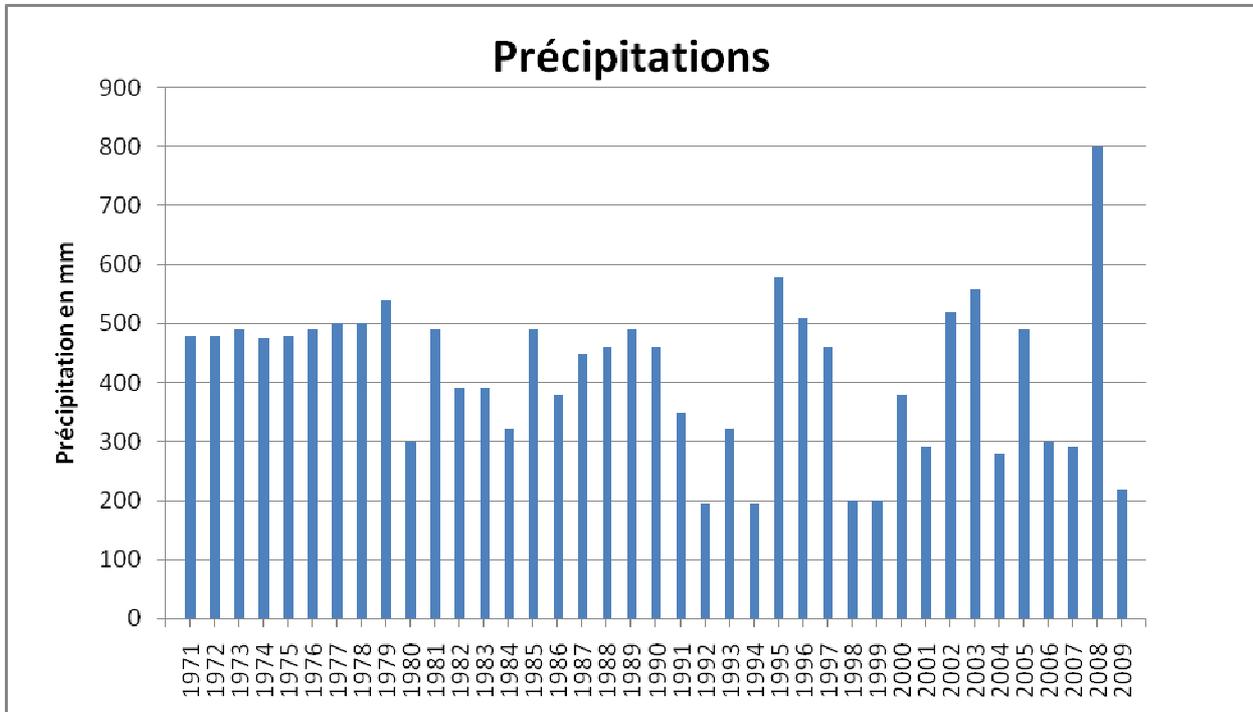


Figure.I.4 : Précipitations annuelles : station ABHS, Fès-saïs (1971-2009)

I.5.2. Région de Taza

Située entre le Maroc d'Atlantique et le Maroc Est, la Province de Taza se caractérise par un climat de type méditerranéen : humide en hiver et semi-aride en été.

Les températures varient entre 0°C et 38°C en moyenne. Quant à la pluviométrie moyenne, elle se situe entre 100 et 200 mm/an dans la zone aride et dépasse 500 mm/an dans la zone humide



CHAPITRE II: ECHANTILLONNAGE ET METHODES D'ANALYSES

II.1. INTRODUCTION

Les marnes constituent avec les argiles la majorité des substrats qui affleurent dans le sillon sud rifain ; ce sont des roches sédimentaires relativement tendres, formées par un mélange de carbonate et de minéraux argileux. Elles sont l'intermédiaire entre les calcaires et les argiles, et le terme « marne » ne désigne pas une espèce pétrographique bien définie. On passe ainsi des calcaires marneux, qui ne contiennent que 5 à 35% d'argile aux marnes argileux (de 65 à 95% d'argile).

Comme l'argile, les marnes sont tendres, finement poreuses, friables quand elles sont sèches, plastiques lorsqu'elles sont humides.

L'échantillonnage a été effectué sur sites d'exploitation des marnes, un situé à Fès de coordonnées Lambert $X = 541455,6$ m et $Y = 781236,63$ m et l'autre se trouvant dans la région de Taza a pour coordonnées Lambert $X = 627713,1$ m et $Y = 405257,79$ m.

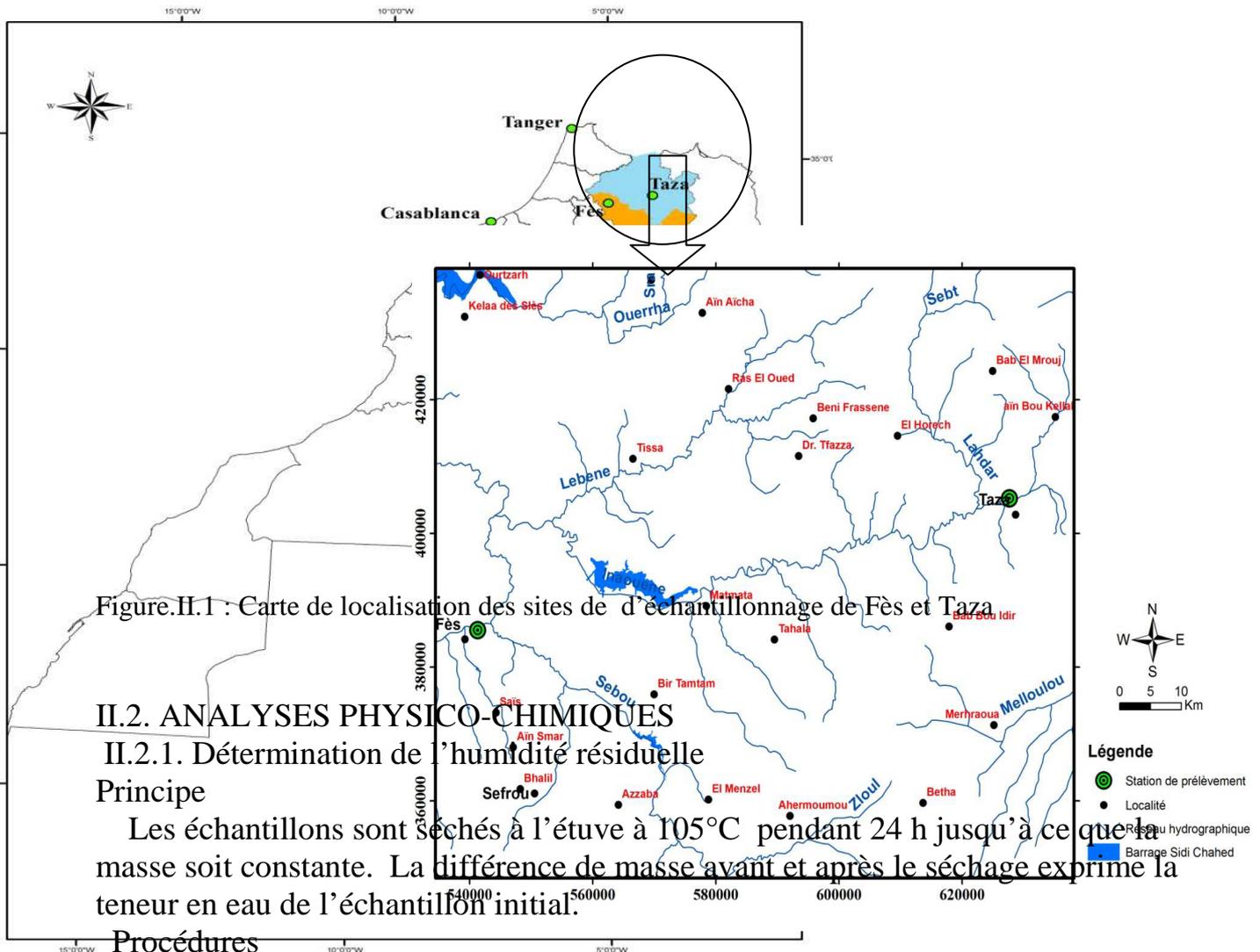
Sur le site de Fès, l'exploitation n'est pas à ciel ouvert. L'exploitation se fait en profondeur sous une colline ce qui transforme le site en une grotte dans laquelle on peut facilement observer la superposition des couches de différentes couleurs. De haut vers le bas, on a :

- Une couche de couleur jaune dans laquelle on peut distinguer le une sous couche de granulométrie fine nommé dans le cadre de ce travail « jaune fin ou JF » superposée à une sous couche de granulométrie relativement grossière nommé « jaune grossier ou JG ».
- Une deuxième couche en bas de couleur brune composée d'une sous couche fine nommée « Noir Fin Moyen ou NFM » suivie d'une deuxième sous couche grossière nommée « Noir Grossier Inférieur ou NGI ».

A Taza, les prélèvements ont été effectués sur le flanc (exposé au soleil) d'une montagne sur une profondeur de 60 à 80 cm.

Trois prélèvements ont été effectués, un au niveau supérieur nommée « Taza supérieur ou T.sup » à 150-200 m du pied de la montagne, un deuxième (Taza moyen ou T.moy) décalé vers la droite de 15m à 50 m au dessous du T.sup et enfin un troisième nommé « Taza inférieur ou T.inf » situé à 10 m du pied de la montagne et décalé vers la droite de 7m par rapport au T.sup.

Ces échantillons ont été tous prélevés à l'aide d'une pelle en plastique et placés dans des sacs en plastique.





- Peser le tout

Obtenir la masse de la marne par soustraction

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

Calculer le % d'humidité du sol.

