

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

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Géologie Minière
Option : Recherche et Prospection des Ressources Minérales et Energétiques



Présenté par :
LAMOURI Bachir

Soutenu le : 01 /07/2008

Devant le jury :

Mme. ASSASSI. F	MC	Présidente	UNIV: ANNABA
M ^r . BOUABSA. L	MC	Rapporteur	UNIV: ANNABA
M ^r . CHOUABBI. A. M	MC	Examineur	UNIV: ANNABA
M ^r . CHEBBAH. M	MC	Examineur	UNIV: BISKRA

RESUME

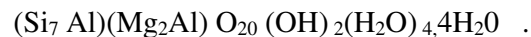
La couche d'attapulгите de Rhoufi objet de cette étude, fait partie des formations constituant le coeur du synclinal de Rhassira. Elle est encaissée dans l'assise médiane marno calcaire du Lutétien et se présente sous forme d'une couche lenticulaire subhorizontale (pendage de 2° à 5°NW).

Les observations de terrain et l'interprétation des travaux miniers ont décelé que la puissance de cette couche décroît avec le sens du pendage et que la zone la plus perspective est celle située dans la partie centrale sud du secteur d'étude.

Les résultats des études minéralogiques et géochimiques ont montré qu'il s'agit d'une attapulгите à excès de CaO, associée à des minéraux issus de la sédimentation chimique, à savoir la calcite, la dolomite et le gypse, avec absence de minéraux d'origine détritique et dont la zone la plus riche est localisée dans sa partie médiane.

Les essais de purification et de traitement afin de neutraliser l'excès de CaO de cette attapulгите par la méthode d'attaque à l'HCl dilué et à froid ont donné des résultats encourageants en réduisant le taux de CaO de 11,25 % à 0,75%.

L'étude cristallographique par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR) de cette argile a permis la localisation des bandes d'absorption des hydroxyles structuraux (OH) qui, à leur tour nous ont fourni des indications sur le caractère dioctaédrique des feuillets. Ceci nous a permis de lui attribuer une formule chimique globale selon un modèle dioctaédrique :



La combinaison des données minéralogiques, géochimiques géologiques et l'histoire paléogéographique de la région avec notamment :

- l'encaissement de la couche d'attapulгите dans des formations du Lutétien moyen qui représente une période de transition entre l'éocène marin et continental;
- l'absence du matériel détritique au sein de la fraction argileuse ;
- l'association de cette argile à des minéraux de la précipitation chimique basique (calcite, dolomite et gypse) ;
- la présence de fortes teneurs en MgO (5,5% à 12%) et de faibles teneurs en Al₂O₃ (5% à 7%)

Confirme que cette argile est une attapulгите issue du processus de la néoformation au cours de la sédimentation basique dans un milieu confiné en excluant l'héritage et la transformation à partir des sols et des roches préexistantes.

ABSTRACT

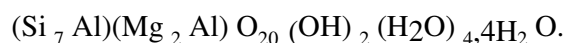
The layer of attapulgite of Rhoufi object of this study, fact part of the formations constituting the heart of synclinal of Rhassira. It is boxed in median base marno calcareous of Lutétien and is presented in the form of a lenticular layer subhorizontale (dip of 2° with 5°NW).

The observations of ground and the interpretation of mining work detected that the power of this layer decrease with the direction of the dip and that the most perspective zone is that located in the southern central part of the sector of study.

Resulted from the studies mineralogical and geochemical showed that it is about an attapulgite with excess of CaO, associated minerals resulting from chemical sedimentation, namely calcite, the dolomite and the gypsum, with absence of minerals of detrital origin and whose richest zone is localised in its median part.

The tests of purification and treatment in order to neutralize the excess of CaO of this attapulgite by the method of attack in diluted and cold HCl gave encouraging results by reducing the rate of CaO of 11,25 % to 0,75%.

The cristallochimic study by infra-red spectroscopy with transform of fourrier (FTIR) of this clay allowed the localization of the absorption bands of structural hydroxyls (OH)⁻ which, in their turn indications provided us on the character dioctaedric of the layers. This enabled us to allot a total chemical formula to him according to a model dioctaedric:



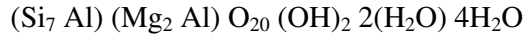
Combination of the mineralogical, geochemical data geological and paleogeographic history of the area with in particular:

- the cashing of the layer of attapulgite in formations of average Lutétien which represents one transitional period between the marine and continental Eocene;
- the absence of the detrital material within the argillaceous fraction;
- the association of this clay to minerals of basic chemical precipitation (calcite, dolomite and gypsum);
- the presence of the strong contents of MgO (5,5% to 12%) and of the low contents Al₂O₃ (5% to 7%)

Confirm that this clay is an attapulgite resulting from the process of the neo-formation during basic sedimentation in confined surroundings by excluding the heritage and the transformation from the grounds and of the pre-existent rocks.

ملخص

طبقة الاطابيلجيتاالموجودة بضواحي منطقة غوفي موضوع هذه الدراسة تنتمي للطبقات المكونة لمقعر غسيرة وهي محتواة داخل الطبقة المارنوكلسية الوسطى للوتيسان شكلها ، عدسي و ذات ميل شبه أفقي . الملاحظات الميدانية وتحليل معطيات الأعمال المنجمية أظهرت بأن سمك هذه الطبقة الطينية يتناقص بنفس اتجاه ميلها وكذا المنطقة المهمة فيها هي تلك الموجودة بالجهة الجنوبية الوسطى. نتائج الدراسة المنيرالوجية والجيوكيميائية بينت بأنها طبقة طينية من نوع الاطابيلجيت ذات نسبة عالية من الكلس، كما أنها متحدة مع فلزات ناتجة من خلال الترسيب الكيميائي كالكلس ،الدولوميت والجبس مع غياب كلي للفلزات ذات المنشأ الختائي. عملية تصفيته من الشوائب ولاسيما الكلس عن طريق المعالجة بواسطة حامض الكلوريدريك،أظهرت نتائج جد مشجعة حيث تم تقليص نسبة الكلس من 11.25% إلى 0.75% دراستها بواسطة الأشعة تحت الحمراء وفرت لنا معلومات حول بنيتها الداخلية مما ساعدنا على إعطائها المعادلة الكيميائية التالية وذلك حسب القالب الديوأكطاإدريك



توافق المعطيات المنيرالوجية ،الجيوكيميائية ،الجيولوجية وتاريخ الجغرافيا القديم للمنطقة : و لاسيما المتوسط والذي يمثل مرحلة للوتيسان- إحتوائها ضمن طبقات إنتقالية بين الايوسين البحري و القاري .
- غياب الفلزات الختائية في عينات الطين.
- إقتران هذا النوع من الطين بفلزات ذات منشأ كيميائي في وسط قاعدي (كالكلس ،والدولوميت و الجبس)
- وجود نسب عالية من MgO (5.5% إلى 12%) ونسب ضعيفة من Al_2O_3 (5% إلى 7%)
أكد بأن هذا النوع من الطين ذا منشأ جديد خلال عملية الترسيب القاعدي في مجال مغلق مع استبعاد المنشأ بالوراثة أو التحول .

DEDICACES

A mon père

A ma mère

A ma femme

A mes fils

A mes frères et soeurs

A tous ceux qui me sont chers

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier vivement l'ensemble des enseignants du département de géologie Annaba et en particulier ceux qui ont fait partie du staff d'encadrement au cours de l'année théorique.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon directeur de mémoire Monsieur Bouabsa. L, qui m'a accordé sa confiance et d'avoir accepté de diriger mon travail avec une remarquable compétence et un sens de l'encadrement peu commun.

Je tiens à remercier vivement Mme Assassi .F, Docteur à l'Université d'Annaba, d'avoir accepté la présidence de mon jury de mémoire.

Mes vifs remerciements vont à Mr Chouabbi. A.M, Docteur à l'Université d'Annaba et Mr Chebbah.M, Docteur à l'Université de Biskra d'avoir accepté de juger et d'évaluer mon travail

Enfin, je désire témoigner ma reconnaissance à toutes les Personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, en particulier mon frère et ami Boukkoufa Mechat

INTRODUCTION GENERALE

Parmi les substances naturelles solides les plus abondantes, on trouve la matière argileuse, souvent disponible à ciel ouvert et peu onéreuse. Elle a fait l'objet de nombreuses études, fondamentales et appliquées, pour son intérêt scientifique (paléogéographie, paléoclimat) et pour ses propriétés spécifiques, comme le durcissement à la chaleur, la capacité de former des suspensions colloïdales, le pouvoir absorbant et adsorbant.

C'est la sollicitation d'une ou de plusieurs de ces propriétés qui justifie l'emploi des argiles dans les nombreuses applications industrielles et la poursuite des recherches en vue de nouvelles utilisations.

L'objectif de ce travail est de faire une caractérisation géologique, minéralogique et géochimique d'une assise argileuse d'âge Lutétien moyen située dans la région de Rhoufi (w de Batna).

Le mémoire que nous présentons se compose de 04 parties :

La première partie est constituée de deux chapitres :

- le premier a été consacré à la présentation du cadre géologique et paléogéographique régional de l'Aurès.

- le second est consacré à la description détaillée de la géologie du secteur d'étude et son environnement immédiat.

La seconde partie est consacrée à une revue bibliographique sur les minéraux argileux. Elle a été divisée en deux chapitres :

- dans le premier on présente les généralités sur les principaux critères de classification et de nomenclature de ces minéraux.

- dans le second on donne un aperçu sur les différents modes de leur genèse

La troisième partie est consacrée à l'exposé de la méthodologie du travail et l'interprétation des différents résultats de l'étude minéralogique, géochimique, cristallographique et paléogéographique de la fraction argileuse.

La dernière partie est consacrée à la conclusion générale.

Situation géographique :

La région d'étude se trouve dans la partie sud du massif montagneux des Aurès qui est le prolongement oriental des chaînes de l'Atlas Saharien. Au nord de la région se trouve le grand djebel d'El Azereg (Côte 1937m) étiré en direction Nord-Est.

Au sud-est, ce massif est limité par des escarpements raides confinant la cuvette de Rhassira ayant un relief présentant l'aspect d'un véritable « bed land », recoupée par le canyon de Rhoufi dont les bords verticaux atteignent une hauteur de 100m.

Le principal cours d'eau de la région est l'oued Rhassira qui présente un tronçon de l'Oued El Abiod qui devient un torrent impétueux après les pluies hivernales et taris par endroits en été.

Le secteur d'étude Rhoufi est situé à 57 Km au Nord-Est du chef lieu de la wilaya de Biskra et à 31 Km au Sud –Ouest de la commune d'Arris (W. Batna) (Fig : 01)

L'indice d'argile de Rhoufi est divisé en 03 sous secteurs (central (I), Est (II), et l'extension Est) dont le plus perspectif (secteur I) qui se trouve à 1 km au Nord du village de Rhoufi est représenté par une couche gris –verdâtre encaissée dans les formations marno-calcaires de la partie médiane du Lutétien moyen. Sa disposition est subhorizontale avec un pendage de direction Nord-Ouest (N-W).

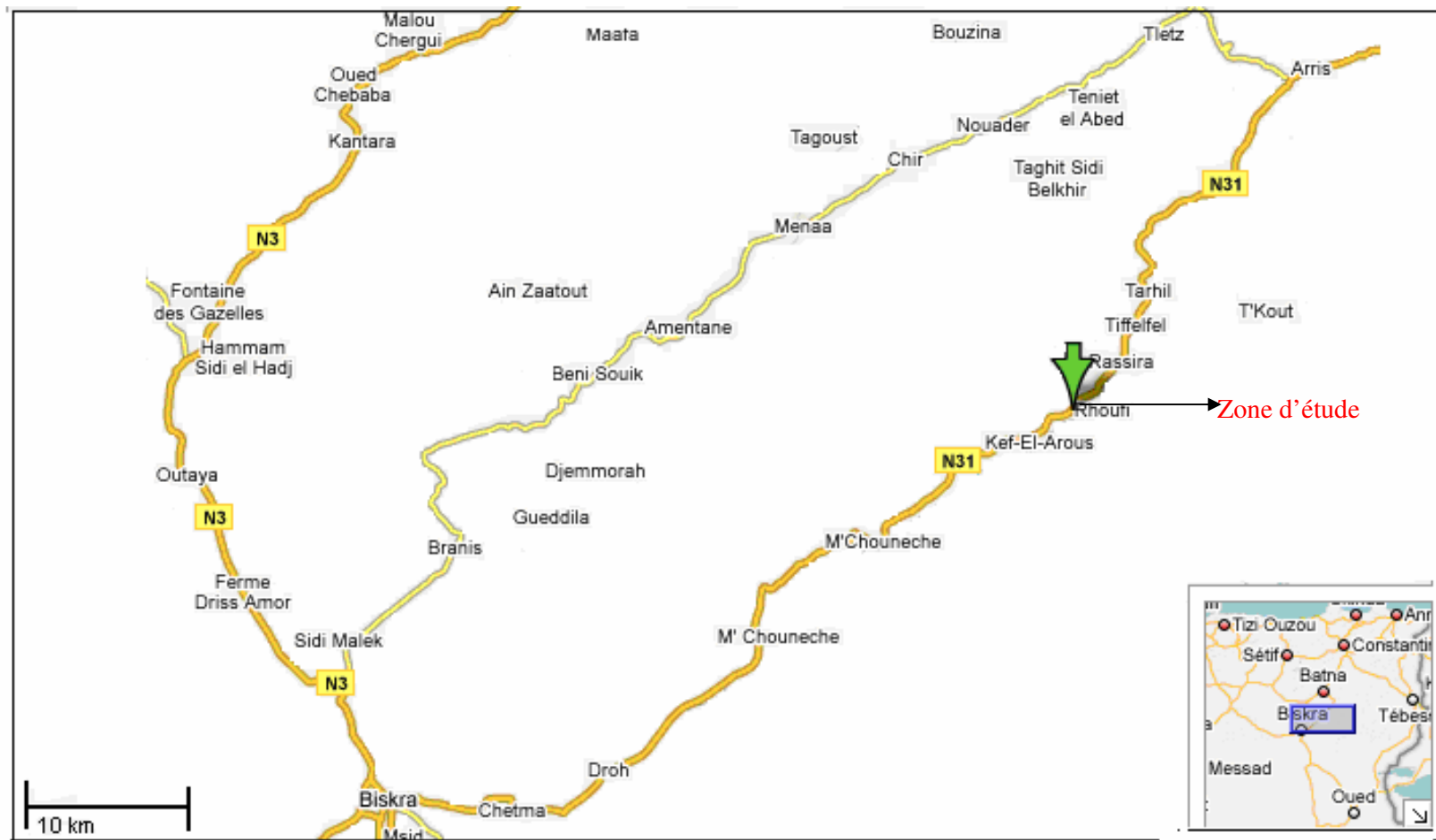


Fig.01 : Carte de situation de la zone d'étude

Historique de recherche :

- L'indice d'attapulgite de Rhoufi a été mis en évidence pour la première fois aux cours des travaux menés par la SONAREM (1968-1970) relatifs au levé géologique (1/200.000) des régions orientales de l'Algérie du Nord et la localisation des terrains favorables pour la recherche et l'estimation détaillée des substances utiles métalliques et non métalliques.
- En 1970 l'indice a été à nouveau réexploré par la SONAREM, lors des travaux d'établissement de la carte géologique de la feuille n°260 (Menaâ), où ces travaux d'exploration ont consisté à la réalisation des itinéraires et le prélèvement des échantillons dans le but de les analyser et vérifier l'aptitude de ces argiles pour leur utilisation comme boue de forage.
- Sur la base des résultats encourageants, obtenus au cours des travaux antérieurs, l'O.R.G.M. (ex : SONAREM) (1999-2001) a lancé une opération d'exploration détaillée de l'indice dont les travaux ont consisté à la réalisation de :
 - levés topographiques (1/25000 et 1/10000) ;
 - 35 sondages carottants, 23 tranchées, 02 puits et 05 sondages électriques (SEV) ;
 - analyse des échantillons (Géochimique et Minéralogique)
 - calcul et estimation des réserves

SOMMAIRE

RESUME

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE

CADRE GEOLOGIQUE

CHAPITRE I : CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

I.1. La lithostratigraphie.....	01
I.1.1. Le Trias.....	01
I.1.2. Le Jurassique	01
I.1.2.1. Le Jurassique inférieur	01
I.1.3. Le Crétacé	02
I.1.3.1. Le Crétacé inférieur	02
I.1.3.2. Le Crétacé supérieur.....	03
I.1.4. Le Paléogène	04
I.1.4.1. La série marine du Paléogène (Eocène inférieur et moyen).....	04
I.1.4.2. La série continentale du Paléogène, (Eocène supérieur et Oligocène).....	04
I.1.5. Le Néogène.....	05
I.1.6. Le Quaternaire	05
I.2. La tectonique	09
I.2.1. Les plissements	09
I.2.2. Les cassures	12
I.2.3. Les pointements triasiques	12
I.2.4. L'accident Sud Atlasique.....	13
I.3. Reconstitution de l'histoire du massif de l'Aurès	14

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

II.1. La lithostratigraphie	16
II.1.1. Le Paléogène.....	16
II.1.1.1. L'Eocène	16
II.1.1.2. L'Oligocène	17

II.1.1.3. Le Néogène.....	17
II.1.1.4. Le Quaternaire	18
II.2. Tectonique.....	20
II.3. Paléogéographie du secteur d'étude	23
II.4. Conclusion	23
II.5. Morphologie de la couche d'argile	24
II.6. Caractéristique du milieu de sédimentation.....	32

DEUXIEME PARTIE

GENERALITES SUR LES MINERAUX ARGILEUX

CHAPITRE I : DEFINITIONS, STRUCTURES ET CLASSIFICATION

I.1. Définitions.....	35
I.2. Aperçu sur les silicates	36
I.2.1. Silicates à tétraèdres isolés ou Nésosilicates	36
I.2.2. Silicates à 2 tétraèdres liés entre eux ou Sorosilicates.....	37
I.2.3. Silicates à tétraèdres en chaînes fermées ou Cyclosilicates	37
I.2.4. Silicates à tétraèdres en chaînes droites ou Inosilicates	38
I.2.5. Silicates à tétraèdres en édifices à trois dimensions, ou téctosilicates	38
I.2.6. Silicates à tétraèdres en feuillets, ou phyllosilicates	39
I.3. Formule générale des minéraux argileux	42
I.4. Critères de classification des minéraux argileux.....	42
I.5. Les différents types de minéraux argileux	43
I.6. Nomenclature des minéraux argileux	45
I.6.1. Les monophyllites	45
I.6.1.1. Les minéraux 1 :1 ou Te-Oc	45
I.6.1.2. Les minéraux 2 :1 ou Te - Oc-Te	46
I.6.1.3. Les minéraux 2 :1 :1 ou (Te - Oc - Te- Oc)	48
I.6.1.3.1. Les chlorites vraies	48
I.6.1.3.2. Les pseudo-chlorites ou chlorites gonflantes	48
I.6.2. Les polyphyllites	49
I.6.2.1. Les minéraux interstratifiés	49
I.6.2.1.1. Les minéraux à inter- stratification irrégulière	49
I.6.2.1.2. Les minéraux à inter- stratification régulière	50
I.6.3 Minéraux à pseudo- feuillets à faciès fibreux	50
I.6.3.1. Historique et définitions	50

I.6.3.2. Problème de nomenclature de la série des Palygorskites	51
I.6.3.3. Structure de la famille de la Palygorskite :(cas de l'attapulgitite)	51
I.6.3.4. Formule chimique de l'attapulgitite	53
I.6.3.5. Propriétés de l'attapulgitite	53
I.6.3.5.1. Propriétés microscopiques	53
I.6.3.5.2. Capacité d'échange cationique	54
I.6.3.5.3. Pouvoir agglomérant	54
I.6.3.5.4. Pouvoir absorbant et adsorbant	54

CHAPITRE.II. GENESE DES MINERAUX ARGILEUX

II. GENESE DES MINERAUX ARGILEUX	55
II.1. L'héritage.....	55
II.2. La transformation.....	56
II.3. Néogène ou Néof ormation_.....	57
II.4. Mécanisme de formation des minéraux argileux	57
II.4.1. Processus de destruction et altération de la roche source	57
II.4.1.1. Les processus physiques	57
II.4.1.2. Les processus chimiques	58
II.4.1.2.1. Dissolution.....	58
II.4.1.2.2. Oxydation et réduction	58
II.4.1.2.3. Hydratation.....	58
II.4.1.2.4. Décarbonatation	58
II.4.1.2.5. Hydrolyse	59
II.4.1.2.6. Acidolyse	60
II.5. Les facteurs contrôlant l'altération des roches.....	60
II.5.1. Les facteurs internes.....	60
II.5.1.1. Résistance des minéraux à l'altération.....	60
II.5.1.2. La mobilité des ions	60
II.5.2. Les facteurs externes contrôlant l'hydrolyse	61
II.5.2.1. Les conditions climatiques	61
II.5.2.2. Influence de la tectonique	63
II.5.2.3. Le pH et la nature de la roche mère	63
II.5.2.4. La topographie	64
II.6. Quelques exemples de genèse des minéraux argileux	65
II.6.1. Les minéraux argileux de la famille de la kaolinite	65
II.6.2. Les minéraux argileux de la famille de la montmorillonite.....	66

II.6.3. Les minéraux argileux de la famille de l'illite.....	66
II.6.4. Les minéraux argileux de la famille du talc	66
II.6.5. Les minéraux argileux de la famille des saponites	66
II.6.6. Les minéraux argileux de la famille des vermiculites	66
II.6.7. Les minéraux de la famille de la sépiolite et l'attapulgite	67

TROISIEME PARTIE

METHODOLOGIE D' ETUDE, RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I :METHODOLOGIE DU TRAVAIL

I.1.Echantillonnage et préparation des échantillons.....	68
I.1.1.Echantillonnage	68
I.1.2. préparation des échantillons	68
I.1.2.1. les étapes de préparation des échantillons	69
I.2.Analyse granulométrique et séparation de la fraction argileuse fine.....	70

CHAPITRE II :ETUDE MINERALOGIQUE

II.1. Etude par diffraction des rayons X	72
II.1.1.Objectif	72
II.1.2. Principe.....	72
II.1.3. Préparation des échantillons	73
II.1.4. Résultats et discussions	73

CHAPITRE III : ETUDE GEOCHIMIQUE

III.1.Etude par fluorescence aux rayons X (FRX).....	77
III.1.1. Objectif.....	77
III.1.2 Principe	77
III.1.3. Résultats et discussions	78
III.2.Essai de purification de la fraction argileuse (attapulgite de Rhoufi).....	92
III.2.1. Méthodes de traitement	92
III.2.1.1.Traitement mécanique ou par densité.....	92
III.2.1.2.Méthode de traitement chimique	92
III.2.1.3.Résultats obtenus	93
III.2.2.Méthodes de traitement suggérées	93
III.2.2.1.L'utilisation des résines échangeuses des cations (AmberliteIRC-50H).....	93
III.2.2.2.Evaluation des résultats de cette méthode	95

CHAPITRE IV : ETUDE CRISTALLOCHIMIQUE

IV.1.Etude par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR)	96
--	----

IV.1.1. Objectif	96
IV.1.2. Principe de la méthode	96
IV.1.3. Préparation de l'échantillon	97
IV.1.4. Résultats et discussions	97
IV.2. Formule structurale	100
IV.2.1. Introduction	100
IV.2.2. Calcul de la Formule structurale cas de l'attapulgite de Rhoufi	101
IV.2.3. Conclusion	101
CHAPITRE V : MODE DE GENESE DE L'ATTAPULGITE DE RHOUI	103

QUATRIEME PARTIE

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

ANNEXES

I. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

I.1. La lithostratigraphie

Dans la région d'étude, seules des formations sédimentaires, datant du Trias au Quaternaire, sont connues et sont marines, lagunaires ou continentales (Fig. 02). Ces formations ont été largement étudiées par Laffitte (1939) et Guiraud (1973) ; de ce fait, nous ne donnerons dans ce qui suit, qu'une synthèse de ces travaux, nous permettant d'identifier et de préciser le contexte lithostratigraphique régional de la région étudiée qui est celui du Massif de l'Aurès.

I.1.1. Le Trias

Les dépôts triasiques sont les plus anciens reconnus dans la région d'étude et se rencontrent en position stratigraphique anormale. Ils se présentent sous forme de pointements, souvent, à extensions très limitées, représentés par du sel gemme, des argiles violettes ou rouges et des lambeaux de marnes violacées associées à du gypse fibreux et à des blocs de cargneules .

I.1.2. Le Jurassique

Les terrains jurassiques, les plus anciens visibles en situation normale dans la région, constituent, entre les vallées de l'Oued Abdi et de l'Oued Abiod, le cœur de l'anticlinal du djebel El Azereg. Ils forment une boutonnière d'environ 20 à 25km de longueur dans laquelle, on peut reconnaître du centre vers la périphérie : le Kimméridgien, le Portlandien et le Berriasien.

I.1.2.1. Le Jurassique inférieur

Les affleurements du jurassique inférieur sont inconnus en situation normale dans la région ; cependant Laffitte (1939) a signalé deux petits lambeaux de schistes fossilifères, emballés dans les marnes à gypse triasiques des environs de Menaâ qu'il attribue selon leur contenu fossilifère au Toarcien.

I.1.2.2. Le Jurassique supérieur

Le jurassique supérieur est représenté par :

- Le Kimméridgien

Il s'agit des plus anciens terrains reconnus en position stratigraphique normale dans les Aurès et forment le cœur de djebel El Azereg. Ils sont représentés par des marnes localement à bancs de calcaires marneux.

- Le Portlandien et le Berriasien

Ces deux étages se présentent sous deux faciès bien distincts formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaro-marneux au NW et un faciès dolomitique au SW du massif de l'Aurès.

I.1.3. Le Crétacé

Le crétacé est très développé dans toute la région d'étude dont on peut voir une coupe continue du Berriasien au Danien ; il est concordant avec le Jurassique et en partie avec le Nummulitique. Deux séries s'individualisent dans les formations crétacées : une série gréseuse basale du Crétacé inférieur et une série marno-calcaire sommitale du Crétacé supérieur.

I.1.3.1. Le Crétacé inférieur

- Le Valanginien

Le Valanginien est formé à sa base par des assises marneuses présentant, fréquemment, un niveau pyriteux assez riche en fossiles caractéristique du Valanginien inférieur. Dans sa partie médiane s'intercalent des calcaires à Ostracées et des grès, alors que dans son sommet, on trouve tantôt des grès tantôt des calcaires pisolithiques.

- L'Hauterivien

Dans la région d'étude, les formations hauteriviennes dessinent une auréole régulière au centre de l'anticlinal de Dj. El Azereg où elles forment autour des dépressions occupées par les marnes valanginiennes des escarpements calcaires ou gréseux.

- Le Barrémien

Il est essentiellement, représenté par un faciès quartzeux, surtout dans la partie septentrionale et centrale, où ce faciès est très développé ; vers le SW, à ce faciès quartzeux s'intercalent des marnes rouges ou violacées, des bancs de grès sableux ou gypseux ; par contre au NE, il devient complètement calcaireux.

- L'Aptien

L'Aptien affleure dans tous les grands anticlinaux du Massif de l'Aurès (Dj. El Azereg, Dj. Boughezal, Dj. Ichmoul, Dj. Chelia). Sa partie inférieure est représentée par des marnes à Echinides, Ostracées, Brachiopodes et de rares Ammonites, tandis que sa partie supérieure, riche en Rudistes et Orbitolines, est représentée par des calcaires massifs, des calcaires à intercalations marneuses, de grès et des marnes gréseuses.

- L'Albien

Il couronne régulièrement les assises du Crétacé inférieur et se présente, souvent, sous forme d'un faciès gréseux grossier, facile à distinguer des grès des étages inférieurs qui sont fins. Latéralement, ces grès passent à des alternances de marnes et de quartzites vers le NE et à des couches marneuses bariolées et des grès rouges vers le SW de la région. Dans sa partie sommitale, des calcaires remplacent progressivement les grès et deviennent dominants dans la série.

I.1.3.2. Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans la région ; il montre des variations rapides de faciès liées au développement important que prennent les carbonates aux dépens des marnes.

- Le Cénomanién

Le Cénomanién est caractérisé par une faune abondante. Il est généralement, marneux dans sa partie inférieure et marno-calcaire dans sa partie supérieure.

- Le Turonien

Le Turonien est surtout, constitué de calcaires récifaux à Rudistes et de marno-calcaires peu fossilifères à rares Céphalopodes auxquels s'ajoutent des Echinides.

- Le Sénonien

Le sénonien comprend tous les sous-étages classiques (Coniacien, Santonien, Campanien, Maéstrichtien).

- Le Coniacien et le Santonien

Le Coniacien et le Santonien sont surtout marneux. Ce n'est que dans le SW des Aurès qu'ils deviennent progressivement calcaires. A sa limite avec le Campanien, le Santonien montre un niveau calcaire très constant (20 à 40 m), caractérisé par une très grande abondance d'Inocérames.

- Le Campanien

Le Campanien est, aussi, très marneux ; cependant, il présente à l'Est des calcaires crayeux, en bancs, riches en fossiles de tous genres (Ammonites, Oursins, Huîtres) qui, à l'Ouest, ne comportent que des foraminifères.

- Le Maestrichtien

Le Maestrichtien est constitué à l'Ouest par de puissantes masses de calcaires à lithothamniées et bryozoaires (El Kantara), à l'Est par une assise de calcaires crayeux riches en Bryozoaires et Orbitoïdes.

I.1.4. Le Paléogène

Il comprend tous les terrains compris entre le Danien et le miocène inférieur et se présente sous formes de deux séries :

- Une série marine à la base.
- Une série continentale au sommet.

I.1.4.1. La série marine du Paléogène (Eocène inférieur et moyen)

Au Danien marin se succèdent, en concordance, des couches marines, marno-calcaire dans lesquelles, localement s'intercalent des couches lacustres ou lagunaires. La plupart des niveaux carbonatés sont fossilifères et sont à Gastéropodes, Lamellibranches et Méliolidés.

I.1.4.2. La série continentale du Paléogène, (Eocène supérieur et Oligocène)

Le Paléogène continental se rencontre, selon Laffitte (1939) dans deux situations différentes :

- Dans les synclinaux recouvrant en concordance le Lutétien et supportant parfois en concordance le Burdigalien.

- En discordance sur tous les termes des séries plus anciennes.

La série est constituée, essentiellement, de faciès continentaux représentés par une sous unité marno-gréseuse basale et par une sous-unité sommitale formée de poudingues à ciment calcaire ou gréseux et à Gastéropodes.

I.1.5. Le Néogène

Dans la région d'étude, les terrains néogènes occupent une grande superficie. Les principaux affleurements se localisent en bordures des bassins. Dans les centres de ces bassins, les dépôts néogènes sont enfoncés sous d'épaisses formations récentes du Quaternaire qui viennent les couvrir en discordance.

La série du Néogène, bien développée en affleurement, notamment, en bordures septentrionales des bassins aurésiens, repose souvent en discordance sur tous les terrains antérieurs. Lorsqu'elle est complète, elle comporte plusieurs ensembles litho-stratigraphiques découpés en formations ; cependant, malgré les différentes subdivisions existantes, la plupart des auteurs s'accordent à donner à cette série néogène, la superposition suivante : -

- A la base des argiles vertes ou brunes et des calcaires aquitano-burdigaliens ;
- des argiles, souvent, brunes à intercalations de bancs gypseux langho-serravaliens ;
- des argiles rouges gypseuses tortoniennes ;
- des grès ou sables bruns-rouges messéniens ;
- Au sommet, des poudingues rouges pliocènes ;

Cette superposition correspond, d'après Chebbah (2007) au schéma très simplifié des grands ensembles qui présentent sur le terrain d'importantes variations latérales et verticales de faciès. Aussi, si la série est divisée en un néogène marin à la base et un néogène continental au sommet ; les limites restent sujettes à discussions, car les récents travaux de Chebbah (2007) montrent, du moins pour la région de Biskra, l'existence de dépôts marins du miocène supérieur ou même du pliocène.

I.1.6. Le Quaternaire

Les terrains quaternaires sont largement répandus à la périphérie du massif de l'Aurès où ils forment de larges nappes alluviales, souvent, d'épaisseur considérable ; par contre à son centre, ils sont rares et ne sont représentés que par des éboulis et des terrasses alluviales. Localement, se manifestent des dunes plus récentes (SW Biskra) ou encore des travertins au voisinage des sources (Bni Farh).

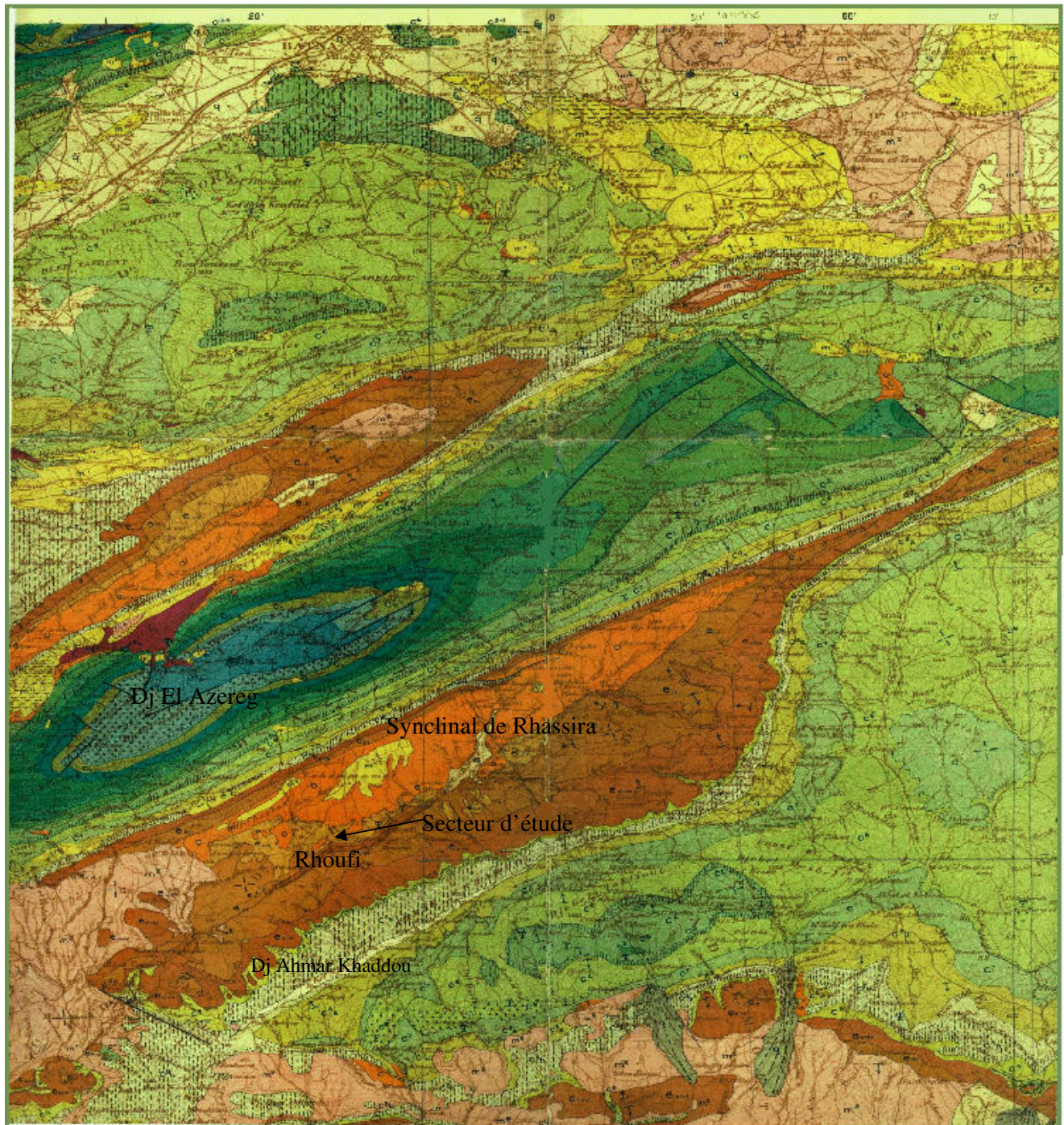
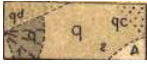

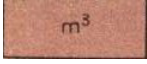

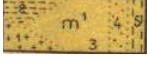




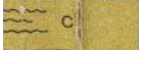


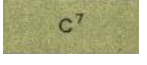
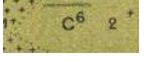
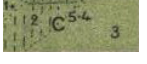




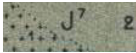









Fig.02 - Extrait de l'esquisse géologique (1/200.000) de l'Aurès (Laffitte, 1939)

Légende

	Quaternaire q	{	qd dunes ;qc cailloutis(El Hamil);A éboulis; 1- cones de déjections torrentiels; 2- alluvions anciennes et récentes
	Pliocène p	{	poudingues.
	Pontien sup ^r m ³	{	Sables grossiers Grés sableux bruns.
	Pontien inf ^r m ²	{	Marnes grés et Sables rouges.
	Miocène inf ^r marin m ¹	{	1-calcaire à lithothamnies ; 2-marnes; 3calcaire, grés, moulasses, 4sable; alternances de sables marins, grés et marnes rouges.
	Oligocène O	{	Marnes rouges à gypse; Grés, conglomérats, brèches.
	Lutétien e ₁₋₁₁	{	e ₁₋₁₁ -marnes blanches avec bancs calcaires et gypseux Localement phosphates; dans la partie sud-est; e ₁₋₁₁ Calcaires à gypses, e ₁₋ marnes noires
	Londinien e ₁₁₁	{	Calcaires massifs
	Paléocène e _{v-iv}	{	Marnes blanches; calcaire; localement gypse et phosphates.dans la moitié N-W de la feuille, c ⁹ e _{v-iv} Danien+paléocène.
	Danien c ⁹	{	Marnes noires, localement phosphates.
	Maestrichtien c _b ⁸	{	1- calcaire; 2- marnes noires ou marnes crayeuses.
	Campanien c _a ⁸	{	Marnes noires, ou marnes crayeuses. A la base, localement; gypses
	Coniacien et Santonien c ⁷	{	Marnes et calcaires
	Turonien c ⁶	{	1-calcaire a rudistes 2-calcaires et marnes
	Cénomaniens c ⁵⁻⁴	{	1-dolouïes; 2-calcaires (localement) 3-marnes et marno calcaires
	Albien c ³⁻¹	{	1-grés et marnes rouge, verts...; 2- marnes, calcaires, grés, flysch, Localement phosphate.
	Aptien c ₁₋₁₁	{	1-grés et marnes rouges, verts...; 2- calcaires, dolomies, marnes, grés

	Hauterivien C_{1V}	{	Calcaires pisolithiques Calcaires gréseux, grés.	
		{	Marnes à ammonites pyriteuses Calcaires grés.	
	Portlandien et Berriasien	{	1- Dolomies 2- Calcaires et calcaires marneux	
	Kimeridgien sup. J_b^6	{	Marnes et calcaires marneux	
	Kimeridgien inf J_a^6	{	Marnes et calcaires marneux	
	Toarcien I^4	{	Schistes	
	Lias inférieur I_1	{	Dolomies généralement bréchoides	
	Trias t	{	1-Sel gemme; 2-gypses, marnes, cargneules, sable dolomitiques	
	Jurassique J	{	Série calcaire et Marno-calcaire du bajocien Au berriasien (inclus)	} Dans l'angle N-W de la feuille Seulement (Mont du bellezma).
	Lias I	{	Lias dolomitique indéterminé	



Pendage



Couches horizontales



Limites de niveaux



Limites de faciès



Failles

I.2. La tectonique

D'après Laffitte (1939) et Guiraud (1973), le massif montagneux de l'Aurès est essentiellement constitué de plis vastes (plus de 50 km de long pour l'anticlinal de Dj. El Azereg, et plus de 70 km pour le synclinal de Rhassira), assez réguliers et souples dont l'orientation est voisine de N60E (Fig. 03). Toutefois, toutes les structures géologiques de ce massif ont fait l'objet de descriptions détaillées par Laffitte (1939) et Guiraud (1973) de ce fait, dans ce qui suit, nous ne donnerons qu'une brève synthèse de ces descriptions.

Laffitte (1939) résume la chronologie des événements tectono-orogéniques qui ont affecté l'Aurès en deux phases de plissements majeurs et qui se sont accompagnées de plusieurs mouvements d'extension et de style différents.

I.2.1. Les plissements

- Les plissements anté- burdigaliens

Cette phase de plissement majeur dans l'Aurès, se place entre le Lutétien et le Burdigalien, (période où se forment des horizons détritiques grossiers)

Ces plissements ont affecté tout le massif de l'Aurès et les régions voisines, et sont généralement, assez réguliers et de grande amplitude (Fig. 04). Aussi, ces plis présentent des directions qui varient de N10E à N80E , un éventail qui peut s'observer en partie au sein du même pli (Dj.Boughezal par exemple) ce qui démontre l'intervention de torsions probablement contemporaines des plissements, atlasiques (Chebbah M., 2007).

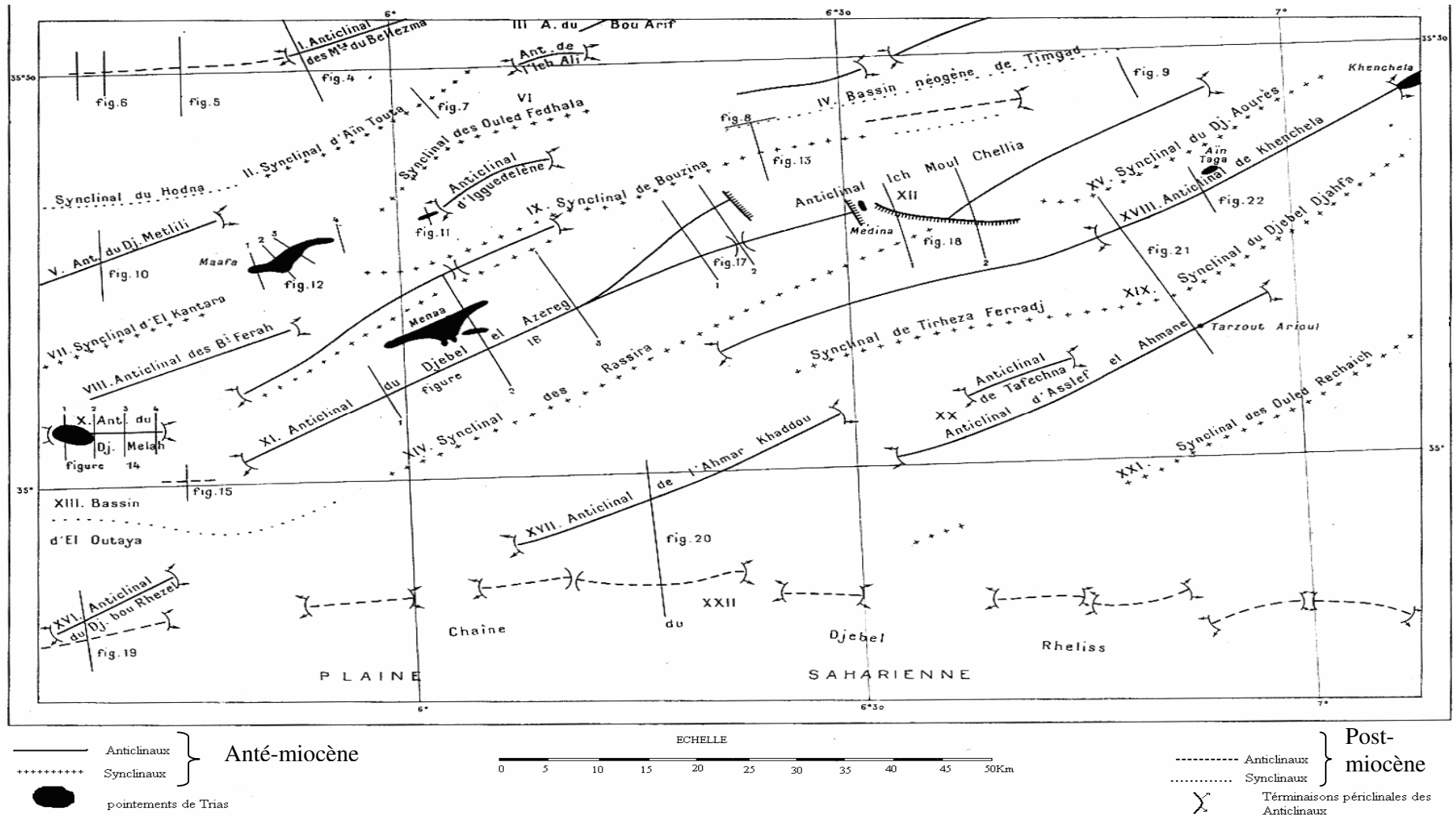


Fig. 03 - Schéma tectonique de l'Aurès (Laffitte, 1939)

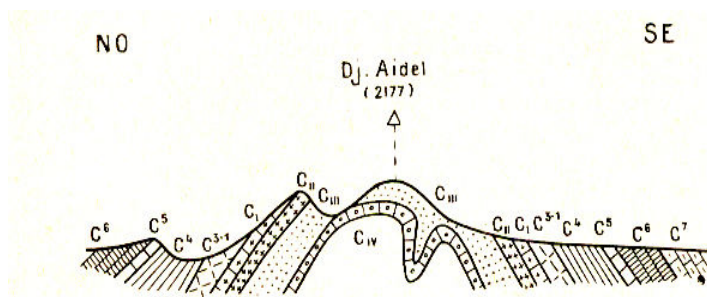


Fig. 04 - Exemple de plis atlasique -Anticlinal de Khenchela- (Laffitte R, 1939).

ECHELLE : 1/200.000 (Hauteur légèrement exagérées)

C_{IV} : Hauterivien supérieur

C_{III} : Barrémien

C_{II-I} : Aptien (C_{II} : grés, C_I : Calcaires)

C³⁻⁴ : Albien

C⁵⁻⁴ : Cénomaniens (C⁵ : Calcaires ; C⁴ : marnes)

C⁶ : Turonien

- Les plissements post-burdigaliens

Cette phase de plissement est caractérisée dans l'Aurès par la déformation du Miocène supérieur suite au rejeu plus au moins important de certaines structures atlasiques avec une nouvelle surrection accompagnée de plissement affectant principalement les bordures du massif.

Ces plis diffèrent des précédents (atlasiques) par leur style plus cassant, leur ampleur moindre et leur direction qui est grossièrement E - W. Les plus importants de ceux-ci forment la chaîne de Djebel Rheliss formée d'une succession discontinue de petits chaînons montrant un net déversement vers le Nord. (Fig.05).

Ce deuxième épisode de plissement, dans lequel le pliocène est impliqué lorsqu'il est conservé est attribué à la phase du quaternaire basal (Guiraud R., 1973).

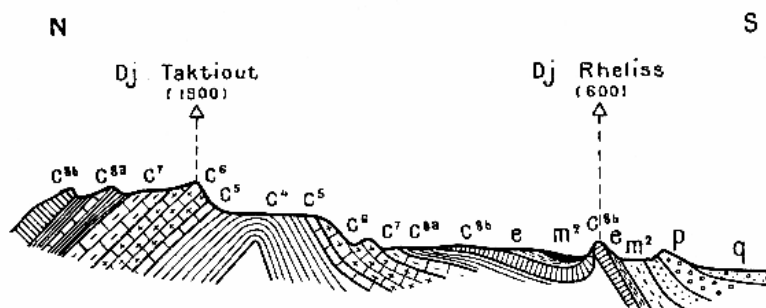


Fig. 05- Exemple de plis post-burdigaliens –Dj Rheliss- (Laffitte, 1939) Echelle : 1/300.000

- C^{5-4} : Cénomaniens (C^4 marnes ; C^5 calcaires)
- C^6 : Turonien
- C^7 : Sénonien inférieur
- C^{8a} : Campanien
- C^{8b} : Maestrichtien
- e : Eocène
- m^2 : Pontien
- P : Pliocène
- q : Quaternaire

I.2.2. Les cassures

D'après R. Guiraud (1973, 1990), le massif de l'Aurès est affecté par de nombreuses cassures qui se répartissent suivant des directions variables et qui les regroupe en trois familles principales :

- NW-SE : décrochements dextres.
- E-W : décrochements senestres et dextres.
- N-S et NE-SW : décrochements senestres.

I.2.3. Les pointements triasiques

Dans l'Aurès et sur ses bordures, la couverture post-triasique a été percée par des affleurements de roches triasiques de taille et de composition lithologiques variables. Les plus importants de ces pointements sont : le Dj. El Melah de Metlili, le dôme de sel de DJ. El Melah d'El Outaya, le pointement de Maâfa, les injections de Menaâ et Nara, les petits pointements de Médina et de l'Oued Mallaguou.

I.2.4. L'accident Sud Atlasique

L'accident sud atlasique désignée le plus souvent par l'une des expressions suivantes : "accident sud atlasique" ou atlasien", "flexure saharienne" ou "accident nord saharien", est une bande continue formée d'une série de failles et de flexures se relayant d'Ouest en Est et qui met en contact les vastes étendues monotones du domaine saharien et les chaînes de montagnes du domaine atlasique (Fig. 06). Il s'étend d'Agadir (Maroc) à Gabès (Tunisie), en passant par l'Algérie (ligne: sud atlasique). Il est représenté par plusieurs accidents qui se repartissent en trois familles principales de cassures de directions proches d'E - W, du NE - SW et du NW - SE (la dernière direction ne se rencontre que dans la région de Biskra).

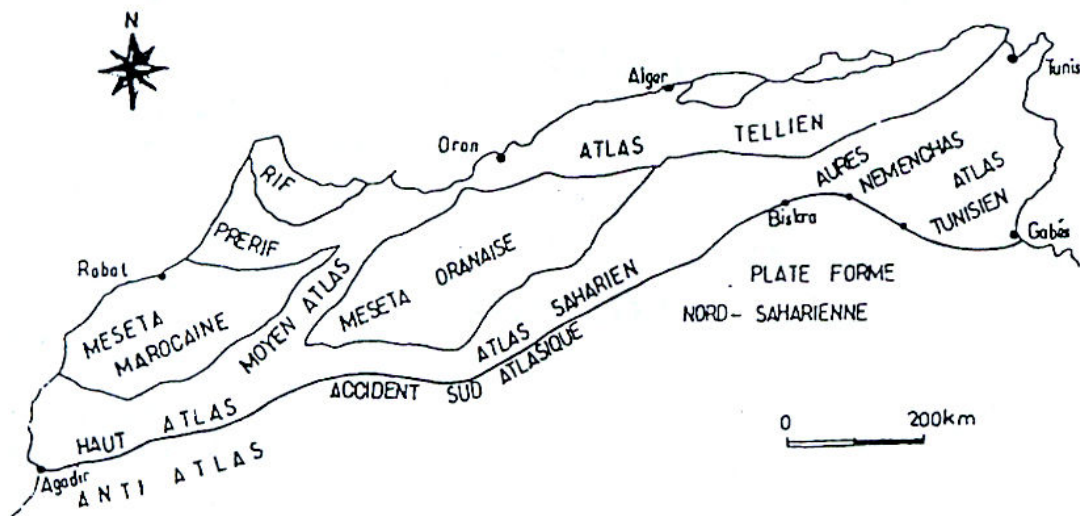


Fig. 06 - Tracé schématique de la flexure Sud Atlasique (Oudjida .A ,1978)

Conclusion

La structure actuelle du massif de l'Aurès est le résultat de l'action conjuguée de plusieurs phénomènes tectoniques de styles et d'extensions différents. La phase tecto-orogénique majeure se situe durant l'Eocène moyen (phase atlasique), elle a engendré de vastes plis d'orientation NE – SW. Elle a été suivie d'une phase compressive qui a engendré des structures E-W et a accentué et déformé les structures antérieures. Cette dernière qui a débuté au Miocène s'est accentuée à la fin du Pliocène et se rapporte au quaternaire basal. elle a affecté les régions méridionales du Massif aurésien principalement la chaîne de Djebel Rhélliss. Ces phases de plissement ont été accompagnées par la manifestation de nombreuses cassures qui se regroupent en trois familles principales : N-S et NE-SW (décrochement senestres), E-W (décrochement senestres et dextres) et NW-SE (décrochement dextres). Ces accidents ont favorisé, dans de nombreux endroits, la mise en place de plusieurs extrusions triasiques de taille et de composition lithologique variables.

I.3. Reconstitution de l'histoire du massif de l'Aurès

L'histoire du massif de l'Aurès se résume d'après Laffitte (1939) dans les étapes suivantes :

- Le massif fut plissé à la fin du Lutétien puis a subi une phase d'érosion.
- A l'Oligocène, il ne reste plus que quelques sommets émergents, formés essentiellement des roches dures (grès, calcaires massifs, dolomies du Crétacé et du Jurassique).
- A la fin de l'Oligocène, le centre du massif a subi des mouvements épirogéniques provoquant le rajeunissement du relief et l'établissement d'un nouveau réseau de vallées.
- Au début du Miocène, un affaissement du massif s'est produit, surtout accentué à sa périphérie, favorisant la transgression burdigalienne, ce qui a conduit à l'envahissement partiel de l'Aurès par la mer.
- A la fin du Burdigalien, de nouveaux mouvements épirogéniques se sont produits provoquant ainsi le retrait de la mer de l'intérieur du massif.
- Après l'Helvétien, la mer a quitté définitivement la région, une légère phase de plissement s'est produite à la périphérie de l'Aurès, suivie d'une période de calme au Pontien, pendant laquelle les anciens bassins de sédimentation (El Outaya, Timgad) sont occupés par des chotts où se déposaient des couches rouges que Chebbah (2007) interprète, pour le bassin d'El Outaya, comme des dépôts de plate forme confinée.

- Ce retrait de la mer a conduit à la constitution d'un nouveau réseau hydrographique adapté aux structures, préexistantes.
- Avant le Pliocène, les mouvements épirogéniques reprennent à nouveau conduisant à l'éloignement des bassins de sédimentation de la périphérie du massif et la formation d'une puissante nappe de poudingues de piedmont au Sud de l'Aurès.
- Après le Pliocène, des mouvements tectoniques se sont produits, provoquant le soulèvement à nouveau du massif, l'affaissement de la plate forme saharienne et la formation de quelques plis à la limite des deux compartiments.

II. GEOLOGIE LOCALE

II.1. La lithostratigraphie

Dans le secteur d'étude, seuls des dépôts tertiaires et quaternaires affleurent (Fig. 07)

II.1.1. Le Paléogène

Le Paléogène est représenté par des formations éocène et oligocène.

II.1.1.1. L'Eocène

- l'Eocène inférieur (yprésien : e³)

Il est développé le long de l'Oued Rhassira (El Abiod). D'une puissance de 100 m, il est représenté par des calcaires nummulitiques bioclastiques gris-clairs, intercalées de calcaires à coquilles et de marnes crayeuses.

- l'Eocène moyen (Lutétien)

Il est bien développé dans le canyon de Rhassira, suite à ses particularités lithologiques, il est divisé en trois assises :

a) L'assise inférieure : e^{4a1}

C'est une assise carbonatée, d'une épaisseur de 30 à 40 m ; elle est représentée par des calcaires massifs, de couleur gris-clair à blanchâtre, renfermant des rognons de silex, intercalés à la base et au sommet par des bancs de marnes crayeuses. Ces dépôts carbonatés présentent des restes de Lamellibranches, d'Huîtres et de Gastéropodes, ils passent à des calcaires gréseux et des marnes vers le sommet de l'assise.

b) L'assise moyenne : e^{4a2}

C'est une assise marno-argileuse, constituée essentiellement, de marnes crayeuses et de calcaires argileux à marneux, bioclastiques, stratifiés et le plus souvent, intercalés avec des bancs de calcaire ou de gypse. Cette assise encaisse une couche d'argile magnésienne (attapulгите), feuilletée gris-verdâtre à jaunâtre emballée le plus souvent entre des calcaires et des calcaires marneux. A la base de l'assise prédominent des bancs de calcaires à restes de Lamellibranches et Gastéropodes. La puissance de l'assise est de 40 m au Sud et de 10 à 15 m au Nord.

c) L'assise supérieure : e^{4b}

C'est une assise argileuse, constituée de faisceaux d'argiles gypseuses bariolées rouges, lilacées et vertes s'intercalant avec des calcaires, des marnes à passés de grés, des calcaires et du gypse. La puissance de l'assise est de 50 - 60m au Sud et de 100 m dans la partie septentrionale. La puissance totale de l'Eocène moyen (Lutétien) est de 100 à 200 m.

- l'Eocène supérieur : e⁵

D'une puissance de 150 à 200 m, il est représenté par des conglomérats rouges, des grés et des argiles gréseuses interstratifiées. Ces dépôts reposent sur la surface érodée des argiles gypsifères de l'Eocène moyen sans montrer toute fois d'indices de lacune ou de discordance angulaire notable.

II.1.1.2. L'Oligocène : g¹

Il est détritique et représenté par des poudingues à éléments grossiers renfermant des blocs peu arrondis de diamètre métrique et des conglomérats constituant de puissants faisceaux intercalés avec des bancs de micro poudingues, de grés polygéniques hétérogènes et d'argiles gréseuses. Ces dépôts se distinguent nettement par leur couleur brune jaunâtre ; leur âge est déterminé d'après leur position stratigraphique, car au dessus reposent des argiles rouges datées de l'Aquitainien dans la dépression d'El Kantara par les gastéropodes (Laffitte 1939). La puissance de ces dépôts est de 200 à 300 m.

II.1.1.3. Le Néogène

Dans le secteur d'étude, le Néogène est représenté par des formations d'âge Helvétien qui se subdivisent en deux assises de lithologie différente.

a- L'assise inférieure : m^{2a}

Cette assise qui repose en discordance sur tous les terrains antérieurs est représentée à sa base par des conglomérats blancs, jaunâtres ou rosâtres à ciment calcaire ; les galets sont généralement bien roulés et de lithologie diversifiée.

Vers le sommet de la série, on trouve des grés rouges à débris de roches d'âge crétacé et paléogène, des argiles rouges, des conglomérats et des grés gris -jaunâtres.

L'âge des dépôts de cette assise est défini par corrélation avec les faciès de l' Helvétien inférieur à faunes caractéristiques des autres régions de l'Aurès.

La puissance de l'assise est de 20 à 70 m.

b- l'assise supérieure : m^{2b}

Dans le secteur d'étude cette assise est composée à la base par des bancs d'huîtres formés presque entièrement de grosses coquilles parfaitement conservées. Plus haut vers le sommet viennent s'installer des marnes vertes et gris –verdâtres, des argiles gréseuses rouges et des calcaires à coquilles. La puissance de l'assise ne dépasse, pas 20 à 30 m.

II.1.1.4.Le Quaternaire (Q)

Les formations quaternaires sont développées dans les vallées, les dépressions et à la base des flancs des petites collines. Elles sont représentées par des terrains alluvionnaires, et des dépôts de pente. Leur âge est défini en fonction de leur position altimétrique.

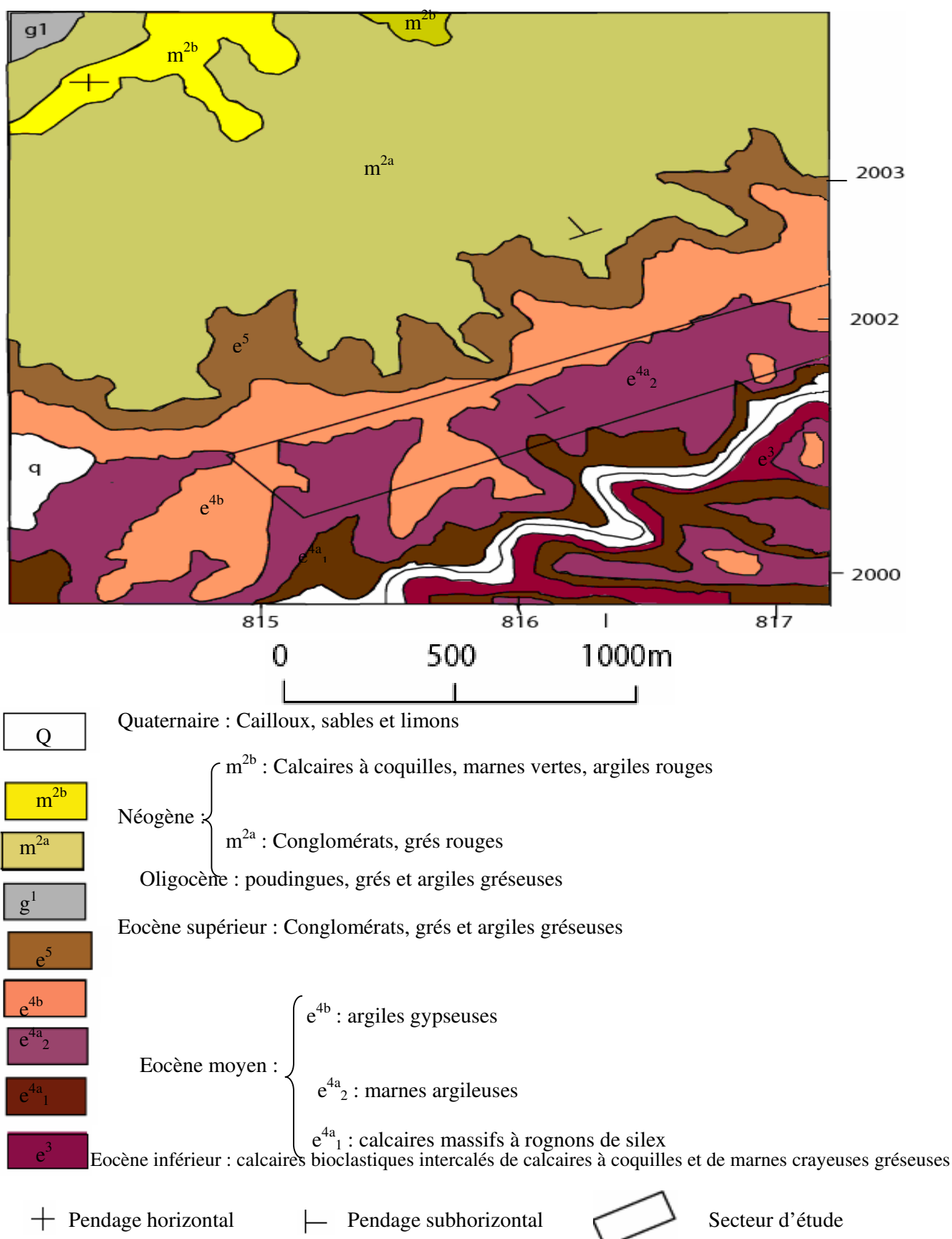


Fig.07-Carte géologique schématique du secteur de Rhoufi (SONAREM, 1970) ; modifiée

II.2. Tectonique

Le secteur de Rhoufi fait partie du synclinal de Rhassira, limité au Nord par l'anticlinal du Dj El Azereg et au Sud par l'anticlinal du Dj. Ahmar Khaddou qui présentent une direction NE - SW (Fig. 8).

Il s'agit du plus important synclinal de l'Aurès et se situe sur la bordure SE du bassin D'El Outaya. Sa partie inférieure est occupée par les poudingues pliocènes que l'érosion quaternaire a mis en relief.

- En amont de l'Oasis de M'chounèche, le synclinal est affecté par un repli anticlinal transverse recoupé perpendiculairement par l'Oued El Abiod (Oued Rhassira).

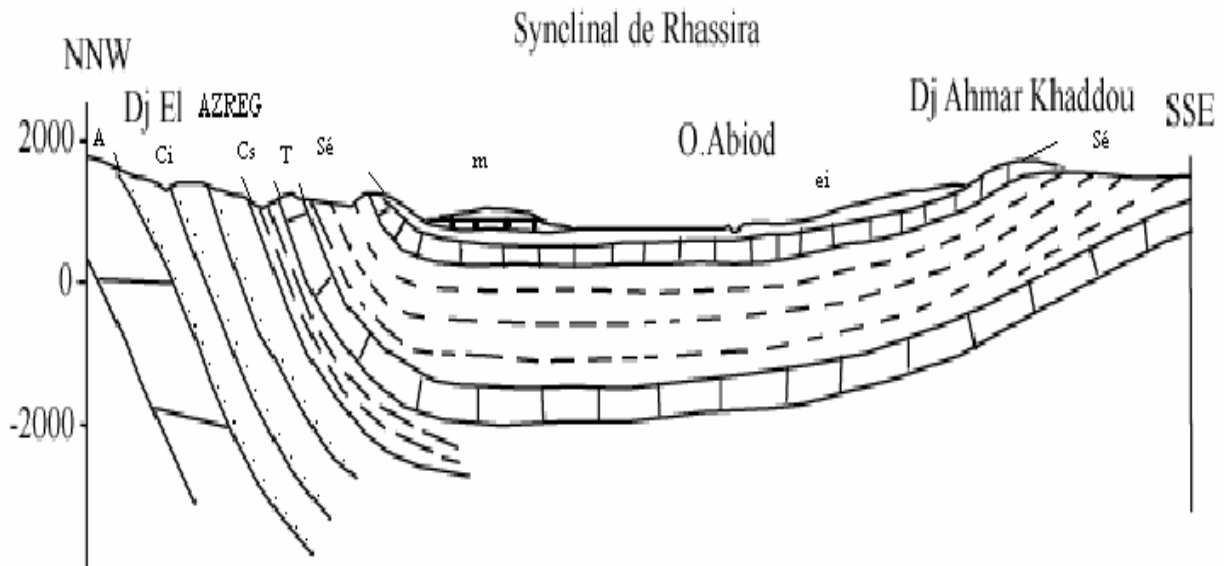
- Vers le NW, il est très régulier et ses bords sont formés par les calcaires maestrichtiens qui constituent les hautes crêtes du Dj. Ahmar Khaddou d'une part et du Dj. Takroumt et du Dj. Zellattou d'autre part.

Le centre du synclinal est occupé par le Nummulitique (marnes et calcaires marins à la base, couches rouges lutétiennes et surtout post-lutétiennes au sommet) qui est recouvert par les terrains miocènes transgressifs.

Près de Tighanimine apparaît une faille tardive qui a redoublé la série nummulitique d'une part et a affecté les poudingues anté- burdigaliens d'autre part.

- Au Sud de Tkout (partie N-E), ce synclinal est affecté par un léger repli anticlinal qui n'est autre que la terminaison SW de l'anticlinal de Khenchela

- Vers le Nord, le synclinal subit un relèvement d'axe parallèle au relèvement d'axe de l'anticlinal adjacent d'Ichmoul et aussitôt après, il s'abaisse rapidement vers le djebel Chéllia où il est affecté par une faille d'un rejet d'environ 5000m qui a mis les formations nummulitiques en contact avec les dépôts du crétacé inférieur (Fig : 09)



Echelle : 1 /200.000

Fig.08 .Synclinal de Rhassira (Guiraud ,1973)

- m : Miocène
- ei : Eocène inférieur
- Sé: Sénonien
- T : Turonien
- Cs : Cénomanien supérieur
- Ci : Cénomanien inférieur
- A : Albien

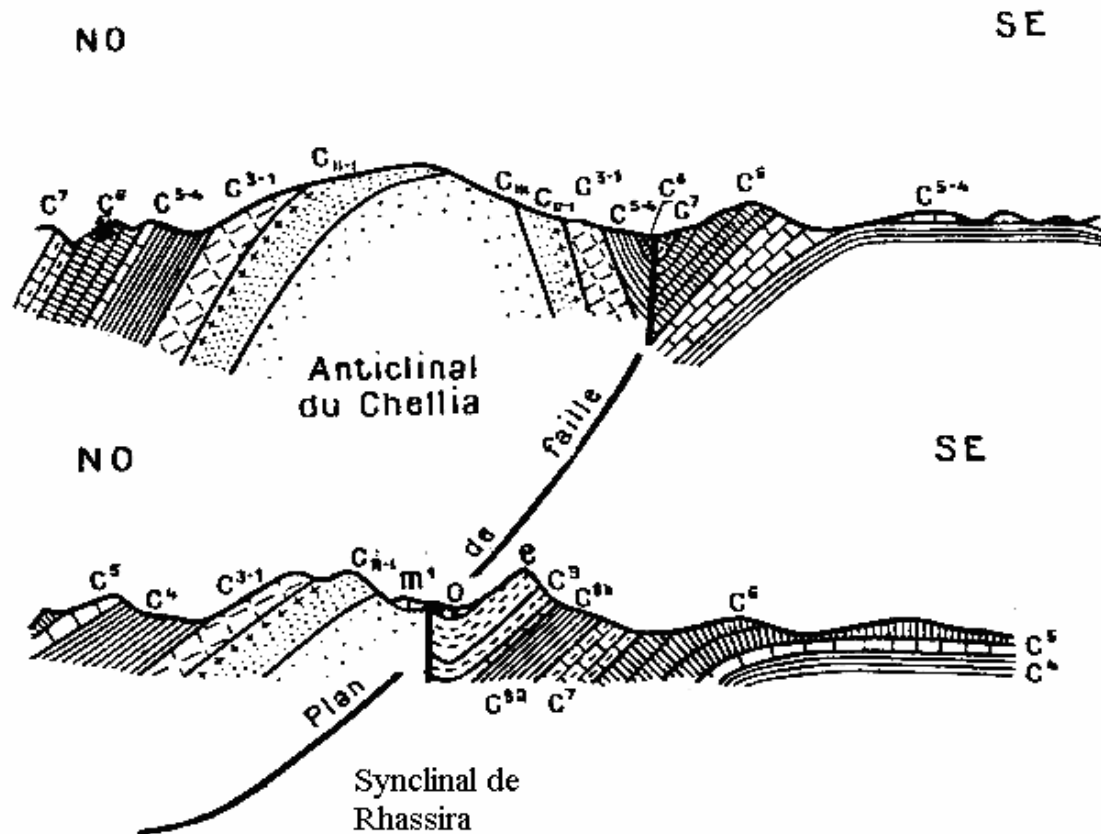


Fig. 09- coupes séries montrant la relation structurale entre l'anticlinal de Chéllia et le synclinal de Rhassira, Echelle : 1/200. 000 (Laffitte R. 1939).

- C^{5-4} : Cénomaniens (C^4 marnes ; C^5 calcaires)
- C^6 : Turonien
- C^7 : Sénonien inférieur
- C^{8a} : Campanien
- C^{8b} : Maestrichtien
- C^9 : Danien
- e : Eocène
- O : Oligocène
- m^1 : Burdigalien

II.3. Paléogéographie du secteur d'étude

La chronologie des événements paléogéographiques qui se sont manifestés dans la région d'étude fait partie de l'histoire des Aurès (Atlas Saharien oriental) ; cependant, comme seules les formations tertiaires (Paléogène, Néogène) et Quaternaire affleurent dans la zone d'étude, nous ne nous intéresserons ici, qu'à la reconstitution paléogéographique de ce dernier au cours des ces périodes.

- Du Danien à l'Yprésien, l'Aurès est recouvert par une mer peu profonde caractérisée par une faune d'eau chaude (vulselles).
- Au cours de l'Eocène moyen (Lutétien), une surrection importante s'est manifestée dans toute la région conduisant à l'installation de conditions confinées favorisant principalement la formation de dépôts à gypse ; la poursuite de cette surrection permettra, par la suite, le retrait de la mer de toute la région (régression complète) donnant place à des dépôts continentaux à l'Eocène supérieur et à l'Oligocène.
- A la base du Miocène, la région fut affectée par la transgression de la mer burdigalienne.

II.4. Conclusion

Au paléogène, l'évolution sédimentaire de l'anticlinal du DJ. El Azereg (qui borde au NW le synclinal de Rhassira) est soulignée par les différences que présente la composition faciale des dépôts à leurs extrémités NW et SE. Tout le long du flanc NW de ce pli, les conglomérats calcaires paléogènes sont largement développés. Ceci prouve que le cœur de l'anticlinal devait être au Paléogène le siège d'un massif émergeant et d'où provenait le matériel détritique.

Les surrections importantes qui se manifestent au cours de l'Eocène moyen conduisent à l'installation de conditions lagunaires précédant la régression complète et le retrait de la mer de cette région. Ceci, se traduit par la formation d'un édifice montagneux sur l'anticlinal du Dj. El Azereg et le dépôt de molasses dans les dépressions bordières de Menaâ, Bouzina et Rhassira.

Les abaissements fortement différenciés marquent le début de l'étape néotectonique ainsi que la transgression miocène qui a affecté la région.

Les mouvements post miocènes sont marqués par :

- les déplacements relatifs considérables des compartiments faillés ;
- la complication des structures préexistantes ;
- la formation de plis relativement plats dans les terrains miocènes (Laffitte, 1939 et Guiraud, 1973, 1990).

II.5. Morphologie de la couche d'argile

Sur la base des données de sondages réalisés par L'O.R.G.M (Fig. 10) dans le secteur de Rhoufi, on a pu suivre l'extension et le prolongement de la couche d'argile étudiée (Attapulгите) dans toutes les directions que nous résumons par secteur d'étude.

➤ **Le Secteur I**

Le suivi de la couche d'Attapulгите suivant les profils parallèles de directions E -W et N-S révèle le comportement suivant :

- la couche s'amincit de l'Est vers l'Ouest et du Sud vers le Nord (Fig. 11, 12, 13,14).
- elle a un pendage subhorizontal plongeant légèrement vers le NW, avec un angle d'environ 5° (Fig. 11, 12, 13, 14,15).

➤ **Secteur II**

Dans ce secteur la couche d'argile a gardé la même allure, la même direction et le même sens de prolongement et comme ce secteur est situé à l'Ouest du secteur I, la couche a continué son amincissement jusqu'à atteindre de sa plus faible puissance. (Fig 16,17)

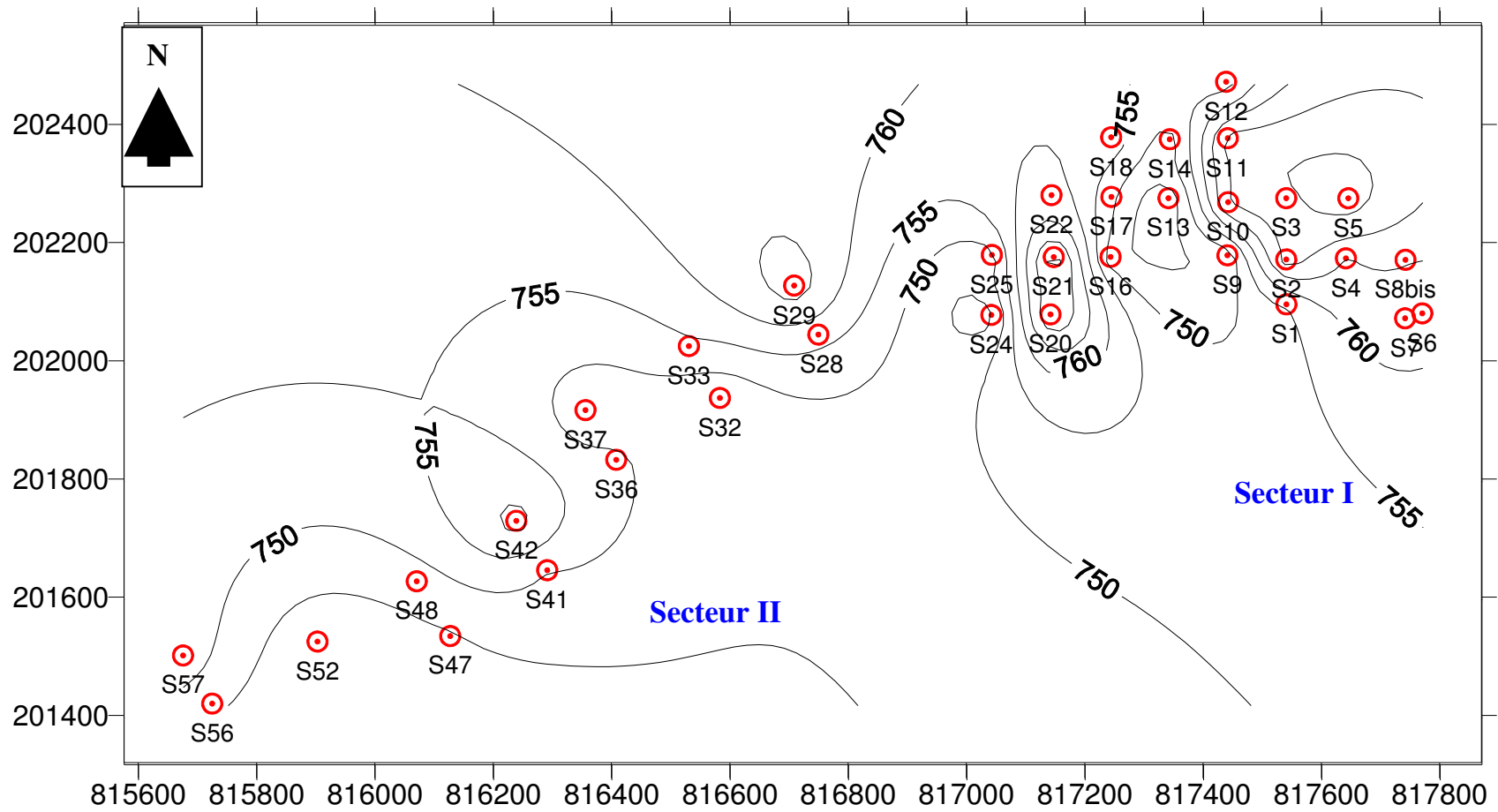


Fig.10- Disposition des sondages réalisés dans la zone d'étude (ORGM ,1999-2000)

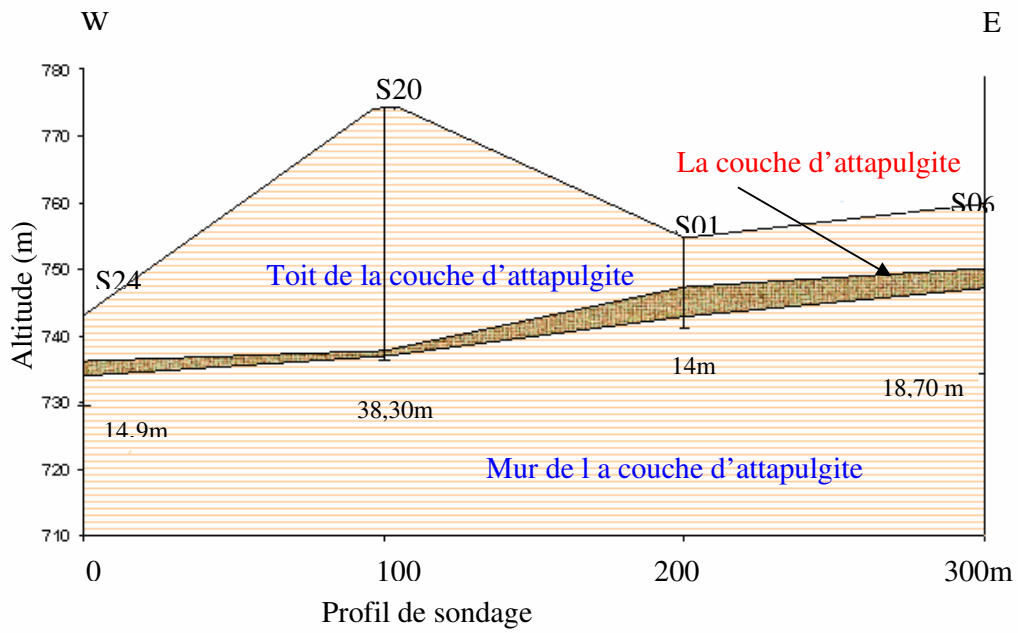


Fig.11 - Variation de la couche d'attapulgite suivant un profil W – E, secteur Rhoufi I (la limite sud du secteur)