Pour calculer le % d'humidité du sol, on pose :

$$\text{Humidité du sol} = \frac{\text{Masse humide} - \text{Masse sec}}{\text{Masse humide}} * 100$$

On obtient la masse équivalente sèche d'un échantillon humide dont on connaît déjà le % d'humidité par :

$$\text{Masse équivalente sec} = \frac{1 + \% \text{humidité}}{\text{Masse humide}}$$

II.2.2. Dosage de la matière organique totale par la perte au feu

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 24h dans un four. A cette température, la matière organique est détruite et la perte en eau structurale des argiles et les 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 et attendre 16H ouvrir la porte du four et laisser refroidir
- Mettre les échantillons dans un dessiccateur pour qu'ils se refroidissent à l'abri de l'humidité de l'air.
- Peser chaque coupelle en le sortant du dessiccateur juste avant la pesée.

Calcul

$$\% \text{MO} = \frac{(\text{Pds de l'échantillon}) - (\text{Pds de l'échantillon calciné})}{\text{Pds de l'échantillon}} * 100$$

II.2.3. Détermination du pH des marnes



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.

La mesure s'effectue selon les protocoles AFNORX 31-103 et AFNORX 31-104 à l'aide d'une électrode de verre combinée trempée dans une suspension de sol dans l'eau distillée

Principe

On réalise une mise en équilibre ionique entre la phase solide et la phase liquide. La mesure est effectuée dans les conditions déterminées (rapport marne/solution $\frac{1}{2} = 0,5$)

Mode opératoire

- Broyer 20 g de marne sèche ;
- Mettre dans un bécher avec 50 ml d'eau distillée et un barreau aimanté ;
- placer sur un agitateur magnétique pendant 30 min ;
- Mesurer avec l'électrode après étalonnage du pH-mètre .

II.2.4. Conductivité électrique des marnes

La conductivité électrique 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 celui-ci. L'unité est le Siemens/surface ou microsiemens /centimètre.

Principe

La détermination de la conductivité électrique est réalisée avec une cellule de conductimètre par la mesure de la quantité des ions solubles dans un matériau.

Mode opératoire

- Broyer 10g de marne dans un mortier
- Mettre dans un bécher avec 50ml d'eau distillée et un barreau aimanté
- Placer le tout sur un agitateur magnétique pendant 30min
- Etalonner 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 de marne.

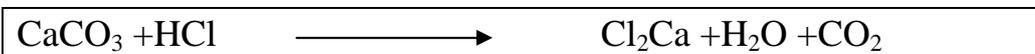


II.2.5. Essai de calcimétrie

La teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) a un rôle important dans la résistance du matériau qui est proportionnelle à la sensibilité à l'eau. Sa présence est aussi à l'origine de l'amélioration des caractéristiques d'identification et de certaines caractéristiques mécaniques.

Principe :

Il 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 de sédiments permet de calculer le pourcentage de carbonate de calcium total présent dans le sédiment suivant l'équation ci-dessous :



L'appareil de mesure est le Calcimètre de Bernard. Il permet de réaliser une série de mesure avec une précision satisfaisante.

Mode opératoire

- Peser exactement 0.250 g de calcite sec en vue d'étalonner l'appareil au début et à la fin d'une série de mesure ;
- Broyer une même quantité d'échantillon à 1mm et séché ;
- l'introduire avec beaucoup de précaution dans un Erlenmeyer de 100ml propre et sec ;
- remplir un tube de verre au $\frac{3}{4}$ avec de 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.
- on incline 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.

Le volume du CO_2 dégagé est : $d_2 - d_1$

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

V = volume du CO_2 dégagé par la calcite

v = volume de CO_2 dégagé par l'échantillon

II.3. ESSAIS TECHNOLOGIQUES



II.3.1. Granulométrie

II.3.2. Texture

La texture caractérise la composition granulométrique de la terre fine. Les particules élémentaires du sol sont classées selon leur tailles : argile (inférieure à 2mm), limons fins (2-20micromètre), limons grossiers (20-50 micromètres), sables fins (50-200micron), sables grossiers (200-2000).

Au delà de 2mm, on a les éléments grossiers qui constituent le refus. Les classes de textures sont déterminées par les pourcentages relatifs ou dominance des constituants granulométriques.

II.3.3. Séparation granulométrique par tamisage

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.

Principe

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires des tailles décroissantes. Les différentes masses des tamis et des refus sont rapportées à la masse initiales du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme numérique et sous forme graphique. (*Rouiller et al 1972*)

Préparation des échantillons (AFNOR X 31-107)

- Destruction de la matière organique

Cette méthode nous permet d'évaluer le taux de matière organique présent dans un échantillon. La destruction de la M.O se fait par attaque à l'eau oxygénée de concentration de 10% sur une plaque chauffante à agitation magnétique,, réglée à 80°C pendant deux à trois heures selon la quantité de matière organique dans l'échantillon. A la fin de la réaction, on lave l'échantillon à l'eau distillée et on le met dans l'étuve dont la température ne doit pas dépasser 80°C.

- Destruction du carbonate de calcium

La destruction se fait à l'aide de l'acide chlorhydrique à 10% jusqu'à la fin de l'effervescence, sous agitation afin d'éviter les surconcentrations locales. Le pH est contrôlé tout au long de l'attaque à l'aide d'un papier pH universel. Lorsque celui-ci vire au rose (couleur indiquant la dissolution des carbonates), l'attaque doit être arrêtée. (*Pomerol et Odin, 1974, in Meyer et al 1977*).

Notons que les deux traitements précédents nécessitent l'élimination des



réactifs en excès. Le lavage est par ailleurs nécessaire pour purifier l'échantillon en le débarrassant des composées et ions solubles. Après avoir laissé décanter et éliminer le liquide surnageant, rincer plusieurs fois à l'eau distillée, recueillir soigneusement le culot des godets puis étuver à 80°C.

Mode opératoire

- Peser 150g d'échantillon dépourvu de M.O et du carbone ;
 - Verser cette quantité dans le tamis à 2mm situé en haut de la colonne de tamis ; après l'installation de fond de tamis, on ferme le tout à l'aide d'un couvercle ;
 - Régler les secoueurs à 15 min avec régime permanent et vitesse maximale ;
 - Après l'arrêt de la machine, récupérer les refus de chaque tamis et peser- le.
- Les résultats obtenus sont présentés sous deux formes (histogramme et courbes cumulatives).

II.3.4. Analyse granulométrique par sédimentation

Méthode de pipette de ROBINSON

Après suppression des carbonates, des substances organiques et des possibles oxydes de fer (à cause de leur fonction liante) la méthode ROBINSON est utilisée pour déterminer la fraction des particules plus petites que 38 micromètres. La méthode est basée sur la différence de vitesse de sédimentation entre les particules légères et les plus grosses. La sédimentation des particules résulte des deux forces opposées: gravité et friction entraînant un mouvement dans un milieu fluide. Dans la méthode « ROBINSON », un échantillon est pipeté à différentes périodes et à différentes profondeurs de la suspension du prélèvement dans une éprouvette. Durée et profondeur sont déterminées à l'aide de la loi de Stokes. La suspension pipetée est condensée et séchée et la pesée détermine le ratio de masse de la fraction pipetée. Eijkelkamp, en coopération avec des instituts de recherche, a développé 2 modèles d'appareil à pipette conformément aux normes NEN5357 et ISO/DIS 111277.

Mode opératoire

- peser 30g d'échantillon sec inférieur à 0.05mm ;
- 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 10 cm et aspirer 10ml, versez-la dans une capsule tarée ;
- évaporer à l'étuve et peser le résidu ;
- Opérer de la même manière 8h après, à une température de 20°C.

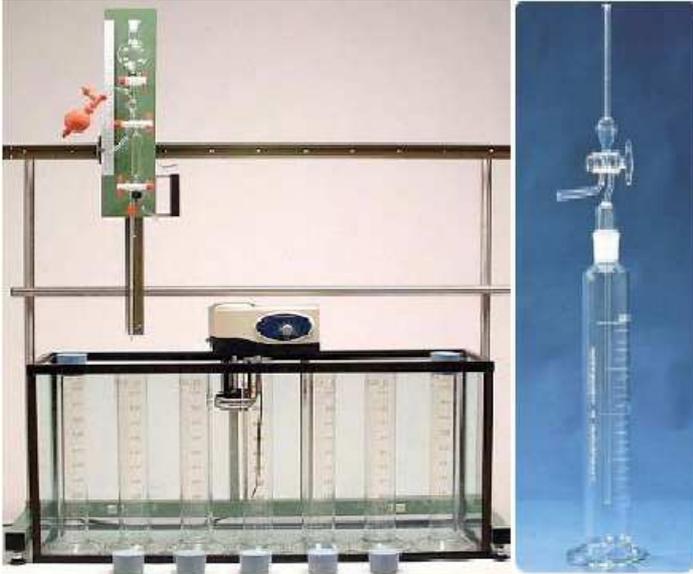


Figure.II.2. : Pipette de Robinson
II.4. Limites d'Atterberg

La manipulation consiste à exploiter les résultats de l'analyse granulométrique d'un sol et à définir ses limites d'Atterberg afin de la classer.

La particularité de ces sols fins est que, leur consistance varie fortement en fonction de leur teneur en eau. Leur état varie du solide s'ils sont desséchés, à l'état liquide quand ils sont détrempés. Entre ces deux états, il existe un état intermédiaire dit plastique.

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité WL) ;
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité).

Ces deux limites sont utilisées afin de déterminer la classification des sols. Elles s'appliquent sur la fraction de sol passant au travers du tamis de 400 μ m.