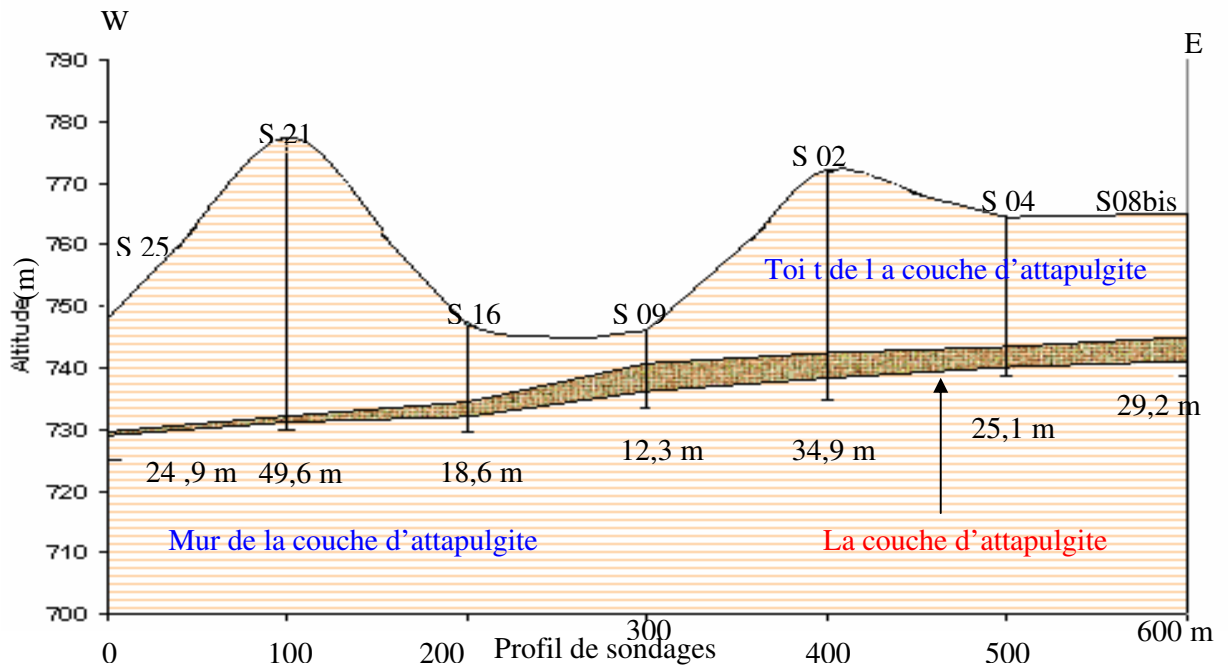


Fig.12 - Variation de la couche d'attapulgite suivant un profil W-E Secteur Rhoufi I

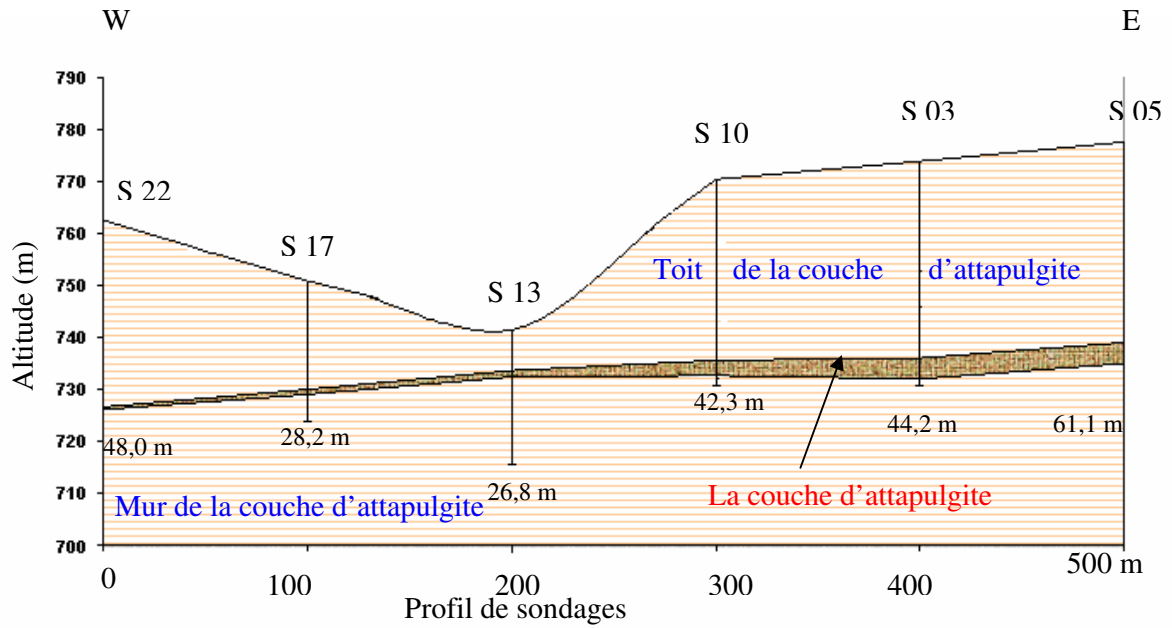


Fig.13- Variation de la couche d'attapulgite suivant un profil W-E Secteur Rhoufi I (Partie médiane du secteur)

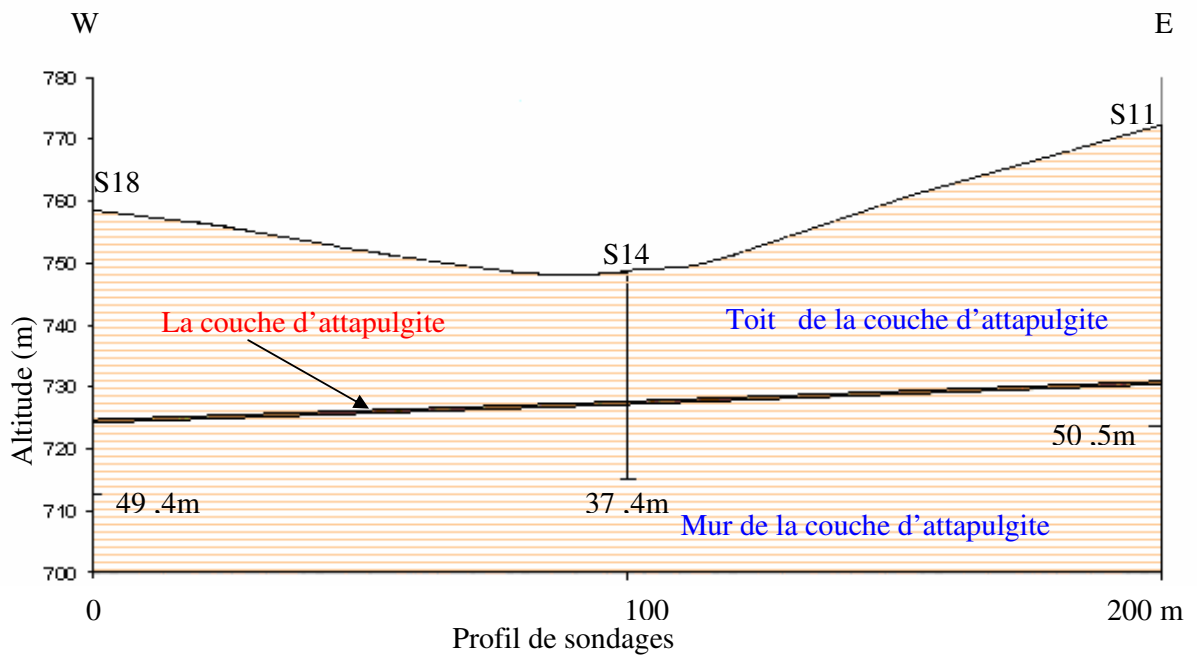


Fig.14 - Variation de la couche d'attapulgite suivant un profil W-E Secteur Rhoufi I (Limite Nord du secteur)

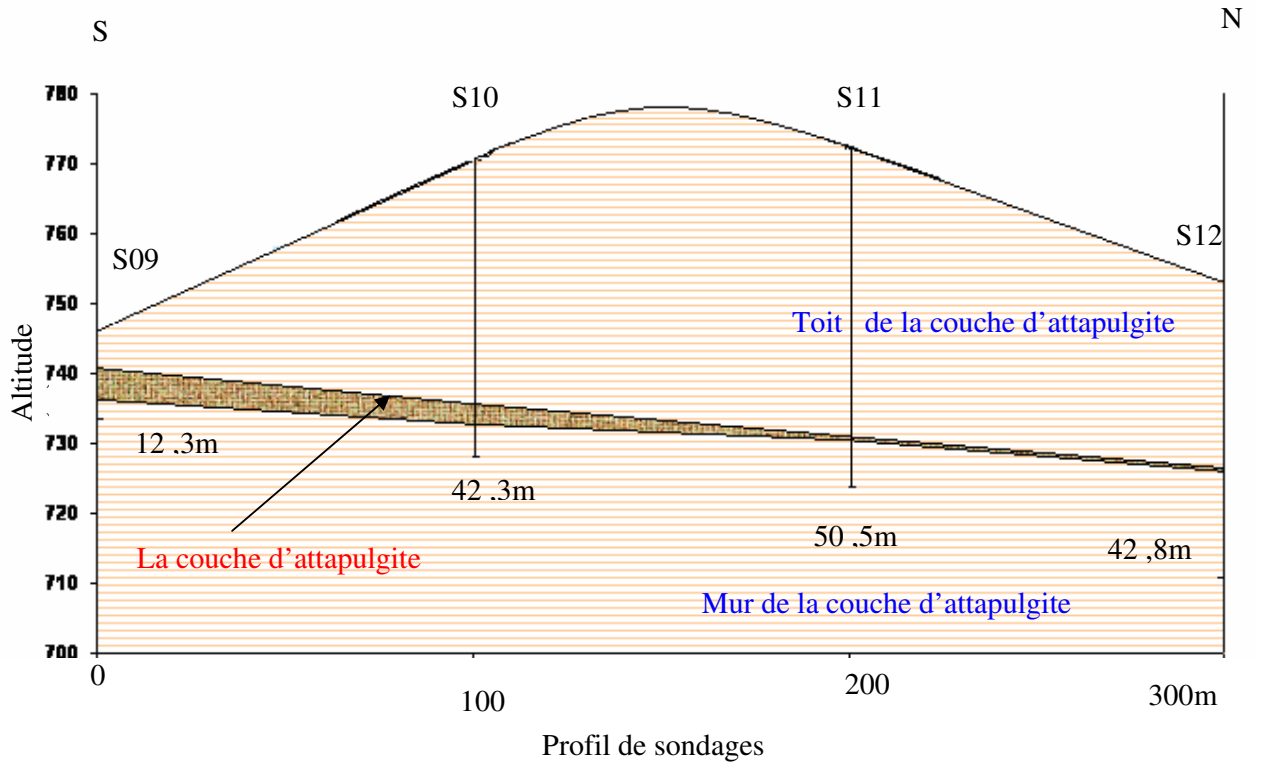


Fig.15- Variation de la couche d'attapulgite suivant un profil S-N Secteur Rhoufi I (Partie médiane du secteur)

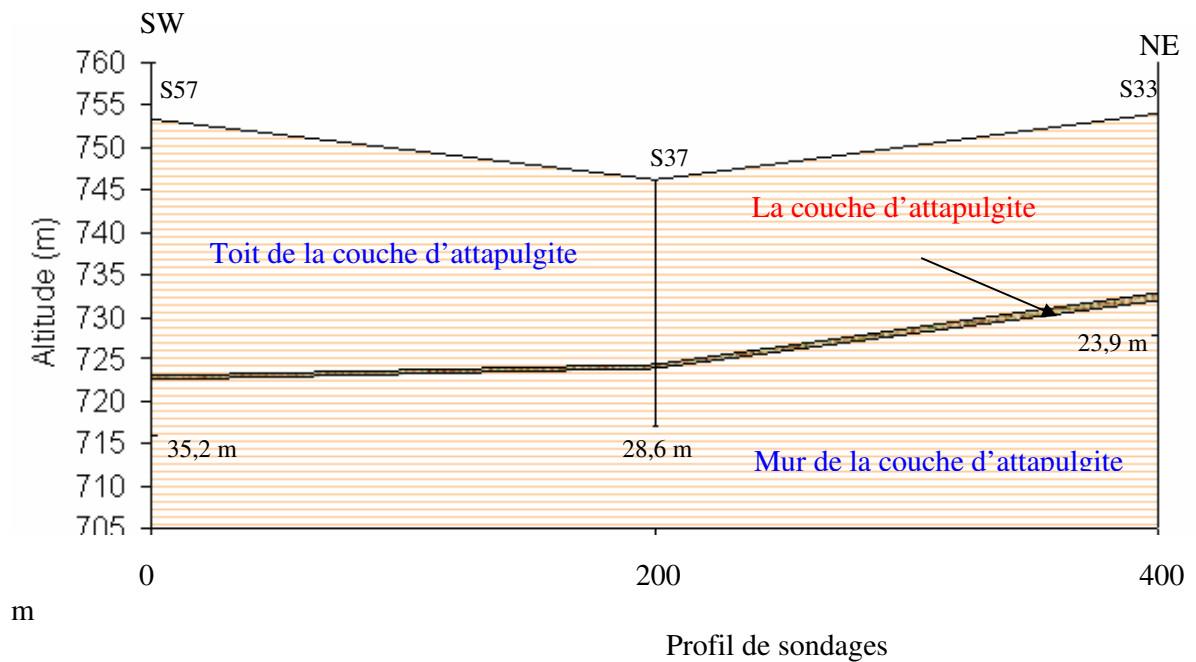


Fig.16 - Variation de la couche d'attapulgite suivant un profil SW-N E Secteur Rhoufi II (Partie médiane du secteur)

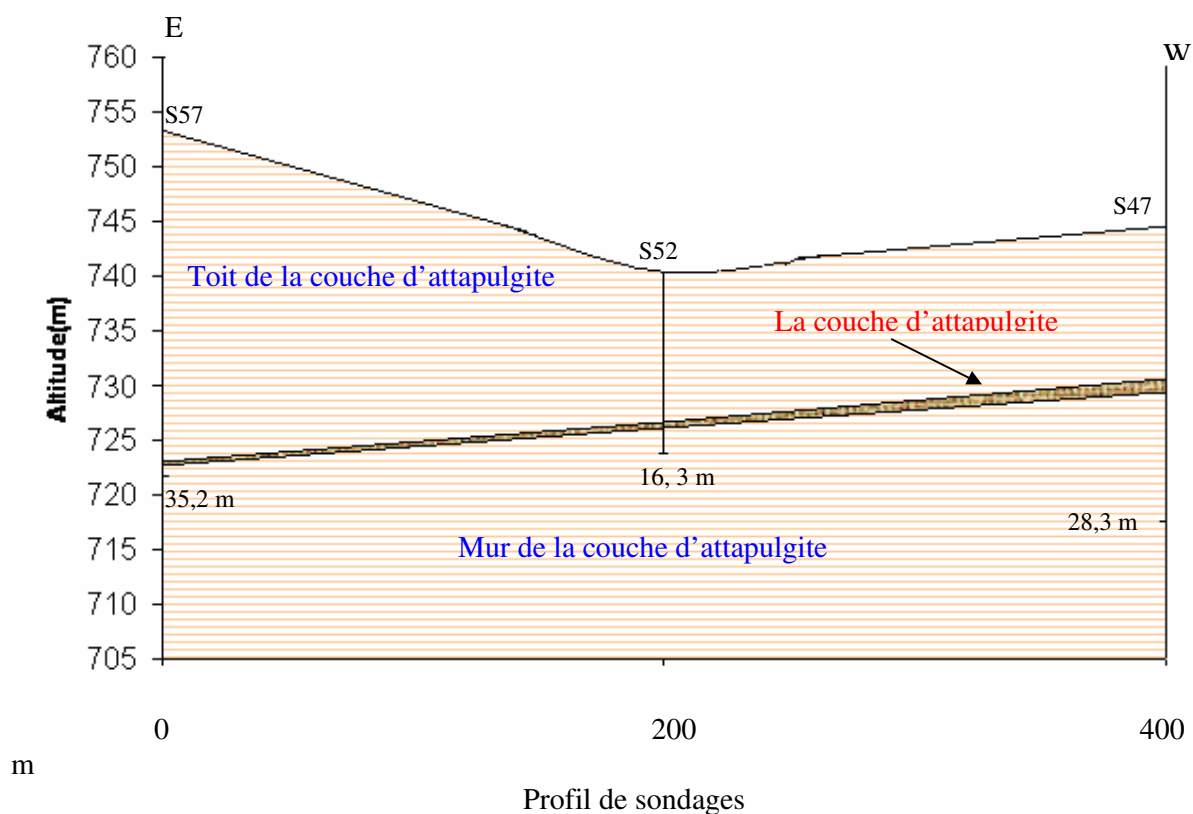


Fig.17- Variation de la couche d'attapulgitite suivant un profil E-W secteur Rhoufi II

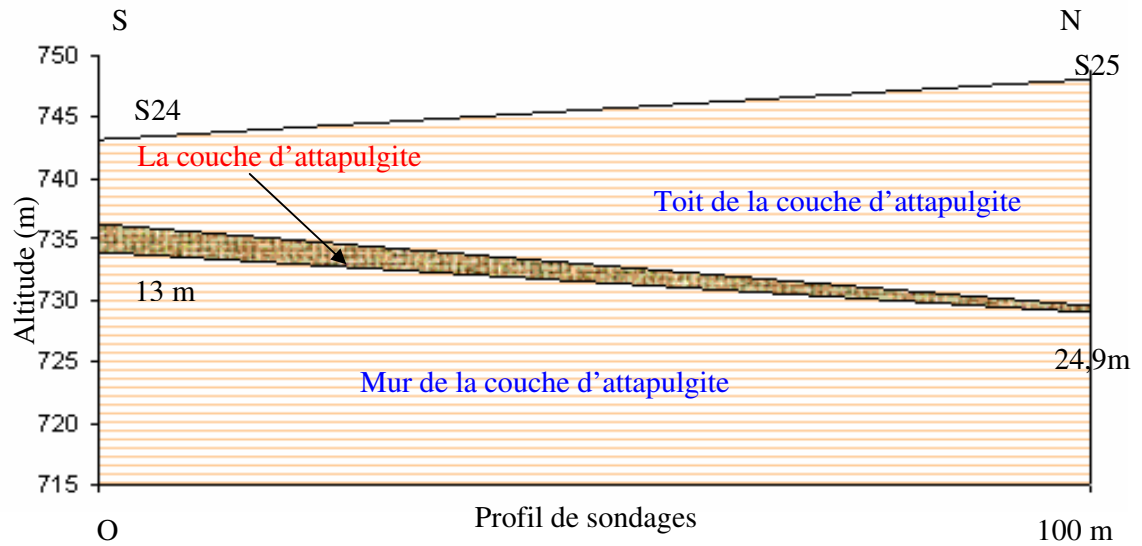
Conclusion

La couche d'argile de Rhoufi se présente sous forme d'une couche lenticulaire subhorizontale ayant un pendage faible de l'ordre de 2° à 5° NW. Sa puissance maximum est enregistrée dans la limite sud du secteur I et qui décroît vers la direction Nord et Ouest.

(Fig.18, 19)

La coupe type établie pour la zone d'étude se compose de trois assises :

- L'assise supérieure constituée par des argiles rouges et versicolores et bancs de gypse occupant le sommet de la coupe
- L'assise moyenne marno argileuse, représentée par des marnes grises, encaissant la couche d'attapulgitite et des intercalations de calcaires marneux se terminant soit par des banc calcaires soit par des bancs de gypse.
- L'assise inférieure carbonatée, représentée par des calcaires gris clair à rognons de silex, passant aux calcaires marneux vers le sommet.



**Fig.18- Variation de la couche d'attapulgitite suivant un profil S-N secteur Rhoufi I
(La limite entre le secteur I et II**

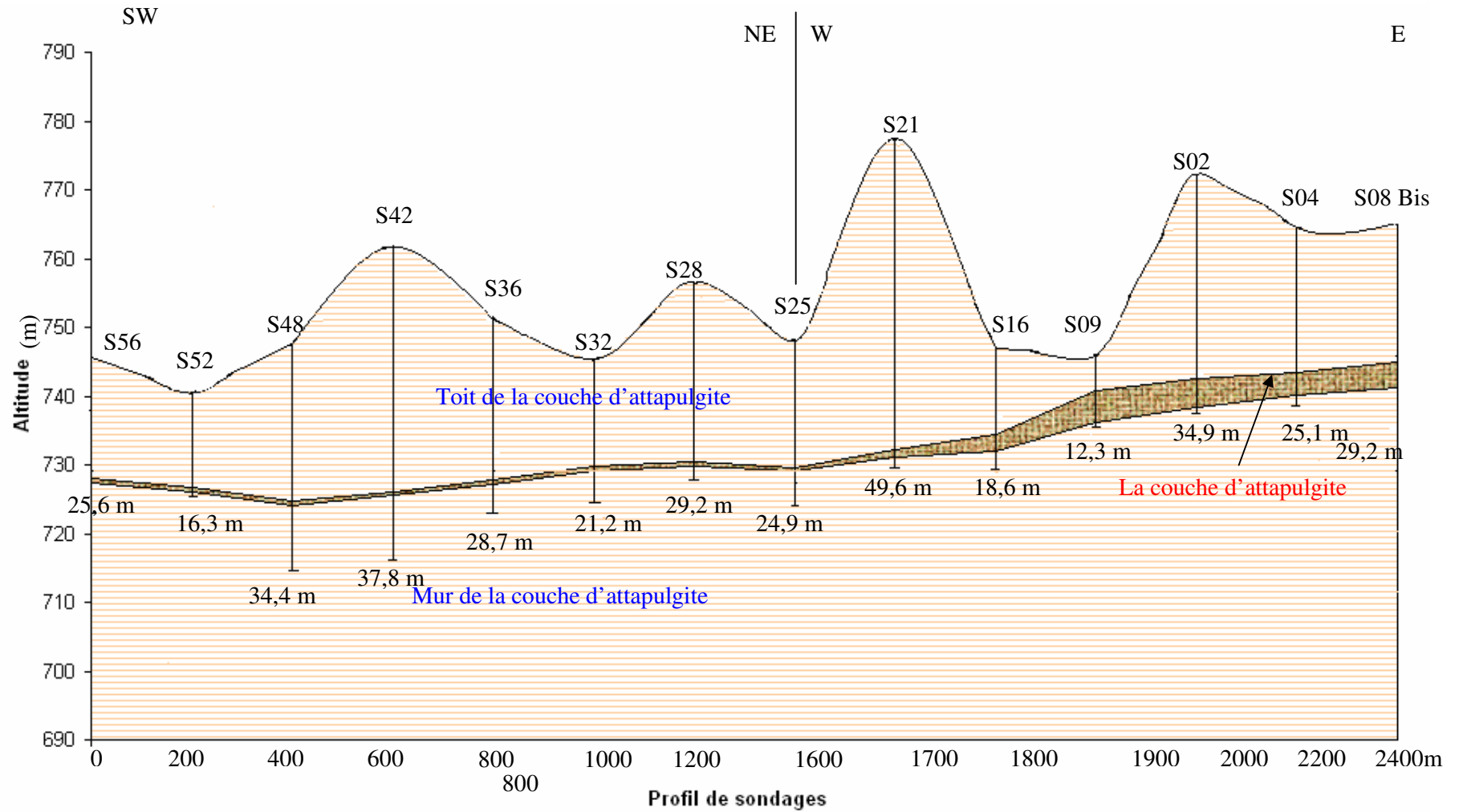


Fig.19 - Variation de la couche d'attapulgitite suivant un profil SW -NE secteur Rhoufi I et II

II.6. Caractéristique du milieu de sédimentation

Le cycle de sédimentation tiré à partir des logs de sondages réalisés par l'ORGM dans le secteur Rhoufi (Fig.20, 21), montre la succession suivante du bas vers le haut :

- pendant que la sédimentation marno- calcaire règne dans la partie Est, une sédimentation gypseuse se forme dans la partie Ouest dont la puissance décroît vers l'Est.
- La série précédente est surmontée par une formation marno- calcaire dont la puissance devient plus importante en allant vers l'Est.
- Ensuite vient le dépôt de la couche d'attapulgite avec une puissance très réduite dans la partie Ouest et qui devient très importante vers l'Est.
- Le toit de la couche d'attapulgite est représenté par une assise marno-calcaire surmontée par une couche gypseuse très épaisse dans la partie Ouest, qui s'amincit vers l'Est jusqu'à disparition complète.

Conclusion

A la lumière de cette succession lithologique caractérisée par l'importance de la puissance de la série sédimentaire chimique (marno-calcaire et attapulgite) dans la partie Est et la présence d'au moins deux cycles de sédimentation évaporitique très développée dans la partie Ouest; on conclut que cette sédimentation s'est produite dans un bassin de sédimentation lagunaire avec un rivage instable du côté Ouest.

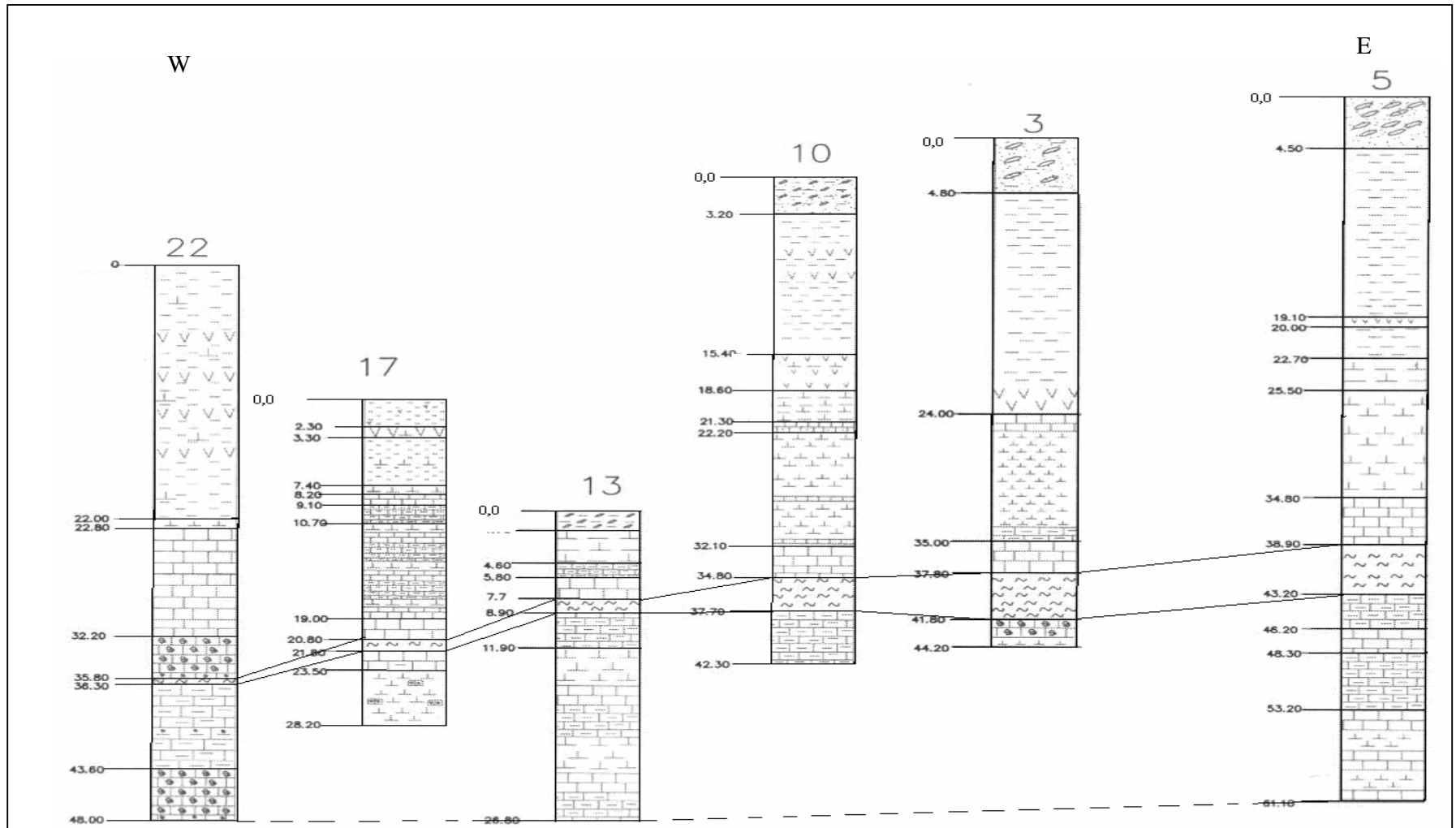


Fig.20- Variation lithologique des faciès suivant un profil W-E, secteur Rhoufi I

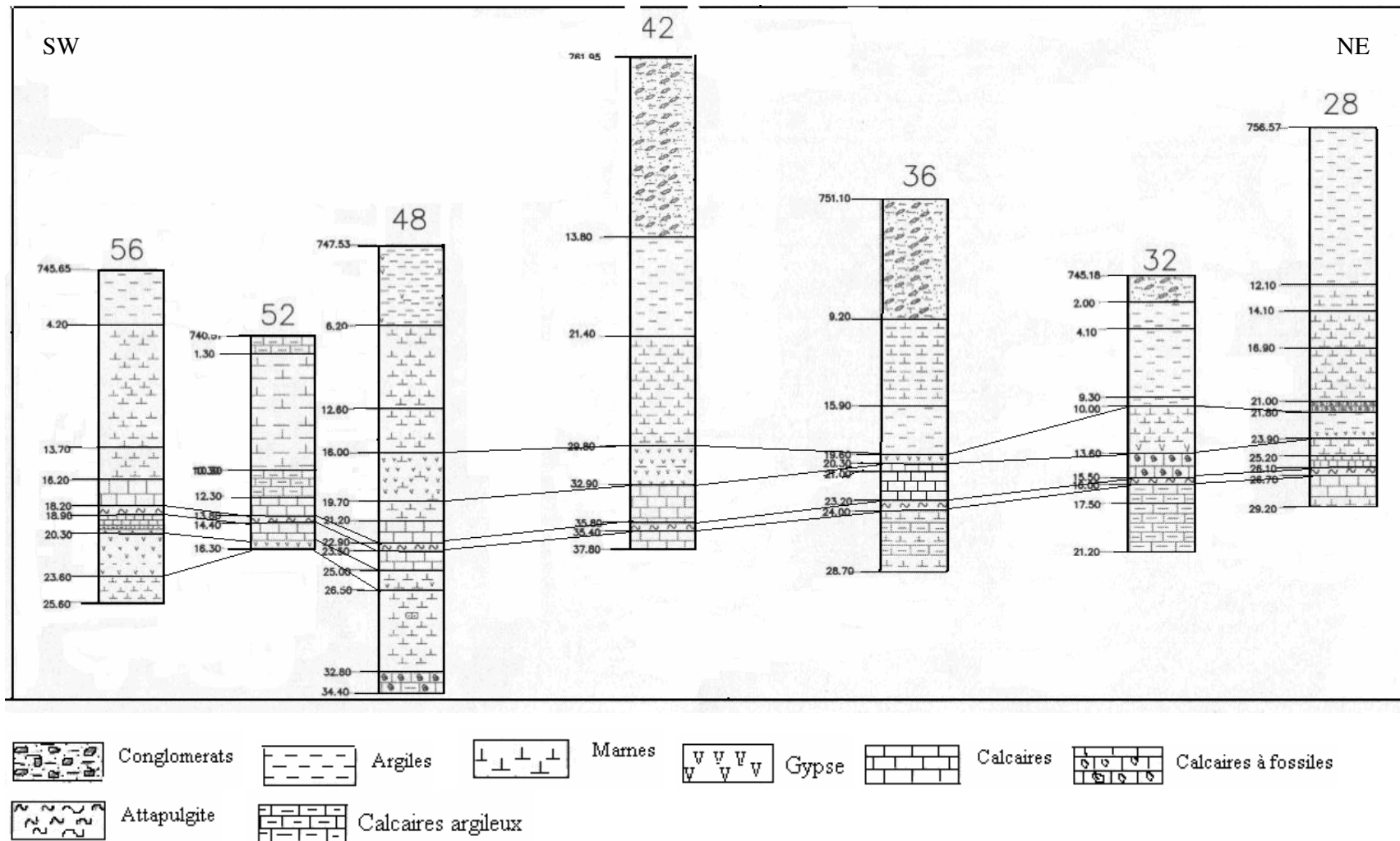


Fig.21- Variation lithologique des faciès suivant un profil SW-NE, secteur Rhoufi II

I) DEFINITIONS, STRUCTURES ET CLASSIFICATION

I.1. Définitions

Le terme ARGILE trouve son origine dans le mot grec ARGILOS dont la racine ARGOS signifie blanc, puis dans le mot latin ARGILA, c'est donc la couleur blanche des minéraux utilisés en céramique qui en est l'origine.

- **L'argile** : est un matériau de la couche superficielle de l'écorce terrestre. Elle se forme le plus souvent par altération des roches sous l'action des eaux de surface, ou des eaux hydrothermales.
- **L'argile** : Elle désigne soit un minéral argileux soit une roche composée pour l'essentiel de ces minéraux.

Généralement la définition des argiles est basée sur deux critères, l'un granulométrique : Ce sont des particules de taille inférieure à 2μ ; l'autre minéralogique : ce sont des silicates phylliteux ou semi phylliteux hydratés.

- ❖ **Roches argileuses** : Ce sont des roches sédimentaires à grains très fins « inférieur à 2μ » contenant au moins 50% de minéraux argileux, elles sont tendres et rayables à l'ongle, fragiles à l'état sec, faisant pâte avec l'eau, et durcissent à la cuisson.

Elles sont souvent sans stratification apparente (argilite), mais peuvent aussi être litées, rubanées (shales).

En plus des minéraux argileux, les roches argileuses contiennent les minéraux suivants : du quartz, des oxydes et hydroxydes de fer, des sulfures de fer (pyrite), de la gibbsite, des carbonates et de la matière organique.

- ❖ **Minéraux argileux** : Ce sont des phyllosilicates hydratés se présentant en très petits cristaux (quelques μ), en plaquettes hexagonales ou parfois en fibres.

Leur structure est identifiable par étude aux rayons X, et est caractérisée par la superposition de feuillets composés de couches tétraédriques (CT) et de couches octaédriques (CO).

I.2. Aperçu sur les silicates

Le motif élémentaire de la structure des silicates est un tétraèdre dont le centre est occupé par un atome de silicium et dont chaque sommet porte un atome d'oxygène. En s'associant entre eux, ces tétraèdres peuvent donner naissance à différents types de silicates. (Fig :22)

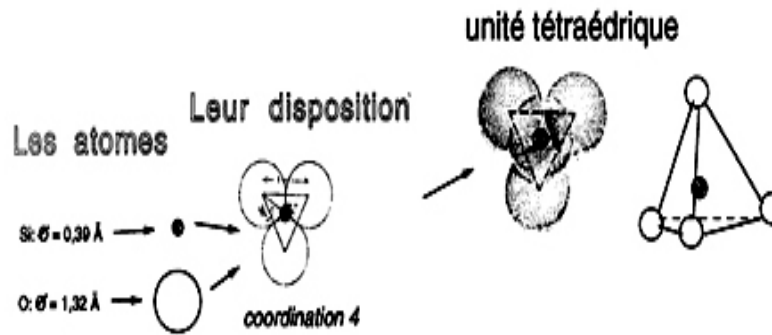


Fig. 22- Structure de base des silicates

I.2.1. Silicates à tétraèdres isolés ou Nésosilicates

Les atomes d'oxygène ont tous une valence saturée par celle d'un cation situé à l'extérieur du tétraèdre.

Chacun de ces cations est lui-même lié, par une autre de ses valences, à un autre tétraèdre.

Exp : les péridots, $(\text{SiO}_4) \text{Mg}_2$ (Fig. 23).

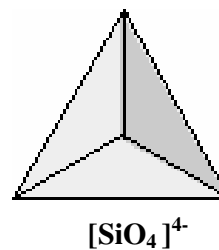


Fig.23- Structure de base des Nésosilicates

I.2.2. Silicates à 2 tétraèdres liés entre eux ou Sorosilicates

Dans ce cas les tétraèdres sont unis par deux avec un oxygène commun dont la formule est $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$. (Fig. 24)

Il existe peu de sorosilicates vrais (mélilite) mais par contre un certain nombre de silicates sont dits à fonctions complexes, car ils contiennent à la fois des îlots $[\text{SiO}_4]$ et des groupes $[\text{Si}_2\text{O}_7]$. Ce sont des subsorosilicates.

Exp: épidote: $\text{Ca}_2\text{Fe}_{3+\text{Al}_2}(\text{SiO}_4)(\text{SiO}_7)\text{O}(\text{OH})$

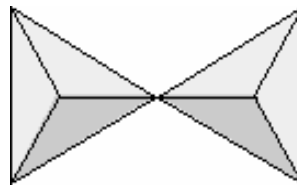


Fig. 24- Structure de base des Sorosilicates

I.2.3. Silicates à tétraèdres en chaînes fermées ou Cyclosilicates

Les tétraèdres sont directement soudés les uns aux autres par deux de leurs sommets, de façon à constituer des éléments en forme de polygone. Suivant les cas, trois, quatre ou six tétraèdres peuvent s'associer dans un plan. (Fig. 25).

Exemple : le béryl $(\text{Si}_6\text{O}_{18})\text{Al}_3\text{Be}_2$.

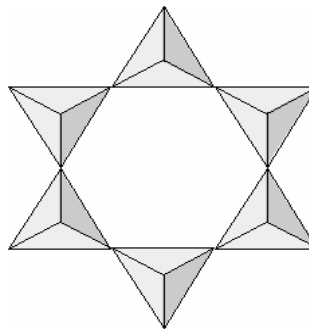


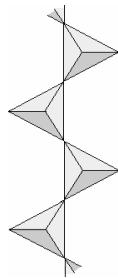
Fig. 25- Structure de base des Cyclosilicates

I.2.4. Silicates à tétraèdres en chaînes droites ou Inosilicates

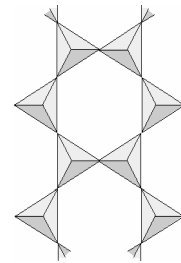
Dans ce cas les chaînes de tétraèdres sont droites et théoriquement d'une longueur infinie. Elles peuvent être simples, leur formule est alors $(\text{Si}_2 \text{O}_6)^{4-}$. Les minéraux possédant une telle structure sont appelés des pyroxènes.

La formule de base des pyroxènes est : $(\text{Si}_2 \text{O}_6) (\text{Mg}, \text{Fe})_2$ (Fig. 16a)

les chaînes peuvent être jumelées de façon à constituer un ruban de composition $(\text{Si}_4 \text{O}_{11})^{6-}$, c'est le cas des amphiboles, (Fig. 16b).



**Fig .26a- Structure de base
Inosilicates en chaîne simple**



**Fig .26b- Structure de base
Inosilicates en chaîne double ou rubans**

I.2.5. Silicates à tétraèdres en édifices à trois dimensions, ou téctosilicates

Dans ce cas, les tétraèdres sont soudés les uns aux autres par les quatre sommets. Chaque atome d'oxygène appartenant à la fois à deux tétraèdres voisins, la formule de cet édifice doit s'écrire SiO_2 . C'est la formule du quartz, et ses polymorphes (cristobalite, et tridymite). (Fig. 27)

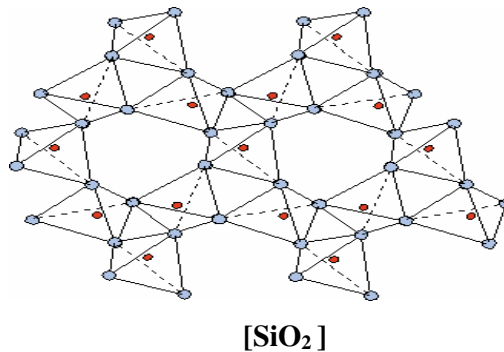


Fig. 27- Structure de base des téctosilicates

2.6. Silicates à tétraèdres en feuillets, ou phyllosilicates

Les Phyllosilicates, appelés aussi silicates lamellaires ou phyllites, sont des minéraux construits par empilement de feuillets tétraédriques 'T' où les tétraèdres partagent trois sommets sur quatre (occupés par les oxygènes basaux), le quatrième sommet (occupé par l'oxygène apical) étant relié à un feuillet octaédrique 'O' occupé par des cations différents (Al, Mg, Fe, Ti, Li, etc. ...).

Dans le feuillet tétraédrique 'T', l'Aluminium peut se substituer au silicium, cas où la charge négative du groupement est plus élevée, (exemple les micas). (Fig. 28)

Selon que les trois sites cationiques sont occupées par des cations, ou seulement deux sur trois, on distingue deux groupes de phyllosilicates : les tri octaédriques et les di octaédriques.

Le feuillet octaédrique 'Oc' isolé forme aussi des minéraux, et notamment des hydroxydes.

Exemple : La Brucite : $Mg(OH)_2$ —————> Tri octaédrique

La Gibbsite : $Al(OH)_3$ —————> Di octaédrique

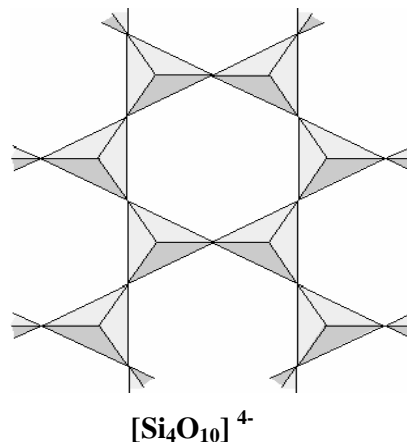


Fig. 28 - Structure de base des Phyllosilicates

Selon le type de la couche, les Phyllosilicates sont classés dans les groupes suivants :

(Fig. 29)

- **Phyllosilicates T-O ou 1:1** : La couche est formée d'un feuillet Tétraédrique et d'un feuillet Octaédrique, l'épaisseur de la couche étant environ 7Å : groupe de la Kaolinite, serpentine.

- **Phyllosilicates T-O-T ou 2 :1** : La couche est formée d'un feuillet octaédrique et de deux feuillets tétraédriques dans les deux côtés, l'épaisseur de la couche étant d'environ 10Å° : Groupe de talc, mica, montmorillonite.

- **Phyllosilicates T-O-T-O ou 2 :1 :1** : La couche est formée de trois feuillets Tétraédrique - Octaédrique -Tétraédrique et un autre feuillet Octaédrique isolé, l'épaisseur de la couche étant environ 14Å° : groupe des chlorites.

La formule idéale des minéraux les plus représentatifs est obtenue en partant de celle du feuillet Tétraédrique. $(Si_n O_{4n})^{4n-}$, et de celle du feuillet Tri octaédrique $Mg_3 (OH)_6$ ou dioctaédrique $Al_2 (OH)_6$ en remplaçant une partie des hydroxydes par des oxygènes apicaux.

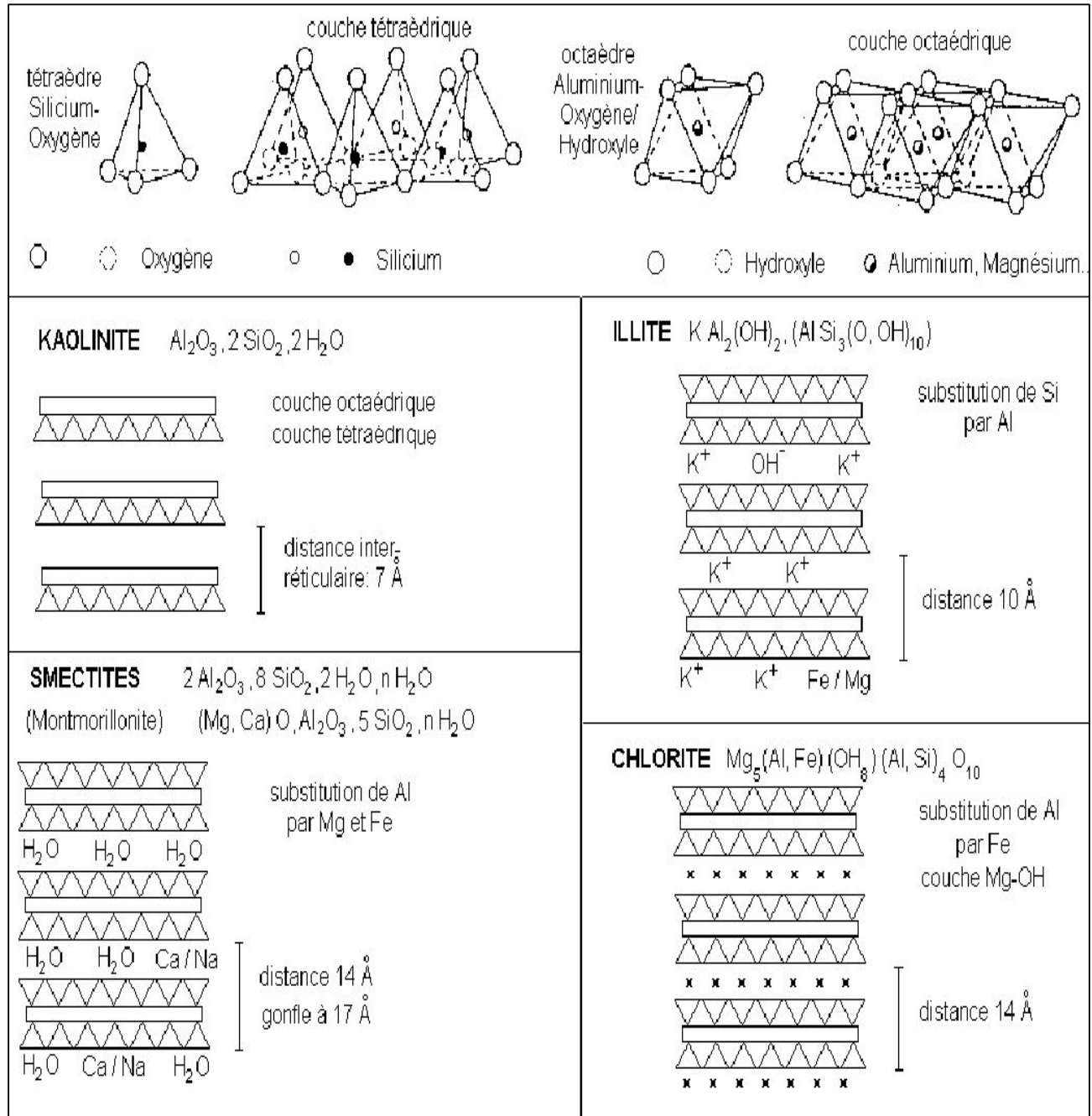


Fig. 29- les groupes des phyllosilicates (Beauchamp,J, 2005)

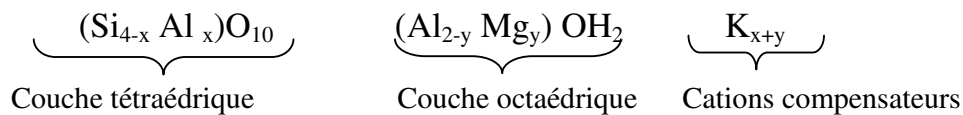
I.3. Formule générale des minéraux argileux

Les minéraux argileux sont constitués essentiellement de silicium et d'aluminium, d'oxygène et d'ions d'hydroxyles (OH) organisés en couches de deux types selon que les oxygènes ou hydroxyles sont associés en tétraèdres ou en octaèdres.

Les couches d'octaèdres et tétraèdres s'accolent selon des plans, par mise en commun d'oxygènes (O) ou d'hydroxyles (OH), ce qui dessine une structure en feuillets séparés par des espaces inter-foliaires.

Du fait de la possibilité des substitutions partielles de Si^{4+} par Al^{3+} dans les tétraèdres, de Al^{3+} par Mg^{2+} , Fe^{2+} ou Fe^{3+} , dans les octaèdres, il peut apparaître des déficits de charges positives, qui sont alors compensés par l'insertion de cations ou d'eau dans les espaces inter foliaires.

la formule générale conventionnelle des minéraux argileux est du type :



I.4. Critères de classification des minéraux argileux

La classification des minéraux argileux fait intervenir plusieurs paramètres, dont les plus importants sont :

le mode d'association des couches tétraédriques et octaédriques entre elles ;

- le caractère tri ou di octaédrique du plan octaédrique ;
- le caractère continu ou discontinu du plan octaédrique ;
- les défauts structuraux, la taille des feuillets, ainsi que leur forme ;
- les paramètres décrivant le mode d'empilement des lamelles dans une particule de taille finie et précisément :
 - le nombre de lamelles d'un empilement (pouvant varier d'une dizaine à une centaine)
 - la nature, et l'épaisseur de l'espace interfoliaire.
 - le caractère mono ou polyphylliteux d'un empilement.
 - Dans le cas d'inter-stratification, déterminer le mode de succession entre les feuillets (alternance régulière ou distribution aléatoire).

I.5. Les différents types de minéraux argileux

La classification la plus complète des minéraux argileux est celle adoptée par « S.Caillère et al » (1982), qui prend en considération tous les critères et les paramètres sus-cités.

Cette classification correspond au schéma international, qui envisage trois niveaux : Le groupe, le sous – groupe et l'espèce (Fig. 30)

a) le groupe

Le groupe est caractérisé par l'épaisseur du feuillet qui peut être 7, 10 ou 14 angströms. On distingue :

- les minéraux 1 :1 ou (Te -Oc) : dont l'épaisseur des feuillets est de l'ordre de 7Å°.
- Les minéraux 2 :1 ou (Te- Oc -Te) : dont l'épaisseur des feuillets est de l'ordre de 10 Å°.
- les minéraux 2 :1 :1 ou (Te- Oc- Te et Oc) : dont l'épaisseur des feuillets est de l'ordre de 14Å°.

b) Le sous- groupe

Chacun des trois groupes cités ci-dessus se subdivise en deux sous groupes suivant que les couches octaédriques sont di ou tri octaédriques.

c) Espèces ou familles

L'espèce (famille) n'est pas définie par des propriétés homogènes. Elle peut être la nature des cations octaédriques ou l'empilement des feuillets.

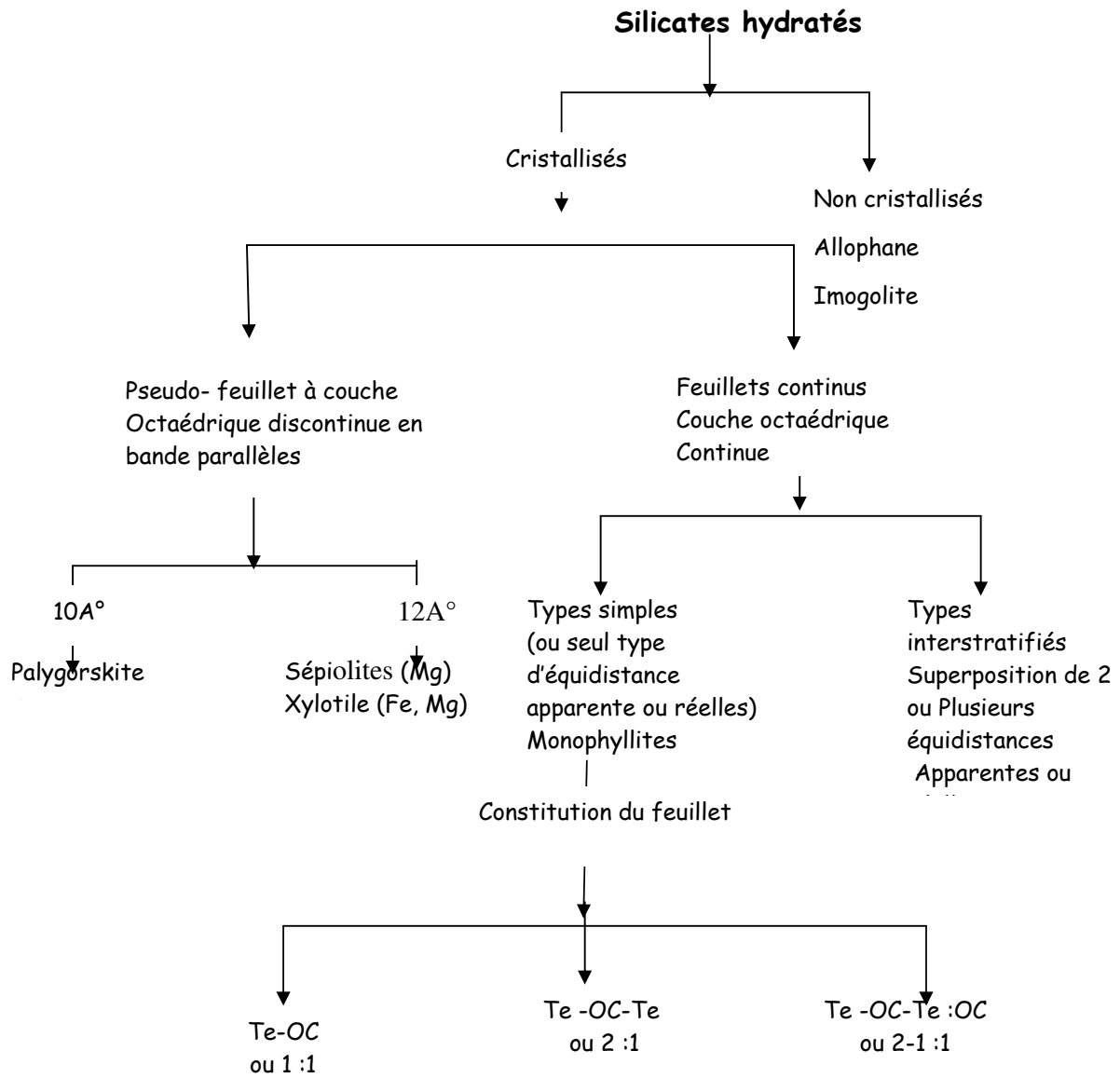


Fig.30- Classification générale des minéraux argileux, (S.Caillère et al , 1982)

I.6. Nomenclature des minéraux argileux

Notre objectif n'est pas de les décrire exhaustivement mais plutôt de donner une description de structure susceptible de représenter l'ensemble des minéraux de ce groupe, c'est pourquoi nous nous limiterons aux principaux groupes selon la classification adoptée par S.Caillère et al (1982).

I.6.1. Les Monophyllites

Ce sont les minéraux constitués par l'empilement de feuillets d'un même type. Selon l'épaisseur des feuillets on distingue :

I.6.1.1. Les minéraux 1 :1 ou Te-Oc (Fig .31)

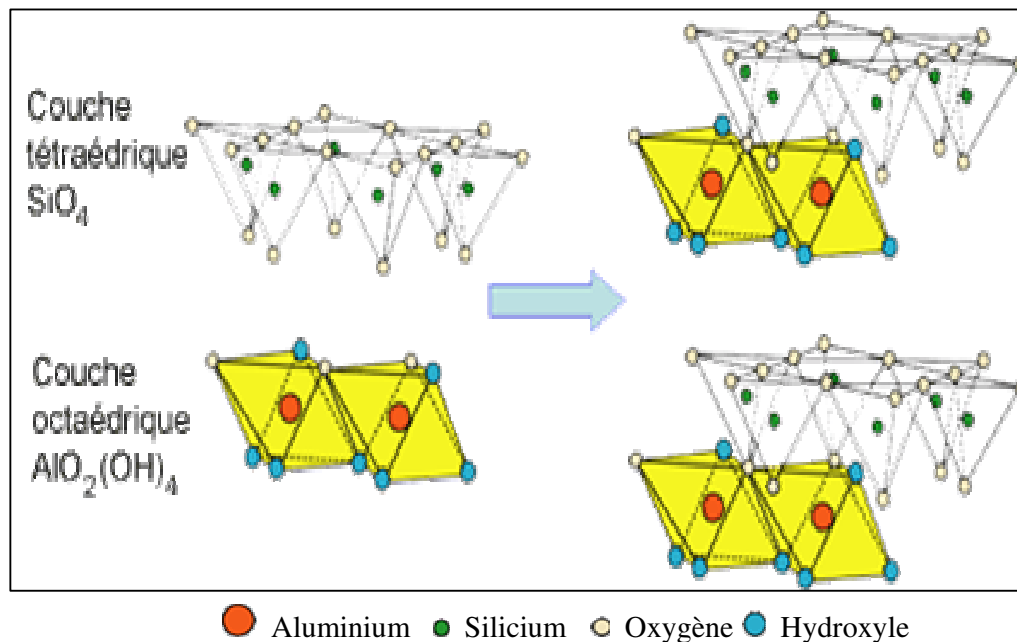


Fig.31- Structure d'un minéral de type 1 :1 (cas de la kaolinite)

Selon que la couche octaédrique est di-octaédrique ou tri-octaédrique, ce groupe comprend les familles des minéraux suivants (Tab.1) :

Tab.1- différentes familles des minéraux de type 1 :1

Type de Feuillet	Nature du minéral	Formule générale	Caractère de la couche octaédrique	Substitution En couche octaédrique	Substitution En couche tétraédrique	Equidistance entre les Couches
1/1	Kaolinite	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Di	Sans	Sans	Stable
	Halloysite	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4, n\text{H}_2\text{O}$	Di	Sans	Sans	Variable
	Dombassite	$\text{Si}_{2-x}\text{Al}_x\text{Al}_{2+x/3}\text{O}_5(\text{OH})_4$	Di	Avec	Sans	Stable
	Antigorite	$\text{Si}_2(\text{R}^{2+}+\text{R}^{3+})\text{O}_5(\text{OH})_4$	Tri	Sans	-	Stable
	Berthiérine	$\text{Si}_{2-x}(\text{R}_{3+x})(\text{R}_{3+x}\text{R}_{2+3-x})\text{O}_5(\text{OH})_4$	Tri	Avec	-	Stable

6.1.2. Les Minéraux 2 :1 ou Te – Oc-Te (Fig .32)

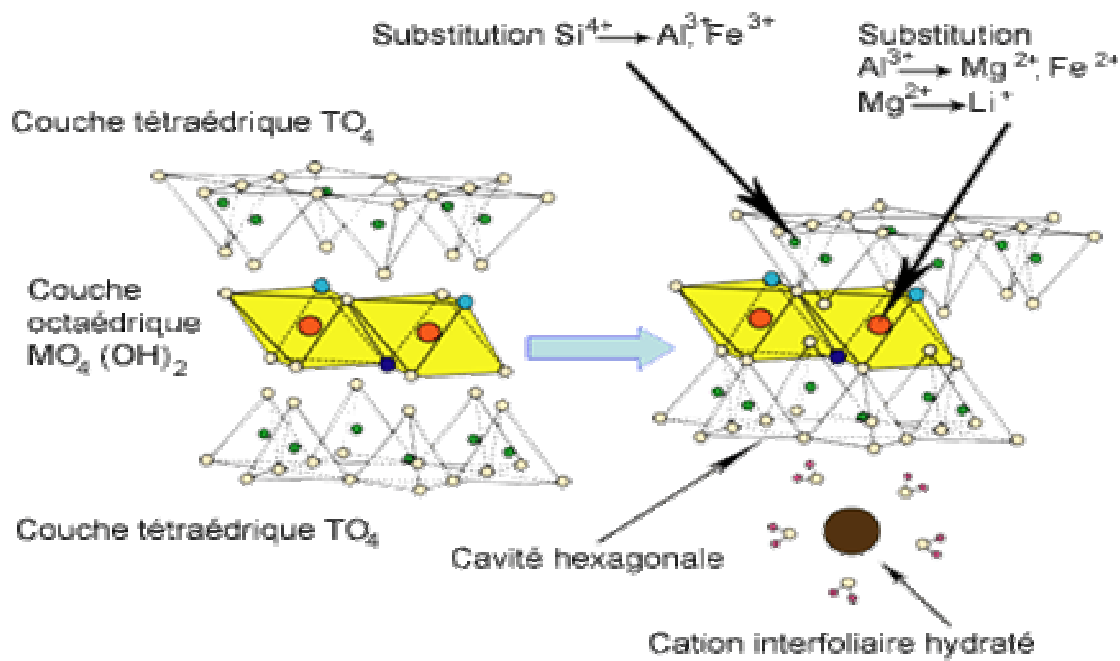


Fig.32- Représentation schématique de l'empilement des tétraèdres et des octaèdres d'un minéral de type 2 :1 (cas de la muscovite)

Dans ces minéraux, des substitutions cationiques sont souvent observées. Elles correspondent au remplacement de Si^{4+} par Al^{3+} et/ou Fe^{3+} dans les tétraèdres ou à celui de Al^{3+} par Fe^{2+} , Mg^{2+} ou Mn^{2+} dans les octaèdres.

Il peut éventuellement s'agir de la substitution de Li^+ , à Fe^{2+} ou Mg^{2+} dans ces derniers.

Ces substitutions cationiques créent un déficit de charge compensé par la présence dans l'espace interfoliaire de cations K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} éventuellement.

Selon l'importance de cette substitution, on distingue différentes familles appartenant à ce groupe dont les plus importantes sont (Tab.2):

Tab.2- différentes familles des minéraux de type 2 :1

Type de Feuillet	Nature du minéral	Formule générale	Caractère de la couche octaédrique	Substitution En couche octaédrique	Substitution En couche tétraédrique
2/1	Pyrophyllite	$\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Di	Sans	Sans
	Montmorillonite	$\text{Si}_4(\text{Al}_{2-x}\text{R}^{2+})\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{CE}_x\text{nH}_2\text{O}$	Di	Sans	Avec
	Beidellite	$(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{CE}_x$	Di	Avec	Sans
	Vermiculite	$(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)(\text{Al}_{2+y/3})\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{CE}_{x-y}$	Di	Avec	Avec
	Illite	$(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{K}_x$	Di	Avec	--
	Talc	$\text{Si}_4\text{Mg}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Tri	Sans	--
	Stévensite	$\text{Si}_4(\text{Mg}_{3-x}\text{R}^{+x})\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{CE}_x$	Tri	Sans	Avec
	Saponite	$(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)(\text{R}^{2+3})\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{CE}_x$	Tri	Avec	--
	Vermiculite	$(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)(\text{R}_{3+y-x}\text{R}_{2+3-y})_{10}(\text{OH})_2\text{CE}_{x-y}$	Tri	Avec	Avec
	La dikite	$(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)(\text{R}_{2+3})\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{K}_x$	Tri	Avec	--

I.6.1.3. Les Minéraux 2 :1 :1 ou (Te – Oc – Te- Oc) (Fig. 33)

Les minéraux appartenant à ce groupe sont constitués d'une alternance régulière de Feuilletes Te Oc Te (de type 2 :1) : type mica et de feuillet octaédrique de type brucitique.

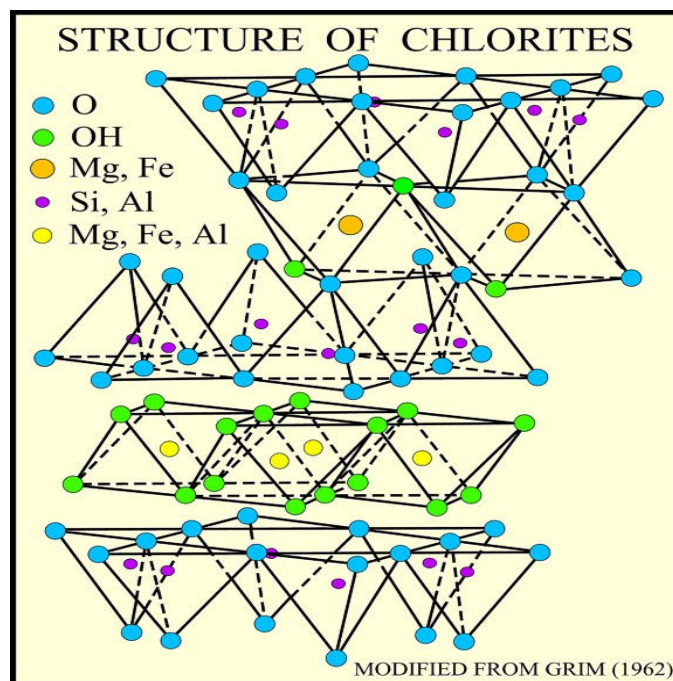


Fig .33- Représentation schématique de l'empilement des tétraèdres et des octaèdres d'un minéral de type 2:1:1 : cas de la chlorite (GRIM 1962)

Ce groupe se subdivise en deux sous-groupes

I.6.1.3.1. Les chlorites vraies : sont des minéraux dans lesquels les feuillets mica sont reliés entre eux par un feuillet brucitique chargé positivement et ayant de ce fait une équidistance stable quand ils sont imbibés de glycérol.

Deux sous-groupes de substitution sont envisagés dans ce cas, définis par le caractère di ou tri octaédrique de chacun des feuillets.

I.6.1.3.2. Les pseudo-chlorites ou chlorites gonflantes : sont des minéraux intermédiaires entre les vermiculites, les minéraux à propriétés montmorilloniques et les chlorites.

Les plus importantes familles de ce groupe sont représentés dans (Tab. 3).

Tab.3- Famille des chlorites

groupe	Nature de la couche octaédrique dans le Feuillet mica	Nature de la couche octaédrique dans le feuillet hydroxyle	Le minéral	Formule chimique
chlorite	Tri	Tri	Type classique chlorite	$(\text{Si}_{8-x} \text{Al}_x) \text{Mg}_6 \text{O}_{20} (\text{OH})_4, (\text{Mg}_{6-x} \text{Al}_x) (\text{OH})_{12}$
	Di	Tri	Cookéite Sudoite	$(\text{Si}_{3-\text{Al}}) \text{Al}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 (\text{Li}, \text{Al}_2) (\text{OH})_6$
	Tri	Di	Pas d'exemple connu	
	Di	Di	Dombasite	$(\text{Si}_3, \text{Al}) \text{Al}_2 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 (\text{Al}_{2+1/3}) (\text{OH})_6$
Pseudo chlorite	—		Pseudo chlorite	$(\text{Si}_{8-x} \text{Al}_x) \text{Mg}_6 \text{O}_{20} (\text{OH})_4 \text{M}_{x+n} \text{H}_2\text{O}, \text{Mg}_6 (\text{OH})_{12}$

I.6.2. Les Polyphyllites

I.6.2.1. Les Minéraux interstratifiés

I.6.2.1.1. Les Minéraux à inter- stratification irrégulière

Les plus importants minéraux inter- stratifiés de cette famille sont :

Illite – montmorillonite

Vermiculite – biotite

Vermiculite – chlorite

Montmorillonite – mica

Saponite – chlorite.

Montmorillonite – kaolinite

Muscovite – kaolinite.

Talc – stévensite

Kaolinite – silice.

Berthierine – chlorite.

Kaolinite – Montmorillonite

I.6.2.1.2. Les minéraux à inter- stratification régulière

Les minéraux de cette famille portent des noms. Les plus importants sont :

- Rectorite : pyrophyllite + vermiculite
- Corrensite : chlorite dioctaédrique + un minérale gonflant (smectite)
- Tosudite : chlorite + montmorillonite
- Sangarite : chlorite trioctaédrique + vermiculite.

I.6.3 Minéraux à pseudo- feuillets à faciès fibreux

Les minéraux de ce groupe appartiennent à deux familles, (les sépiolites et l'attapulгите)

Leur caractère commun est d'être constitués par des couches d'oxygène hexagonales continues séparées alternativement par deux couches d'oxygène à assemblage compact dont l'empilement forme des octaèdres, mais qui s'étendent en un long ruban, dont la croissance est limitée à une seule dimension.

Ces rubans sont disposés alternativement au dessus et au dessous de la couche continue d'oxygène à assemblage hexagonale de sorte que la structure présente, en coupe l'aspect d'une brique creuse.

NB : Notre objectif n'est pas d'examiner tous les minéraux à pseudo feuillets, nous nous limiterons dans ce qui suit aux propriétés d'un seul minéral qu'est l'attapulгите.

I.6.3.1. Historique et définitions

En 1935, JACQUES DE LAPPARENT a proposé pour la première fois le nom d'attapulгите pour le faciès typiquement terreux découvert et exploité à Attapulgitus (U.S.A) d'où le nom d'attapulгите attribué à ce type de Palygorskite.

Dans la littérature on emploie le mot Palygorskite comme étant un synonyme de l'attapulгите. Ce sont des silicates alumino-magnésiens, dans lesquels l'aluminium et le magnésium sont en proportions à peu près égales. Ils présentant un aspect fibreux parfois visible à l'œil nu, dans les attapulgitites à faciès cartonné ou asbestiforme.

N.B : On note aussi que l'industrie des argiles a assemblé quant à elle, les termes de sépiolite et attapulгите, sous le nom des Hormites.

I.6.3.2. Problème de nomenclature de la série des Palygorskites

Fersmann (1908-1913) a défini la série des Palygorskites comme étant une série isomorphe entre deux pôles, l'un magnésien représenté par la sépiolite, l'autre alumineux qu'il appelait au départ la para montmorillonite.

Les travaux de la minéralogie moderne ont montré que cette série continue n'existe pas, mais on distingue deux types de minéraux à structure cristalline différente, le premier aluminomagnésien (l'attapulgite), le second surtout magnésien (la sépiolite). Une telle nomenclature sera adoptée dans ce qui suit.

De ce fait G.Millot (1964) a défini le terme de Palygorskite comme étant une famille qui regroupe les deux types de minéraux, (l'attapulgite et la sépiolite).

I.6.3.3. Structure de la famille de la Palygorskite :(cas de l'attapulgite)

D'après MEUNIER 2003, la structure cristalline des minéraux de la famille de la Palygorskite (cas de l'attapulgite) diffère de celle, des Phyllosilicates de type 1 :1, 1 :2, 2 : 1 :1. En effet leur couche octaédrique est discontinue, car les tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ qui sont formés en partie par les couches des oxygènes continus sont périodiquement orientés pointe en haut, puis pointe en bas par groupe de quatre (04). De ce fait, les tétraèdres forment des rubans similaires à ceux des amphiboles (Fig .34) liés à la couche octaédrique discontinue ayant une structure de base formée par 05 octaèdres.

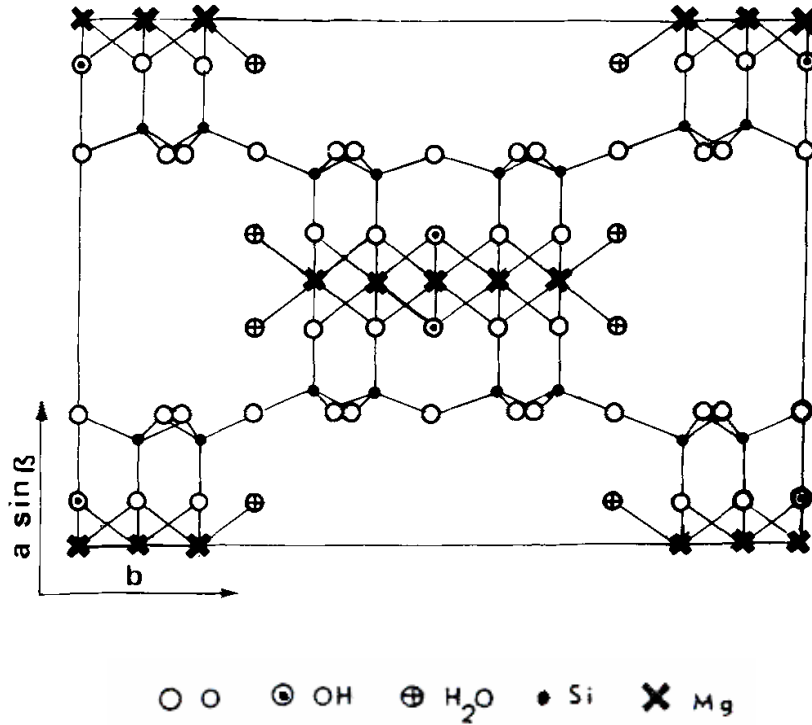


Fig34 – Structure de l’attapulgite “modèle tri octaédrique” projection des atomes sur le plan (001).(Bradley,1940)

L’allongement des rubans dans la direction parallèle à la dimension de la maille allongée confère aux cristaux de ce groupe une apparence fibreuse ou en lattes. (Fig .35)

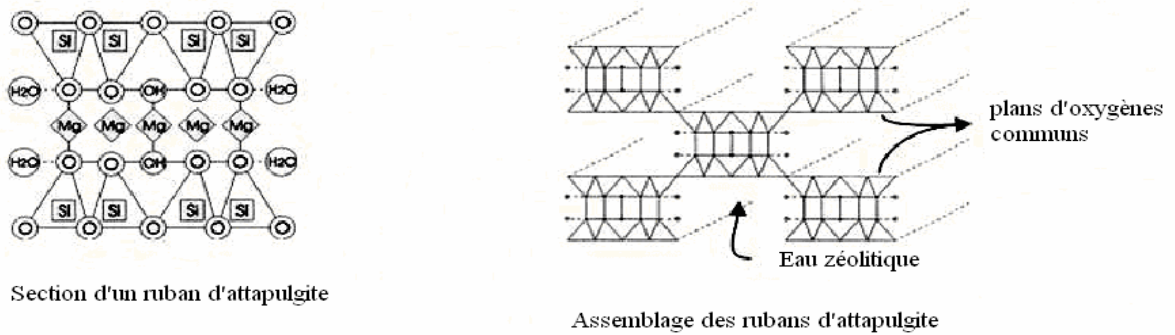


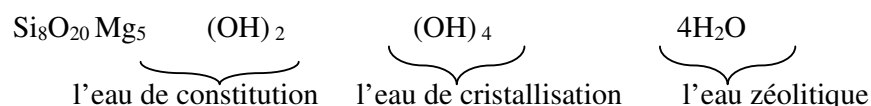
Fig. 35- L’aspect fibreux ou en latte de l’attapulgite

I.6.3.4. Formule chimique de l'attapulgite

Sur la base du schéma structurale de l'attapulgite (Fig .34), les cations Mg, Al, Fe²⁺ et Fe³⁺ qui composent la couche octaédrique proche du type dioctaédrique sont ordonnés de telle sorte que le site vacant soit au centre du ruban.

La charge électrique négative globale résultant des substitutions Si-Al dans les tétraèdres et R²⁺- R³⁺ dans les octaèdres est généralement faible. Elle est compensée par des cations échangeables qui sont logés dans les chenaux avec l'eau zéolitique.

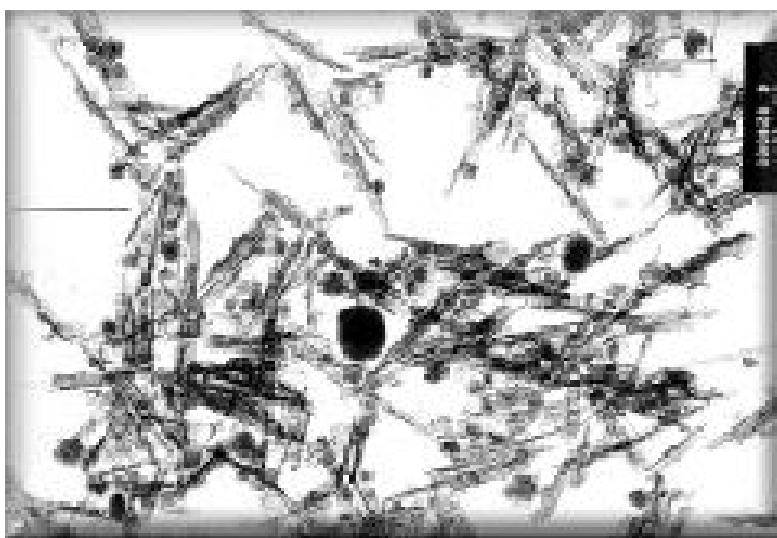
Bradley (1940) propose pour l'attapulgite la formule chimique suivante (Modèle tri octaédrique) :



I.6.3.5. Propriétés de l'attapulgite

I.6.3.5.1. Propriétés microscopiques

Quelque soit le faciès des échantillons microscopiques, l'attapulgite présente au microscope électronique l'aspect de petites fibres rigides ayant 50 à 100 Å de large , leur longueur est de l'ordre du micron. (Fig.36)



**Fig.36 - un échantillon d'attapulgite
vu au MEB (Géorgie USA)**

I.6.3.5.2. Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange des cations de l'attapulgite est de l'ordre de 20 meq / 100g d'argile

I.6.3.5.3. Pouvoir agglomérant

L'attapulgite a la propriété d'encastrent dans l'enchevêtrement des ses fibres les particules d'autres substances pulvérulentes conduisant ainsi à des structures relativement stables surtout en présence d'eau. C'est pour cette raison que cette argile est largement utilisée comme agglomérant de granulés notamment dans le domaine des engrais.

I.6.3.5.4. Pouvoir absorbant et adsorbant

Les argiles à structure fibreuse (Attapulgite) développent de remarquables propriétés d'absorption et d'adsorption vis avis de l'eau, ainsi que vis-à-vis d'un certain nombre d'autres substances liquides ou gazeuses.

L'attapulgite dont l'importance de sa surface spécifique qui peut atteindre 100 à 400 m² /g se traduit par une grande capacité d'absorption, elle peut absorber jusqu'à 110 de son poids en eau, ce qui justifie son utilisation en tant que litières pour animaux domestiques, supports dans les produits phytosanitaires et d'agents actifs des pansements gastriques en pharmacie.

II. GENESE DES MINERAUX ARGILEUX

Quelle que soit leur nature et leur type, les minéraux argileux résultent soit de l'altération physique (désagrégation d'une roche préexistante), soit de l'altération chimique (minéraux secondaires). Dans ce dernier cas, ils sont formés par transformation d'un minéral préexistant et on obtient des minéraux argileux transformés, ou par précipitation à partir d'une solution et on parle dans ce cas de minéraux argileux néoformés.

Sur cette base Millot, (1964); Caillère et al (1982); Landry et Mercier (1992) ; Thorez (1998) ont proposé trois (03) origines possibles pour les minéraux argileux : par héritage, par transformation ou par néogenèse.

II.1. L'héritage

Les minéraux de ce groupe sont les minéraux résultant de la destruction mécanique ou physique des roches, ils peuvent soit restés sur place (argiles résiduelles) ; Soit être transportés sur de longues distances par l'eau ou par le vent, et déposés dans les fonds marins ou les bassins lacustres.

Au cours de leur transport, ces minéraux restent intacts ou ne subissent que de légères modifications de structure et de composition. Ils sont le plus souvent considérés comme des indicateurs de paléoclimat.