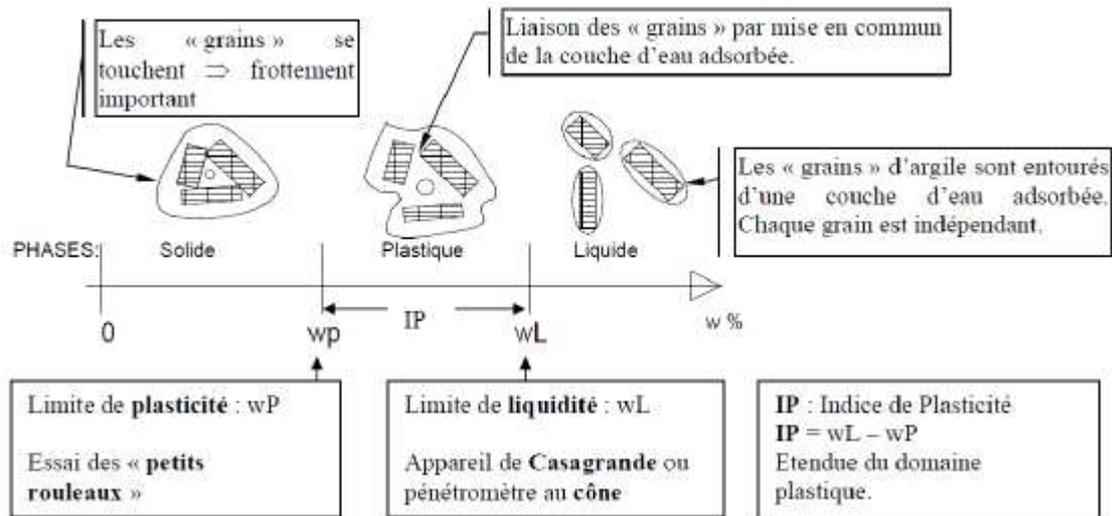


Figure.II.3. Différents états d'un sol

L'essai se fait en 2 phases :

- . Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans coupelle se referme sur 1cm lorsque celle-ci et son contenu sont soumis à des chocs répétés. (Appareil de Casagrande : limite de LIQUIDITE)
- . recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixé et confectionné manuellement se fissure. (LIMITE DE PLASTICITE)

II.4.1. Limite de liquidité

Matériel

- Appareil de Casa grande
- Outil à rainurer

Divers :

Étuve, balance, spatule, pissette.

Mode opératoire :

- Recueillir le matériau à une teneur en eau élevée afin de pouvoir débiter l'essai de limite de liquidité ;
- Recherche des couples de points (w, Nombre de chocs) ;
- Remplir la coupelle (caractéristiques normalisées) ;
- Partager la pâte en 2 ;
- Soumettre la coupelle à une série de chocs réguliers (2coups /s) ;



- Noter le nombre de coups (N) pour que la rainure se referme sur 1 cm apprécié à l'œil. $15 < N < 35$;
- Mesurer la teneur en eau de ces échantillons ;
- Sécher le sol entre deux essais en le malaxant sur un marbre et en l'étalant ;
- Refaire un nouvel essai comme indiqué à l'étape 1.

II.4.2. Indice de liquidité:

Matériel

- Plaque de marbre
- Sèche-cheveux
- Capsules de pesée.

Divers

- Etuve
- Balance
- Spatule
- Pissette

Mode opératoire :

- Sécher le sol en le malaxant sur le marbre et en l'étalant.
- Former une boulette avec une partie de l'échantillon puis roulez-la à main sur le marbre de façon à former un rouleau que l'on amincit progressivement jusqu'à ce qu'il ait atteint 3 mm de diamètre.
- Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette. La pâte est malaxée tout en le séchant légèrement.
- La limite de plasticité est obtenue lorsque simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteint 3 mm
- Effectuer une mesure de la teneur en eau
- Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette.



II.5. Essai au bleu de méthylène (NF P 96-068)

Principe

Le principe de la méthode consiste à contrôler l'absorption de bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant de fines prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre.

La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide incolore. La saturation de fines en bleu de méthylène se traduit par la formation d'une auréole bleu clair persistante autour du dépôt central.

On appelle la valeur de bleu de méthylène VBS, la quantité en gramme de bleu de méthylène adsorbée par 100g de fines.

Matériel nécessaire

- Un chronomètre indiquant 1s
- Une burette de 50 ml avec graduation au 1/10 ml
- Un papier filtre sans cendre, grammage 95/cm², épaisseur 0,20 mm, de vitesse de filtration 75, rétention 8mm.
- Une baguette de verre
- Un agitateur à ailettes tournant entre 400 et 700 tours/minutes dont le diamètre le diamètre des ailles est compris entre 70 et 80 mm
- Un récipient de 3 litres en matière plastique de diamètre environ 155 mm
- Un tamis de maille 5mm
- Une spatule
- Une pissette se 500 ml
- Une balance de portée 5 kg, précision 0,1g
- De bacs en plastique pour effectuer les essais

Mode opératoire

Préparation de l'échantillon :

- Séparer par tamisage et si nécessaire par lavage de la fraction 0/5 mm contenue dans l'échantillon
- Déterminer la portion pondérale C de la fraction sèche 0/5 mm contenue dans le matériau.
- Déterminer la teneur en eau



- Préparer une masse humide de sol comprise entre 30 et 60 g pour les sols argileux et entre 60 et 120g pour un sol peu argileux

Exécution de l'essai

- Introduire le matériau humide dans le récipient de 3 litres et ajouter 500 ml d'eau distillée ;
- Agiter l'ensemble pendant au moins 5 minutes ;
- Injecter 5ml de solution au bleu de méthylène à l'aide d'une burette ;
- Au bout d'une minute, effectuer le test de la tache sur papier filtre de la manière suivante :
 - Prélever avec une baguette de verre, une goutte de suspension que l'on dépose sur papier filtre
 - Observer la tache formée qui se compose d'un dépôt central de matériau, coloré d'un bleu sombre, entouré d'une zone humide incolore
 - La goutte prélevée doit être telle que le diamètre du dépôt soit compris entre 8 et 12mm
 - Le test est dit positif si, dans la zone humide, apparaît autour du dépôt une auréole bleu clair persistante
 - Le test est négatif si l'auréole est incolore : il faut rajouter 5 ml de solution de bleu de méthylène
- Lorsque le test est positif, laisser opérer l'adsorption du bleu, qui n'est pas instantanée, tout en effectuant des tests de minute en minute sans ajout de solution ;
- Si l'auréole bleu claire disparaît au bout de 5 minute, procéder à de nouvelles injections de solution de bleu de 2 ml ;
- Chaque addition est suivie de tests effectués de minute en minute ;
- Renouveler l'opération jusqu'à ce que le test demeure positif pendant cinq minutes consécutives : le dosage est alors terminé ;
- Noter V le volume de bleu de méthylène adsorbé.

La valeur VBS du bleu de méthylène est calculée suivant la formule ci-dessous :

$$VBS = \frac{V}{M}$$



Avec :

$V =$ volume total de la solution de Bleu de méthylène

$M =$ masse sèche de la prise d'essai = $\frac{\text{Masse humide} \times 100}{100 + \text{teneur en eau}}$

La surface spécifique est calculée par :

$$S.0,4 = \frac{20,93 * V}{PP}$$

Avec :

$V =$ volume du bleu de méthylène (cm^3)

$S =$ surface spécifique des particules (m^2/g)

$PP =$ masse de l'échantillon

II.6. Essai de coulabilité

Une prise d'échantillon de 500g est mise dans une bécher, à laquelle on rajoute une quantité d'eau définie (généralement 450 cc/kg sec) dont on a préalablement déduit l'humidité contenue dans l'échantillon.

A ce mélange, on ajoute une faible quantité de carbonate de sodium (1,5% de Na_2CO_3) et si nécessaire 1% de silicate de sodium (Na_2SiO_3). On laisse le mélange se reposer et à l'aide d'un mélangeur électrique, on agite énergiquement le mélange.

Après homogénéisation, on mesure la viscosité apparente. On rajoute 1% de silicate de sodium, on agite pendant 15 minutes et procède au mesure de la viscosité. L'opération continue jusqu'à la défloculation et même parfois au-delà lorsque l'échantillon recommence à flocculer de nouveau.

II.7. Confection des briquettes

La confection des briquettes se fait en mélangeant 400g 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 prévu à cet effet. On marque sur leur face supérieure deux segments diagonaux, chacun d'une longueur de 50 mm, ainsi que la référence de l'échantillon

II.7.1. Mesure de retrait

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 diagonales 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 différentes températures à savoir 900°C, 1000°C, 1100°C 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 peser et de mesure de retrait continue pour chaque cuisson, on détermine ainsi les caractéristiques du matériau à savoir le retrait, la perte de poids, la porosité et la couleur.

II.7.2. Perte de poids

Elle correspond à la diminution de poids due au séchage à l'air libre, au séchage dans l'étuve à 110°C et à la cuisson à différentes températures.

II.7.3. Porosité

Cette caractéristique permet d'évaluer le pourcentage de vide dans chaque briquette. Pour cela, on plonge les briquettes dans un bécher rempli d'eau distillée qu'on chauffe jusqu'à l'ébullition qu'on maintient pendant 2h.

On retire ensuite le bécher du feu et on le laisse séjourné pendant 24 h. on retire après les briquettes du bécher, on élimine l'excès d'eau à leur surface et on les pèse. La porosité est alors exprimée par la relation suivante :

$$P(\%) = \frac{M1 - M0}{M0} * 100$$

Avec

$M0$: masse initiale de briquette cuite en g

$M1$: masse finale de la briquette après l'essai en g

II.7.4. Résistance à la compression

Processus de mesure :

La préparation du spécimen s'effectue en lui appliquant à sa surface une structure aléatoire par pulvérisation. L'échantillon est positionné au centre d'une machine de compression qui lui applique une pression perpendiculaire uniforme pour détecter les problèmes d'adhésion et de cohésion du matériau.

La résistance est donnée par la relation empirique suivante :

$$Rc = \frac{F}{S}$$

avec :

Rc = résistance à la flexion

F = force appliquée en Newton

S = surface de la briquette en cm^2



II.8. La couleur

La couleur est une caractéristique importante dans le domaine de l'industrie céramique et sanitaire ; Elle est évaluée visuellement.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

III.1.1. Humidité résiduelle

L'humidité est une des propriétés importante des matériaux de construction. Elle est un indice pour déterminer la teneur en eau réelle des matériaux au moment de l'expérience. En général l'humidité est notée W et s'exprime en pourcentage (%).