Exemples :

La Kaolinite indique :

- un climat chaud et humide.
- l'hydrolyse est poussée
- le milieu est drainé

Les smectites indiquent :

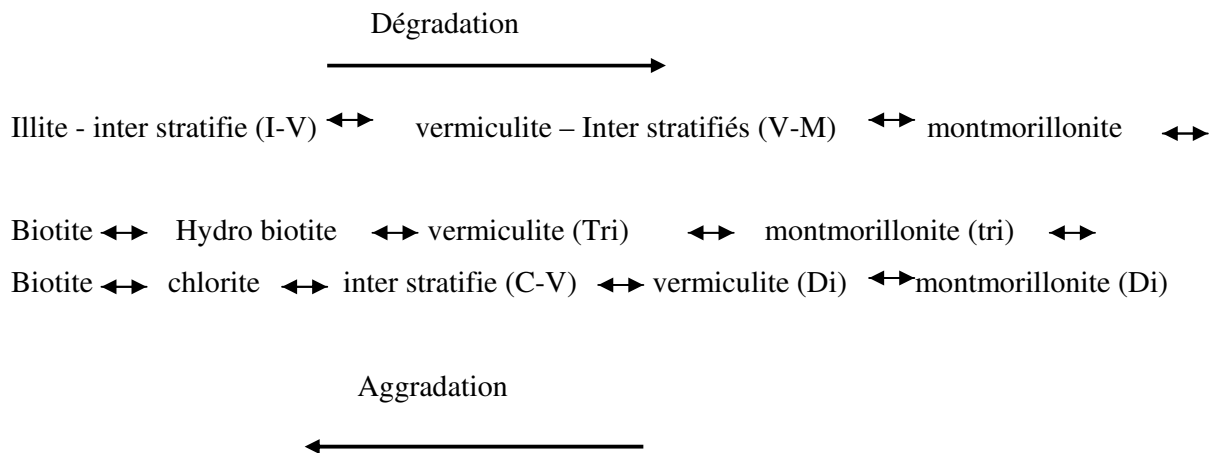
- un climat chaud et humide.
- l'hydrolyse est poussée
- le milieu est confiné

II.2. La transformation

Ce groupe est représenté par les minéraux argileux préexistants et qui peuvent évoluer pour être en équilibre avec le nouveau milieu. Ils subissent des transformations qui peuvent être très importantes et qui les font passer d'un type minéralogique à un autre type, Deux cas peuvent se présenter :

- a) transformation par dégradation : soustraction de certains éléments (ions)
- b) transformation par aggradation : fixation d'ions supplémentaires.

Exemple :



I : illite.

V : vermiculite.

M : Montmorillonite.

C : chlorite

Tri : tri octaédrique,

Di : Di octaédrique.

Il y a lieu de signaler que ces deux phénomènes peuvent se dérouler sur place, au cours du transport ou pendant la diagenèse

II.3. Néogenèse ou Néoformation

Les minéraux argileux dans ce cas sont formés par précipitation d'ions en solution : tel que (Si, Al, Mg, K,...) susceptibles de réagir entre eux quand ils sont mis en contact par diffusion ou mélange

Les composés ainsi formés sont stables dans les conditions physico-chimiques du milieu où ils ont pris naissance.

Exemple :

- *) Néoformation de glauconie (illite ferrifère) dans les vases littorales.
- *) Néoformation des argiles rouges des grands fonds marins (smectites ferrifères) provenant des vase calcaires et siliceuses et des cendres volcaniques.
- *) Néoformation des minéraux argileux fibreux dans des milieux alcalins confinés.

II.4. Mécanisme de formation des minéraux argileux

Quelle que soit l'origine des minéraux argileux celle-ci est contrôlée directement ou indirectement par plusieurs facteurs dont l'importance et la nature se diffèrent suivant qu'on considère l'héritage, la transformation ou la néogenèse.

II.4.1. Processus de destruction et altération de la roche source

La destruction des roches constitue la source principale des minéraux sédimentaires. Ce phénomène intéresse aussi bien les roches magmatiques que les roches métamorphiques et sédimentaires.

Les actions purement mécaniques des agents d'érosion produisent des fragments qui sont à l'origine des roches détritiques (surtout argile d'héritage).

Les phénomènes chimiques donnent des solutions de lessivage qui sont les sources des minéraux néoformés.

II.4.1.1. Les processus physiques

Ces processus englobent l'effet de tous les agents physiques qui entraînent la destruction et la fragmentation des roches dont les plus importants, sont, le vent, l'eau, les variations de la température, le gel et le dégel, les craquelures produites par la cristallisation des sels, le broyage des fragments transportés par le vent et les rivières

II.4.1.2. Les processus chimiques

Ces processus très complexes aboutissent à la mise en solution partielle ou complète des constituants des minéraux de la roche mère. Leur action conduit, soit à libérer des résidus qui peuvent cristalliser, il y a alors néogénèse, soit conserve une partie des caractéristiques de la structure originale des minéraux c'est le cas de la transformation.

Ces processus chimiques responsables des ces évolutions se manifestent sous forme de plusieurs actions dont le moteur essentiel est l'eau, et qui sont contrôlés par différents facteurs.

II.4.1.2.1. Dissolution

Ce processus chimique simple intéresse les roches salines, tel que le sel gemme, potasse, et gypse.

II.4.1.2.2. Oxydation et réduction

L'oxydation est un phénomène chimique qui résulte de l'action de l'oxygène de l'air sur les constituants des roches. Citons par exemple le cas du fer qui passe de l'état ferreux à l'état ferrique dans les ferrosilicates (amphiboles, pyroxène, olivines) ce qui provoque une modification de leur réseau cristallin qui prépare leur destruction.

II.4.1.2.3. Hydratation

L'hydratation est une incorporation de molécules d'eau à certains minéraux peu hydratés contenus dans les roches, ce qui produit un gonflement du minéral et donc favorise la destruction des roches.

II.4.1.2.4. Décarbonatation

Ce processus produit la solubilisation des calcaires et des dolomies généralement sous l'action du CO₂ dissous dans l'eau :

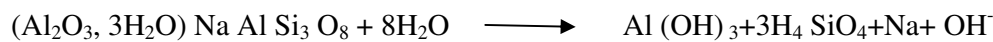


II.4.1.2.5. Hydrolyse

L'hydrolyse est considérée comme la principale réaction d'altération. Il s'agit de la destruction des minéraux par l'action chimique de l'eau. Dans ce cas un des ions positifs de la surface du cristal fixe un OH^- provenant de l'eau et dès lors passe en solution, tandis qu'un proton H^+ peut se placer sur le radical restant.

L'hydrolyse est totale lorsque le minérale est détruit en plus petits composés possibles (hydroxyde, ions)

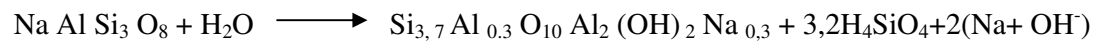
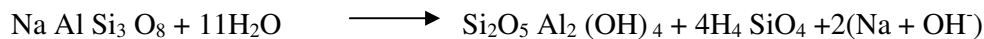
Exemple : cas d'un feldspath sodique :



Il y a lieu de signaler que les corps résultant peuvent ensuite réagir entre eux et donner des minéraux argileux.

L'hydrolyse est partielle lorsque la dégradation est incomplète et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions du milieu :

Exemple : l'hydrolyse partielle de l'albite donne soit de la kaolinite, soit des smectites.



II.4.1.2.6. Acidolyse

C'est le passage en solution d'un cation remplacé par un ion H^+ sur le radical du minéral. Quel que soit le processus actif, la dissolution des minéraux conduit à une solution dont la composition diffère de celle du minéral original et permet la formation d'un nouveau minéral.

II.5. Les facteurs contrôlant l'altération des roches

II.5.1. Les facteurs internes

II.5.1.1. Résistance des minéraux à l'altération

L'énergie de liaison varie selon le type des ions concernés. Le K^+ est faiblement lié à l'oxygène, le Fe^{2+} et le Mg^{2+} sont moyennement, alors que le Si^{4+} établit des liaisons très fortes. C'est pour cette raison que le quartz, appartenant aux tectosilicates, contenant des liaisons Si-O qui résistent mieux à l'altération; au contraire l'olivine contenant des cations moins liés (Fe^{2+} et Mg^{2+}) a un réseau cristallin plus fragile.

II.5.1.2. La mobilité des ions

La mobilité d'un ion dépend de son rayon ionique "r" et de sa charge ionique "Z" donc c'est le potentiel ionique Z/r qui détermine le comportement des ions dont s'est basé Goldschmidt dans sa classification qui comporte 03 groupes (Fig .37) :

-1^{er} groupe $Z/r < 3$

Englobe les cations solubles caractérisés par un grand rayon ionique et une faible charge ionique donc un potentiel ionique faible ce qui ne favorise pas leur action sur la molécule d'eau et restent dispersés.

-2^{ème} groupe $3 < Z/r < 10$

C'est le groupe des hydrolysats qui sont des hydroxydes insolubles. Dans ce cas la dissociation de l'eau est partielle en H^+ et OH^- , les cations s'unissent aux OH^- et forment des hydroxydes insolubles

-3^{ème} groupe $Z/r > 10$

C'est le groupe des oxyanions (anions complexes avec oxygène) leur potentiel ionique est grand, avec une surface fortement chargée. Ces ions dissocient facilement les H^+ des molécules d'eau et s'associent avec les O^- . Citons comme exemple, les ions soufre (S) donnant des ions sulfates $(SO_4)^{2-}$ et les ions carbone donnant des carbonates $(CO_3)^{2-}$.

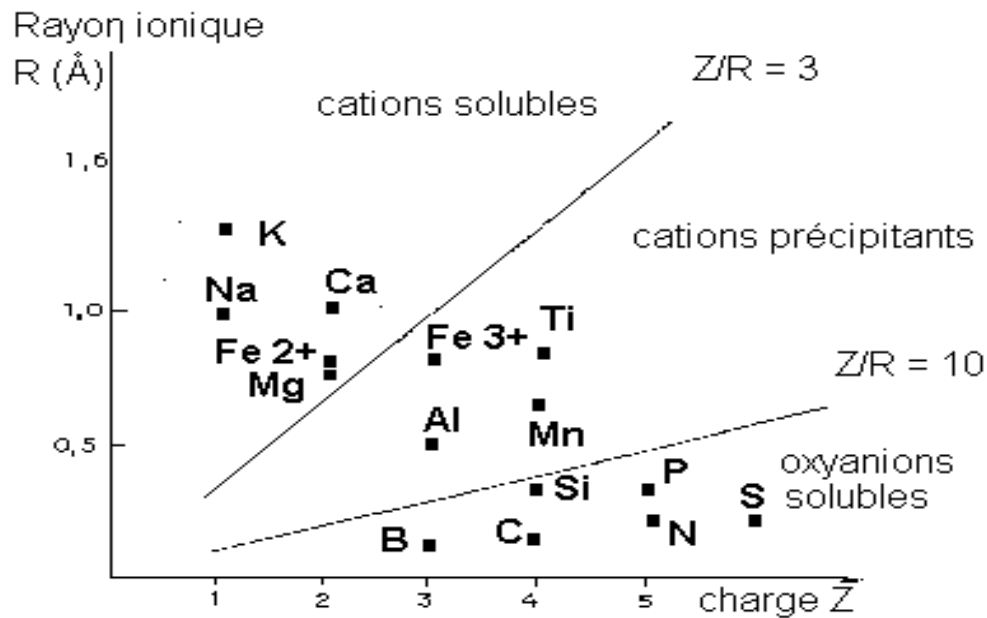


Fig. 37- Classification des ions (Goldschmidt, 1937)

II.5.2. Les facteurs externes contrôlant l'hydrolyse

II.5.2.1. Les conditions climatiques

Le degré d'hydrolyse dépend des conditions climatiques. En effet, la distribution des sols est principalement zonale en fonction des précipitations annuelles et de la température

La figure : 38 montre la nature des minéraux secondaires observés dans les sols selon un transect latitudinal du pôle à l'équateur.

- ✓ En climat froid, l'altération physique domine, avec des sols peu évolués et peu épais. Les minéraux argileux sont essentiellement des minéraux primaires (illite et chlorite).

- ✓ En climat tempéré et humide, la température est moyenne et les précipitations comprises entre 500 et 1000 mm/an favorisent une altération chimique très importante. Les minéraux secondaires sont de type 2:1 ; vermiculite (climat tempéré) smectite (température plus élevée et contraste saisonnier plus important).

- ✓ En climat froid et humide, le lessivage est très important, les sols résultant sont un horizon (A) constitué uniquement de la silice surmontant un horizon (B) argileux (illite, smectite et inter stratifiés).

- ✓ En climat chaud et humide, l'hydrolyse étant plus active conduit à une kaolinisation.

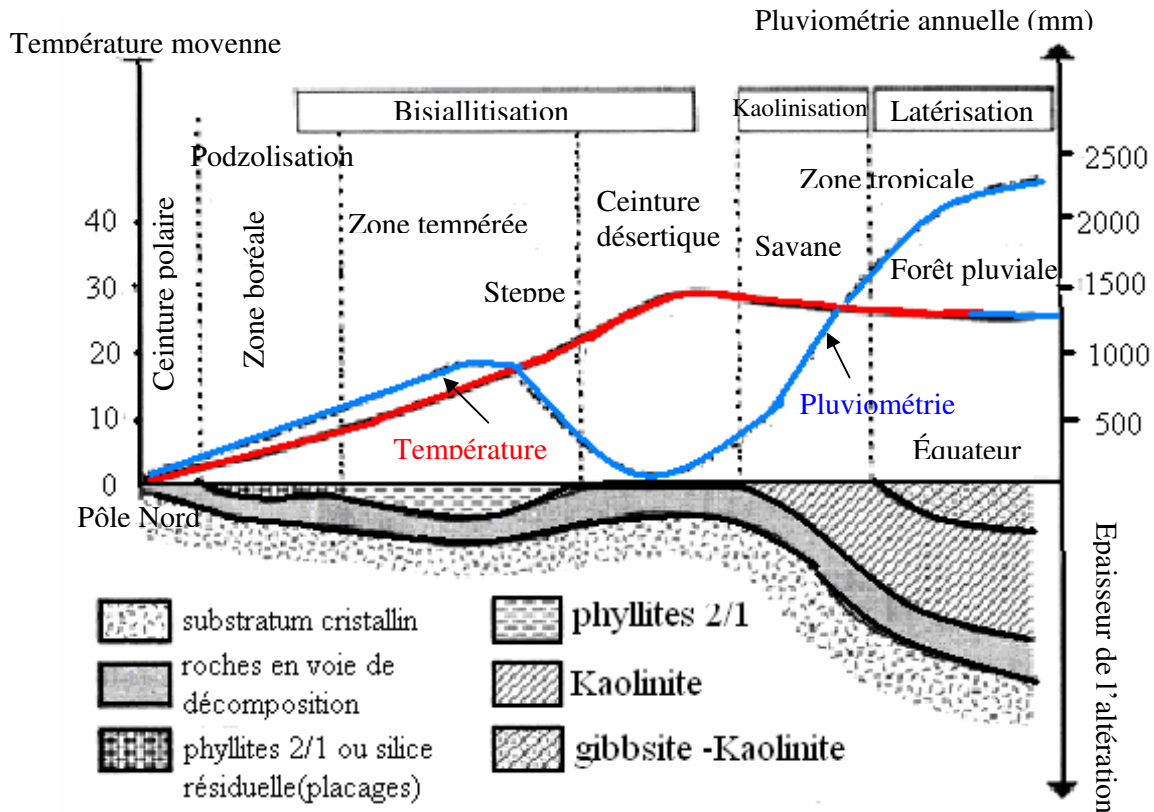


Fig .38- Distribution zonale des sols en fonction des précipitations annuelles et de la température (F.T.Mackenzie et R.M.Garrels, 1966)

II.5.2.2. Influence de la tectonique

Dans un environnement où la tectonique est active, la destruction mécanique est intense, et les minéraux seront principalement transportés intacts vers le bassin de sédimentation : c'est le processus de l'héritage qui règne. Au contraire dans un environnement sans perturbation tectonique, les solutions issues de l'altération qui regagne le bassin de sédimentation sont pauvres en particules argileuses héritées ce qui explique la dominance de processus de la néoformation.

II.5.2.3. Le pH et la nature de la roche mère

Le matériel parental contrôle d'une manière directe le pH et la composition ionique de la solution d'hydrolyse, qui à leur tour conditionne la nature et le type des minéraux argileux secondaires formés.

Exemple :

- l'altération d'une roche acide comme le granite donne plutôt la kaolinite.
- l'altération d'une roche basique, comme le basalte, donne plutôt des smectites.

II.5.2.4. La topographie

La topographie commande le drainage qui définit la nature du milieu et le degré de son lessivage ou son confinement. (Fig .39)

Ces deux derniers paramètres (lessivage et confinement) interviennent également pour le contrôle des processus d'altération.

Exemple :

- Sur une pente, le drainage et le lessivage sont bons : la formation de la kaolinite est favorisée.
- Dans une cuvette, ou milieu confiné où se concentrent les solutions se forment plutôt des smectites et attapulgite.

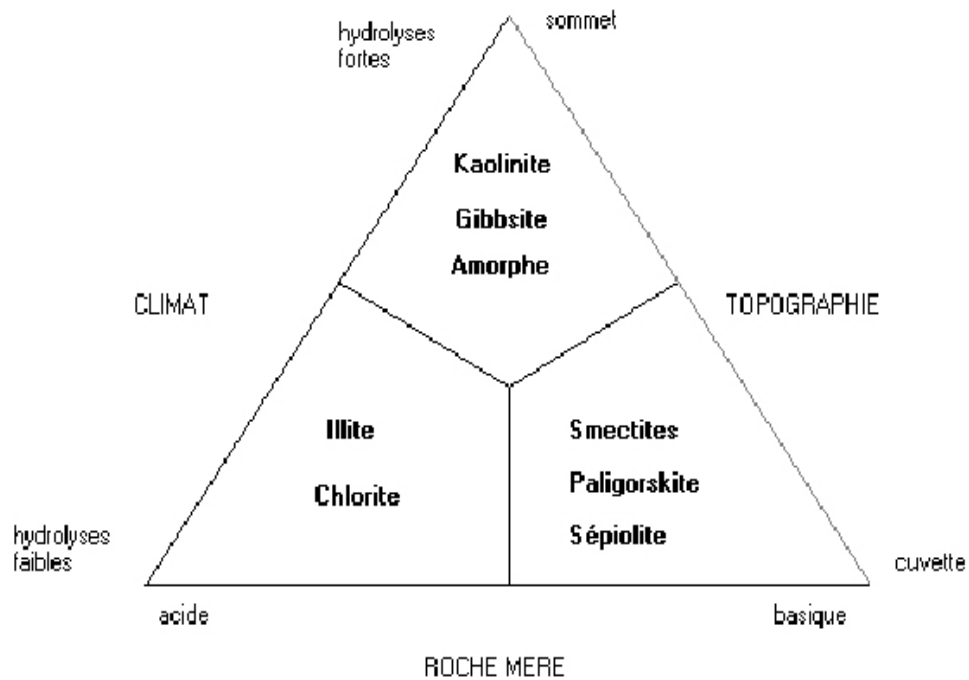


Fig .39-Types de minéraux argileux formés au cours de l'altération (Beauchamp,J, 2005)

Conclusion

Le processus de formation des minéraux argileux (secondaires) est assuré par la combinaison de plusieurs facteurs :

- ✓ la nature du matériel original.
- ✓ la concentration en SiO_2 exprimée en concentration d'acide silicique H_4SiO_4 .
- ✓ la concentration en cations basiques.
- ✓ le pH.
- ✓ la température dont l'augmentation régit la vitesse des réactions et la possibilité de dissolution des ions dans l'eau.
- ✓ la vitesse de circulation de l'eau (ou drainage) dans le milieu (exprimant les conditions de confinement ou de lessivage).

La destruction des édifices cristallins silicatés produit des fragments de chaînes silicatés qui, au moins dans un premiers temps, restent sur place, et des ions solubles qui sont lessivés par l'eau.

L'importance respective de l'héritage, des transformations et des néoformations est étroitement liée à l'intensité de l'altération et du lessivage. Pour une altération et un lessivage faible, se forment les minéraux argileux de type 2/1 avec l'augmentation des degrés de ces paramètres, ce sont les minéraux pauvres en silice (type 1/1) qui se forment. Pour un fort lessivage, les cations solubles sont entraînés et les phyllosilicates ne peuvent plus se former.

II.6. Quelques exemples de genèse des minéraux argileux**II.6.1. Les minéraux argileux de la famille de la kaolinite**

Les minéraux de la famille de la Kaolinite sont issus essentiellement de l'altération des feldspaths en milieu acides, fortement lessivé et pauvre en cation.

Ces minéraux sont liés à des gisements ayant essentiellement deux origines :

- les gisements d'altération ou primaires qui sont des arènes issus de la transformation en place des roches feldspathiques de diverses natures ; plutoniques (granite), métamorphiques (gneiss). Exemple du gisement de Tamazert (Boukoffa, 2008).
- les gisements sédimentaires ou secondaires qui sont issues du transport et de la sédimentation de la Kaolinite préexistante.

II.6.2. Les minéraux argileux de la famille de la montmorillonite

La Montmorillonite caractérise les milieux sédimentaires relativement riches en bases, et particulièrement en magnésium et un pH légèrement ou nettement alcalins.

Du point de vue génétique, les principaux gisements de la famille de la montmorillonite (bentonite) sont généralement issus de la transformation en place des cendres volcaniques vitreuses, en milieu aqueux. Mais certains gisements se sont également formés par altération hydrothermale de roches volcaniques.

II.6.3. Les minéraux argileux de la famille de l'illite

L'illite paraît le minéral argileux, le plus typique des milieux marins. On le rencontre non seulement dans les dépôts littoraux et de grands fonds, mais fréquemment aussi au toit du gisement houiller.

C'est le minéral le plus fréquent et se trouve souvent associé à d'autres minéraux argileux.

II.6.4. Les minéraux argileux de la famille du talc

Les gisements de talc sont généralement associés à des roches ultrabasiques ou des calcaires dolomitiques métamorphisés.

La formation du talc est essentiellement liée à l'action des fluides hydrothermaux sur ces roches, dont la circulation est favorisée par la présence de la fracturation.

Le premier stade de l'altération hydrothermale des roches ultrabasiques est la formation de la serpentine, une fois métamorphisée dans le faciès schistes verts se transforme en talc.

La genèse du talc à partir des calcaires dolomitiques nécessite la présence de la silice, contenue soit dans la roche soit dans les fluides hydrothermaux.

Les grands gisements du talc sont liés aux formations dolomitiques.

II.6.5. Les minéraux argileux de la famille des saponites

Les saponites sont des produits de l'altération des roches basiques, en particulier des serpentines.

II.6.6. Les minéraux argileux de la famille des vermiculites

La vermiculite se présente en général comme un produit d'altération des micas essentiellement la biotite et la phlogopite.

II.6.7. Les minéraux de la famille de la sépiolite et l'attapulgite

Les sépiolites et l'attapulgite sont des argiles fibreuses dont les gisements exploitables sont d'origines sédimentaires (néoformation en milieu lagunaire).

I.METHODOLOGIE DU TRAVAIL

I.1.Echantillonnage et préparation des échantillons

I.1.1.Echantillonnage

Vu que la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi n'est pas totalement affleurante et dont l'objectif est d'étudier la variation de cette couche en profondeur, l'opération d'échantillonnage a été effectuée au niveau de la carottèqne de L'ORGM (AZZABA W. SKIKDA). Cette opération a consisté en l'échantillonnage de la couche d'attapulgite dans tous les sondages positifs. Devant l'absence des tickets indiquant la profondeur des passages exacts on a procédé comme suis :

Après localisation du toit et du mur de la couche d'attapulgite, deux cas sont possibles :

- si la puissance de la couche d'attapulgite est supérieur à 0,5 m on a pris trois (03) échantillons (supérieur, médiane et inférieur) le long de la couche.
- si la puissance de la couche d'attapulgite est inférieure à 0,5m on a pris un seul échantillon représentant toute la couche.

Remarque

Dans le but de récolter des informations indiquant la nature du milieu de sédimentation on a procédé au prélèvement d'une dizaine d'échantillons dans l'encaissant pour la confection des lames minces. malheureusement notre objectif n'est pas atteint en raison de la nature marneuse des échantillons prélevés, mais on a rattrapé cette carence par d'autres moyens qu'on citera ultérieurement.

I.1.2. Préparation des échantillons

Les échantillons prélevés sont des matériaux hétérogènes, c'est pour cela qu'il faut les soumettre à plusieurs étapes de préparation, afin d'obtenir une fraction argileuse plus au moins pure qui sera l'objet d'étude par les méthodes appropriées.

I.1.2.1. les étapes de préparation des échantillons

✓ **le concassage**

Il s'agit d'un traitement mécanique de l'argile brute. L'opération consiste à concasser les blocs d'échantillons par le marteau (manque d'un concasseur) afin de les réduire à une dimension acceptable pour l'opération de broyage.

✓ **Broyage**

Il s'agit d'un broyage de la matière brute par l'intermédiaire d'un mini broyeur afin de rendre les blocs de l'échantillon sous forme de poudre (la plus fine possible).

✓ **Homogénéisation**

Il s'agit d'un quartage de la matière ainsi obtenue par broyage, l'opération a été réalisée par l'intermédiaire d'un homogénéiseur d'échantillon.

L'opération consiste à homogénéiser l'échantillon brut de telle sorte qu'on obtiendra deux échantillons représentatifs dont l'un sera destiné pour l'étude avec les différentes méthodes et l'autre sera conservé comme échantillon témoin.

✓ **Tamissage**

Cette phase de traitement consiste à séparer les fractions de l'échantillon selon la dimension des particules et en particulier l'élimination de la fraction grossière. Pour cela on a utilisé une série composée de 03 tamis dont les diamètres de la maille sont respectivement 0,2 mm, 0,063 mm et 0,05 mm.

✓ **Extraction de la fraction argileuse**

L'opération a été exécutée sur la fraction argileuse dont le diamètre est inférieur à 0,05mm et ceci par sa mise en solution et après une légère agitation on a procédé à l'aspiration de la couche superficielle contenant les particules en suspension, après filtrage et séchage on obtient un résidu qui représente la fraction argileuse proprement dite (diamètre des particules $\leq 2 \mu$).

I.2. Analyse granulométrique et séparation de la fraction argileuse fine

A la fin de l'opération du tamisage et de l'analyse granulométrique on a pu répartir chaque échantillon traité en cinq (05) classes (C1, C 2, C 3, C 4, C 5) :

- C 1 : $\phi > 0,2$ mm
- C 2 : $0.063 < \phi < 0,2$ mm
- C 3 : $0,05 < \phi < 0,063$ mm
- C4 : $\phi < 0,05$ mm
- C5 : $\phi \leq 0,002$ mm (fraction aspirée).

Le traitement des données de l'analyse granulométrique et l'élaboration de la courbe granulométrique moyenne de tout le secteur représentée par 85 échantillons prélevés de 34 sondages (Fig : 40a ,40b, 40c) nous montre que le pourcentage de la fraction argileuse ($C < 2 \mu$) est très faible. Ceci s'explique par le fait que l'échantillonnage a été effectué sur la couche brut et cela en raison de la difficulté de sa distinction macroscopique de son encaissant qui présente le même aspect marneux.

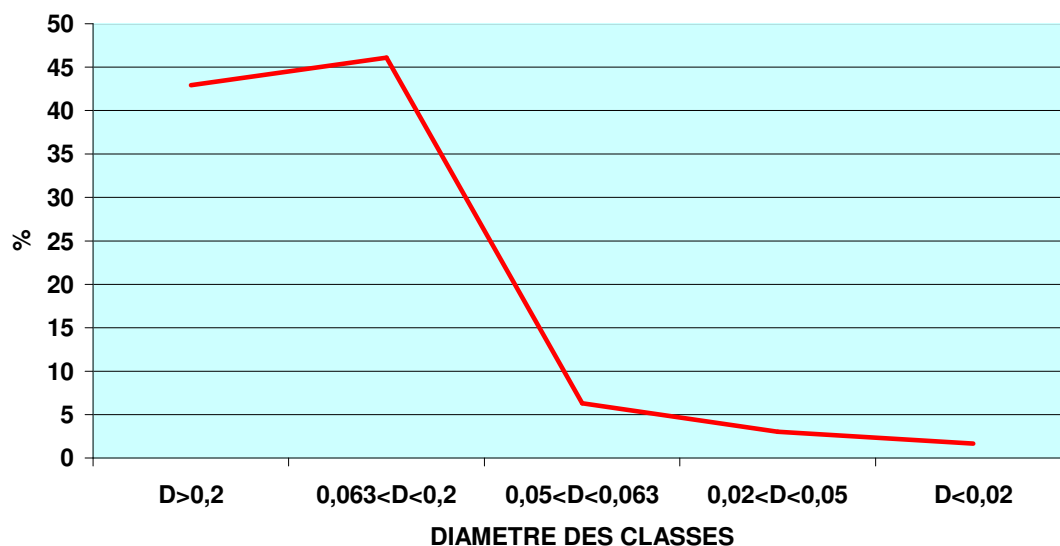


Fig .40a- Courbe granulométrique de la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi I

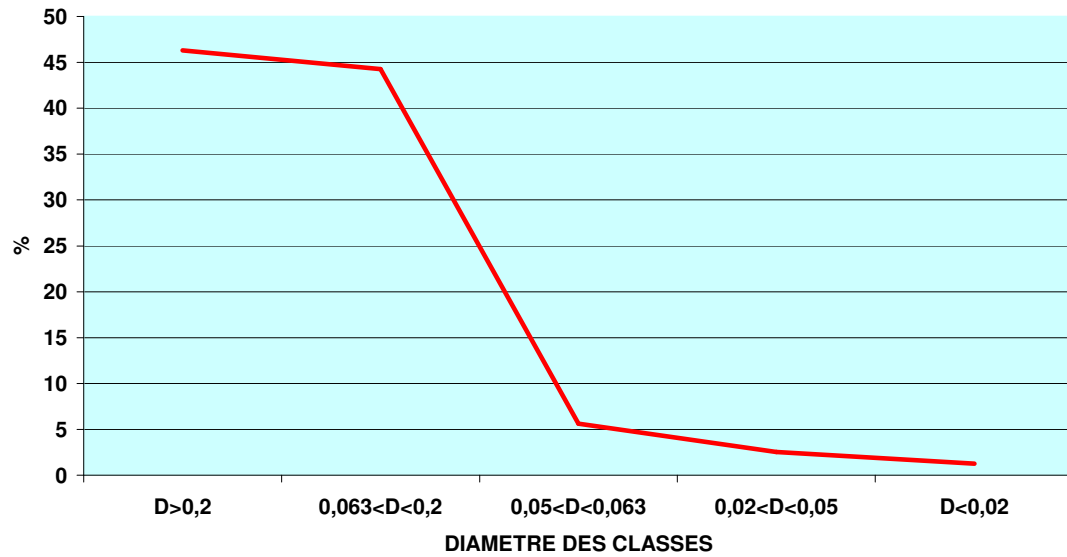


Fig .40b- Courbe granulométrique de la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi II

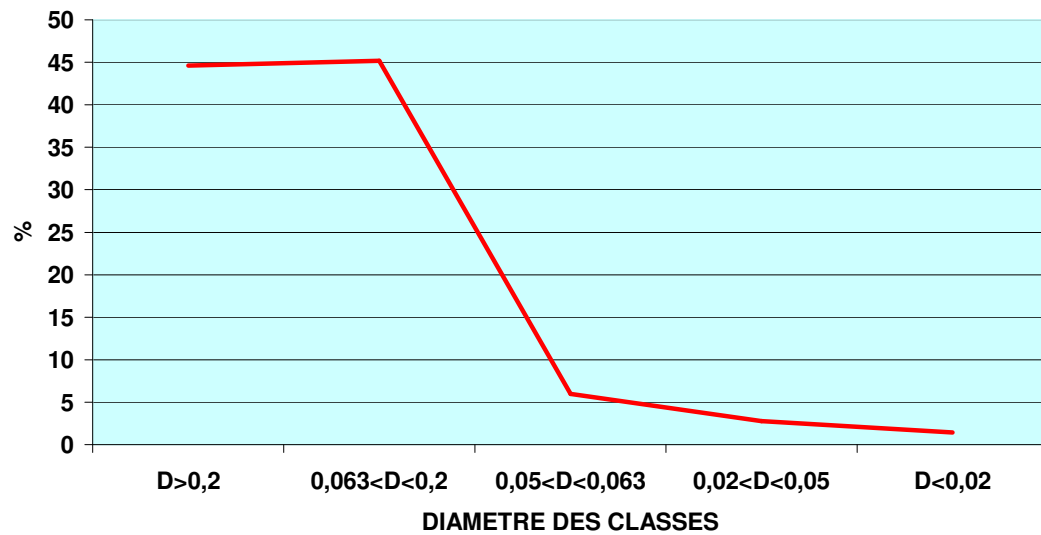


Fig .40c- Courbe granulométrique de la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi

II. MINERALOGIQUE

II.1. Etude par diffraction des rayons X (DRX)

II.1.1.Objectif

L'utilisation de cette méthode d'étude dans notre cas a été limitée à deux objectifs :

- le premier est la détermination de la composition minéralogique des échantillons.
- le deuxième est la quantification de toutes les phases minérales présentes.

II.1.2. Principe

La diffraction des rayons X (DRX) consiste à bombarder un cristal par un faisceau de rayon X d'une longueur d'onde connue, qui sera diffracté dans une direction donnée par chacune des familles de plans réticulaires du cristal à chaque fois que la condition de Bragg se trouve réalisée :

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (\text{Fig 41}).$$

n = ordre de diffraction

λ = longueur d'onde

d = distance inter- réticulaire

θ : angle de diffraction

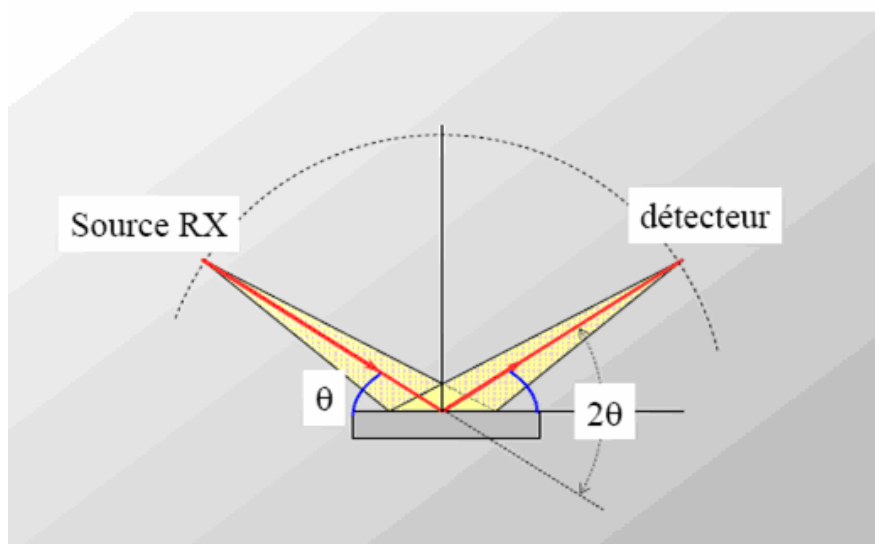


Fig.41- Schéma de principe du diffractomètre de rayons X

II.1.3. Préparation des échantillons

La classe de la fraction argileuse concernée pour l'étude par cette méthode est la fraction brute dont le diamètre des particules est inférieur à 0,05 mm qui a été préparée sous forme de poudre compactée ou sous forme de poudre désorienté et ceci après une opération de rebroyage très fin dans un mortier en agate

N.B : en raison de la structure fibreuse de l'attapulgite on a procédé à l'utilisation des échantillons désorientés.

II.1.4. Résultats et discussions

Le dépouillement des différents diffractogrammes (spectres) des échantillons brutes analysés dont les résultats sont mentionnés dans le tableau (04); nous a permis de mettre en évidence deux associations minérales :

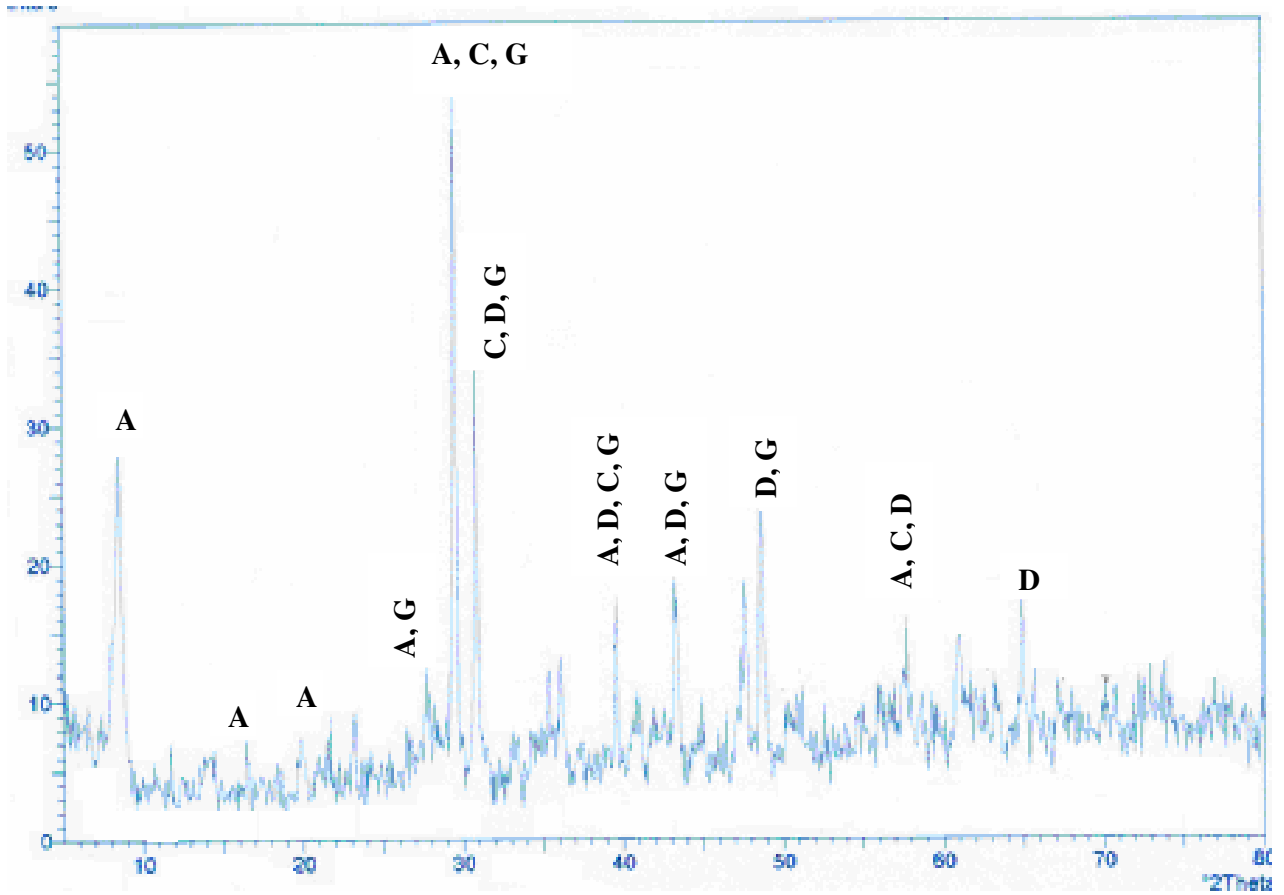
- ✓ La première représentée par l'attapulgite, la calcite, la dolomite et le gypse. (Fig.42a, 42b)
- ✓ La deuxième représentée par l' attapulgite, la calcite et la dolomite (Fig.43a ,43b)

La grande variation du pourcentage de l'attapulgite dans les différents échantillons analysés (2% dans l'échantillon S06c et 64% dans l'échantillon S09c) est expliquée par la difficulté de délimiter macroscopiquement le toit et le mur de la couche et ceci à cause de son aspect marneux et sa grande ressemblance sur le terrain avec la couche marneuse qui l'encaisse.

Ce problème a été résolu par l'analyse systématique et chimique des différents intervalles de la couche d'attapulgite dans tous les sondages (partie étude géochimique).

TAB.04 - Composition minéralogique semi quantitative des échantillons analysés par DRX

N° Echantillon	Attapulгите (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)	Gypse (%)
S2A	34	19	47	
S2B	44	14	42	
S2C	39	34	25	02
S06A	04	31	65	
S06B	16	22	62	
S06C	02	82	16	
S07A2	52	24	24	
S07B2	35	24	41	
S07C2	33	12	55	
S09A	45	25	30	
S09C	64	06	30	
S13	14	73	13	
S14	17	67	16	
S17A	11	50	39	
S17B	10	50	40	
S17C	07	21	72	
S20A	07	78	15	
S20B	13	77	10	
S20C	35	34	27	04
S32	55	31	14	
S36	18	42	40	
S41	55	22	23	
S42	06	82	12	
S48	55	31	14	
S57	20	63	17	



A : Attapulgite, C : Calcite D : Dolomite, G : Gypse

Fig. 42a- Diffractomètre de l'échantillon S 02c

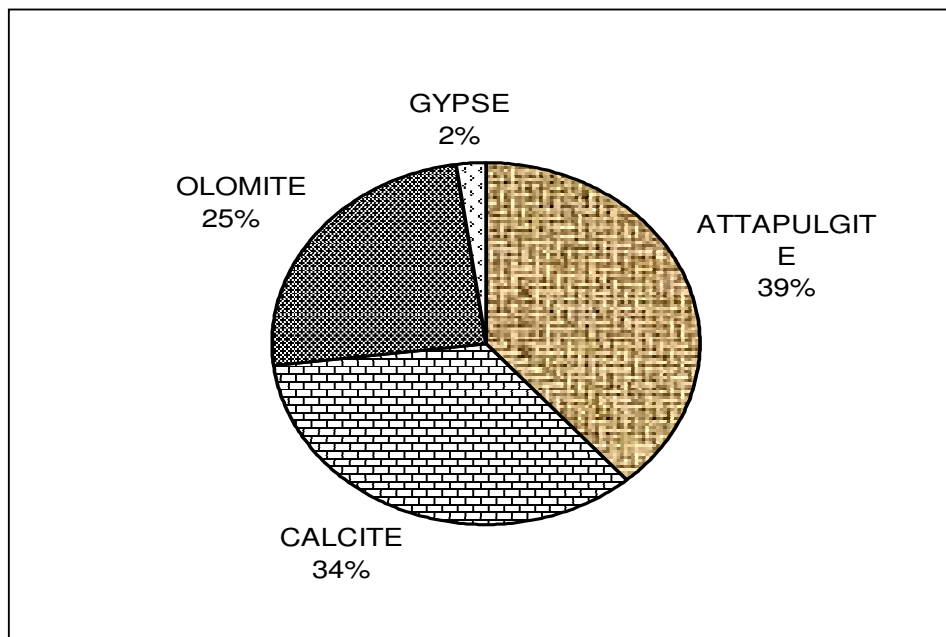
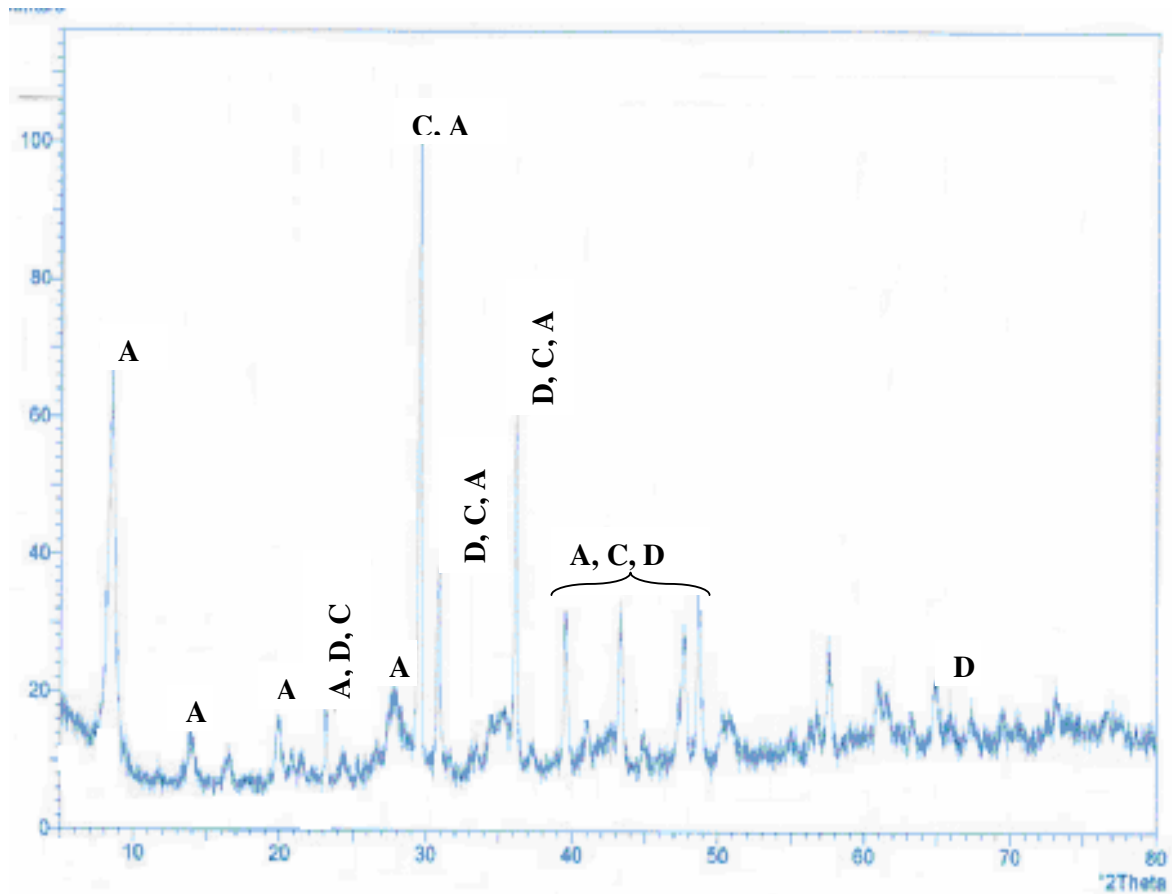


Fig.42b- Composition minéralogique de l'échantillon S2C



A : Attapulgite, C : Calcite, D : Dolomite

Fig. 43a- Diffractogramme de l'échantillon S48

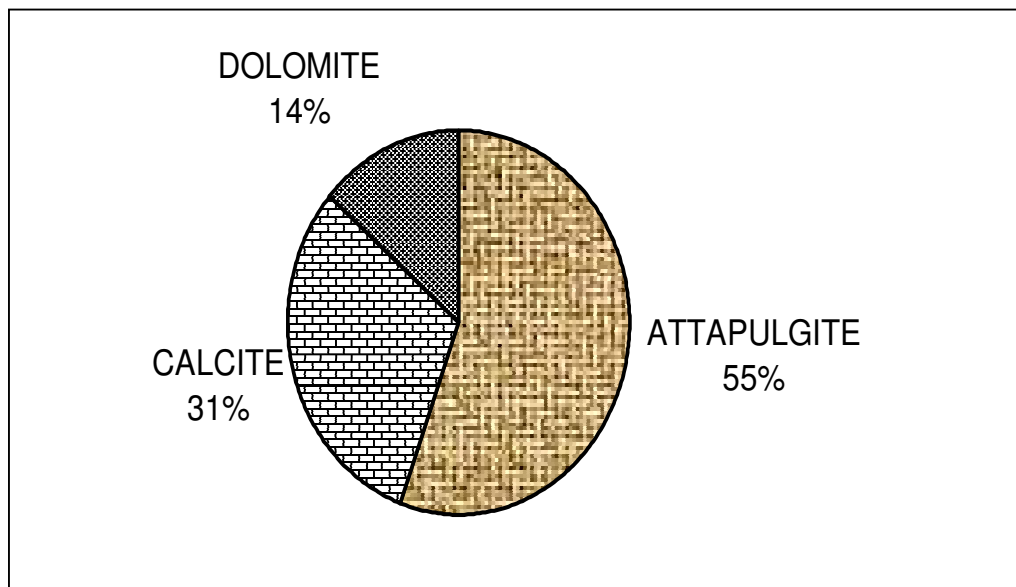


Fig.43b- Composition minéralogique de l'échantillon S48

III. ETUDE GEOCHIMIQUE

III.1. Etude par fluorescence aux rayons X (FRX)

III.1.1. Objectif

L'analyse par fluorescence aux rayons X est une méthode physique non destructive qui permet le dosage des éléments dont le numéro atomique est supérieur à 10, et par conséquent, elle a été utilisée dans notre cas afin de déterminer la composition chimique (éléments majeurs) des différents échantillons examinés.

III.1.2 Principe

Lors qu'un échantillon est bombardé par un faisceau primaire de rayons X, à son tour il émet un rayonnement de fluorescence secondaire caractéristique des éléments qui le constituent et qui ont été excités. Ce rayonnement est dirigé par l'intermédiaire d'un collimateur sur un cristal analyseur plat qui pivote autour d'un axe fixe et toutes les radiations élémentaires sont aussi diffractées à tour de rôle en fonction de leur longueur d'onde suivant la relation de Bragg : $n\lambda = 2d \sin\theta$ (Fig. 44)

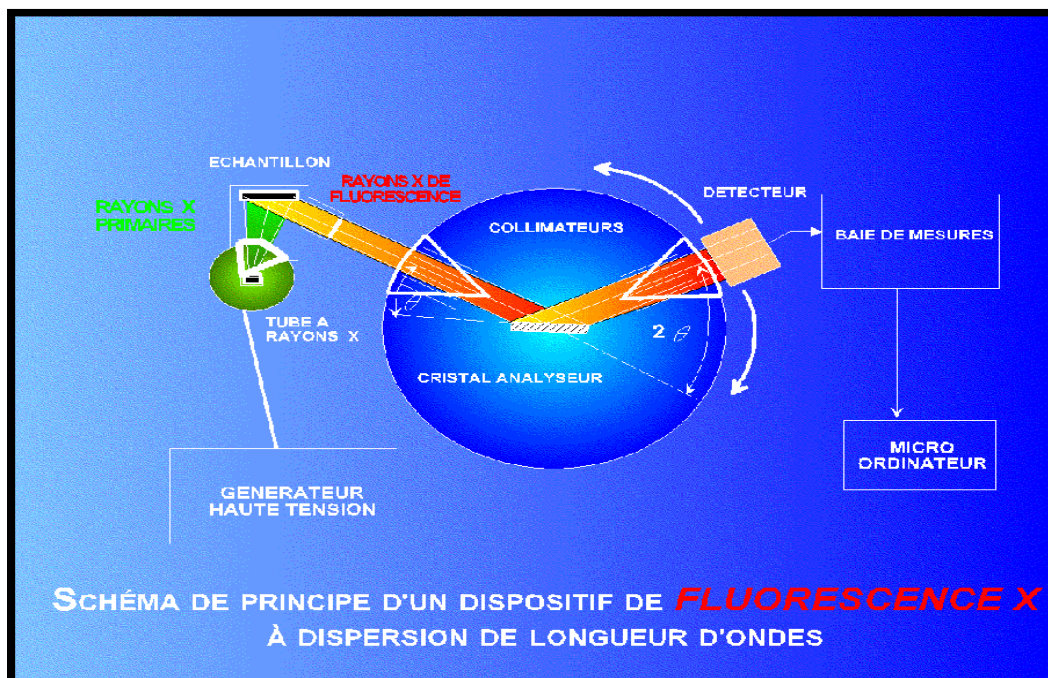


Fig .44- Schéma de principe d'un dispositif de Fluorescence X à dispersion de longueur d'ondes

III.1.3. Résultats et discussions

L'analyse chimique de 10 échantillons par fluorescence X et l'exploitation des données de l'analyse chimique des sondages réalisées par l'ORGM (Tab. 05, 06 et 07) nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- a) la détermination de la composition chimique de tous les échantillons examinés.
- b) la confirmation de la composition minéralogique
- c) la délimitation de la puissance réelle de la couche d'attapulгите.
- d) le comportement des éléments majeurs entre eux.
- e) la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur.
- f) la variation des éléments majeurs en fonction des profils des sondages.

a) Détermination de la composition chimique des échantillons examinés

L'analyse chimique des différents échantillons analysés soit par L'ORGM soit par nous même a donné les résultats suivants (tableaux 2 ,3 ,4)

TAB.05- Données de quelques analyses chimiques effectuées au labo du département de géologie (U.B.M.A)

N°de l'échantillon	Composition chimique %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Paf
S13	10,87	1,79	0,99	0,04	4,46	50,85	-	0,08	0,04	0,12	30,2
S37	25,4	4,73	2,38	0,08	7,09	22,27	-	0,46	0,08	0,33	36,2
S6A	7,43	1,61	0,75	-	7,93	45,27	-	0,29	0,35	-	35,9
S6B	14,89	2,54	1,35	-	11,49	35,49	-	0,45	0,18	0,19	32,9
S6C	10,18	1,68	0,92	-	3,96	53,57	-	0,26	0,16	0,13	28,4
S9A	35,5	7,27	3,2	0,11	8,84	21,84	-	0,6	0,06	0,4	22,35
S9B	35,8	7,66	2,93	0,09	9,68	9,68	-	-	0,77	0,42	26,36
S9C	46,34	10,05	2,2	0,13	11,2	11,2	-	1,01	0,1	0,53	17,4

TAB.06- données des sondages secteur Rhoufi I

N° sondage	Altitude Z	profondeur (m)	intervalle échantillonné		puissance de la couche d'attapulгите Echantillonnée (brute)	composition chimique (éléments majeurs)					
			DE	A		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
S1	754,75	14	7,4	12,8	5,4	27,66	5,32	2,32	23,99	9,87	29,73
S2	771,93	34,9	29,5	34,6	5,1	23,20	4,54	2,05	26,81	8,67	32,98
S3	773,9	44,2	37,8	42,8	5	25,90	5,40	2,32	23,93	8,84	31,93
S4	764,52	25,1	21,1	24,4	3,3	28,64	4,59	3,15	25,28	8,27	28,78
S5	777,57	61,2	38,5	44,2	5,7	26,97	3,58	2,09	26,52	9,57	30,57
S6	759,87	18,7	9,7	14,1	4,4	24,21	4,27	2,10	28,00	8,73	32,09
S7	765,19	30,1	16,2	20,6	4,4	22,50	5,26	2,10	27,70	9,46	30,30
S8bis	765,1	29,2	19,1	26	6,9	22,50	5,21	1,87	25,61	7,74	33,06
S9	746,14	12,3	5,4	10,9	5,5	30,68	4,86	2,37	23,53	8,85	28,23
S10	770,43	42,3	34,8	38,7	3,9	24,93	4,78	4,17	26,17	8,92	30,12
S11	772,37	50,5	41,4	46,4	5	16,01	2,96	2,05	33,44	9,09	35,78
S12	752,99	42,8	26,5	32,4	5,9	16,11	2,64	1,61	33,23	9,24	36,17
S13	741,36	26,8	7,7	9,7	2	20,39	4,28	1,36	31,60	8,24	32,41
S14	748,08	37,4	19,8	20,9	1,1	17,17	2,44	1,19	35,77	6,47	35,03
S16	746,94	18,6	12,5	15	2,5	25,64	5,25	2,23	23,68	8,89	31,98
S17	750,89	28,2	20,8	24,5	3,7	15,52	1,66	1,39	35,22	7,99	35,42
S18	758,56	49,4	33,8	39,3	5,5	18,36	3,67	1,43	31,10	7,77	35,95
S20	775,28	38,3	37,5	38,3	0,8	18,04	3,39	1,41	34,76	5,52	35,70
S21	777,99	49,6	45,8	49,6	3,8	18,55	4,09	1,46	27,84	8,18	35,42
S22	762,5	48	35,8	37,3	1,5	16,42	2,95	1,09	36,54	5,58	34,51
S24	743,13	13	6,9	11,4	4,5	22,29	3,72	1,89	31,60	9,34	33,63
S25	748,03	24,9	18,4	20	1,6	16,79	1,98	1,47	36,61	6,16	35,78
Moyenne					3,98	21,75	3,95	1,96	29,50	8,24	32,98

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TAB.07- données des sondages secteur Rhoufi II

N° sondage	Altitude Z	profondeur (m)	intervalle échantillonné		puissance de la couche d'attapulgite échantillonnée (brute)	composition chimique (éléments majeurs)					
			DE	A		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
S28	756,57	29,2	26,1	27,7	1,6	14,78	2,75	0,99	37,11	6,00	35,38
S32	745,18	21,2	15,5	17	1,5	16,53	3,00	1,21	36,20	5,83	34,72
S33	753,88	23,7	21	22	1	15,00	3,58	1,42	36,74	5,45	34,47
S36	751,1	28,7	23,2	25	1,8	14,15	2,15	1,28	37,88	6,50	36,32
S37	746,24	28,6	21,8	23,4	1,6	17,00	2,96	1,55	34,82	6,88	34,88
S41	749,82	23,2	19,2	31,3	12,1	18,84	3,87	1,61	31,66	8,66	33,62
S42	761,95	37,8	35,8	37,4	1,6	15,28	2,74	1,34	36,52	7,08	35,66
S47	744,45	28,3	13,9	15,3	1,4	24,18	4,99	1,94	28,81	7,06	29,90
S48	747,53	34,4	22,9	24,5	1,6	19,30	3,51	1,47	33,39	6,70	32,76
S52	740,51	16,3	13,8	15,4	1,6	19,20	3,64	1,81	32,73	7,65	33,84
S56	745,65	25,6	18,2	19,9	1,7	18,18	3,60	1,41	33,98	6,62	33,59
S57	753,3	35,2	30,2	31,6	1,4	16,97	3,52	2,28	35,06	6,99	33,92
Moyenne			21,8	24,21	2,41	17,45	3,36	1,53	34,57	6,78	34,09

b) Relation avec la composition minéralogique

Les résultats obtenus par analyse chimique ont tous confirmé la présence des éléments chimiques entrant dans la composition minéralogique des minéraux présents et surtout pour les éléments ayant des pourcentages significatifs à savoir :

- ✓ le Si, Fe, Al, Mg et Ti : entrant dans la composition chimique de l'Attapulгите
- ✓ le Ca : entrant dans la composition chimique de la calcite, de la dolomite et du gypse
- ✓ le Mg : entrant dans la composition chimique de la l'Attapulгите et de la dolomite
- ✓ le S entrant dans la composition chimique du gypse.

On note aussi que le pourcentage des éléments chimiques est proportionnel avec les résultats des analyses minéralogiques et semi quantitatif de la fraction minérale présente dans les échantillons analysés

Exemple : l'analyse chimique et minéralogique des échantillons S06A, S06B et S06C représentant respectivement la partie supérieure médiane et inférieure de la couche d'attapulгите dans le sondage S06 a donné les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessous (TAB .08) : on remarque que l'évolution des pourcentages des éléments chimiques est proportionnel avec celui de la composition minéralogique

La variation du taux du SiO₂ et Al₂O₃ coïncide avec la variation du taux de l'attapulгите, celui de CaO avec la calcite et celui du MgO/CaO avec celui de la dolomite (Fig 45 et 46).

Tab.08- Composition chimique et minéralogique de la couche d'attapulгите dans le sondage S06

N° ECH	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Attapulгите	Calcite	Dolomite
S6A	7,43	1,61	7,93	45,27	4,32	30,98	64,71
S6B	14,89	2,54	11,49	35,49	15,98	22,02	62,00
S6C	10,18	1,68	3,96	53,57	2,25	81,60	16,15

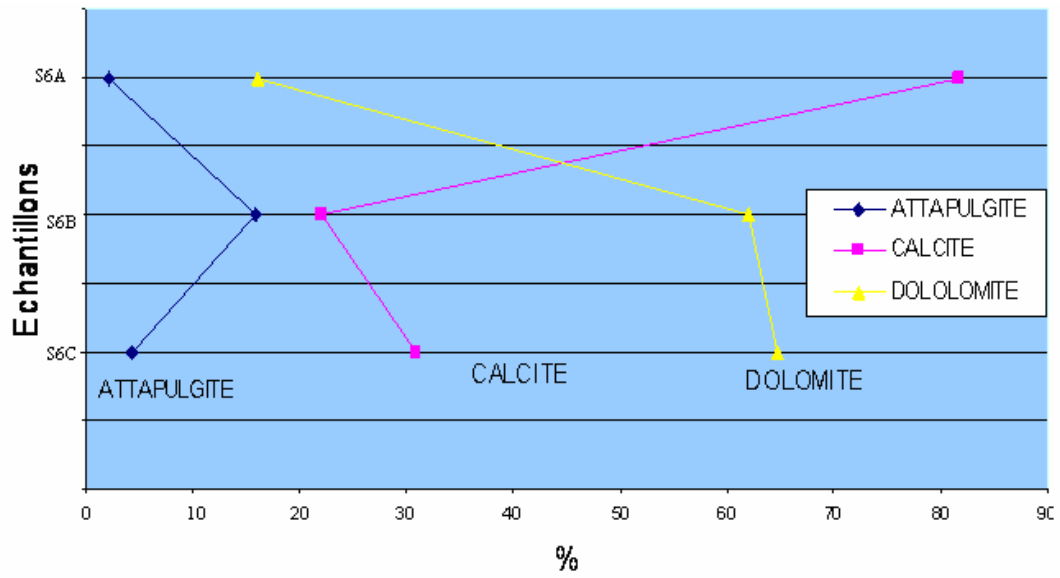


Fig.45-Variation de la composition minéralogique de la couche d'attapulgite dans le sondage S06 06

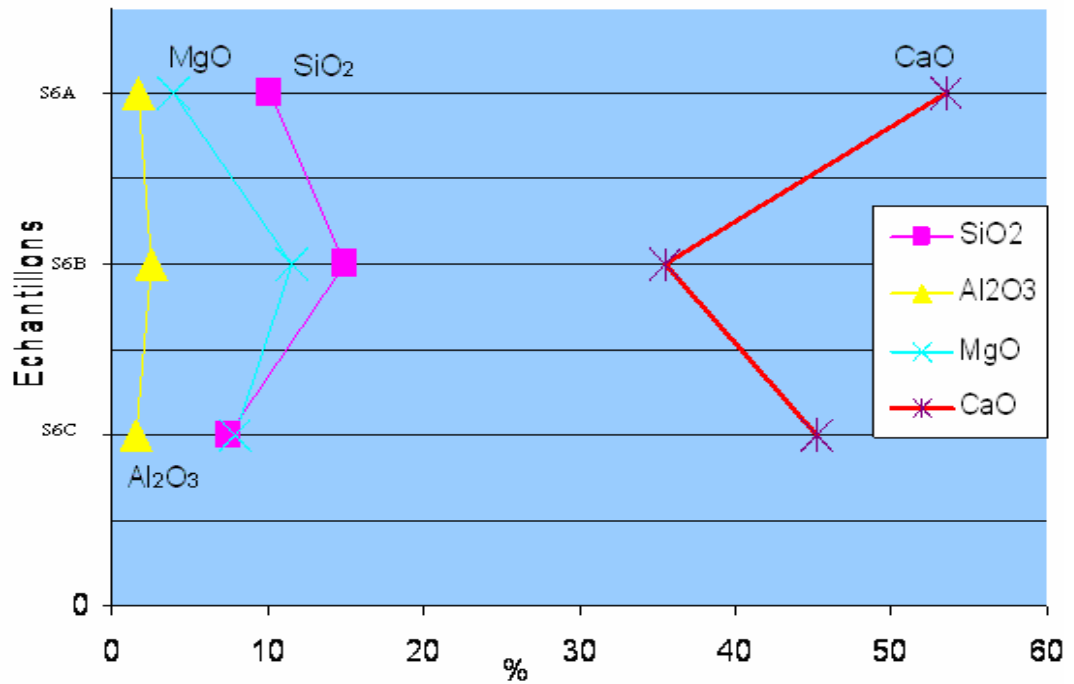


Fig.46-Variation de la composition chimique de la couche d'attapulgite dans le sondage S06

c) La variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur

Dans tous les sondages ayant recoupé la couche d'attapulгите, on a remarqué que les éléments entrant dans la composition chimique de la fraction argileuse (Si,Fe,Al,Mg,Ti) présente une courbe parabolique qui commence par des teneurs faibles vers le toit de la couche, atteignant leur maximum vers la partie médiane et décroissent à nouveau vers le mur de la couche.

Au contraire le Cao présente une courbe parabolique inverse à la première dont les valeurs décroissent vers la partie médiane de la couche

Ce comportement des éléments chimiques nous conduit à conclure que la partie riche en attapulгите se situe dans la partie médiane de la couche échantillonnée. (Fig 47 et 48.)

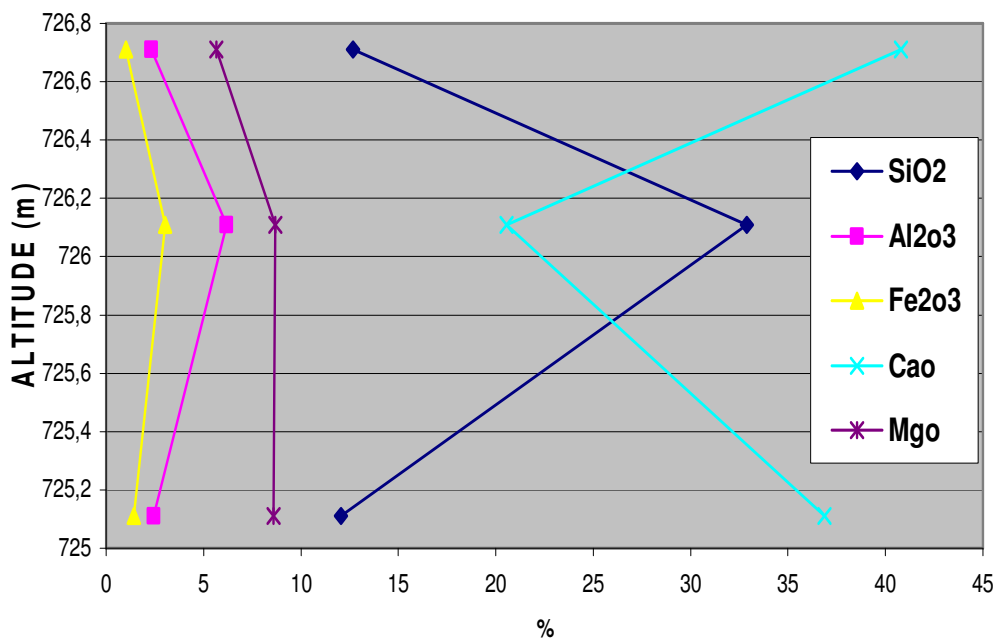


Fig.47 : Evolution des éléments majeurs en fonction de l'Altitude dans le sondage (S52) secteur Rhoufi II

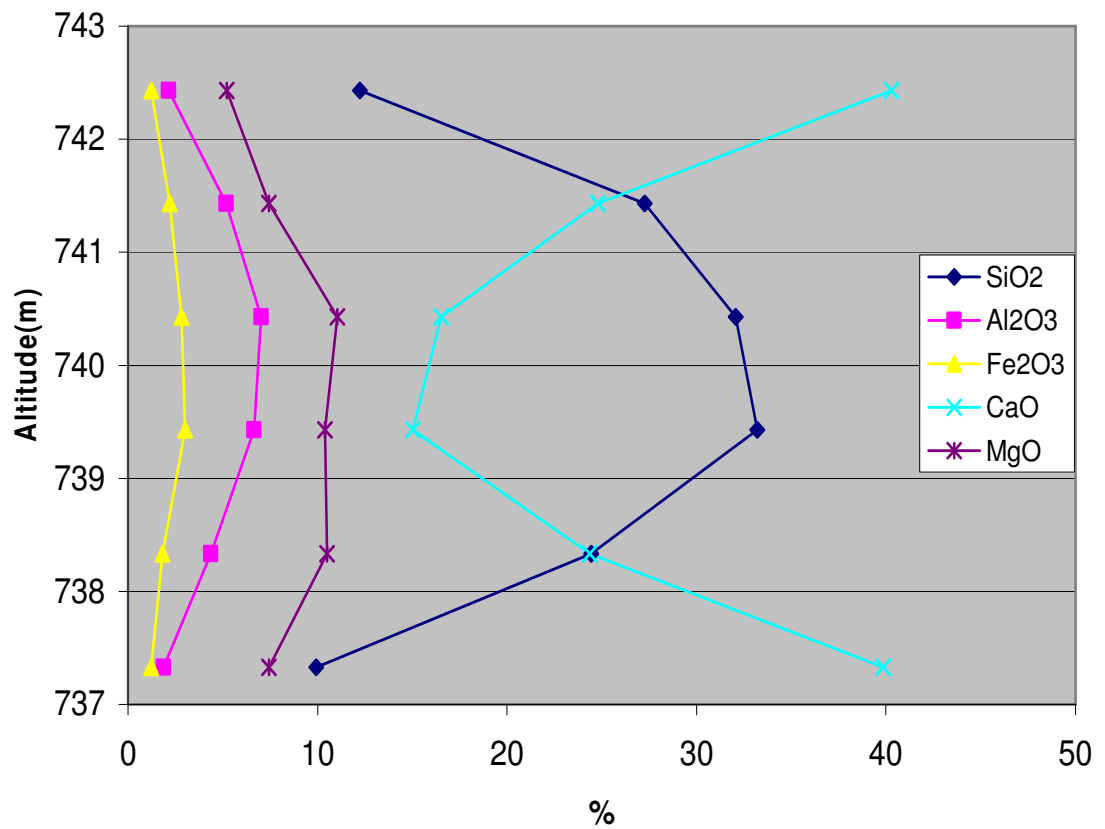


Fig.48 : Evolution des éléments majeurs en fonction de l'Altitude dans le sondage (S02) secteur Rhoufi II

d) Le comportement des éléments majeurs entre eux.

Tab.09-Matrice de corrélation (entre les éléments majeurs dans le secteur Rhoufi I)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
SiO ₂	1				
Al ₂ O ₃	0,827553715	1			
Fe ₂ O ₃	0,736917402	0,71249149	1		
CaO	-0,922316386	-0,84625459	-0,70722398	1	
MgO	0,432682255	0,38639193	0,35471015	-0,58659381	1

Tab .10-Matrice de corrélation (entre les éléments majeurs dans le secteur Rhoufi II)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
SiO ₂	1				
Al ₂ O ₃	0,981640152	1			
Fe ₂ O ₃	0,911038252	0,91169608	1		
CaO	-0,966537586	-0,9579994	-0,91033458	1	
MgO	0,397442225	0,40329705	0,48480507	-0,60835322	1

Tab.11-Matrice de corrélation (entre les éléments majeurs dans tout le secteur Rhoufi)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
SiO ₂	1				
Al ₂ O ₃	0,857464038	1			
Fe ₂ O ₃	0,767993721	0,74373548	1		
CaO	-0,93073819	-0,86466568	-0,74641715	1	
MgO	0,453584318	0,40560693	0,40368539	-0,61449065	1

La lecture du tableau des coefficients de corrélation des éléments chimiques nous a permis de tirer les informations suivantes :

- Une corrélation positive parfaite entre le SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ ce qui s'explique d'une part par le fait que ces trois éléments font partie de la formule structurale de l'attapulgite et d'autre part l'augmentation de leur taux implique la forte présence de l'attapulgite et leur diminution indique la pauvreté de l'échantillon en fraction argileuse et sa richesse en fraction calcaro -dolomitique. (Fig.49)

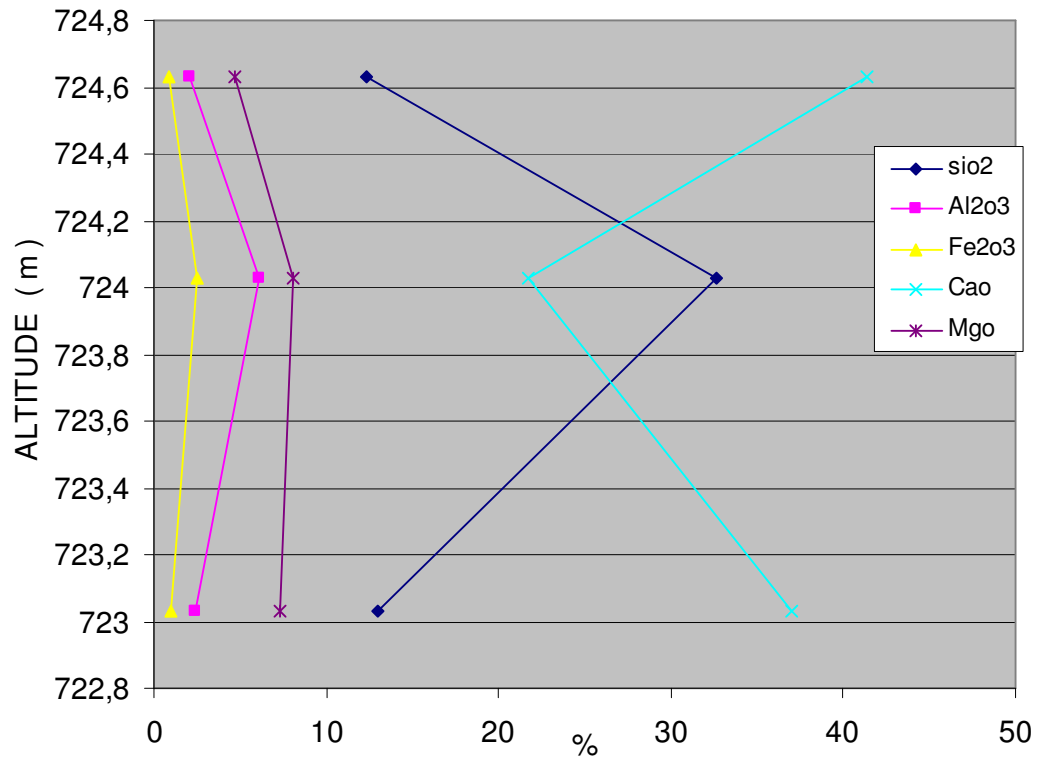


Fig.49- Evolution des éléments majeurs en fonction de l'altitude dans le sondage (S48) secteur Rhoufi II

- Une corrélation négative parfaite entre le SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ d'une part et le CaO d'autre part : Chose qui a été confirmée par l'analyse minéralogique. Ce qui explique que ces deux groupes d'éléments appartiennent à deux phases minérales différentes, où le SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ représentent la phase argileuse (attapulgite) et le CaO, la phase calcaire – dolomitique. Ceci traduit ainsi par un rapport inversement proportionnel entre la quantité d'attapulgite d'un côté et la calcite et la dolomite d'autre côté (Fig. 50)

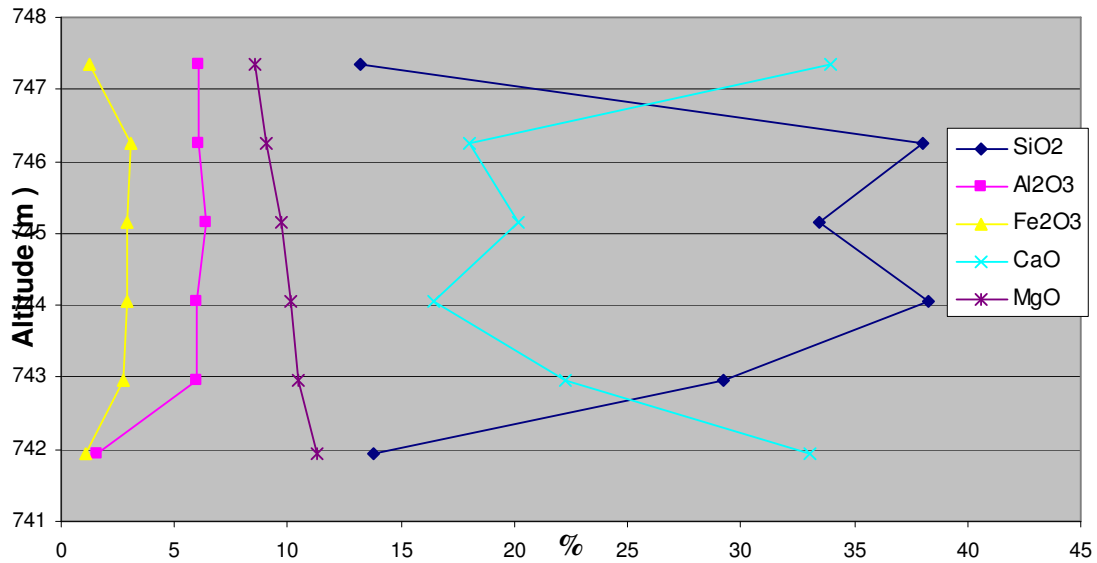


Fig.50- Evolution des éléments majeurs en fonction de la profondeur dans le sondage (S1) secteur Rhoufi I

➤ Une corrélation positive moyenne entre le SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 d'une part et le MgO d'autre part., ce qui a été expliqué par le fait que le MgO appartient à la fois à deux phases minérales, l'attapulgite et la dolomite. (Fig. 51).

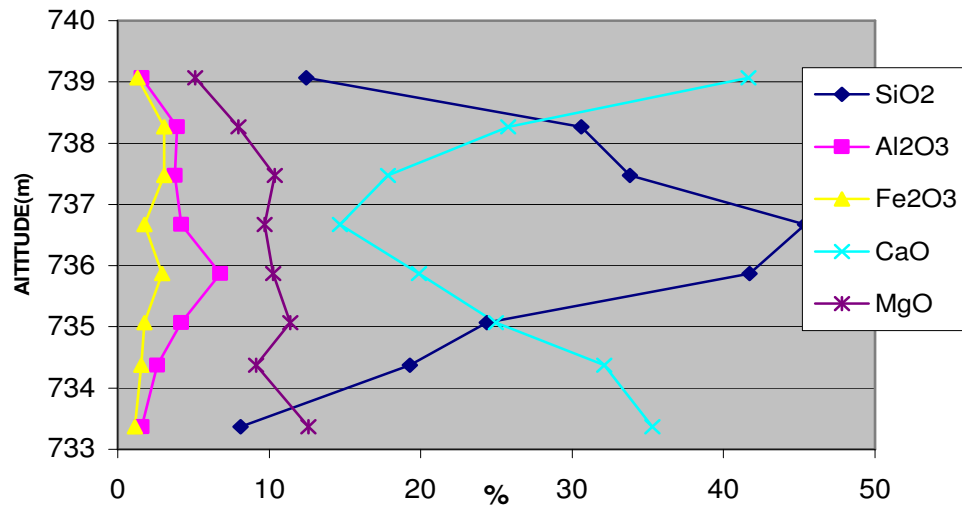


Fig.51 : Evolution des éléments majeurs en fonction de la profondeur dans le sondage (S05) secteur Rhoufi I

- Une corrélation négative parfaite entre le CaO et le MgO ce qui s'explique que ces deux éléments appartenant à deux phases minérales différentes : le premier représente la phase calcite, par contre le deuxième représente à la fois la phase attapulgite et la phase dolomite. (Fig .52)

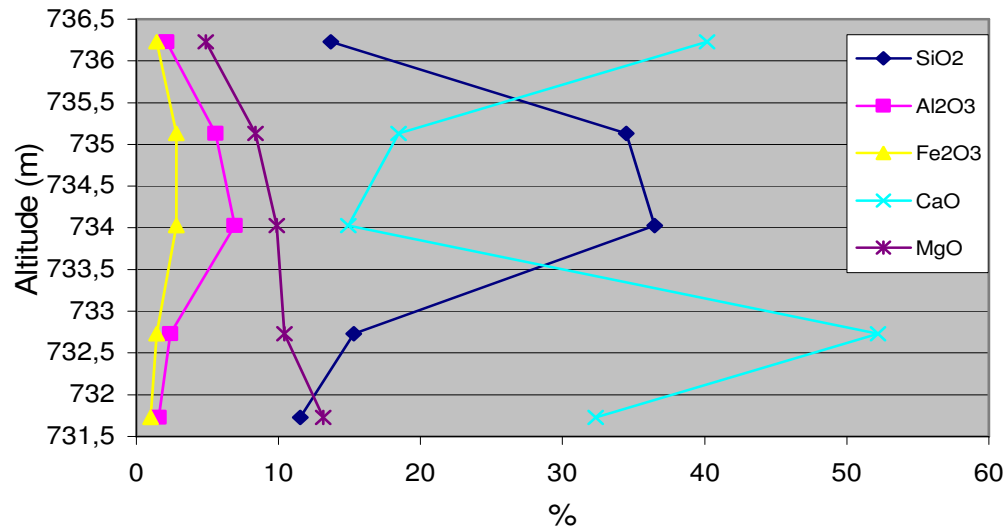


Fig .52 : Evolution des éléments majeurs en fonction de la profondeur dans le sondage (S24)

e) Variation des éléments majeurs en fonction des profils des sondages

L'étude du comportement des éléments chimiques majeurs dans le sens horizontal et suivant toutes les orientations n'a révélé aucune préférence d'évolution de ces derniers. Leur taux croît et décroît arbitrairement entre les points de sondages, mais il est à signaler que le taux des éléments majeurs représentant la phase attapulgite (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO) augmente de l'Ouest vers l'Est, par contre le taux du CaO décroît dans cette même direction. Tab N°15 et16 .

f) Délimitation de la puissance réelle de la couche d'attapulgite

Après interprétation des données (TAB : 11, 12,13et14), on a pu délimiter la couche d'attapulgite. Seules les intervalles contenant plus de 25% de SiO₂ et moins de 25% de CaO ont été pris en considération. Le taux de ce dernier peut être réduit soit par attaque à l'HCl ou par d'autres méthodes de purification.