Les échantillons sont séchés à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante. Cette humidité est comprise entre des valeurs de 12,79 et 18,77.

Les résultats sont présentés ci-dessous.

Tableau .III.1 : Humidité résiduelle

Nom de l'échantillon	Humidité résiduelle en %	Masse équ . sèche
Jaune fin(JF)	18,77	1,97
Jaune Grossier (JG)	12,79	1,37
Noir fin moy. (NFM)	16,90	1,78
Noir grossier inf. (NGI)	13,06	1,40
T. Sup	12,90	1,94
T. moy	14,54	1,55
T. inf	18,42	1,38

III.1.2. Dosage de la matière organique

La matière organique est un composant fondamental dans certaines roches sédimentaires. Cette matière organique qui peut être d'origine animal et / ou végétal confère au sédiment des propriétés physico-chimiques assez particulières (un sédiment riche en matière organique est par exemple généralement assez plastique) et par conséquent, très souvent de nombreuses problématiques imposent de connaître de cette première dans les roches sédimentaires.



Tableau.III.2 Qualification des sols en fonction de leur teneur en MO(in PEF, Atika Mouaddine ;2010)

Qualification	Teneur en matière organique
Très tourbeux	10% -50%
tourbeux	5%-10%
Peu tourbeux	1%-5%

Tableau.III.3 : Taux de matière organique

Nom de l'échantillon	Matière organique en %
Jaune fin(JF)	14,54
Jaune Grossier (JG)	10,74
Noir fin moy. (NFM)	10,81
Noir grossier inf. (NGI)	10,48
T. Sup	8,67
T. moy	13,71
T. inf	14,11

Nous pouvons constater que les échantillons de Fès c'est-à-dire JG, JF, NFM, et NGI ont un taux de matière organique compris entre 10,48 et 14,5' avec une moyenne de 11,64. On en déduit en se référant au tableau de classification que ces échantillon sont tous *très tourbeux*. Au-delà de ça, on peut aussi constater que JF a un taux de matière organique supérieur aux autres échantillons ; ce qui est tout à fait normal puisque c'est l'échantillon le plus superficiel.

Quant aux échantillons de Taza, leurs taux de matière organique varient entre 8,67 et 14,11 avec une moyenne de 12,16. On peut donc les qualifier *de très tourbeux* sauf le T.sup dont le taux de M.O est de 8,67(*tourbeux*).

Les variations observées ne sont pas dues à leur situation par rapport à la surface, elles sont plutôt dues à la présence ou non de végétation à l'endroit où l'on a fait les prélèvements puisqu'ils sont tous effectués à la surface sur le flanc de la colline.

III.1.3. Le pH

Les pH des différents échantillons sont compris entre 8,09 et 9,00 ; ils sont donc tous basiques vu que leurs pH sont tous supérieurs à 7. Ceci est justifié par le fait qu'ils renferment une quantité assez importante de CaCO_3 .

Le tableau ci-dessous présente le pH des différents échantillons



Tableau.III.4 : pH des échantillons

Echantillons	Valeur du pH	Température (°C)
Jaune fin(JF)	8,59	26,2
Jaune Grossier (JG)	8,09	26,4
Noir fin moy. (NFM)	8,99	23,7
Noir grossier inf. (NGI)	9,00	23,1
T. sup	8,54	27,2
T. moy	8,89	26,9
T. inf	8,52	27,5

III.1.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique des échantillons varie entre 558 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2,06 mS/cm .

Selon la norme Norme FAO, 1989 (in Douaoui et Hartani, 2006), les sols sont classés comme suit :

- $\text{CE} < 2\text{dS}/\text{m}$: Sol non salé
- $2 < \text{CE} < 4 \text{dS}/\text{m}$: sol faiblement salé
- $4 < \text{CE} < 8 \text{dS}/\text{m}$: sol moyennement salé
- $\text{CE} > 8\text{dS}/\text{m}$: sol halomorphes

Tableau.III.5 : Conductivité électrique des échantillons

Echantillons	Conductivités
Jaune fin(JF)	2,06 dS/m
Jaune Grossier (JG)	2,04 dS/m
Noir fin moy. (NFM)	1,19 dS/m
Noir grossier inf. (NGI)	1,83 dS/m
T. sup	0,55 dS/m
T. moy	0,83 dS/m
T. inf	0,75 dS/m

Les échantillons de Fès ont leurs conductivités comprises entre 1,19 et 2,06 dS/m alors que ceux de Taza ont leurs conductivités comprises entre 0,55 et 0,85 dS/m . Les échantillons de Fès sont donc relativement plus salés que ceux de Taza.

En utilisant la norme Norme FAO(1989), on peut qualifier les échantillons de Taza et les échantillons NFM, NGI de *non salés* puisque leurs conductivités sont



inférieures à 2dS/m . Les autres c'est-à-dire le *Jaune fin* et le *Jaune grossier* peuvent être qualifiés de faiblement salés vu que leurs conductivités sont comprises entre 2 et 4 dS/m.

III.1.5. Essai de calcimétrie

Tableau.III.6 : Teneur en carbonates des différents échantillons

Nom de l'échantillon	% de CaCO ₃
Jaune fin(JF)	19,76
Jaune Grossier (JG)	25,15
Noir fin moy. (NFM)	25,71
Noir grossier inf. (NGI)	35,01
T. Sup	23,38
T. moy	25,58
T. inf	23,42

Les teneurs en carbonate des échantillons de Fès sont comprises entre 19,76 et 35,01 avec une moyenne de 26,40 % ; ceux de Taza entre 23,38 et 23,58 avec une moyenne de 23,46.

III.2. ESSAIS TECHNOLOGIQUES

III.2.1. Analyse granulométrique

Le but de l'analyse granulométrique est d'étudier la taille des particules formant le sol et de mesurer l'importance relative de chacune des fractions de sol de dimension bien définie : sable, limon, argile.

L'analyse granulométrique a révélé que tous les échantillons ont une granulométrie fine caractérisée par un pourcentage des éléments de tailles inférieures à 80 µm ; 97% pour les échantillons grossiers (NGI et JG) et 99% pour les autres. Ceci nous conduit à procéder à une séparation sédimentaire pratiquée généralement pour des matériaux constitués de particules de tailles inférieures à 38µm. Cette méthode appelée « méthode de ROBINSON » basée sur la vitesse de sédimentation est simple et très efficace pour séparer les particules fines.

Les résultats issus de cette analyse sont consignés dans le tableau sous-dessous.

Tableau.III.7 Granulométrie

Echantillons	Sable très fins	% de limons	% d'argile
JF	1	79,2	19,8

JG	3	82,07	14,92
NFM	1	81,88	17,11
NGI	3	83,51	13,48
T.sup	1	78,39	20,6
T.moy	1	80,92	18,07
T.inf	1	79,95	19,04

La détermination des textures des matériaux se déroule en deux étapes. Dans un premier temps, la gamme granulométrique est subdivisée en intervalles, formant une échelle texturale. Par la suite, les trois classes texturales les plus significatives sont retenues pour la construction d'un triangle textural (fig.III.4) Ces trois classes définissent alors un triangle textural regroupant toutes les combinaisons possibles des diverses fractions de la terre fine (sable, limon et argile) à l'intérieur duquel seront situés nos échantillons.

Triangle des textures

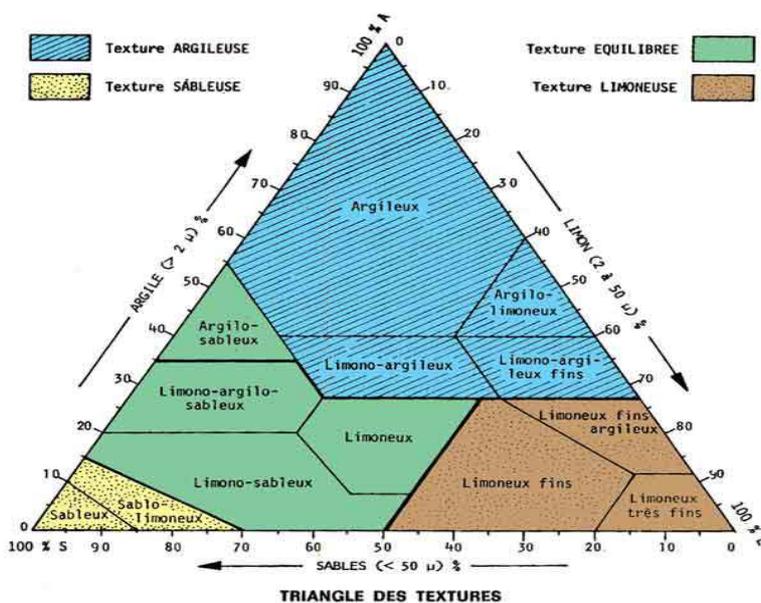


Figure.III.4 : Triangle des textures

Les échantillons dont le pourcentage d'argile se situe entre 14,92 et 20,6 c'est-à-dire les échantillons JF, JG, NFM, T.sup, T.moy, T.inf se situent dans la zone *Limoneux fins argileux* et l'échantillon NGI dont le taux d'argile est de 13,9 se situe dans la zone *limoneux très fins*.

III.2.2. Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg servent à classer des sols fins (80μm).



La position de la teneur en eau in-situ (w) par rapport aux limites d'Atterberg permet de prévoir la consistance d'un sol. Elles permettent de prévoir le comportement des sols fins pendant la phase de tassement et / ou lorsqu'ils sont sollicités mécaniquement (contrainte admissible, module d'élasticité).