TAB. 12- Données des sondages secteur Rhoufi I

puissance moyenne de la couche brute d'attapulgite échantillonné (m)	composition chimique (éléments majeurs)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
3,98	21,75	3,95	1,96	29,50	8,24	32,98

TAB.13- Données des sondages secteur Rhoufi II

puissance moyenne de la couche brute d'attapulgite échantillonné (m)	composition chimique (éléments majeurs)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
2,41	17,45	3,36	1,53	34,57	6,78	34,09

TAB.14- Données des sondages secteur Rhoufi I

puissance moyenne de la couche d'attapulgite (m)	composition chimique (éléments majeurs)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
2,21	31,44	5,61	2,72	21,16	9,04	30,60

TAB.15- Données des sondages secteur Rhoufi II

puissance moyenne de la couche d'attapulgite (m)	composition chimique (éléments majeurs)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
0,69	27,33	5,42	2,33	26,12	7,40	28,80

TAB.16- Données des sondages secteur Rhoufi I

N° sondage	Altitude Z	profondeur (m)	Intervalle minéralisé		puissance de la couche d'attapulгите	composition chimique (éléments majeurs)					
			DE	A		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
S1	754,75	14	7,4	11,8	4,4	34,75	6,09	2,90	19,24	9,84	29,73
S2	771,93	34,9	29,5	33,6	4,1	29,25	5,81	2,47	20,18	9,84	30,53
S3	773,9	44,2	37,8	41,8	4	33,05	6,64	2,92	16,64	9,73	28,82
S4	764,52	25,1	21,1	24,4	3,3	34,73	5,59	3,67	19,30	9,5	25,62
S5	777,57	61,2	38,5	42,5	4	35,18	4,56	2,52	20,63	9,94	26,45
S6	759,87	18,7	9,7	12,7	3	33,15	5,97	2,69	21,04	9,08	27,23
S7	765,19	30,1	16,21	19,1	2,89	32,05	5,85	2,60	19,03	11,21	27,86
S8bis	765,1	29,2	20,1	24	3,9	32,94	7,10	2,86	15,30	10,00	28,8
S9	746,14	12,3	5,4	9,9	4,5	36,35	5,51	2,78	18,87	9,44	25,35
S10	770,43	42,3	34,8	37,7	2,9	33,19	6,19	5,03	18,88	9,91	25,58
S11	772,37	50,5	41,4	41,9	0,5	28,7	5,85	3,29	25,65	7,54	28,5
S12	752,99	42,8	26,5	27	0,5	31,5	5,22	3,02	25,94	11,25	68,67
S13	741,36	26,8	7,7	8,9	1,2	33,33	6,84	2,15	19,97	9,41	32,41
S14	748,08	37,4	20,4	20,9	0,5	29,8	3,92	2,22	25,14	9,03	29,2
S16	746,94	18,6	12,5	14,9	2,4	34,24	6,57	2,92	13,585	9,86	28,06
S17	750,89	28,2	20,8	21,8	1	23,86	3,98	2,1	25,59	8,4	29,63
S18	758,56	49,4	33,8	34,3	0,5	27,93	5,18	2,41	23,08	7,48	31,23
S20	775,28	38,3	37,5	38,3	0,8	24,87	4,65	1,81	28,34	6,05	33,35
S21	777,99	49,6	45,8	46,8	1	32,13	6,53	2,72	16,97	9,02	28,97
S22	762,5	48	35,8	36,3	0,5	26,4	5,2	1,9	28,74	5,8	29,93
S24	743,13	13	6,9	9,1	2,2	35,47	6,245	2,82	16,68	9,125	27,6
S25	748,03	24,9	18,4	19	0,6	28,8	3,85	2,11	26,82	7,41	29,6
Moyenne					2,21	31,44	5,61	2,72	21,16	9,04	30,60

TAB.17- Données des sondages secteur Rhoufi II

N° sondage	Altitude Z	profondeur	intervalle minéralisé		puissance de couche d'attapulгите	composition chimique (éléments majeurs)					
			DE	A		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Paf
S28	756,57	29,2	26,1	26,7	0,6	22,9	4,6	1,72	31,19	5,8	30,85
S32	745,18	21,2	15,5	16	0,5	27,5	5,4	2,07	26,99	6,5	28,74
S33	753,88	23,7	21	22	1	15	3,58	1,42	36,74	5,45	34,465
S36	751,1	28,7	23,2	24	0,8	21,84	3,74	1,81	31,18	6,60	32,8
S37	746,24	28,6	21,8	22,4	0,6	28,88	5,53	2,42	23,6	8,48	28,8
S41	749,82	23,2	19,2	20	0,8	30,89	6,47	2,42	22	8,89	26,71
S42	761,95	37,8	35,8	36,4	0,6	24,93	4,62	2,01	28,12	8,07	30,51
S47	744,45	28,3	13,9	15,1	1,2	34,75	7,55	2,83	19,28	8,17	24,29
S48	747,53	34,4	22,9	23,5	0,6	32,6	6,07	2,55	21,73	8,06	25,31
S52	740,51	16,3	13,8	14,4	0,6	32,9	6,17	3,02	20,54	8,7	26,57
S56	745,65	25,6	17,6	18,2	0,6	30,3	6,4	2,52	24,68	6,45	27,14
S57	753,3	35,2	30,2	30,6	0,4	25,47	4,89	3,22	27,39	7,65	29,41
Moyenne					0,69	27,33	5,42	2,33	26,12	7,40	28,80

III.2. Essai de purification de la fraction argileuse (Attapulгите de Rhoufi)

L'analyse chimique et minéralogique de la fraction argileuse de Rhoufi ont montré qu'il s'agit bien d'une Attapulгите mais caractérisé par un excès de CaO. Ce dernier s'explique par la présence d'une grande quantité de calcite et de dolomite, influençant sur sa qualité. Pour cette raison son utilisation comme étant un produit minier nécessite un traitement préalable, afin de neutraliser cet excès et améliorer ses propriétés (rhéologiques).

III.2.1. Méthodes de traitement

III.2.1.1. Traitement mécanique ou par densité

Cette méthode est basée sur la séparation de la fraction argileuse par sédimentation ; après broyage modéré et tamisage de l'échantillon brut on procède à sa dispersion dans l'eau pure, afin de mettre les argiles en suspension, celles-ci sont extraites de la partie supérieure de la suspension après un temps de sédimentation défini de manière à ne récupérer que les particules inférieures à une dimension généralement inférieure à 2μ .

Cette méthode ne s'applique que si :

- a) L'on peut obtenir une suspension stable dans laquelle les argiles bien dispersées ne flocculent pas ;
- b) Les argiles peuvent être libérées par désagrégation ou broyage de la roche.

Ces conditions ne peuvent généralement pas être remplies en présence des minéraux tels que les carbonates, les sulfates, qui libèrent dans la suspension des cations bivalents (Ca, Mg), lesquels vont entraîner la floculation des argiles, et leur séparation mécanique est généralement impossible car les argiles sont intimement liées à ces minéraux.

Devant ces difficultés cette méthode ne donne pas de bons résultats de purification ni dispersion, mais c'est une étape indispensable au moins pour la séparation granulométrique.

III.2.1.2. Méthode de traitement chimique

Cette méthode consiste au traitement de la fraction issue de la phase précédente (Fraction aspirée) par une attaque à l'acide chlorhydrique (HCl dilué à 10% utilisé à froid.)

III.2.1.3.Résultats obtenus

Malgré l'agressivité des acides vis-à-vis des minéraux argileux et la probabilité de la destruction de leur structure, cette méthode de traitement a donné et après plusieurs reprises des résultats acceptables en réduisant le taux de CaO de 11,5 % à 0,75 %.

III.2.2.Méthodes de traitement suggérées

III.2.2.1.L'utilisation des résines échangeuses de cations (AmberliteIRC-50H):

Devant l'impossibilité de purification des échantillons d'attapulgite par la le traitement mécanique ou par densité et l'agressivité des acides envers eux, dans le cas des traitements chimiques.

L.loyd (1954) Ray et al (1957) et A. Chahi et al (1993) ont mis au point une méthode de traitement sélectif avec les résines échangeuses des cations (REC) (Fig .53) .Cette méthode a montré son efficacité non seulement dans la purification des argiles contenant des carbonates, des sulfates et des phosphates, mais favorise aussi la dispersion des suspensions instables et l'amélioration des propriétés rhéologiques des argiles traitées.

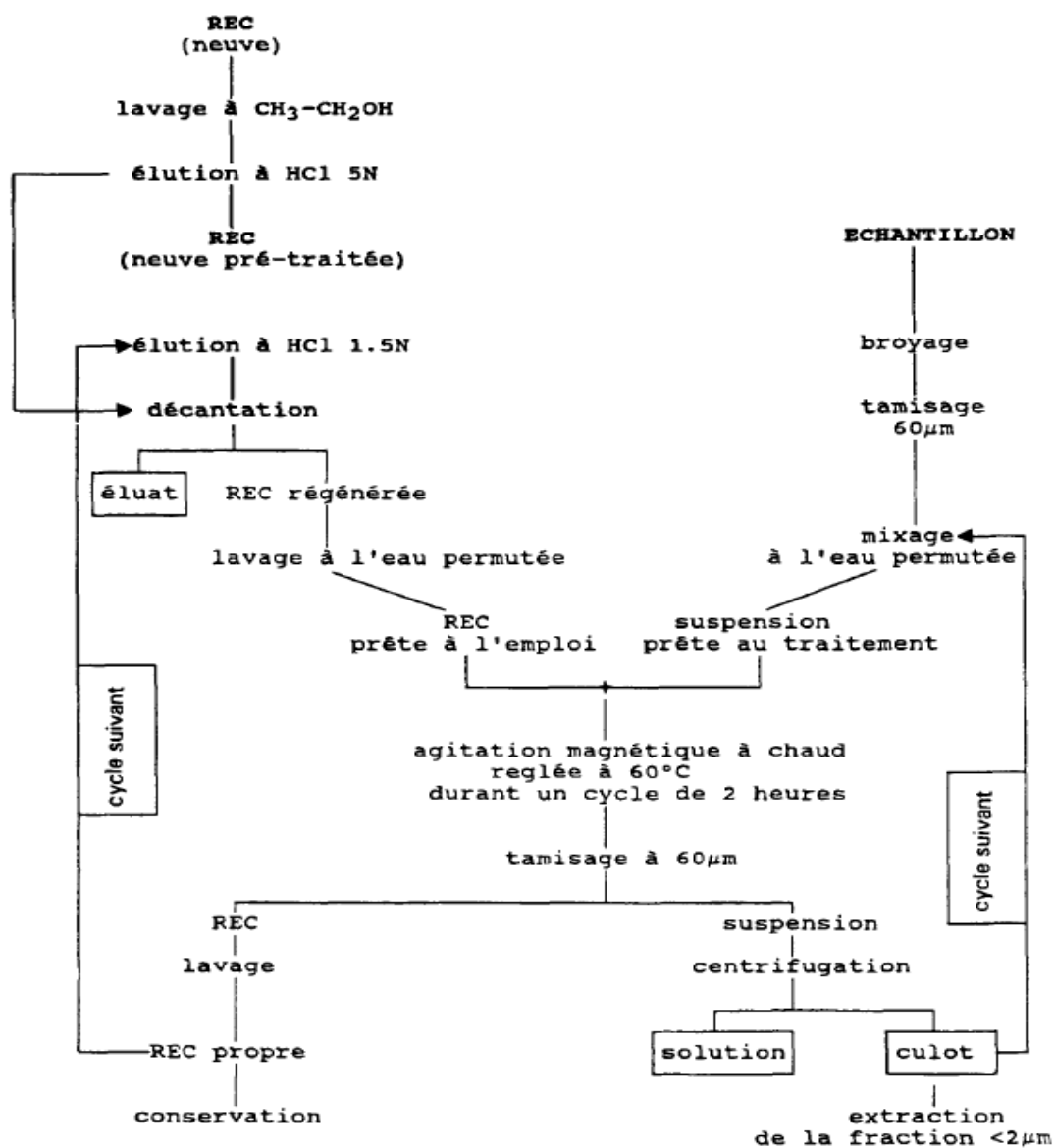


Fig .53- Protocole expérimental de dispersion et de purification des argiles avec les résines échangeuses de cations. (Chahi et al ,1993)

III.2.2.2. Evaluation des résultats de cette méthode

L'utilisation de cette méthode a prouvé son excellente efficacité et a montré :

- Une très bonne dispersion des suspensions, que la floculation soit due à la présence des phosphates, des carbonates, de sulfates, ou même à la nature des argiles ;
- Une bonne purification des argiles et la disparition de la calcite et le gypse dès le premier cycle de 02 heures et l'élimination de la dolomite après 3 à 4 cycles ;
- La non agressivité de la REC vis à vis des argiles car le traitement se déroule sous un pH d'environ 6.0 équivalent à celui de l'eau permutée, où la concentration protonique est trop faible pour que le proton H^+ libre puisse pénétrer et détruire la fraction argileuse ;
- Que la REC a une grande affinité pour les cations Ca et Mg c'est pour cela qu'elle attaque préférentiellement les minéraux non argileux contenant ces cations et qui à leur tour jouent un rôle protecteur pour la fraction argileuse, pour cette raison qu'il faut arrêter le traitement dès que la suspension devienne stable.

Vu l'indisponibilité de cette matière dans le marché local, cette méthode n'a pu être essayé au cours de ce travail. Vu les résultats satisfaisants exposés ci-dessus et la nécessité du traitement de l'attapulgite de Rhoufi pour qu'elle soit d'une valeur marchande, on propose le traitement de cette argile par cette méthode.

IV.ETUDE CRISTALLOCHIMIQUE

IV.1.Etude par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR)

IV.1.1. Objectif

La spectroscopie infrarouge est une technique essentielle pour l'étude des argiles. Elle est utilisée pour compléter les résultats des analyses chimiques et minéralogiques obtenus par les autres méthodes, ceci par l'étude essentiellement des bandes d'absorption des ions OH⁻ qui a leur tour donnent des indications précieuses sur le type des feuillets, le caractère di ou tri octaédrique, la nature des ions et le taux d'occupation des cavités octaédriques.

Pour notre cas l'utilisation de cette méthode se limite à la confirmation de la composition minéralogique et la détermination du caractère di ou tri octaédrique des échantillons analysés.

IV.1.2. Principe de la méthode

La spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau. (Fig .54)

Pour le cas d'étude des argiles, l'échantillon absorbe le rayonnement infrarouge selon les fréquences des vibrations des ses composés cristallins (OH, Si, Al, Fe) dans les Tétraèdres, (Mg) dans les Octaèdres. L'énergie absorbée est reportée en fonction de la fréquence des rayonnements.

La position des pics dans le diagramme est caractéristique des liaisons atomiques par exemple pour le groupement OH, la position de la bande d'absorption va dépendre du type de feuillet (di- ou tri octaédrique) de la nature des cation dans le site octaédrique et du son taux d'occupation.

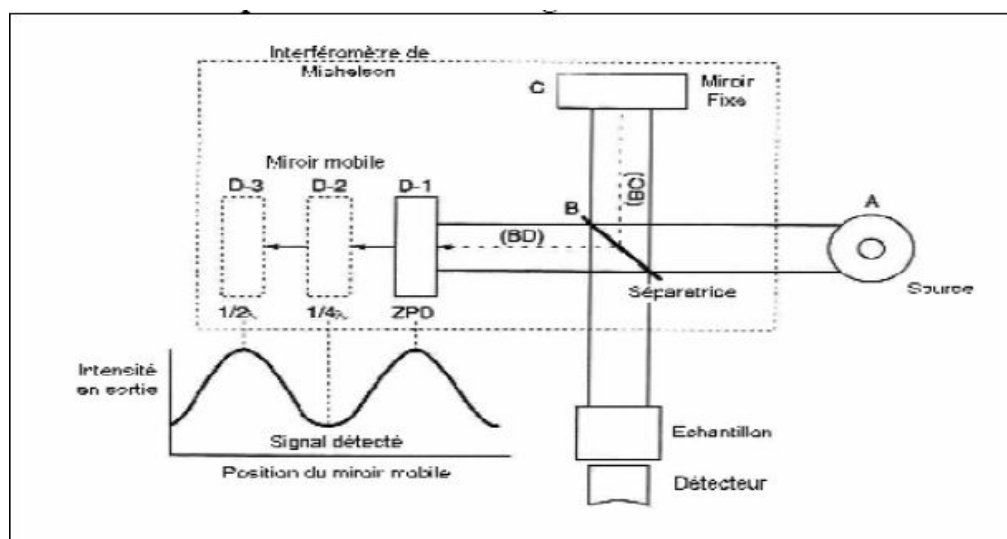


Fig.54- Schéma d'un spectromètre infrarouge à Transformée de Fourier.

IV.1.3. Préparation de l'échantillon

L'échantillon à analyser se présente sous forme de pastille composée de 0,04 g d'argile (fraction aspirée et traitée par HCl) et 0,16g de bromure de potassium (Kbr).

- **Confection de la pastille**

On place la quantité de Kbr avant son utilisation au dessiccateur pendant 24 heures pour qu'elle se débarrasse de son eau, et qu'elle n'absorbe pas l'humidité de l'air.

Après pesage (0,04 g d'argile et 0,16g de Kbr), on procède à la dispersion complète de l'échantillon dans le Kbr, en fin on place le mélange sous pression de 12 tonnes pendant cinq (05) minutes après démoulage, on obtient une pastille prête à l'analyse.

IV.1.4. Résultats et discussions

Les argiles sont caractérisées par la complexité de leur maille cristalline et l'abondance de ses défauts structuraux ce qui rend difficile l'interprétation de leurs données obtenues par la méthode spectroscopie infrarouge.

Par conséquent et sur la base des travaux de S.Caillère (1982) l'étude des argiles par cette méthode se base surtout sur le comportement des groupes fonctionnels considérés comme des sondes spectroscopiques infrarouges locales de la structure, qui sont indépendants du squelette cristallin des minéraux. Pour cette raison on étudie les bandes d'absorption des hydroxyles

structuraux (OH⁻) qui fournissent des indications sur le caractère di ou tri-octaédrique suivant leurs bandes d'absorption que l'on peut repérer selon le cas au voisinage des valeurs suivantes :

- caractère tri octaédrique : 3680 cm⁻¹ et 650 cm⁻¹
- caractère di octaédrique : 3630 cm⁻¹ et 930 cm⁻¹

Le dépouillement des spectres des quarts (04) échantillons analysés et les résultats obtenus (tableau .18) sur la base de cette démarche citée ci-dessus nous a conduit à attribuer le caractère dioctaédrique à l'attapulgite de Rhoufi (Fig 55 et 56).

TAB.18- Valeurs des pics des bandes d'absorption des OH⁻

N° de l'échantillon	Valeurs des pics des bandes d'absorption des OH ⁻
S09A	930 cm ⁻¹
S09C	940 cm ⁻¹
S48	930 cm ⁻¹
S06	920 cm ⁻¹

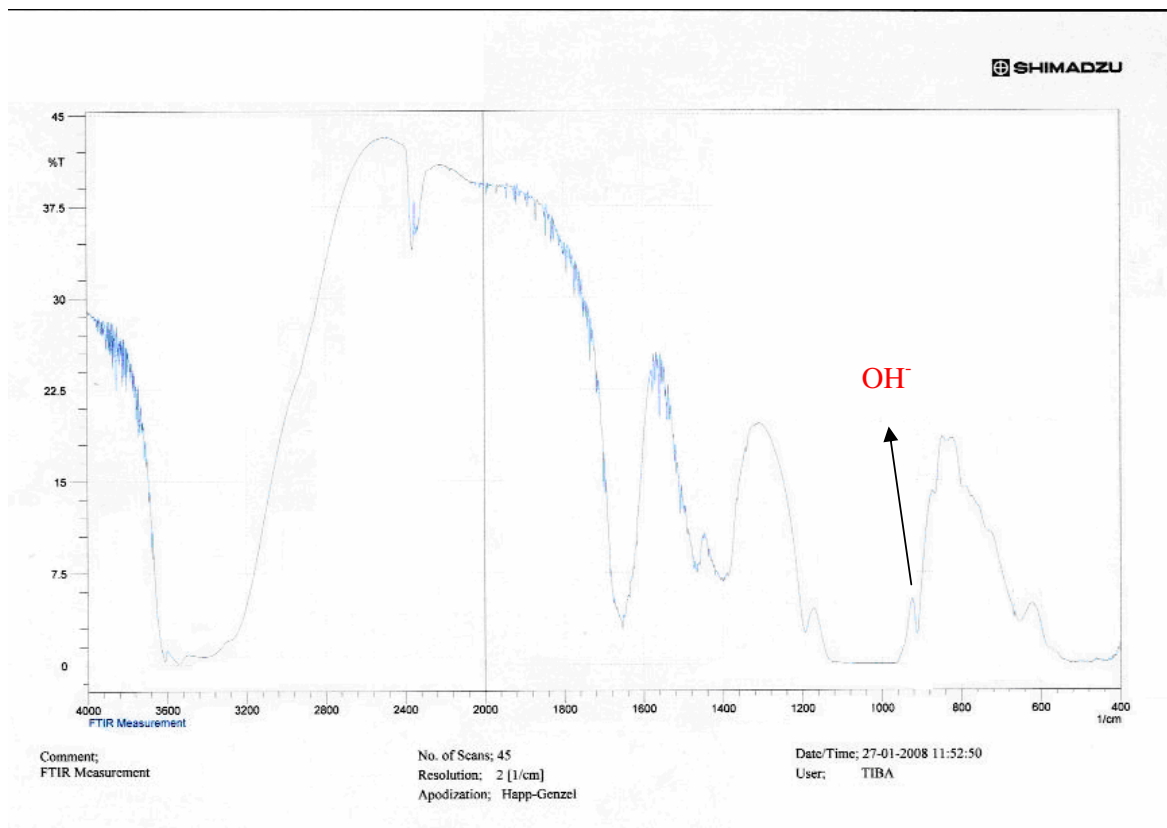


Fig.55 : Spectre (FTIR) de l'échantillon S 9A

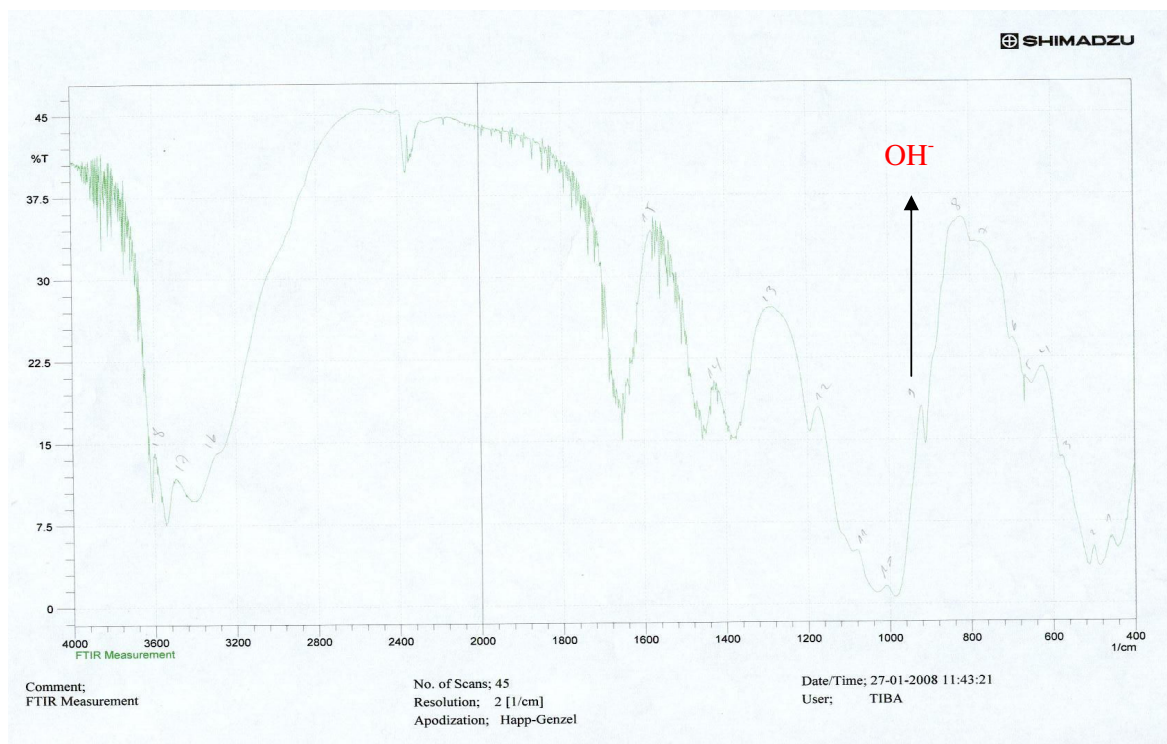


Fig .56- Spectre (FTIR) de l'échantillon S48

IV.2. FORMULE STRUCTURALE

IV.2.1.Introduction

L'attapulgite présente la formule idéale (pour une demi maille cristalline et pour un modèle tri octaédrique) suivante : $\text{Si}_8\text{Mg}_5\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4, 4\text{H}_2\text{O}$

Ce modèle structural a été déterminé, à l'aide des rayons X, par Bradley (1940) ; (cf ; Fig. 34) Toutefois, les analyses chimiques réalisées sur de nombreux échantillons (Caillère et Hénin, 1961 ; Dritz et Alexandrova, 1966; Dritz et Sokolova, 1971 ; Mifsud *et al* ,1978) mettent en évidence l'existence dans toutes les attapulgites, d'une quantité importante d'aluminium en position octaédrique. Le rapport Al/Mg varie d'un échantillon à l'autre, cependant, nous ne connaissons pas actuellement d'attapulgite purement magnésienne ou purement alumineuse. Pour tenir compte de ces remarques Dritz (1966) a proposé un nouveau modèle di octaédrique pour l'attapulgite qu'on va le confirmer dans ce présent travail. (Fig 57)

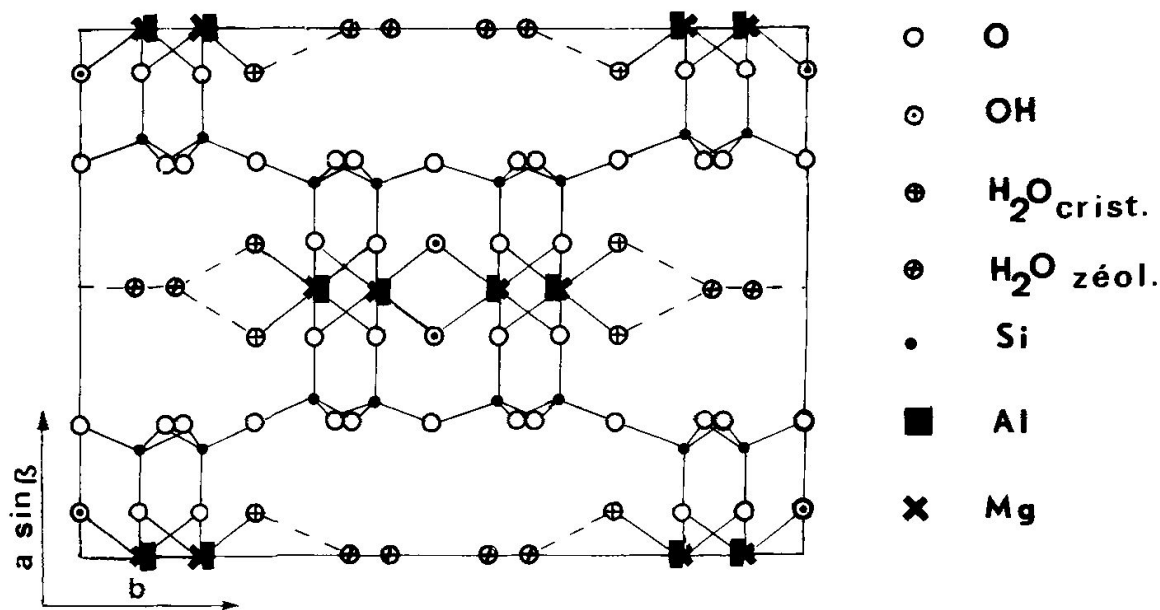


Fig.57- Structure de l'attapulgite (Dritz & Sokolova, 1971),
Modèle dioctaédrique.

IV.2.2. Calcul de la formule structurale de l'attapulgite de Rhoufi

La formule structurale de l'attapulgite de Rhoufi est :

❖ Cas où le nombre d'oxygène dans le modèle d'architecture est de 22



❖ Cas où le nombre d'oxygène dans le modèle d'architecture est de 21

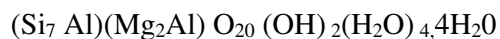


Dans les deux cas les éléments Ca et S sont probablement liés à la présence de la calcite et du gypse dans les échantillons.

IV.2.3. Conclusion

Sur la base des analyses chimiques des échantillons d'attapulgite de Rhoufi (plus ou moins purifiée) et l'interprétation des spectres de leur analyse par spectroscopie infrarouge et après calcul de leurs formules structurales on peut conclure que :

a) La formule de l'attapulgite n'est pas $\text{Si}_8\text{Mg}_5\text{O}_{20} (\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4, 4\text{H}_2\text{O}$ mais, en raison de la présence d'aluminium, nous devons utiliser préférentiellement comme modèle de formule :



b) Le taux d'occupation réel de la couche octaédrique est toujours très voisin de 4 d'une part et la détection des bandes d'absorption des groupement OH^- (930cm^{-1}) d'autres part confèrent à cette attapulgite un caractère typiquement dioctaédrique.

c) Les deux cations de Mg ainsi que les deux cations d'Al peuvent être faiblement substitués isomorphiquement par des cations Ti^{4+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{4+} . Toutefois, le taux d'occupation de la couche octaédrique reste toujours très voisin de 4.

Conclusion

L'interprétation des résultats obtenus par les différentes méthodes appliquées pour l'étude de l'indice d'attapulgite de Rhoufi ont décelé

- Qu'il s'agit bien d'une attapulgite à forte teneur en CaO dont la formule chimique idéale est, pour une demi-maille cristalline et pour un modèle di octaédrique est :



- L'association de cette argile à des minéraux de précipitation :
La calcite, la dolomite et le gypse.
- la zone la plus riche en attapulgite est localisée dans la partie médiane de la couche.
- La zone la plus perspective (puissance et teneur de la couche d'Attapulgite) est celle qui se trouve dans la partie sud du secteur I.

La possibilité de sa purification et sa valorisation pour une éventuelle utilisation industrielle soit par la méthode classique de traitement avec l'HCl dilué et à froid soit par la méthode d'utilisation des résines échangeuses de cations (AmberliteIRC-50H).

V. Mode de genèse de l'attapulгите de Rhoufi

Millot (1964) a décrit l'attapulгите comme étant un minéral argileux issu du processus de la néoformation au cours de la sédimentation basique en excluant l'héritage à partir des sols et des roches préexistantes.

Les différents travaux de recherches (Camez, 1962 ; Franc de Ferrière 1961 Paquet, Maignien et Millot 1955 ; Muir 1951 et yaalon, 1955) ont confirmé que l'attapulгите est instable en surface et par conséquent, elle ne peut être ni d'origine pédologique ni d'origine liée au remaniement des couches antérieures.

Les observations effectuées sur terrains ainsi que les résultats de l'analyse chimique, minéralogique et l'histoire paléogéographique de la région d'étude avec notamment :

- L'absence de matériel détritique au sein de la fraction argileuse ce qui traduit :
 - ✓ une stabilité tectonique
 - ✓ Une faible érosion

- L'association de l'attapulгите de Rhoufi à des minéraux de la précipitation chimique basique (calcite, dolomite et gypse). Ce qui indique :
 - ✓ La présence d'un milieu de sédimentation chimique et basique.
- La présence de la dolomite et le gypse d'une part et les fortes teneurs en MgO (5,5% à 12%) et les faibles teneurs en Al₂O₃ (5% à 7%) atteste qu'on est en présence :
 - ✓ D'une sédimentation dans un milieu lagunaire caractérisé par :
 - une faible profondeur
 - une salinité élevée (précipitation du gypse) Fig 58,59 e t60
- la présence des traces d'oxyde de fer : qui indique :
 - ✓ un milieu peu profond et oxygéné
- La forme lenticulaire de la couche d'attapulгите (amincissement de la puissance de la couche en direction du Nord et à l'Ouest
- l'engraissement de la couche d'attapulгите dans des formations du lutétien moyen qui représente une période de transition entre l'éocène marin et continental

Confirme que l'attapulgite de Rhoufi étant un minéral argileux issu du processus de la néoformation au cours de la sédimentation basique dans un milieu confiné en excluant l'héritage et la transformation à partir des sols et des roches préexistantes.

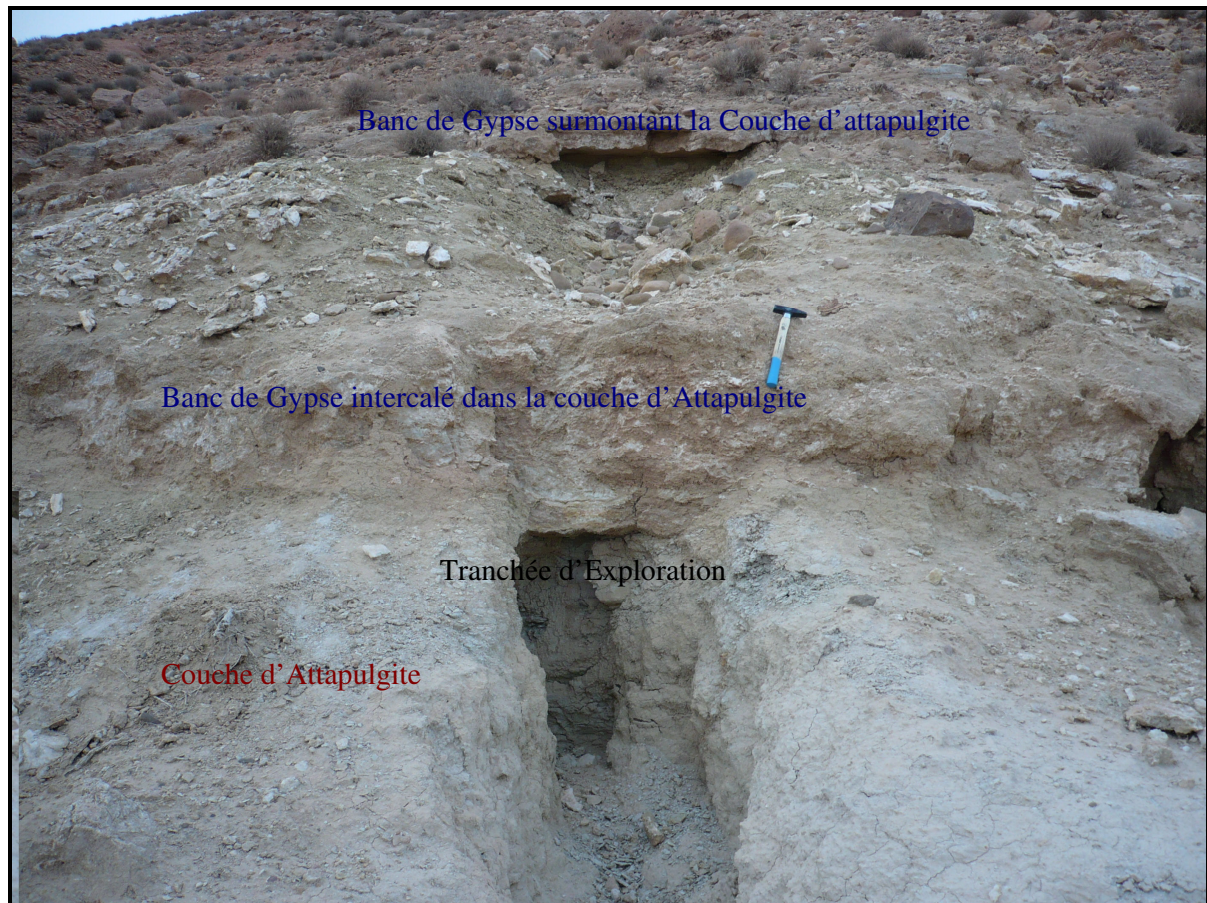


Fig. 58 - Intercalation de la couche d'attapulgite par des bancs de gypse



Fig.59- présence de banc de gypse surmontant la couche d'attapulgite



Fig. 60- L'affleurement d'un banc de gypse surmontant la couche d'Attapulgite

CONCLUSION GENERALE

Le secteur d'étude qui fait partie du synclinal de Rhassira est situé à 57 km au Nord –Est du chef lieu de la wilaya de Biskra, à 31 km au Sud de la commune d'Arris et précisément à 01 km au Nord village de Rhoufi.

Il est représenté par un massif isolé avec une dénivelée de l'ordre de 50 à 70 m, au dessus des terrains environnants.

La couche d'attapulgite de couleur jaune verdâtre à aspect feuilleté en surface et gris claire, grise, jaunâtre à aspect plus au moins massif ressemblant à des marno- calcaires est encaissée dans la partie médiane du Lutétien moyen représenté par une assise marno calcaire. Cette dernière est constituée essentiellement de marnes crayeuses et de calcaires argileux à marneux intercalés le plus souvent par des banc de calcaire et des bancs de gypse.

Le secteur d'étude est divisé en deux sous secteurs, il est exploré par 35 sondages carottants, 23 tranchées, 02puits, et 05 sondages électriques (SEV).

Le secteur (I) situé à l'Est par rapport au secteur (II) parait le plus perspectif où la couche d'attapulgite atteint son maximum de puissance réelle et sa haute qualité.

Les données des ouvrages miniers ont montré que la couche d'attapulgite est subhorizontale (pendage 2° à 5° vers le N-W) ayant une forme lenticulaire qui s'amincit suivant deux directions Nord-Sud et Est –Ouest.

L'analyse minéralogique au DRX a montré que cette couche est composée de deux associations minérales :

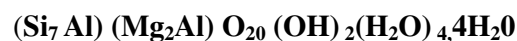
- la première constituée d'attapulgite, calcite, dolomite ;
- la deuxième d'attapulgite, calcite, dolomite et de gypse.