La limite de liquidité se calcule selon la formule suivant :

$$WL = w \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121}$$

WL : limite de liquidité

W : teneur en eau = $\frac{\text{Poids de l'eau}}{\text{Poids sec}}$

N : Nombre de coups

La limite de plasticité elle autre se calcule par la formule suivante :

$$Wp = \frac{\text{Poids de l'eau contenue dans l'échantillon}}{\text{Poids de l'échantillon sec}}$$

Tableau.III.8. Différentes valeurs de WL et de Wp

Nom de l'échantillon	Nombre de coups (N)	Teneur en eau (w)	Limite de liquidité (WL)	Limite de plasticité (Wp)
JF	30	58,6	60	27,16333
JG	30	55,49756	56,7	17,97899
NFM	20	47,86680	46,6	23,02467
NGI	29	42,5	43,2	19,40576
T. Sup	29	53,6790	54,65	18,59107
T. moy	20	41,9654	40,84	19,94652
T. inf	29	50,2	51,1	19,1365

Plusieurs indices ont été définis à partir des limites de plasticité et de liquidité permettant de mieux caractériser les sols. Parmi ces indices, on peut citer :

-Indice de plasticité I_p :

L'indice de plasticité s'exprime en pourcentage du poids sec de l'échantillon de sol. Il indique l'étendue de la gamme des teneurs en eau entre lesquelles le sol reste plastique. En général, l'indice de plasticité ne dépend que de la quantité d'argile présente dans le sol. Il indique la finesse du sol et sa capacité de changer de forme sans varier de volume. Un I_p élevé est le signe d'un excès d'argile ou de colloïdes dans le sol.

L'indice de plasticité donne aussi une indication de la compressibilité. Plus I_p est élevé, plus la compressibilité du sol est grande.

$$I_p = WL - Wp$$

Avec :

I_p = indice de plasticité



Wl = limite de liquidité
 Wp : limite de plasticité

Tableau III.9. Qualification des matériaux en fonction de leur IP

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

Tableau.III.10. Différents indices de plasticités des différents échantillons

échantillon	Indice de plasticité (I_p)
JF	32,84
JG	38,73
NFM	23,58
NGI	23,8
T.sup	36,05
T. moy	20,84
T. inf	31,97

Les indices de plasticité de nos échantillons sont compris entre 20,84 et 38,73 donc en se basant sur le tableau ci-dessous, on peut conclure que nos échantillons sont plastiques puisque leurs indices se situent entre 15 et 40

-Indice de consistance :

Il permet d'apprécier la consistance des sols plastiques et donne une idée sur la structure de l'argile contenu dans le sol. Les argiles ayant les mêmes indices de consistance auront des propriétés similaires.

Il est défini comme suit :

$$I_c = \frac{Wl - W_{nat}}{I_p}$$

Avec :

I_c : indice de consistance

Wl : limite de liquidité

W_{nat} : Teneur en eau du sol à l'état naturel

Tableau.III.11. : Indices de consistance des différents échantillons

échantillon	Indice de consistance I_c
JF	1,02
JG	1,13



NFM	1,25
NGI	1,26
T.sup	1,15
T. moy	1,26
T. inf	1,02

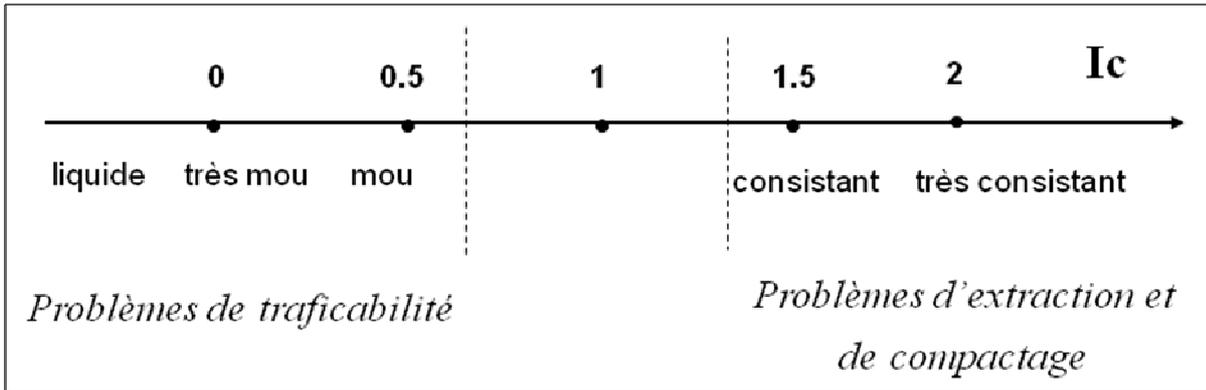


Figure.III.5: Etat du sol en fonction de l'indice de consistance (essais géotechnique :LPEE)

Les indices des différents échantillons étudiés sont compris entre 1,02 et 1,26 avec une moyenne de 1,15. Ils se situent dans une zone du graphe ci-dessus qui nous permet de dire qu'ils ne sont *ni mous, ni consistants*. Ni les problèmes d'extraction et de compactage, ni les problèmes de traficabilité ne se poseront vu la position des indices de consistances des échantillons sur le graphe.

- Diagramme de Casagrande

Le diagramme de Casagrande permet d'avoir une idée de la texture d'un sol à partir juste de ses indices de plasticité et de liquidité.

Les de points de coordonnées (WI,IP) ont été portés sur le diagramme et on remarque qu'ils retrouvent tous dans la zone de *limons très plastiques*.

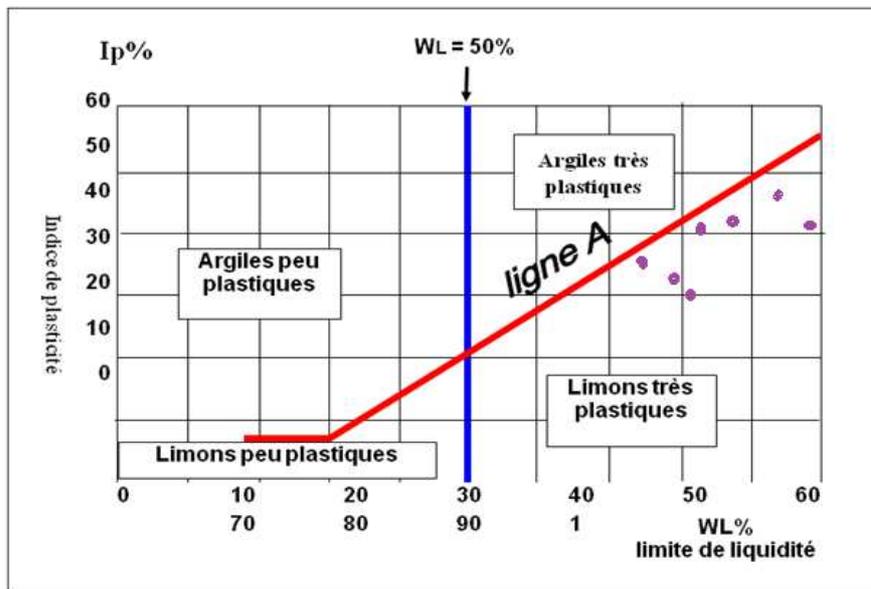


Figure.III.6. : Diagramme de Casagrande (essais géotechnique :LPEE)

III.2.3.Essai au bleu de méthylène

L'objectif était de caractériser la surface spécifique et l'argilosité du matériau, pour identifier le risque de gonflement.

La mesure de la surface spécifique des particules présentes dans un sol offre une caractérisation sélective de l'argilosité du sol, puisque cette surface spécifique varie de façon très importante avec la nature des particules.

L'essai au bleu de méthylène permet de le faire dans des conditions simples et rapides, en utilisant la propriété de la molécule de bleu de méthylène de s'adsorber sur la surface des particules minérales.

Les résultats de cette analyse figurent dans le tableau ci-dessous

Tableau.III.12. Valeur de bleu de méthylène et de surfaces spécifiques

Echantillons	Valeur de VB (cm ³)	Surfaces spécifiques S.0,4(m ² /g)
JF	2,8	4,6
JG	2,48	4,18
NFM	2,4	4,18
NGI	2,52	5,23
T.sup	2,60	4,18
T.moy	2,94	6,06



T.inf	2,74	5,65
-------	------	------

D'après le Guide des Terrassements Routiers (GTR 92), six catégories de sols sont définies en France selon la valeur de VBS :

Tableau.III.1 3. Catégorie de sol en fonction de VBS

Valeur de bleu de méthylène (VB)	Catégorie de sol
VBS <0,1	sol insensible à l'eau
0,2 <= VBS <1,5	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
1,5 <= VBS <2,5	sol sablo argileux, peu plastiques
2,5 <= VBS <6	sol limoneux de plasticité moyenne.
6 <= VBS <8	sol argileux.
VBS > 8	sol très argileux.

La majorité des valeurs VBS des différents échantillons se situe entre 2,5 et 6 sauf le JG et NFM qui ont respectivement 2,48 et 2,4 comme valeurs de VBS. Celles-ci ne sont pas très significativement différentes de la valeur seuil qui est 2,5.

Ces échantillons sont donc tous limoneux et plastiques comme nous l'avait relevé l'analyse granulométrique et le calcul des indices de plasticité.

III.2.4. Essai de coulabilité

Rappels

- La matière colloïdale se présente sous forme d'agrégats ou de petites particules élémentaires appelées « micelles » (Naegeli, 1877 in EL QANDIL, 2007).
- Ces particules argileuses portent des charges négatives. Ainsi, dans les colloïdes, l'atmosphère ionique autour de la micelle argileuse est matérialisée par des charges fortement négatives au voisinage immédiat de ces particules. Cette atmosphère reste s'atténue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ces particules.
- Dans une suspension argileuse, les particules élémentaires sont soumises à deux forces antagonistes :
 - Des forces de répulsions dues à leurs charges négatives.
 - Des forces d'attraction moléculaire (ou forces de Van Der Waals).



Toute modification de l'atmosphère ionique se reflète, directement, sur l'état de stabilité de la suspension argileuse. Ainsi une suspension est stable (défloculée) lorsque les forces de répulsion prédominent, alors que la floculation résulte de la domination des forces d'attraction.

Défloculation

Généralement, les courbes défloculation se présentent en cloche renversée. Ces courbes peuvent être subdivisées en trois parties

- Une première partie descendante, de très forte pente. Durant cette phase, les ions Na^+ ajoutés sous formes de silicate de sodium se trouvent retenus dans l'atmosphère ionique des particules argileuse, impliquant une disproportion entre les forces attractives et les forces répulsives. Cette disproportion étant en faveur de ces dernière, entraine la défloculation de la suspension argileuse, jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint.
- Un palier, dont l'étendu est très variable. Ce 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 les quantités croissantes d'ions Na^+ sans grandes implications sur l'état de stabilité de la suspension jusqu'à rupture de cette équilibre.
- Une dernière partie ascendante, de pente variable, selon les échantillons. La rupture de cet équilibre ionique étant atteinte par l'apport d'un excédent de Na^+ . En effet, quand cette concentration dépasse certaines valeurs propres à chaque échantillon ; les particules se rapprochent d'avantage et les forces d'attraction qui prédominent en provoquant la floculation de la suspension.

Lors de cette analyse, on a eu à faire face à un problème de manipulation ce qui a conduit à l'obtention des courbes dont l'allure ne correspond pas à l'allure d'une courbe de défloculation.

En effet, suite à l'utilisation d'un protocole peu détaillé, on a préparé une solution de Na_2CO_3 de concentration de 1‰ avec laquelle on a procédé à un ajout régulier de 5ml à la suspension argileuse. Cette façon de procéder n'est pas juste car selon le protocole décrit dans la thèse de Mr. Mustapha EL QANDIL, le 1‰ de défloculant doit être calculé par rapport au poids sec de l'échantillon et doit être ajouté directement dans la suspension et non préparer une solution avec.

Dans le souci de montrer le problème rencontré, quelques unes des courbes de défloculation obtenues seront introduites dans ce rapport.

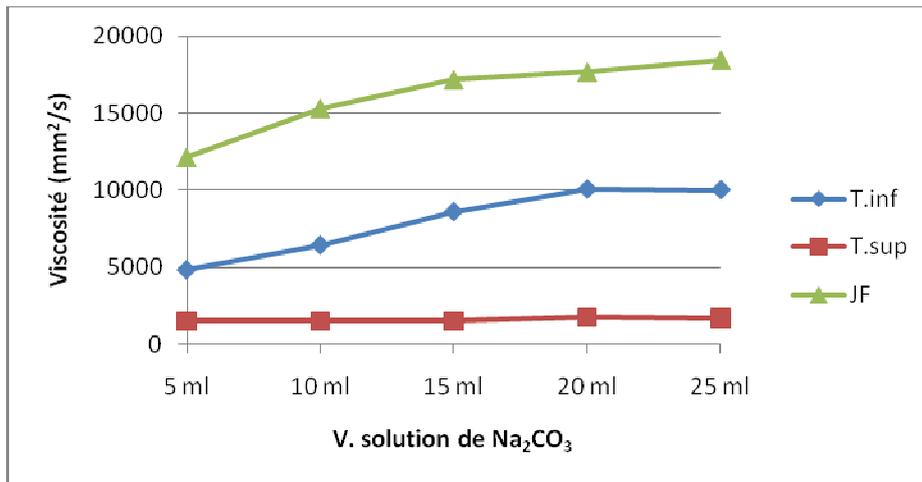


Figure.III.7. Courbes de défloculation de quelques uns des échantillons

III.2.4. Confection des briquettes

III.2.4.1. Echantillons non cuits

III.2.4.1.1. Le retrait

Pour tous les échantillons, plus de 90% du retrait total est atteint dès les premières 24h.

Pour les échantillons de Fès, le retrait continue le deuxième et à partir du troisième, il se stabilise.

Quant aux échantillons de Taza, le retrait s'est stabilisé au troisième jour pour le T.sup, au quatrième jour pour le T.inf. Le retrait ne se stabilisera pour T.moy qu'au sixième jour.

Durant les premiers jours du séchage, les particules ont tendance à se contracter pour occuper l'espace laissé par l'eau de façonnage qui s'évapore. Les points de contact entre les particules se multiplient. Par la suite, l'évaporation touche l'eau d'interposition mais celle-ci faible et se traduit par un ralentissement du retrait. Les points de contacts des particules sont suffisamment abondants pour assurer une meilleure tenue de la charpente. Un blocage presque total du retrait survient par la suite et est due à l'apparition d'un nombre suffisant de point de contact entre les particules.

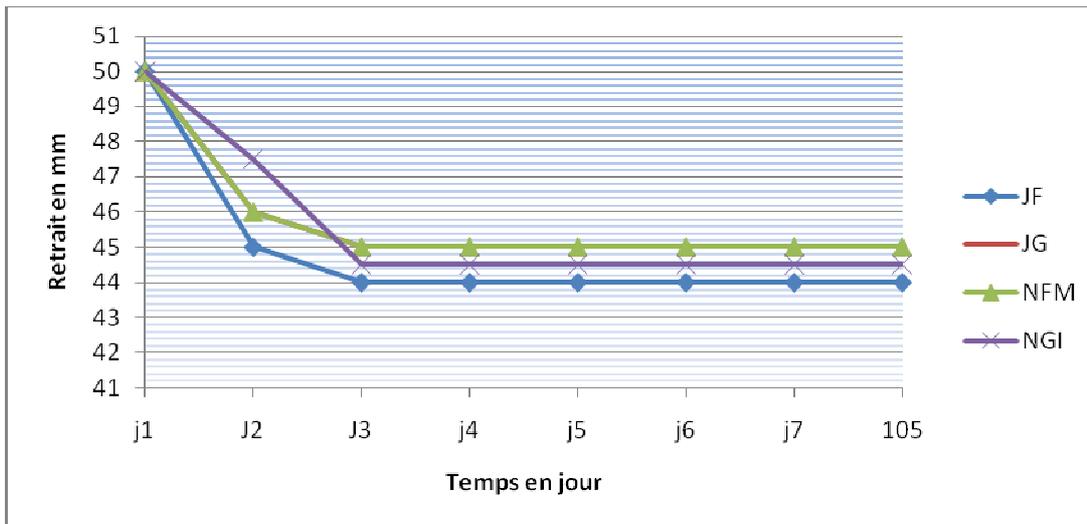


Figure.III.8. : Evolution du retrait des échantillons de Fès au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C

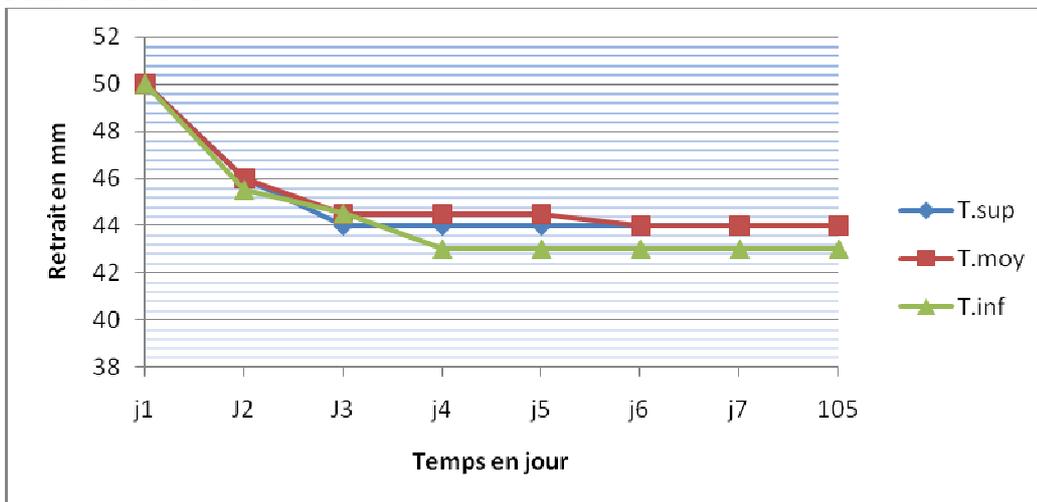


Figure.III.9 : Evolution du retrait des échantillons de Taza au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C

III.2.4.1.2. Perte de poids

Les courbes de perte de poids des échantillons des deux stations de prélèvement montrent une descente assez régulière et de pentes assez fortes les trois premiers jours du séchage à l'air libre. Ensuite, la descente devenue très faible jusqu'à une stabilisation au cinquième ou sixième jour.

Ainsi, les échantillons perdent presque la totalité de leur eau libre de façonnage les trois premiers jours de leur séchage à l'air libre qui se traduit par une perte considérable de poids. Cette perte d'eau continue après le troisième jour et touche l'eau d'interposition. C'est ce qui explique le ralentissement de la perte de poids car celle-ci est lente et la réserve d'eau mise en jeu est faible.