L'analyse chimique par Fluorescence X a montré qu'il s'agit bien d'une attapulgite mais à excès de CaO, dû à la présence de la calcite et la dolomite ce qui nécessite son traitement avant toute utilisation purement industrielle.

Les essais de purification et de traitement de cette attapulgite par la méthode d'attaque à l'Hcl dilué et à froid afin d'éliminer l'excès de CaO ont montré leur efficacités en réduisant le taux de CaO de 11,25 % à 0,75.

Suite à sa bonne réputation et sa large utilisation dans le domaine de purification des matières et l'extraction des impuretés, on préconise le traitement et la valorisation de l'Attapulgite de Rhoufi par la méthode basée sur l'utilisation des résines échangeuses de cations (AmberliteIRC-50H).

L'analyse de cette argile par spectroscopie infrarouge à transformé de Fourier et le calcul de sa formule structurale nous ont permis de confirmer qu'il s'agit bien d'une attapulgite dont la formule cristallographique idéale est, (pour une demi maille cristalline et pour un modèle di octaédrique) est :



La combinaison des données minéralogiques, géochimiques géologiques et l'histoire paléogéographique de la région ont confirmé que l'attapulgite de Rhoufi est un minéral argileux issu du processus de la néoformation au cours de la sédimentation basique dans un milieu confiné, en excluant l'héritage et la transformation à partir des sols et des roches préexistantes.

- Beauchamp J. (2003)** : sédimentologie (CRDP. Grenoble)
- Beauchamp J. (2005)** : les argiles, université de Picardie JULES Vernes.
- Boukoffa M. (2008)** : caractérisation géologique, géochimique et minéralogique du phénomène de la kaolinisation, l'exemple du gisement de Tamazert, El Milia .W. Jijel .Algérie ; Mémoire de magister.
- Bradley W.F. (1940)**: The structural scheme of attapulgitite .Amer.Min, 25, PP204-205
- Caillère S, HENIN S et Rautureau M. (1989)** : Les argiles édition SEPTIMA .Paris, 126p
- Caillère S, HENIN S et Rautureau M. (1982)** : Minéralogie des argiles édition MASSON .Paris, 186p.
- Caillère S. et Hanin S. (1961)**: The X-Ray Identification and Crystal Structure of Clay Minerals.
- Chahi. A, Weber F, Prevot I et Lucas J. (1993)**:L'utilisation des résines échangeuses de cations (Amberlite IRC-50H) dans la dispersion et la purification des argiles des roches à carbonates;phosphates et sulfates. Laboratoire de Géologie de l'Université de Louis Pasteur et Centre de Géochimie de la Surface, CNRS.
- Chebbah M. (2007)** : Lithostratigraphie, sédimentologie, et modèle de bassins des dépôts néogène de la région de Biskra, de part et d'autre de l'accident sud atlasique "Zibans Algérie" ; thèse de doctorat
- Dritz V.A & Sokolova G.V. (1971)** : Zap. Vses. Mineral. Obshch, XVI-1,228.
- Dritz V.A. et Alexandrova V.A. (1966)** : Zap. Vses. Mineral. Obshch, XCV-5, 551,
- Ferrière De .F. (1961)** : Etude des minéraux argileux des sols du périmètre synclinal d'irrigation de Montbreton à Pessac-sur-Dordogne.bull.Ass.Fr; El.Sol.
- Ferrière De .F, G.MILLOT et T. Gamez (1959)** : Argile des sols des formations tertiaires et quaternaires d'Aquitaine .Bull.Ass.Fr; El.Sol, pp512-526
- Fersmann A. (1908)**: Mém .Acad .Sci.Saint-pétersbourg.6, p; 645
- Fersmann A. (1913)** : Recherches sur les silicates de magnésie .mém. Acad. Sci Saint-pétersbourg, 32pp."377-392.
- Goldschmidt. V.M (1954)** : les principes de la répartition des éléments chimiques dans les minéraux et les roches .journ.chem.soc, p655.
- GRIM R.E. et Vernet J.P (1962)** : Etude par diffraction des minéraux argileux de vases méditerranéennes .Min. petrog. Mitt

- GUIRAUD.R (1973)** : Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines .Thèse Sci. Univ. Nice, 270p
- GUIRAUD.R (1990)** : Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines .Bulletin de l'ONG, Alger; 259p
- LAFFITTE .R (1939)** : Etude Géologique de l'Aurès .Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2^{ème} sér ; stratigr. Région N°15,484p.
- Lapparent, J.De (1935)** : un constituant essentiel des terres à fœlon .C.R.Acad.Sci.Fr, p481.
- LLOYD R.M. (1954)** : A technique for separating clay minerals from limestones. J. Sed. Pet. 24, 218-220.
- Mackenzie F.T et Garrels R.M (1966)**: silica-bicarbonate in the ocean during the compaction of clayed sediments.Geol.serv.prof.pap497-B
- Meunier A. (2003)** : Argiles laboratoire hydras UMR CNRS 6553, Univ de Poitiers
- MILLOT.G (1964)** : Géologie des Argiles. Masson, Paris ,500p
- Morel.R (1996)** : les sols cultivés. Lavoisier, Paris
- Muir (1951)**: Notes on the soils of Syria .journal .Soil science, 2, pp.163-181.
- ORGM (1970)** : Notice explicative de la carte géologique au 1/50.000, de la région de Menaâ-W de Batna, 81p
- ORGM (2000)** : Rapport final sur les travaux de prospection des argiles (Attapulgate, Ghassoul et Trôna) dans le NE Algérien ,72p
- Oudjida A. (1978)** : La télédétection .Quelques applications en géologie structurale dans l'atlas saharien algérien ; Thèse Doc ingénieur, Université de Paris VI.
- Paquet, H; Maignien, R et Millot. G (1961)** : Les argiles des sols des régions tropicales semi arides d'Afrique occidentale. Bull. Serv. Carte. Geol. Als.Lor.
- Rautureau M. et Mifsud A. (1975)**: C. R. Acad. Sci. Paris 281-D, 1071.
- RAY S. GAULT H. et DODO C.G. (1957)**: The separation of clay minerals from carbonate rocks. Am. Miner.
- SONAREM (1968-1970)** : levé géologique (1/200.000) des régions orientales de l'Algérie du Nord
- Velde B. (1995)**: Origin and mineralogy of clays .clays and the environment Springer, Berlin, 334p

BIBLIOGRAPHIE

Yaalon (1955): clay and some non-carbonate minerals in limestones and associated soils of Israel. Bull. Res. Coune, 5B, 2, Sect. B, pp.161-173,

LISTE DES FIGURES

- Fig.01** : Carte de situation de la zone d'étude
- Fig.02** - Extrait de l'esquisse géologique (1/200.000) de l'Aurès (Laffitte, 1939)
- Fig. 03** - Schéma tectonique de l'Aurès (Laffitte., 1939)
- Fig.04** - Exemple de plis atlasique -Anticlinal de Khenchela- (Laffitte R., 1939).
- Fig.05**- Exemple de plis post-burdigaliens –Dj Rheliss- (Laffitte, 1939)
- Fig.06** - Tracé schématique de la flexure Sud Atlasique
- Fig.07** - Carte géologique schématique du secteur de Rhoufi (SONAREM 1970).
- Fig.08** .Synclinal de Rhassira (Guiraud ,1973)
- Fig.09**- coupes séries montrant la relation structurale entre l'anticlinal de Chéllia et le synclinal de Rhassira, Echelle : 1/200. 000 (Laffitte R. 1939).
- Fig.10**- Disposition des sondages réalisés dans la zone d'étude (ORGM ,1999-2000)
- Fig.11** - Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil W –E, secteur Rhoufi I (la limite sud du secteur)
- Fig.12** - Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil W-E Secteur Rhoufi I
- Fig.13**- Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil W-E Secteur Rhoufi I (Partie médiane du secteur)
- Fig.14** - Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil W-E Secteur Rhoufi I (Limite Nord du secteur)
- Fig.15**- Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil S-N Secteur Rhoufi I (Partie médiane du secteur)
- Fig.16** - Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil SW-N E Secteur Rhoufi II (Partie médiane du secteur)
- Fig.17**- Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil E-W secteur Rhoufi II
- Fig.18**- Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil S-N secteur Rhoufi I (La limite entre le secteur I et II)
- Fig.19** - Variation de la couche d'attapulгите suivant un profil SW -NE secteur Rhoufi I et II
- Fig.20**- Variation lithologique des faciès suivant un profil W-E, secteur Rhoufi I
- Fig.21**- Variation lithologique des faciès suivant un profil SW-NE, secteur Rhoufi II
- Fig. 22**- Structure de base des silicates
- Fig .23**- Structure de base des Nésosilicates
- Fig. 24**- Structure de base des Sorosilicates
- Fig .25**- Structure de base des Cyclosilicates

- Fig .26a-** Structure de base Inosilicates en chaîne simple
- Fig .26b-** Structure de base Inosilicates en chaîne double ou rubans
- Fig. 27-** Structure de base des Phyllosilicates
- Fig. 28 -** Structure de base des Phyllosilicates
- Fig. 29-** les groupes des Phyllosilicates
- Fig.30-** Classification générale des minéraux argileux, (S.Caillère ; 1982)
- Fig.31-** Structure d'un minéral de type 1:1,(cas de la kaolinite)
- Fig .32-** Représentation schématique de l'empilement des tétraèdres et des octaèdres d'un minéral de type 2 :1,(cas de la muscovite)
- Fig .33-** Représentation schématique de l'empilement des tétraèdres et des octaèdres d'un minéral de type 2:1:1 : cas de la chlorite (GRIM 1962)
- Fig.34** Structure de l'attapulgite "modèle tri octaédrique" projection des atomes sur le plan (001).(Bradley,1940)
- Fig. 35-** L'aspect fibreux ou en latte de l'attapulgite
- Fig.36 -** un échantillon d'attapulgite vu au MEB (Géorgie USA)
- Fig. 37-** Classification des ions par Goldschmidt
- Fig .38-** Distribution zonale des sols en fonction des précipitations annuelles et de la température
- Fig .39-**Types de minéraux argileux formés au cours de l'altération
- Fig .40a-** Courbe granulométrique de la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi I
- Fig .40b-** Courbe granulométrique de la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi II
- Fig .40c-** Courbe granulométrique de la couche d'attapulgite du secteur Rhoufi I
- Fig.41-** Schéma de principe du diffractomètre de rayons X
- Fig. 42a-** Diffractomètre de l'échantillon S 02c
- Fig.42b-** Composition minéralogique de l'échantillon S2C
- Fig. 43c-** Diffractogramme de l'échantillon S48
- Fig.43b-** Composition minéralogique de l'échantillon S48
- Fig .44-** Schéma de principe d'un dispositif de Fluorescence X à dispersion de longueur d'ondes
- Fig.45-**Variation de la composition minéralogique de la couche d'attapulgite dans le sondage S06 06
- Fig.46-**Variation de la composition chimique de la couche d'attapulgite dans le sondage S06
- Fig.47-** Evolution des éléments majeurs en fonction de l'Altitude dans le sondage (S52) secteur Rhoufi II
- Fig.48 -** Evolution des éléments majeurs en fonction de l'Altitude dans le sondage (S02) secteur Rhoufi II

Fig.49- Evolution des éléments majeurs en fonction de l'altitude dans le sondage (S48) secteur Rhoufi II

Fig.50- Evolution des éléments majeurs en fonction de la profondeur dans le sondage (S1) secteur Rhoufi I

Fig.51 : Evolution des éléments majeurs en fonction de la profondeur dans le sondage (S05) secteur Rhoufi I

Fig .52 : Evolution des éléments majeurs en fonction de la profondeur dans le sondage (S24)

Fig .53- Protocole expérimental de dispersion et de purification des argiles avec les résines échangeuses de cations. (Chahi et al 1993)

Fig.54- Schéma d'un spectromètre infrarouge à Transformée de Fourier.

Fig.55 : Spectre (FTIR) de l'échantillon S 9A

Fig .56- Spectre (FTIR) de l'échantillon S48

Fig.57- Structure de l'attapulgite (Dritz & Sokolova, 1971), Modèle dioctaédrique.

Fig.58 - Intercalation de la couche d'attapulgite par des bancs de gypse

Fig.59- présence de banc de gypse surmontant la couche d'attapulgite

Fig.60- L'affleurement d'un banc de gypse surmontant la couche d'Attapulgite

LISTE DES TABLEAUX

Tab.1- différentes familles des minéraux de type 1 :1

Tab.2- différentes familles des minéraux de type 2 :1

Tab.3- Famille des chlorites

Tab.04 - La composition minéralogique semi quantitative des échantillons analysés par DRX

Tab.05- Données de quelques analyses chimiques effectuées au labo département de Géologie (U.B.M.A)

Tab.06- données des sondages secteur Rhoufi I

Tab.07- données des sondages secteur Rhoufi II

Tab.08- Composition chimique et minéralogique de la couche d'attapulgite dans le sondage S06

Tab.09-Matrice de corrélation (entre les éléments majeurs dans le secteur Rhoufi I)

Tab.10-Matrice de corrélation (entre les éléments majeurs dans le secteur Rhoufi II)

Tab.11-Matrice de corrélation (entre les éléments majeurs dans tout le secteur Rhoufi)

Tab.12- Données des sondages secteur Rhoufi I

Tab.13- Données des sondages secteur Rhoufi II

Tab.14- Données des sondages secteur Rhoufi I

Tab.15- Données des sondages secteur Rhoufi II

Tab.16- Données des sondages secteur Rhoufi I

Tab.17- Données des sondages secteur Rhoufi II

Tab.18 : Valeurs des pics des bandes d'absorption des OH

Méthodologie d'étude des argiles

I - Méthode de séparation de la fraction argileuse

L'étude des argiles pose un certain nombre de problèmes qui sont liés à leur nature particulière ce qui nous conduit qu'avant d'aborder l'étude, il est nécessaire de définir les conditions de prélèvement d'échantillonnage et de séparation de la phase argileuse.

I.1 .Prélèvement

Plusieurs cas peuvent se présenter :

- le cas le plus fréquent consiste à effectuer des prélèvements dans une formation argileuse sédimentaire (matériaux hétérogènes)
- le cas de l'altération des roches, l'échantillonnage peut se limiter à la zone transformée (le matériau peut être constitué par une phyllite à peu près pure).

I.2.Séparation

Les matériaux échantillonnés sont le plus souvent hétérogènes. Qu'il faut séparer.

La méthode la plus généralement utilisée est l'analyse granulométrique qui consiste à :

- Dans un premier temps de dissocier les particules qui adhèrent les uns aux autres par des forces électrostatiques, ou qui sont soudés par des ciments de diverses natures ; en procédant alors à une dispersion.

-Dans un deuxième temps, On doit fractionner une population d'éléments de tailles différentes en classes définies par des dimensions limites. On utilise alors, soit le tamisage, soit la technique des différences de vitesses de chute dans un fluide (le plus généralement de l'eau).

Si le liquide est immobile, il s'agit d'une sédimentation, s'il entraîne les particules par son déplacement, c'est une lévigation.

I.3.Purification

La purification de la fraction argileuse consiste à l'extraction : des sels solubles, les carbonates, les sulfures, la silice et l'Aluminium amorphes, les oxydes et les hydroxydes de fer, l'oxyde de manganèse et le carbone organique.

Généralement les méthodes d'échantillonnage et de traitement des échantillons doivent être adaptées à chaque type d'études et ses objectifs et l'appareillage utilisé.

Exemple

La préparation d'un échantillon pour étude par diffraction des rayons X, nécessite une technique de préparation de l'échantillon qui assure au maximum l'orientation des minéraux argileux de façon à renforcer leur réflexion principale liée aux plans (001). Pour cela on utilise la méthode de sédimentation sur lame de verre après séparation granulométrique selon la loi de STOKES et de carbonatation préalable (Fig .01)

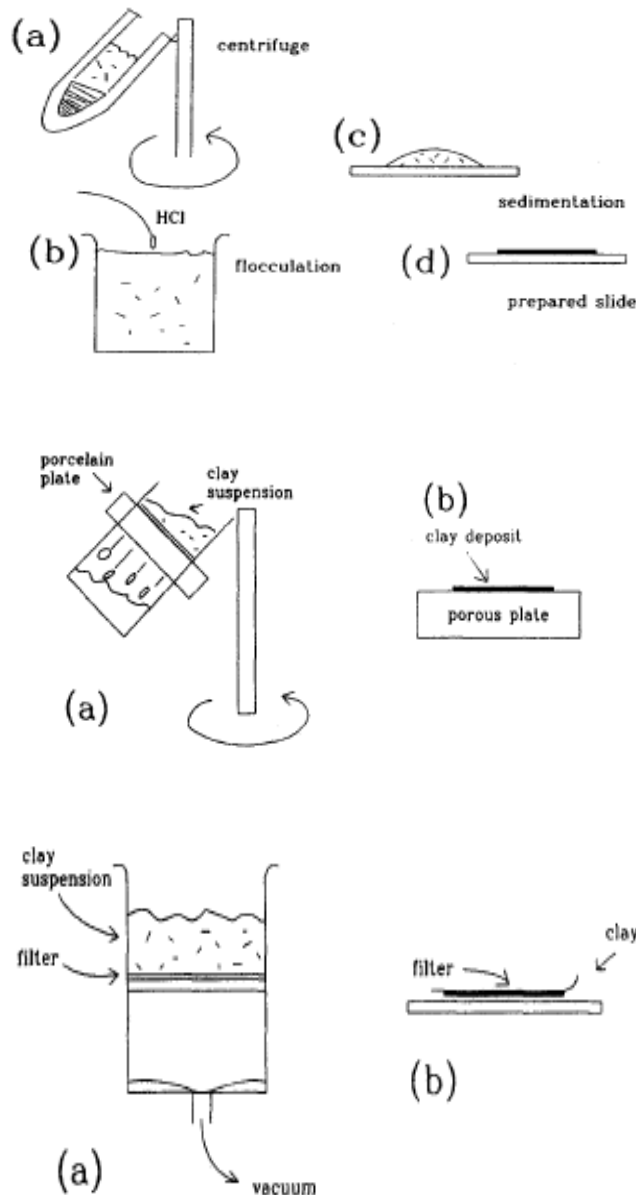


Fig .01- Préparation des échantillons d'argile pour étude par diffraction des rayons X.

Confection d'un agrégat orienté : (a) par sédimentation sur une lame de verre;
 (b) méthode de la plaque de porcelaine ; (c) filtration (repris de Velde, 1992)

II) Méthodes d'étude des argiles

Le caractère des phyllites micro cristallisées des argiles en fait des minéraux très difficiles à étudier, leur composition chimique complexe et souvent variable à l'échelle de la maille cristalline conduit à une grande variété des types de liaison atomique, ce qui complique considérablement leur étude.

Les principales méthodes d'études et d'identification des minéraux argileux sont :

II.1. Méthode de spectroscopie

II.1.1 Méthode d'étude par la diffraction des rayons X (DRX)

C'est la méthode la plus utilisée, elle permet l'identification de la composition minéralogique des assemblages argileux.

II.1.2. Méthode d'étude par la fluorescence X (FRX)

Cette méthode est utilisée dans le but de déterminer la composition chimique des minéraux argileux.

II.1.3. Etude par microscope électronique à balayage (MEB)

Cette méthode nous donne des informations sur le relief, la morphologie des particules et leur agencement. En complément, un spectre de dispersion en énergie (EDAX) donne une information semi quantitative sur le contenu chimique.

II.1.4. Etude par microscope électronique à transmission (MET)

Cette méthode permet d'étudier la forme des particules argileuses

II.1.5. Etude par microscope électronique à transmission à haute résolution (M.E.T.HR)

Cette méthode permet d'observer des couches minces de matériaux argileux et de déduire les modes d'empilement des feuillets (cette méthode est importante dans l'identification des minéraux inter-stratifiés).

II.1.6. Etude par spectroscopie infra- rouge (IR)

Cette méthode est appliquée aux argiles particulièrement pour l'étude des protons, de la nature de l'énergie des liaisons (ioniques ou covalentes) et des liaisons avec les molécules absorbées dans les espaces inter foliaires et en surface des cristallites.

II.2.Méthodes thermiques

II.2.1. Analyse thermique différentiel (ATD)

L'analyse thermique différentielle est basée sur les réactions thermiques qui se produisent lors du chauffage d'un minéral argileux.

Les variations de température sont reportées en fonction du temps et la température de chauffage. Le résultat est enregistré sous forme de courbe qui permet de contrôler les réactions endothermiques (pertes des eaux) et les réactions exothermiques (de recristallisation et les recombinaisons).

II.2.2. Analyse thermo pondérables (ATP)

Cette technique consiste à évaluer les variations de poids correspondant aux transformations chimiques qui se manifestent à partir de certaines températures.

2-3) Analyses dilatométriques différentielle (ADD)

Cette analyse consiste à évaluer les variations des dimensions d'un échantillon.

III) Propriétés physico- chimiques des argiles

III.1. Forme et surface spécifique

Les argiles se présentant sous forme de particules hexagonales, en plaques ou en fibres, leur petite taille et leurs formes particulières leur confèrent une surface spécifique (rapport surface /volume) très élevée (Tab 01)

Cette particularité conditionne pour partie un bon nombre de propriétés à l'échelle macroscopique. (Forte capacité de sorption, plasticité ...)

Le tableau :01 donne les valeurs caractéristiques des surfaces des grandes familles argileuses.

Minéral	Surface interne (m ² /g)	Surface externe (m ² /g)	Surface totale (m ² /g)	C.E.C. (milliéquivalent/100g)
kaolinite	0	10-30	10-30	5-15
illite	20-55	80-120	100-175	10-40
smectites	600-700	80	700-800	80-150
vermiculite	700	40-70	760	100-150
chlorite	-	100-175	100-175	10-40

Tableau 01 : surface spécifique et C.E.C. de quelques minéraux argileux (d'après MOREL, 1996).

La surface totale comprend la surface externe, comprise entre les particules argileuses, et la surface interne correspondant à l'espace inter foliaire.

III.2. Degré d'hydratation (gonflement)

Certains minéraux argileux (smectite, vermiculites, saponites) ont la capacité d'incorporer dans leurs structures des molécules d'eau, cette eau en position inter foliaire, modifier la dimension des feuillets en provoquant leur gonflement (Fig .02). Si l'argile est confinée dans un espace, il se développe alors une pression de gonflement. Cette capacité d'hydratation et de gonflement peut être réversible ou non, selon les argiles et en fonction de la pression et de la température.

Notons qu'il existe des minéraux argileux comprenant de l'eau absorbée, mais qui n'ont pas pour autant les propriétés de gonflement exemple la Kaolinite.

Dans un climat à saison contrastées ; la présence de smectite conduit une destruction du sol : En hiver les smectite gonflent, en été se déshydratent en entraînant la formation de longues fissures.

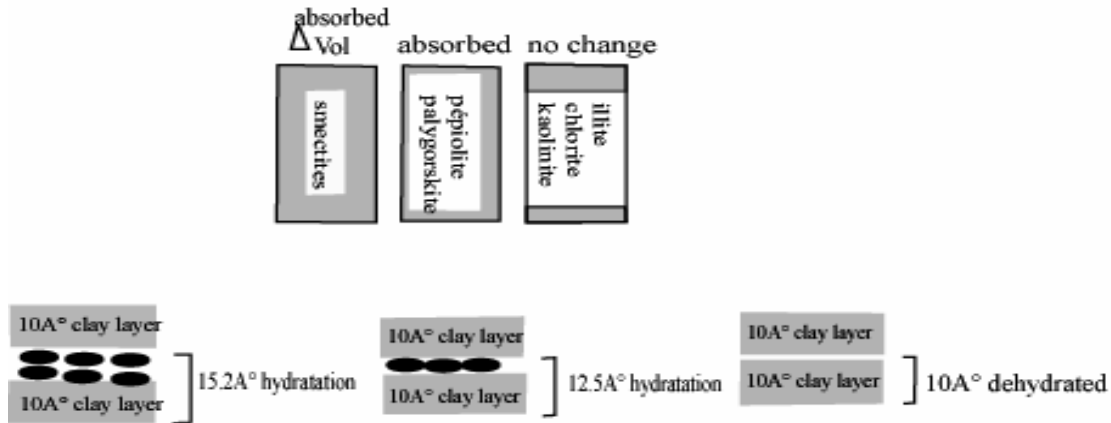


Fig.02- Capacité d'adsorption d'eau par les particules argileuses (Velde, 1992 ; 1995).

III.3.Capacité d'échange des éléments avec leur environnement

Les argiles ont la propriétés de fixer de façon réversible des cations contenus dans les solutions environnantes .On distingue :

III.3.1. la capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC correspond au nombre de charges négatives susceptibles de fixer des cations. Elle est exprimée le plus souvent en Meq/100g = (milli - équivalent pour 100 grammes de terre) ou en C mole (+) /Kg (centi- mole de charge (+) par Kg).

Elle est calculée par la formule suivantes $CEC = (charge/masse) \times 105$.

L'échange de cations n'est possible que s'ils sont retenus par des liaisons faibles sur les surfaces externes ou internes (zones inter foliaires) ce qui permet de distinguer deux types de CEC

III.3.1.1.la CEC externe

Elle dépend du nombre de sites de fixation des cations sur les surfaces externes. Ces sites chargées négativement correspondent aux charges résultantes des substitutions dans les tétraèdres ou les octaèdres des couches formant les faces des surfaces externes des minéraux ou suite à l'adsorption de surfactants de signe (+) ou (-) . Les propriétés des sites externes dépend du pH, c'est la raison pour la quel on les nomme charges variables.

III.3.1.2. la CEC interne

Elle dépend des charges permanentes ou structurales liées aux substitutions ioniques de signe négatif. (Al^{3+} pour Si^{4+} dans les tétraèdres, Fe^{2+}, Mg^{2+} pour Al^{3+} dans les octaèdres).

III.3.2. la capacité d'échange anionique (CEA)

La CEA des argiles ne concerne que les sites de la bordure des cristaux ou des groupements OH ne peuvent compenser entièrement leur valence.

La CEA est favorisée par les PH faible qui permettent la fixation d'un proton sur ces groupements OH formant ainsi une molécule d'eau, celle-ci est beaucoup plus facile à déplacer car elle n'est plus liée au cation structural que par une énergie très faible. (Fig. 03)

Conclusion

- ✓ la charge de surface est liée à l'hydrolyse des liens rompus Si-O et Al-OH le long des surfaces.
- ✓ A faible PH, l'argile se caractérise par une capacité d'échange anionique H+

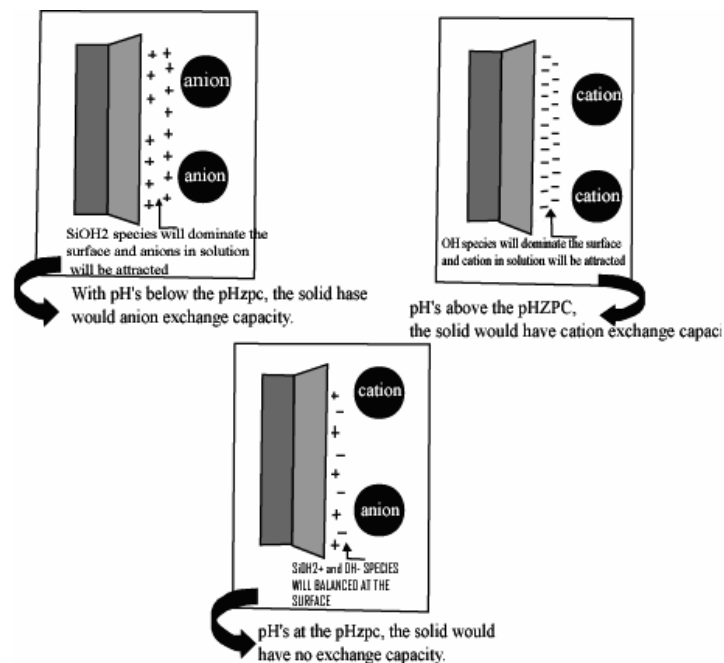


Fig. 03– Charge de surface (Schroeder, 2002).

III.3.3.La plasticité

Cette propriété traduit la malléabilité bien connue des matériaux argileux. Cela signifie que l'argile est capable de se déformer, à l'échelle macroscopique, sous l'action d'une contrainte physique externe (une pression, par exemple).

Une bonne capacité de compaction : cela signifie qu'en comprimant les argiles dans un récipient (moule), il est possible d'obtenir des matériaux, de formes variées et de grande densité (2 tonnes / m³ par exemple).

La possibilité de constituer un milieu étanche : de par leurs formes et leurs structures, les argiles constituent des matériaux poreux, dont les pores ont des tailles très variés. La compaction tend à faire disparaître les pores les plus gros entraînant la diminution de la porosité. De plus, les argiles, compactées même faiblement, et en présence d'eau, constituent des milieux de très faible perméabilité dans lesquels les mouvements des fluides et d'espèces en solution sont très lents.

Conclusion

Les argiles ont bien d'autres propriétés, comme le durcissement à la chaleur, la capacité de former des suspensions colloïdales...

C'est la sollicitation d'une ou de plusieurs de ces propriétés qui justifie l'emploi des argiles dans les nombreuses applications industrielles et la poursuite des recherches en vue de nouvelles utilisations.

IV- Domaine d'utilisation des argiles

Domaine d'utilisation	Le minéral argileux Principal	Les applications
Industrie céramique	Argiles mixtes	Fabrications des liants, briques Tuiles...
	Kaolinite Talc	Fabrication des carrelages pour pavages Des soles- faïences émaillées pour Sanitaire carrelage muraux et Décoratifs- objets d'art- poterie
industrie	Argile Kaolinitique	-fabrication : -réfractaires pour fours et creusets -réfractaire pour cheminées -les isolants électriques.
fonderie	Smectite (bentonite)	Fabrication -liant pour les sables utilisés en fonderie
Industrie Pétrolière + forage	Montmorillonite Sodique (bentonite)	Fabrication -boues de forage en milieu non salé.
	Palygorskite et sépiolite	Fabrication -boues de forage en milieu salé
	Halloysite Kaolinite Montmorillonite sépiolite	Utilisées comme support de catalyseurs Au cours de raffinage du pétrole

Industrie Pharmaceutique, Médicale Et fabrication des cosmétiques	kaolinite Palygorskite Talc.	Fabrications : -pansements stomacaux et intestinaux -Emplâtres pour la consolidation des fractures. -Bains de boues pour le traitement de Rhumatisme. -traitement des blessures chez les animaux par applications d'argiles. Litières pour animaux domestique
	Smectite Talc.	-préparation de nombreux cosmétiques (savons, shampoings, pommades, crèmes, dentifrices). -préparations des masques faciaux.
Industrie chimique	smectite	Utilisées dans le dégraissage et le nettoyage des vêtements et le traitement du cuirs.
	sépiolites	-utilisées comme produits déshydratants -fabrication des pipes, des filtres et fumes cigarettes.
	Sépiolites et Attapulgate	Utilisées sous forme de granulés absorbants.
	Kaolinite Smectite tac	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication des papiers, des emballages, des caoutchoucs, et les matières plastiques - Elimination de l'encre d'imprimerie - Favorisent la fixation des matières colorantes sur les tissus ainsi celles des pigments entrant dans la fabrication des peintures, des cirages et des encres. - Fabrication des mastics et des pâtes à modeler .
	vermiculite	Fabrication des matériaux transparents qui garantissent d'excellentes protections thermiques, du fait de leurs propriétés d'expansion par chauffage.

	Argiles mixtes (fines et crues)	Servent à polir les métaux précieux.
Industrie Minière	Montmorillonite	-Fabrication des explosifs -bouletage des minerais de fer.
Industrie Agro- Alimentaire	Bentonite (Montmorillonite sodique)	Employée pour la filtration et la clarification des boissons (eaux, cidres, bières) et les huiles alimentaires.
	Montmorillonite Calcique	Utilisée dans l'industrie sucrière pour améliorer le rendement en sucre des mélasses. Production des aliments de bétail.
	Talc	
Environnement	Montmorillonite Et la vermiculite	Rétention des éléments en traces
	Montmorillonite	Piégeage des métaux lourds toxiques
	Smectite	Construction des barrières imperméables dans les centres d'enfouissements techniques pour le stockage des déchets radioactifs.

V. Rôle des argiles dans la reconstruction paléo climatique et paléo environnementale

Les interprétations paléo environnementales des assemblages argileux sédimentaires sont basées sur la détermination de l'origine des minéraux présents.

Cette approche implique une compréhension des processus de formation des minéraux argileux (origine détritique, authigénèse).

Les argiles authigènes seront des marques des conditions géochimiques environnementales.

Les argiles détritiques seront des marqueurs des conditions de transport, de dispersion et de provenance (source).

L'interprétation des agents ayant contrôlés la mise en place de ces assemblages minéralogiques, nous donne des informations sur les conditions paléo climatiques qui se reposent sur le lien existant entre le régime climatique et le degré d'altération.

VI. Propriétés de l'attapulgitite

VI.1 propriétés thermiques

VI.1.1. Analyse thermique différentielle (ATD)

L'interprétation de la courbe thermique de l'attapulgitite présente généralement : (Fig .04)

- Un crochet endothermique assez marquée entre 0 et 200 °C : correspondant aux eaux hygroscopiques et zéolitiques.
- Un second crochet endothermique de même nature que le précédent mais moins important se manifeste entre 250 et 350 °C qui a d'après S. Caillère une origine incertaine.
- Un troisième crochet endothermique assez large en 400 et 600 °C. Présentant parfois un crochet complémentaire très aigu vers 550 °C.
- Un quaternaire crochet endothermique assez étroit qui se manifeste souvent à la température 900 °C.

La courbe se termine entre 950 et 1050 °C par un phénomène exothermique qui parfois succède immédiatement au dernier crochet endothermique.

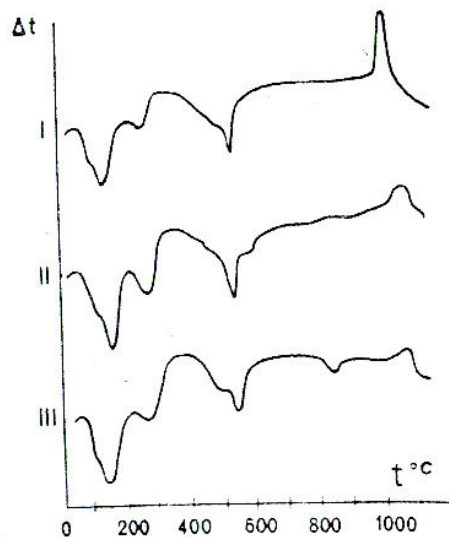


Fig. 04- Courbes thermiques différentielles de la Palygorskite

I- Meyssomal-en-Mercoeur (Haute Loire)

II- Tafraoui (Maroc)

III- Taoudenni (Sahara Algérien)

VI.1.2. Etude thermo pondérale

L'étude thermo pondérale faite par « S. Caillère et al » 1982 sur trois échantillons d'attapulgite (Fig .05) a fait apparaître :

- une perte de poids de 9 % environ correspondant au départ de l'eau hygroscopique et de l'eau zéolitique.
- un second départ d'eau d'environ 3 % entre 200 et 350 °C.
- le départ de l'eau de constitution qui se produit entre 350 et 650 °C

D'après S. Caillère et al,(1982) la différence notable constaté entre les indications fournis par l'analyse thermique et l'étude thermo pondérale est expliquée par le fait que les inflexions ne correspondant pas à des départs d'eau mais puissent être attribuées soit à des différences dans les énergies de fixation, soit à des modifications de structure.

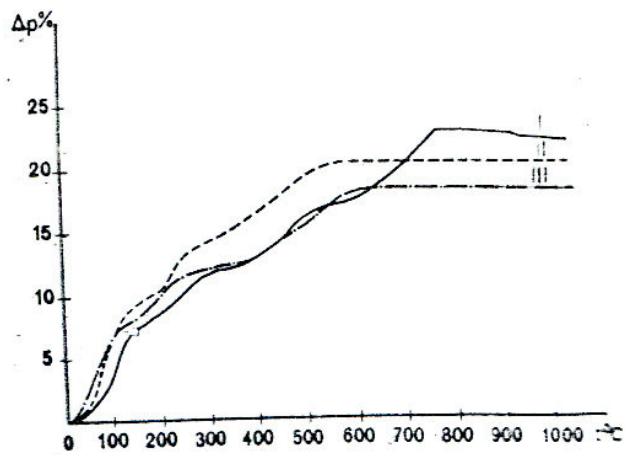


Fig.05- Courbes thermo pondérales de la Palygorskite

I - Taфраoui (Maroc)

II - Meyssomal-en-Mercoeur (Haute Loire)

III- Taoudenni (Sahara Algérien)

VI.2. Propriétés chimiques

VI.2. 1. Composition chimique

L'attapulgite est un minéral argileux appartenant à la classe des silicates Alumino - magnésiens, hydratés d'une formule chimique générale :

$\text{Si}_8 \text{Mg}_5 \text{O}_{20} (\text{OH})_2 (\text{OH}-\text{H}^+)_4 4\text{H}_2\text{O}$ (pour la demi -maille- « Modèle tri octaédrique »)

Dont la composition chimique est caractérisée essentiellement par un rapport Al/Mg proche de 1, renferment 03 types d'eau à savoir l'eau zéolitique, l'eau de cristallisation et l'eau de constitution, en voici quelques compositions chimiques des échantillons prélevés des endroits différents du monde

	1	2	3	4	5
SiO_2	61,60	54,71	52,35	52,18	64,4
Al_2O_3	6,82	13,48	15,44	18,32	14,34
Fe_2O_3	0	2,10	2,12	0	-
FeO	0,87	0	0	0	-
CaO	0,67	2,75	0,14	0,59	0,75
MgO	14,22	5,44	6,60	8,19	9,05
H_2O^+	0	12,63	12	12,04	
H_2O^-	14,16	8,65	10,38	8,46	-
Total	98,34	99,76	99,03	99,78	-

(1) : Dorbon (Afrique du sud) ; H.Heydstek, E.R.Schmidt

(2) : Taoudenni : (Sahara, Algérie) ; S. CAILLERE

(3) : Bakkasetter (Islande) ; I. STEPHEN.

(4) : Permsk .Oural (URSS): I. FERSMANN.

(5) : Rhoufi (Algérie) ; B .Lamouri (Algérie)

VI.2. 2. Solubilité

L'attapulgite est partiellement attaquée par l'acide chlorhydrique : le magnésium passe en solution puis les cations octaédriques seront dissous en laissant un gel de silice amorphe conservant le faciès en microscopie, électronique.

VI.3. Propriétés physiques

VI.3.1.Morphologie : L'attapulgite présente le plus souvent un faciès fibreux ; il s'agit de fibres présentant toutes les orientations et tassés sous forme de cuir, carton ou papier, elle a parfois l'aspect terreux.

VI.3.2.Dureté : Le minérale est souple, tenace, il se déchire difficilement en s'effilochant sa dureté varie de 2.00 à 2.50.

VI.3.3.Densité : la densité mesurée par immersion dans le xylol varie de 2.29 à 2.36

VI.3.4.Couleur : L'attapulgite peut avoir plusieurs couleurs Blanc, gris, jaunâtre, verdâtre, et ceci selon la composition chimique et le milieu de formation.

VI.3.5.Fusibilité : L'attapulgite fonde au chalumeau en donnant un verre bulleux.

VI.4.Gisement d'attapulgite dans le monde :

Les plus important pays producteurs de l'attapulgite sont :

◆ **USA :**

Réserves : 1300.000t

Gisement : région de Géorgie et Floride

◆ **Sénégal :**

Réserves : 320.000 t

Gisement : région de Thiès et de Niaming

◆ **Espagne :**

Réserves : 150.000t

Gisements : Torrejon et Rubio (cacéras) et Lebridja (Séville)

France :

Réserves : 1000t

Gisements : Mormillon et La saffre

◆ **Australie :**

Réserves : 30.000t

Gisement : Le lac Nerramyme