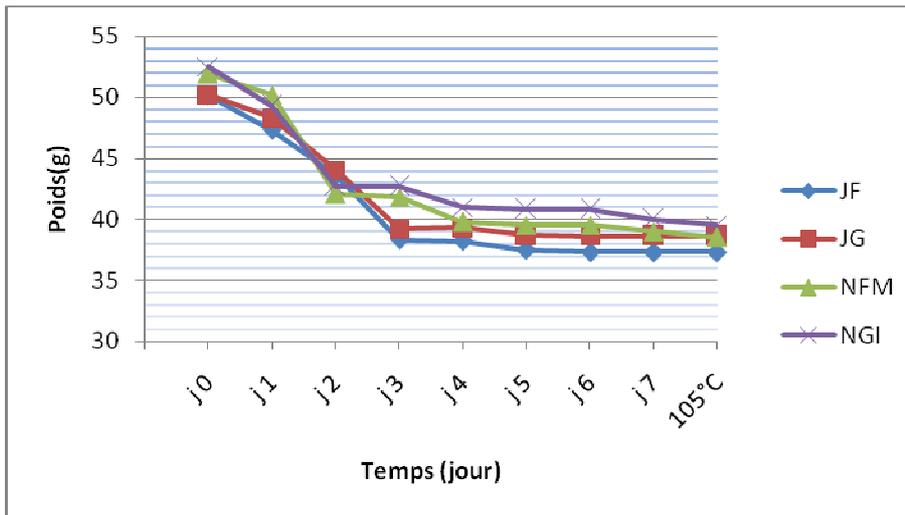


Figure.III.10 : Evolution de la perte de poids au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C (éch .de Fès)

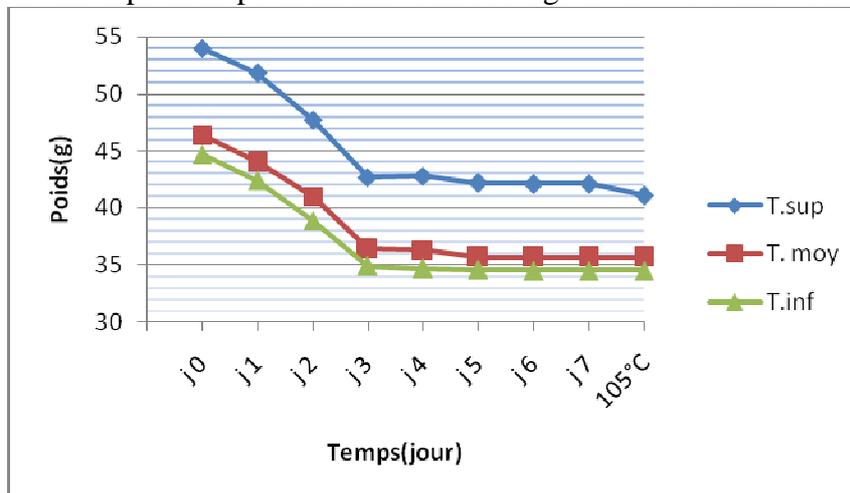


Figure.III.11. : Evolution de la perte de poids au cours du séchage à l'air libre et à l'étuve à 105°C (éch .de Fès)

III.4.2.Echantillons cuits

III.4.2.1.Le retrait

La cuisson à différentes températures n'a pas eu un effet significatif sur les échantillons. On a observé dans certains cas des variations de 1,11 à 2,27% ; dans d'autres cas, on n'a observé aucune variation.

III.4.2.2.Perte de poids

Tous les échantillons présentent une perte de poids plus accentuée à 1000°C et un regain de poids à 1100°C sauf le **T.inf** qui enregistre une légère augmentation de perte de poids.

- **A 900°C** : La perte en poids est comprise entre 14,95 et 15,79% pour les échantillons de Fès et entre 14,37 et 16,10 pour les échantillons de Fès.



Cette perte 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 et de leurs proportions respectives, de leurs états d'altération.

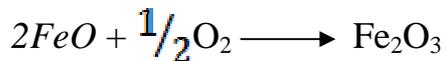
-A **1000°C** : On constate une nette augmentation de la perte du poids par rapport à la cuisson de 900°C. Les pertes se situent entre 15,77 et 18,1% pour les échantillons de Fès et entre 15,07 et 20,27% pour les échantillons de Taza. En effet, les carbonates de calcium se dissocient vers 1000°C en CaO et CO₂. C'est ce qui explique cette augmentation de la perte de poids par rapport à la cuisson à la température de 900°C vu que nos échantillons sont des marnes contenant 19 à 35% de CaCO₃.

- **A 1100°C** : A cette température, la perte de poids due à la déshydratation et à la dissolution des carbonates continue mais elle est moindre par rapport à cette de 1000°C. En effet, à cette température et à un environnement de cuisson plus ou moins oxydant, les pertes de poids sont estompées par des réactions suivantes :

- Réaction de déshydratation



- Réaction d'oxydation de l'oxyde ferreux



Ceci se traduit par un gain de poids perdu lors des deux premières phases.

Ce phénomène est attesté par le changement de couleur qu'on a pu observer aux niveaux des échantillons.

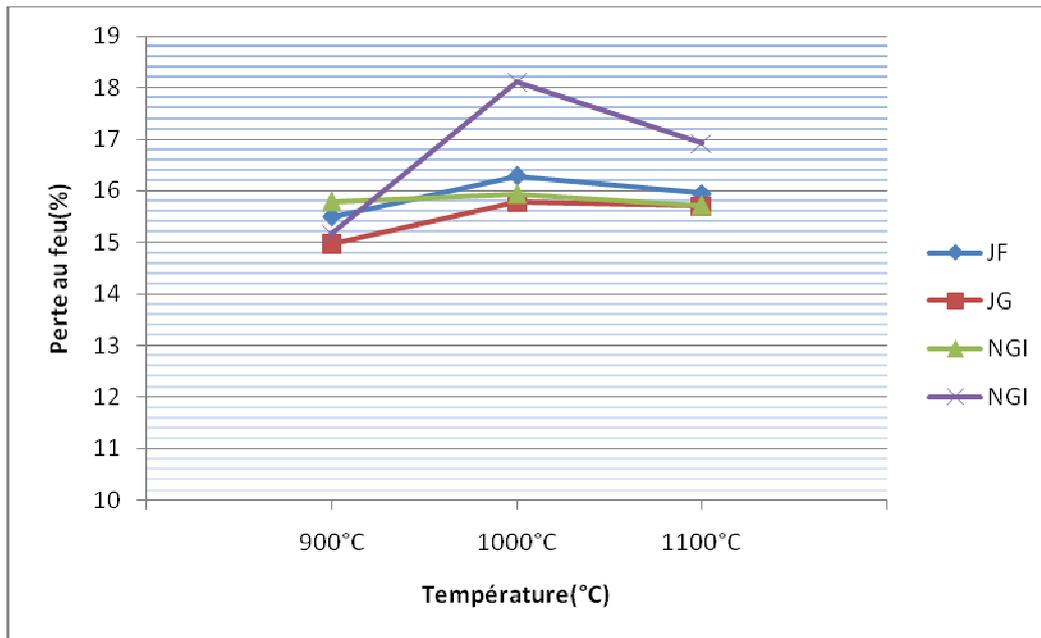


Figure.III.12. : Evolution de la perte de poids au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Fès)

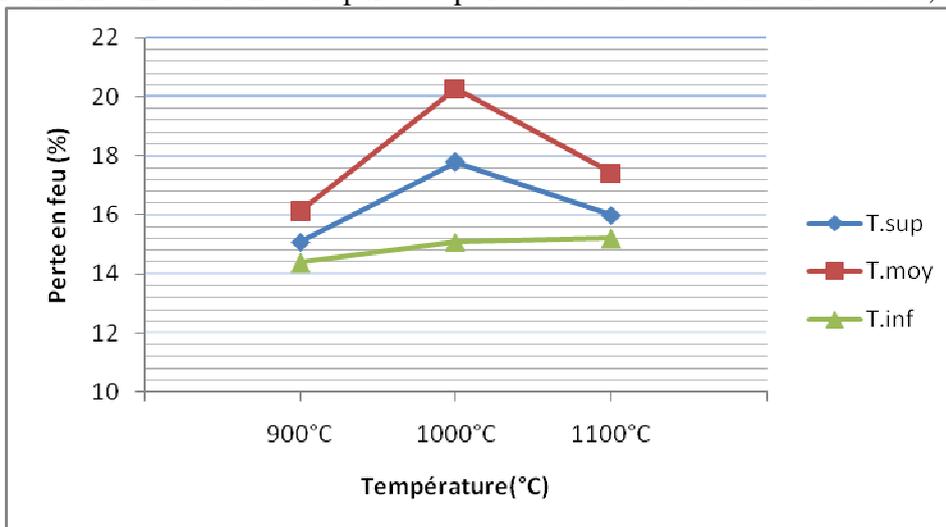


Figure.III.13. : Evolution de la perte de poids au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Taza)

III.4.2.3.Porosité

On entend par porosité d'une briquette, l'ensemble des pores communicants avec l'extérieur. Celle-ci varie entre 13 et 19% pour la cuisson à 900°C , 16 et 23% pour la cuisson à 1000°C , 10 et 19% pour la cuisson à 1100°C.

Les courbes de variation de la porosité en fonction de la température de cuisson ont la même allure que celles de la variation de perte du poids c'est-à-dire, une montée entre 900°C et 1000°C et une descente entre 1000°C et 1100°C. En effet, la perte de l'eau due à la déshydratation à 900°C laisse des vides dans les échantillons.



Cette proportion de vide sera plus grande à 1000°C suite à la dissolution des carbonates.

A 1100°C, les réactions comme l'oxydation de l'oxyde ferreux restructurent le matériel ce qui se traduit par une diminution de la porosité.

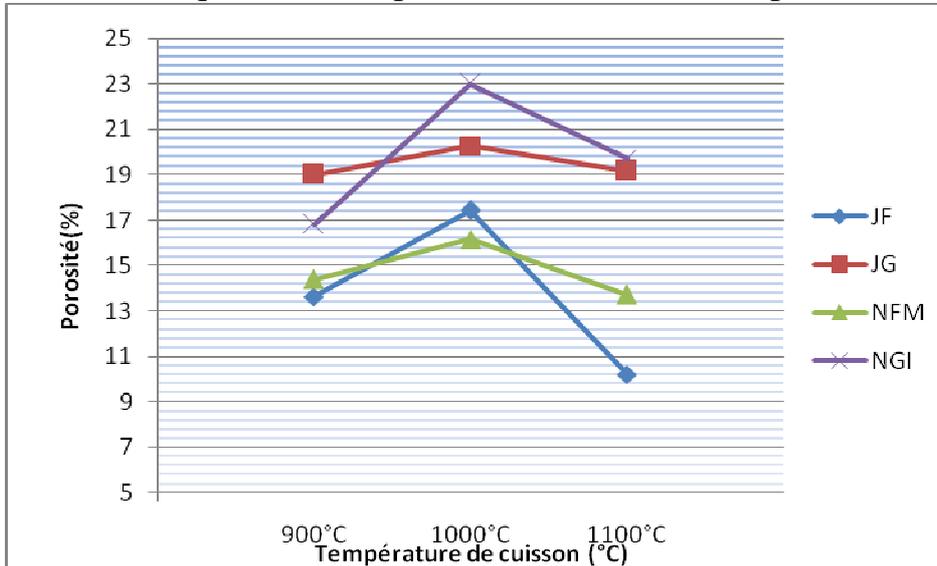


Figure.III.14. : Evolution de la porosité au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Fès)

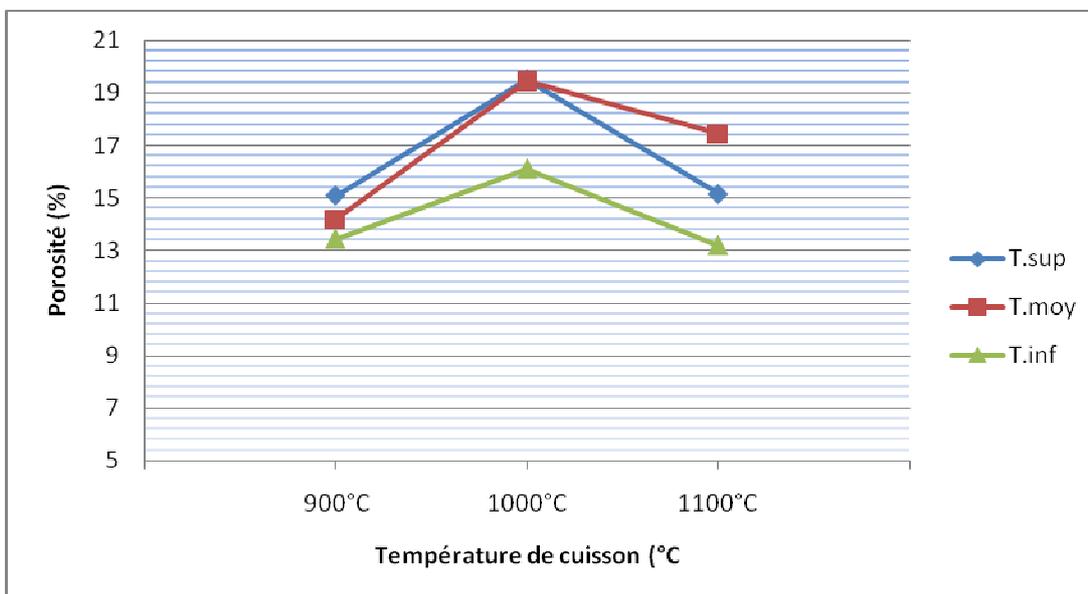


Figure.III.15. : Evolution de la porosité au cours de la cuisson à 900°C, 1000°C et 1100°C (éch .de Taza)



III.4.2.4. Couleur

Elle est de rouge brique à 900°C et passe à l'orange à 1000 et 1100°C.
Cette variation est essentiellement due à la variation de l'état du fer

III.4.2.5. Résistance à la compression

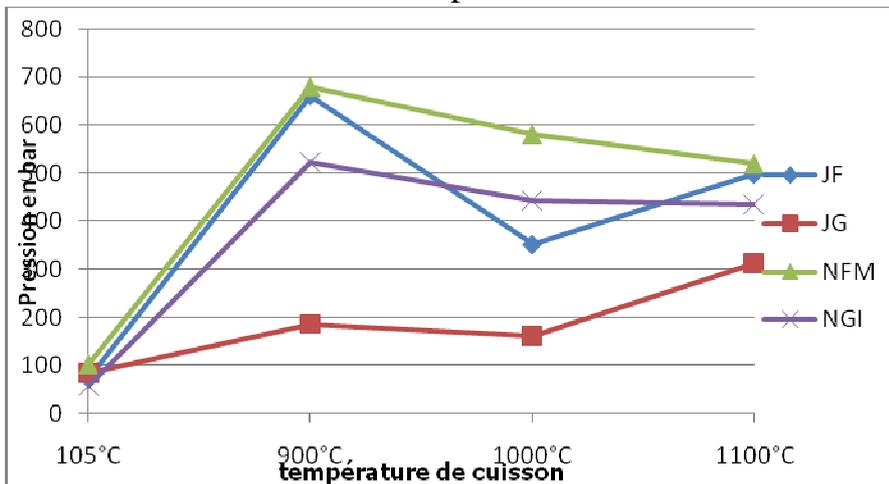


Figure.III.16. Résistance à la compression à différentes température de cuisson (ech de Fès)

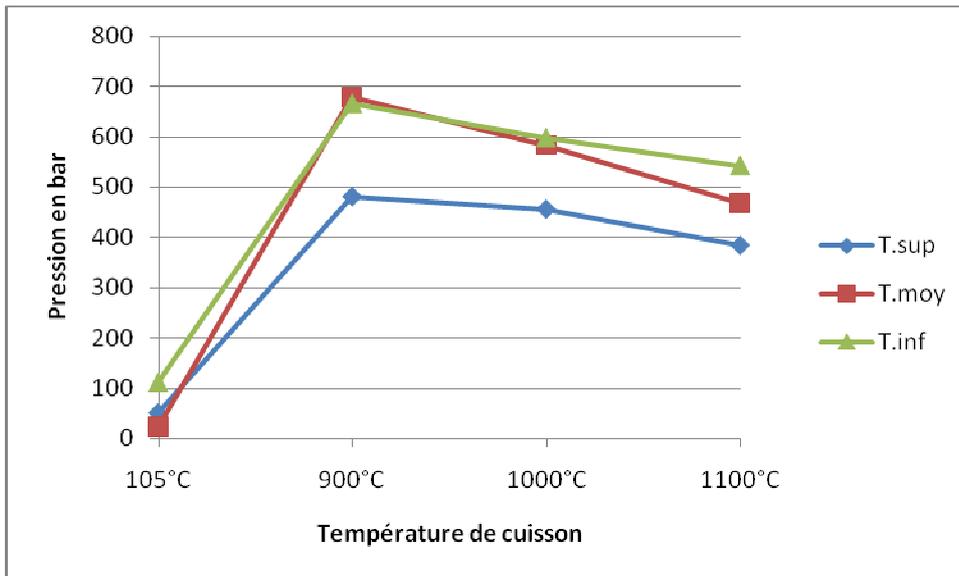


Figure.III.17. : Résistance à la compression à différentes température de cuisson (éch. de Taza)

D'une manière générale, la résistance à la compression croît avec la température de cuisson. Pour nos échantillons, on a plutôt observé une diminution entre 900°C et 1000°C et 1000°C et 1100°C pour les échantillons de Taza et une légère reprise entre 1000°C et 1100°C pour les échantillons de Fès.

On peut conclure que la température de cuisson de 900°C reste la meilleure car à une telle température, on a enregistré une faible porosité et une résistance maximale à la flexion.



CHAPITRE IV : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le but de ce travail est d'étudier les marnes du Miocène du couloir de Fès-Taza en vue de déterminer les domaines dans lequel elles peuvent être utilisées et de proposer si possible des traitements pour leurs utilisations dans les domaines dans lesquels elles sont moins adaptées. Pour cela, on a eu à effectuer sept prélèvements (quatre à Fès, trois à Taza) et ont fait l'objet d'étude physico-chimique et géotechnique.

Les analyses ont révélé que les échantillons sont de texture limoneuse très fines à limoneuse fines argileuse. La valeur de bleu de méthylène VBS et l'indice de plasticité indiquent que nos matériaux sont plastiques et sont sensibles à l'eau. Ceci poserait, en présence de l'eau, un problème de gonflement du matériel.

La teneur en matière organique est comprise entre 8,67 et 14,54. Or selon « Aide mémoire de mécanique des sols (Les publications de l'ENGREF) », au-delà de 2 à 3%, l'utilisation en remblais peut engendrer des problèmes de tassements à long terme. Les sols contenant plus de 5% de matière organique sont à proscrire.

Par contre, les essais de briquettes cuites à différentes températures montrent une faible porosité à 900°C avec une résistance maximale à la compression. On en déduit alors que ces matériaux sont plutôt adaptés à la fabrication des produits en terre cuite comme les briques et la poterie que leur utilisation dans les chantiers routiers et de terrassement.



Bibliographie

- AFNOR. (1984)**, *Recueil des normes français : bâtiments, bétons et constituants du béton (Granulats ; tome 3. 2ème édition)*
- Atika MOUADDINE**, *Mémoire de fin d'étude (2009-2010). Caractérisation granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols d'ouest de Fès*
- ENGREF**, *Aide mémoire de mécanique des sols p. 12-25*
- BEN DOUZIANE J. et KOUIDER A. (1992)**, *Propriétés physiques et mécaniques des argiles expansives de SAFI ; E.M.I., Rabat*
- Classification des sols GTR NF P 11 300 ; p.4-6**
- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUEBEC**, *Ligne directrice concernant l'application de la qualité en physico-chimie DR-12-SCA-01, Ministère de l'environnement du Québec, édition courante*
- Fatima BOUYAHYAOUI .1996**, *Eude géologique, minéralogique et technologique des marnes du Pliocène supérieur à Pliocène inférieur de la région de Fès-Meknès et Rabat-salé*
- Moustafa EL QANDIL. 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*
- Laboratoire de m'sila** *Manuelle de TP N°4,*
- NAJAT AÏT OUBIDAR. 1995**, *Recherche et étude des matériaux de construction dans la Province de Safi*
- Ouassima HARMOUZI. 2010**, *Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss (MAROC): interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion.*
- VIDAL J.C. et FAUGERES J.C. (1975)**, *Une nouvelle interprétation de la structure des Rides sud rifaines (Rif, Maroc): rôle des décrochements, C.R.Acad. Sci. Paris 281, 1951-1954.*



Mots clés: