



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques.

## Département de Biologie

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie Générale.

Spécialité : Bassins Sédimentaires.

*Sujet :*

### ***Etude des argiles de la région de TIZI-OUZOU par la méthode de diffraction aux rayons X.***

Encadré par : Madame M. DENDANE.  
Monsieur A. DJADOUN.

Présenté par :  
DJELIL Naima.  
SARNI Kenza.

Soutenu publiquement le : 14 /12 /2016.

Devant le Jury composé de :

Mr. BENNABI M. S.	Maître de conférences (UMMTO)	Président.
M. DENDANE M.	Maître assistant classe A (UMMTO)	Rapporteur.
Mr. DJADOUN A.	Maître de conférences(USTHB)	Rapporteur.
Mr. AMROUCHE F.	Maître assistant classe A (UMMTO)	Examineur.

PROMOTION : 2015/2016

## ***Remerciements***

Avant tout, on remercie dieu qui nous a donné de l'aide et de la volonté, pour pouvoir établir ce travail. Ce travail est le fruit de sacrifices, de volonté, et de patience, Il n'aura pu être réalisé sans L'intervention de Nombreuses personnes à qui on tient à exprimer nos reconnaissances.

On remercie Madame ***M. DENDANE*** pour avoir accepté de nous encadrer et pour son aide et sa patience avec nous, elle a été le bras droit tout au long de la préparation de ce modeste travail. Nous la remercions pour ses précieux conseils et sa disponibilité, ses critiques constructives, qui nous ont beaucoup aidés.

On remercie également ***Mr. A. DJADOUN*** le Co-promoteur qui nous a ouvert la porte de son laboratoire au sein du département des sciences de la terre et de l'univers USTHB.

Nos remerciements vont à ***Mr. M. S. BENNABI*** pour nous avoir fait le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.

Notre reconnaissance et nos remerciements vont à ***Mr. F. AMROUCHE*** pour avoir accepté d'examiner notre travail mais également par ce qu'il nous a permis de profiter de ses connaissances et sa disponibilité. On tient à lui dire que les stages de terrains avec lui sont très bénéfiques.

On tient à remercier l'ensemble des enseignants qui nous ont enseigné durant nos études en géologie et qui nous ont suivis, au cours de notre cursus universitaire.

A tout le personnel du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de TAMDA.

Nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer ce travail.

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A la sagesse de mon Père mon maitre qui m'a allumé le chemin de la vie*

*Aux sacrifices de ma Mère qui m'a donné le sens de la vie,*

*A mes frères et mes sœurs, aux deux petits Ilias et Enés ainsi que leur papa*

*Ali et leur Maman Nadia,*

*A ma chère grand mère Yamina*

*A mes cousins et cousines,*

*Et la fiancée de mon frère Hania,*

*Et toute la famille Amarouche*

*Sans oublier mon monôme Sarni Kenza qui me partage ce travail*

*A tous mes camarades de la section M2 BS*

*Ainsi que tous ceux qui me connaissent et ceux que je n'ai pas cité.*

*Djelil Naima*

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la mémoire de mon père avec lequel je n'aurais pas le plaisir de partagé cet événement qui m'a tant encouragé a continué mes études.*

*A ma mère pour sa présence et son aide dans ma vie.*

*A ma sœur pour son aide et sa disponibilité. Et à mon frère.*

*Je vous dédie ce travail pour l'aide que vous m'avait apporté.*

*Mes sincères remerciements vont à mes ami(e)s de la section M2 BS qu'ils ont été ma seconde famille. Vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.*

*Et à toute personne chère à mon cœur.*

***Kenza S.***

## Résumé

A terme de ce travail, il est important de noter que les différents aspects abordés ont permis de mieux comprendre les caractéristiques des marnes et des argiles de bassin post-miocène de Tizi Ouzou.

L'objectif de notre étude consiste à une analyse minéralogique des marnes et des argiles de cinq sites allongés sur une ligne de direction E-W, qui se trouve dans le bassin de Tizi-Ouzou qui fait partie des zones internes de la chaîne des Maghrébides.

Nous regroupons sous la terminologie de bassin de Tizi Ouzou l'ensemble des formations miocènes post-nappes qui regroupe les formations qui affleurent dans la région de Tizi Ouzou, mais plus largement entre les méridiens de Thénia à l'Ouest, Azazga à l'Est et de Dellys au Nord jusqu'au Socle Kabyle au Sud.

Les argiles sont des roches sédimentaires composées de minéraux argileux à faible granulométrie entre 2 à 4  $\mu\text{m}$ , elles peuvent être étudiés par plusieurs méthodes, mais celle qu'on a utilisé c'est la diffraction aux rayons X car par rapport à d'autre technique la diffraction des rayons X est une technique non destructive et qui peut nous permettre de reconnaître la symétrie du cristal, de déterminer la structure les paramètres de son réseau et d'identifier un cristal. Donc c'est de nous donner directement des caractérisations globales et des informations sur la structure cristalline des minéraux argileux.

Les résultats obtenus suite aux traitements des échantillons par la DRX ont permis de caractériser et d'identifier la nature et la composition minéralogiques de chacun d'entre eux. Et les classés selon leur teneur en calcite et en minéraux argileux en se basant sur la classification de Jung ; la plupart des échantillons sont classés autant que des calcaires argileux a des marnes et argilo-calcaire. Donc on conclut que les argiles de la région d'études sont formées essentiellement des carbonates.

**Mots clé :** Argile, Marne, Diffraction aux rayons X (DRX), Bassin Miocène post-nappes.

## **Abstract**

Eventually of this work, it is important to note that the various approached aspects. Have allow understanding better the characteristics of marls and clays of post-Miocene basin of Tizi-Ouzo.

The objective of our study consists in mineralogical analysis of marls and clays of five sites lengthened on a line of direction E-W, which is in the basin of the Tizi Ouzo which is a part of internal zones of the chain of Maghrébides.

We group under the terminology of basin of Tizi Ouzo the set of Miocene trainings post-coast who groups the groups the trainings which appear in the region of Tizi Ouzo, but more widely between the meridians of Thénia on the West, Azazga in the East and of Dellys in the North up to the base of the South.

Clays are sedimentary rocks compound of clayey minerals with low (weak) size grading between 2-4  $\mu\text{m}$ , they can be study by several methods but the one to use it is the diffraction in the X-rays is a non-destructive technique and which can allow use to recognize a symmetry of the crystal, to determine the structure the parameters of his(her, it's) network and to identify a crystal. Thus it is to give us directly global characterizations and information onto the crystalline structure of clayey minerals.

The results obtained further to treatments of samples by the XRD have allows of characterized and to identify the mineralogical nature and the composition of each of them. Moreover, classified according to their content calcite and in clayey minerals by basing itself on the classification of Jung; most part of samples is to classify so much that clayey limestones has marls and clay-limestone. Thus, we conclude that clays of region of studies are essentially formed carbonates.

**Keywords :** clay, the Marls, diffraction in the X-rays (DRX), the Miocene basin post-coast. Pond.

# Sommaire

---

Introduction générale.....	1
Méthodologie .....	1

## *Partie I : partie théorique*

---

### **Chapitre I : Généralités**

I. Introduction.....	3
II. Définition.....	3
III. Domaines d'étude et d'application.....	4
IV. La Transformation des minéraux argileux .....	5
V. Propriétés des argiles.....	6
VI. Minéralogie et Structure cristalline des argiles.....	7
VI.1. Minéralogie et cristalochimie des argiles .....	7
VI.2. Classification des minéraux .....	8
VII. Méthodes d'étude.....	14
VII.1. Analyse thermique différentielle A.T.D. ....	15
VII.2. Microscopie électronique à transmission ou à balayage.....	15
VII.3. Analyse chimique .....	15
VII.4. Capacité d'échange ionique .....	15
VII.5. Autres analyses .....	16
VII.6. Diffraction aux rayons X .....	16

### **Chapitre II: Géologie Régionale Et Locale**

I. Introduction.....	17
II. Cadre géologique régional.....	17
II.1. Le domaine interne .....	18
II.2. Domaine des Flyschs .....	18
II.3. Domaine externe.....	18

III. Présentation de la zone d'étude .....	18
III.1. Situation géographique.....	18
III.2. La topographie.....	19
III.3. Le réseau hydraulique .....	19
III.4. Le climat.....	20
III.5. Ressources minières .....	21
III.6. Géologie de la zone d'étude .....	21
III.6.1. Le Néogène des zones internes .....	21
III.6.1.1. Le socle .....	22
III.6.1.2. L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) .....	22
III.6.1.3. Le Miocène post-nappe .....	23
III.6.1.4. Le Pliocène .....	24
III.6.2. Déformations des bassins Miocènes .....	25
III.6.3. Les phases tectoniques .....	26

## *Partie II : partie pratique*

---

### **Chapitre III: Etude minéralogique par méthode DRX**

I. Introduction.....	28
II. La diffractométrie de rayons X.....	28
II.1. Historique .....	28
II.2. Définition.....	28
II.3. Appareil .....	29
II.4. Avantage .....	30
II.5. Champ d'application.....	30
III. Méthodes .....	30
III.1. Loi de Bragg.....	31
III.2. Mesure de contraintes.....	34

III.3. Mesure de texture .....	35
IV. Traitements.....	35
IV.1. Traitement des spectres et identification des minéraux argileux simples .....	35
IV.2. Identification des minéraux interstratifiés par diffraction des rayons X.....	38

### **Chapitre IV: Résultats Et Discussions**

I. Délimitation de la zone d'étude .....	40
II. Localisation et descriptions des échantillons.....	40
III. Préparation des échantillons.....	41
IV. Méthode d'analyse avec le logiciel Xpolder .....	42
V. Descriptions des échantillons et discussion des résultats .....	44
V.1. Site 01.....	44
V.2. Site 02.....	47
V.3. Site 03.....	48
V.4. Site 04.....	49
V.5. Site 05.....	50
Conclusion.....	52
Conclusion générale .....	53

# Liste des abréviations

---

**AIPEA** : Association Internationale pour l'Etude des Argiles.

**A.T.D** : Analyse Thermique Différentielle.

**A.T.G** : Analyse Thermo-Gravimétrique.

**C.E.C** : Capacité d'Echange de Cations.

**CMS**: Clay Minerals Society.

**DRX** : Diffraction des Rayons X.

**HKL** : Indice de miller.

**JNCs**: the Joint Nomenclature Committees.

**M.E.B** : Microscope Electronique à Balayage.

**M.E.T** : Microscope Electronique à Transmission.

# Liste des figures

---

<b>Figure 1.</b> Transformations des minéraux argileux.....	5
<b>Figure 2.</b> Croquis schématique montrant (a) un seul tétraèdre de silice et (b) Structure d'une feuille de tétraèdres de silice disposés en réseau hexagonal .....	7
<b>Figure 3.</b> Croquis schématique montrant (a) une seule unité octaédrique (b) Structure de la feuille des unités octaédriques.....	7
<b>Figure 4.</b> Croquis schématique de la structure de la kaolinite. D'après Gruner(1932).....	9
<b>Figure 5.</b> Croquis schématique de la structure de l'illite. (muscovite. D'après Grime. (1962)	10
<b>Figure 6.</b> Croquis schématique de la structure de la chlorite. D'après McMurchy. (1934).....	11
<b>Figure 7.</b> Croquis schématique de la structure d'une smectite. Adapté par Grime. (1962) .....	12
<b>Figure 8.</b> Croquis schématique de la structure de vermiculite montrant des couches d'eau, d'après Hendricks et Jefferson. (1938).....	13
<b>Figure 9.</b> Méthodes d'étude à différentes échelles, de l'atome au paysage.(Thorez, 1989) .....	14
<b>Figure 10.</b> Principaux domaines structuraux du Nord de l'Algérie dans le cadre de la Méditerranée occidentale (Frizon de Lamotte et al., 2000, modifiée R. BRACENE, 2005).....	17
<b>Figure 11.</b> Situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	19
<b>Figure 12.</b> Réseau hydrique de Tizi-Ouzou.....	20
<b>Figure 13.</b> Schéma structural simplifié de la partie centro-orientale algérienne des Maghrébides (Synthèse des travaux des auteurs, Boccaletti, 1985; Villa, 1978 ; Saadallah, 1991).....	21
<b>Figure 14.</b> Événements géologiques du Néogène de grande Kabylie. D'après AITE (1991)...	25
<b>Figure 15.</b> Carte des linéaments affectant la Grande Kabylie d'après Gélard, 1979, modifiée	26

<b>Figure 16.</b> Les Longueurs d'ondes .....	29
<b>Figure 17.</b> L'appareil de mesure le diffractomètre modèle PW 1729.....	29
<b>Figure 18.</b> Diffractogramme.....	30
<b>Figure 19.</b> Principe de la diffraction.....	31
<b>Figure 20.</b> Principe de la diffraction et illustration de la Loi de Bragg (Eslinger & Peaver, 1988).....	33
<b>Figure 21.</b> Spectre de diffraction: minéraux individuels et mélanges argileux.(Tucker, 1991)	34
<b>Figure 22.</b> Spectre de diffraction des rayons X d'un agrégat orienté : la carte d'identité des minéraux argileux (Morre & Reynolds, 1989).....	36
<b>Figure 23.</b> Spectre caractéristique de l' Illite .....	36
<b>Figure 24.</b> Spectre caractéristique de Kaolinite.....	37
<b>Figure 25.</b> Spectre caractéristique de Saponite .....	37
<b>Figure 26.</b> Réflexion harmonique pour les minéraux argileux simples (Eslinger & Peaver, 1988).....	39
<b>Figure 27.</b> Réflexions harmoniques pour les minéraux argileux interstratifiés (Eslinger & Peaver, 1988).....	39
<b>Figure 28.</b> Délimitation de la zone d'étude .....	40
<b>Figure 29.</b> Position des échantillons dans la zone d'étude .....	40
<b>Figure 30.</b> Fenêtre d'ouverture de Xpowder .....	42
<b>Figure 31.</b> Fenêtre montre le diffractogramme ouvert .....	43
<b>Figure 32.</b> Fenêtre montre le diffractogramme après le choix des minéraux.....	43
<b>Figure 33.</b> Fenêtre montre les pourcentages obtenus .....	44
<b>Figure 34.</b> Lieu de prélèvement de l'échantillon 02. (Habitat) .....	45
<b>Figure 35.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 02.....	45
<b>Figure 36.</b> Lieu de prélèvement de l'échantillon 05. (Habitat) .....	46
<b>Figure 37.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 05.....	46
<b>Figure 38.</b> Tazmalt el kef lieu de prélèvement de l'échantillon 06.....	47

<b>Figure 39.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 06.....	47
<b>Figure 40.</b> Chaoufa lieu de prélèvement de l'échantillon 07.....	48
<b>Figure 41.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 07.....	48
<b>Figure 42.</b> Tamda lieu de prélèvement de l'échantillon 09.....	49
<b>Figure 43.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 09.....	49
<b>Figure 44.</b> Boukhalfa lieu de prélèvement des échantillons 13 et 14.....	50
<b>Figure 45.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 13.....	50
<b>Figure 46.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 13l.....	51
<b>Figure 47.</b> Diffractogramme et pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 14.....	51

# Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1.</b> Classification des roches selon la teneur en argiles, (classification de Jung). Source : pejon, le roux et ghignard, 1997 .....	4
<b>Tableau 2.</b> Classification des roches selon la teneur en carbonate, (classification de LCPC). Source: pejon, Le roux et Guignard, 1997 .....	4
<b>Tableau 3.</b> Classifications des minéraux argileux. D'après Millot .G, (1964).....	14
<b>Tableau 4.</b> Les principaux écarts réticulaires D'après Ivan Kostov (1968) .....	32
<b>Tableau 5.</b> Les coordonnées géographiques des échantillons .....	41
<b>Tableau 6.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 02 .....	45
<b>Tableau7.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 05 .....	46
<b>Tableau8.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 06l .....	47
<b>Tableau9.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 07 .....	48
<b>Tableau10.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 09 .....	49
<b>Tableau11.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 13 .....	50
<b>Tableau12.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 13l .....	51
<b>Tableau13.</b> Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 14 .....	51
<b>Tableau 14.</b> Tableau récapitulatif des résultats .....	52

# **Introduction Générale**

## **Introduction**

Les argiles sont les principales composantes de la croûte terrestre, elles peuvent être une matière localement abondante, très diverse, traitée et/ou raffinée avant emploi. Autrefois l'argile a été utilisée en poterie, à la maçonnerie, peinture, teinture, etc.

On désigne les argiles par des roches sans cristaux visibles, donc constituées de particules très fines. Elles sont considérées comme les particules les plus fines, selon la classification de Wentworth, toutes particules inférieures à 3,9 micromètres est une argile (Coussot P, 1997).

Sous microscope, la plupart des minéraux composants les roches argileuses ont la forme des paillettes silicatées, en général plus petites que les micas. Les argiles appartiennent donc à la famille minérale des phyllosilicates, il est donc préférable de parler de minéraux argileux ou phyllites, pour éviter les confusions (Coussot P, 1997).

Les argiles ont un rôle dans le stockage des déchets nucléaires en couche géologique profonde et le stockage géologique du CO<sub>2</sub>, ainsi qu'aux carbones nanoporeux.

L'étude des marnes et des argiles des bassins sédimentaire a une importance en limitant les risques qui peuvent se présenter à l'homme et à son environnement et la richesse qui peuvent renfermer en les exploitant, pour cela plusieurs disciplines peuvent intervenir : la géologie, la géotechnique et la géomorphologie afin de déterminer les caractéristiques et la minéralogie des argiles et les marnes argileuses de bassin poste nappe de Tizi-Ouzou connus par son climat sec et humide qui influent sur le comportement des ces derniers en présence d'eau, et cela par la méthode de diffraction aux rayons X. cette méthode n'est pas exclusive aux argiles, mais s'y applique en priorité.

Cette étude peut être un guide pour les prochaines recherches et une détermination des différents types d'argiles ainsi que leurs richesses minéralogiques dans le bassin de Tizi-Ouzou.

## Méthodologie

Il existe une gamme de méthodes et techniques susceptible de contribuer à l'identification et à la caractérisation des argiles de la région.

Notre approche méthodologique reposera sur plusieurs étapes qui sont :

- **L'inventaire et la synthèse sur l'existant** : qui consistent en la collecte des informations préexistantes relatives à la thématique et aux régions concernées (études, cartes, photos et coupes, etc..). Cette partie permettra de dresser une minute sur les argiles et les marnes argileuses de la zone d'étude.
- **L'investigation de terrain** : une sortie sur terrain a été faite le 04 et 05 mai 2016. Porte, dans un premier temps, sur les observations directes et les différents traitements sur place. Dans une seconde étape, sur l'échantillonnage. L'analyse de toutes ces données aboutit à l'établissement d'un certain nombre de coupes et de tableaux.
- **Les analyses de laboratoire** : plusieurs analyses sur les échantillons prélevés ont été effectuées. Ces opérations peuvent concerner les analyses morphoscopiques, minéralogiques, etc...
- **La discussion des résultats** : dans cette phase on va bien évidemment utiliser nos propres données obtenues à partir les différents traitements et analyses et les informations préexistantes récoltées liées directement à notre thématique et à la zone d'étude.
- **Conclusion générale** : synthétise les résultats acquis, mais souligne aussi les interrogations qui subsistent.

*Partie I : partie théorique*



# **Chapitre I : Généralités**

## **I. Introduction**

Les argiles sont parmi les principales composantes de la croûte terrestre et elles sont très variables en nature et en composition, qui forment dès les premières civilisations les matériaux de base, en particulier pour la construction.

Leur importance économique est considérable puisqu'elles sont employées dans de nombreuses industries, ce qui leur permet d'être l'objet de nombreuses recherches qui ont débutées il y a plusieurs décennies et elles sont classées en fonction de leur structure microscopique obtenue par diffraction des rayons X.

## **II. Définition**

D'après Eslinger et Peaver (1988) l'argile est un minéral qui domine dans la fraction fine (inférieure à deux microns) des roches et des sols.

Selon la JNCs (the Joint Nomenclature Committees) de l'Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) et la CMS (Clay Minerals Society), l'argile est un matériau en occurrence naturel, composé principalement de particules minérales très fines, qui est généralement plastique en contact avec l'eau et qui devient dure après déshydratation.

La définition des argiles diffère d'un domaine à un autre, le géologue ou le pédologue considèrent comme argile tout minéral de faible granulométrie, la limite étant fixée à 2 ou 4 microns selon les cas. Les ingénieurs s'attachent plutôt aux propriétés de plasticité des matériaux argileux quelles que soient leurs tailles. Les céramistes regroupent les matériaux selon leur comportement au chauffage.

Comme une définition générale les argiles sont des roches sédimentaires composées de minéraux argileux, qui sont des silicates en feuillet (phyllosilicates) d'aluminium plus ou moins hydratés dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres  $Al(OH)_6$  et de couches de tétraèdres  $SiO_4$  reliées par les atomes O et OH mis en commun.

Tandis que la marne est une roche sédimentaire contenant du carbonate de calcium  $CaCO_3$  (composant principal du calcaire) et de l'argile (Tableau1), en quantités à peu près équivalentes (35 % à 65 %). Les marnes sont intermédiaires entre les calcaires et les argiles, elles sont tendres, finement poreuses, friables quand elles sont sèches, plastiques lorsqu'elles sont mouillées. Mais à la différence des argiles, elles font effervescence avec les acides à cause de la présence du calcaire.

**Tableau 1.** Classification des roches selon la teneur en argile, (Classification de Jung).  
Source: pejon, Le roux et Guignard, 1997.

Roches	% d' Argile
Calcaire	00 à 005
Calcaire-Argileux	05 à 035
Marne	35 à 065
Argile-Calcaire	65 à 095
Argile	95 à 100

**Tableau 2.** Classification des roches selon la teneur en carbonate, (classification de LCPC).  
Source: pejon, Le roux et Guignard, 1997.

Roches	% de caco3
Argile ou silt	0 à 10
Argile ou silt-marneux	10 à 30
Marne	30 à 70
Calcaire-marneux	70 à 90
Calcaire	90 à 100

### III. Domaines d'étude et d'application

L'argile est considérée comme une matière essentielle utilisée par l'homme par rapport à ses nombreux domaines d'applications, comme dans l'industrie pétrolière, le gonflement de l'argile au contact d'une eau salée présente dans les fluides de forage peut conduire à la formation de bouchon ce qui rend la récupération du pétrole difficile. Outre leur utilisation pour le stockage des déchets nucléaires en formation géologique profonde.

Les argiles sont utilisées dans des domaines industrie variés :

- Comme agent de texture dans les peintures, le papier ou les matières plastiques ;
- Après cuisson pour la formation de porcelaine, de céramique, de brique ou des tuiles et en poterie ;
- De nombreuses applications dans le domaine cosmétique ;
- En chimie comme abrasifs artificiels et pour l'adsorption de matières organiques et des filtres et catalyseurs.

IV. La Transformation des minéraux argileux

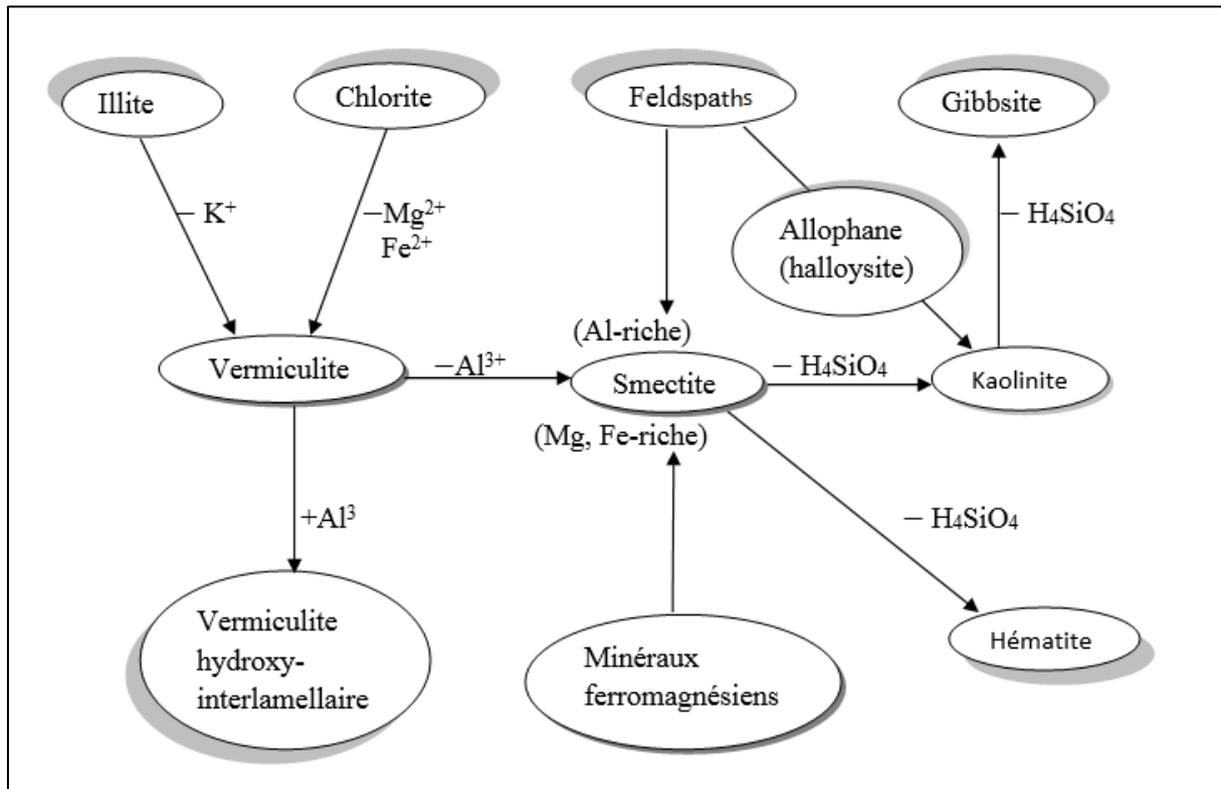


Figure 1. Transformations des minéraux argileux.

Les minéraux néoformés ou hérités peuvent évoluer pour prendre un nouveau statut en équilibre avec le nouveau milieu (Figure 1). On distingue les transformations par dégradation (soustraction d'ions) et par aggradation (par fixation d'ions supplémentaires).

Ces transformations ont lieu aussi bien au cours de l'altération que de la diagenèse. Il existe aussi des minéraux transformés par recristallisation.

On comprend que leur statut est intermédiaire, puisque leur substance est héritée et leur structure néoformée.

Suivant leur milieu de dépôt on distingue :

- Les argiles d'altération : formées principalement par l'altération des calcaires en climat tempéré ou l'altération des latérites en climat chaud et humide ;
- Les argiles fluviatiles : elles se déposent surtout dans le lit majeur des fleuves lors des décrues ;
- les argiles lacustres : déposées dans les lacs et étangs ;
- les argiles marines : ce sont des argiles d'origine continentale, déposées en milieu marin et généralement modifiées par la diagenèse.

## **V. Propriétés des argiles**

Les minéraux argileux se caractérisent par trois propriétés principales:

- leur forme et leur surface spécifique;
- leur capacité d'adsorption d'eau et de gonflement;
- leurs multiples possibilités d'échanges ioniques.

Les différents types d'argiles se comportent différemment vis-à-vis de l'eau :

- la kaolinite est stable au contact de l'eau ;
- la montmorillonite n'est pas du tout stable au contact de l'eau ;
- Les sols à forte teneur en montmorillonite sont susceptibles de gonflement et de retrait important ;
- l'illite a un comportement intermédiaire (les latérites font partie de cette famille d'argile).

La porosité structurale :

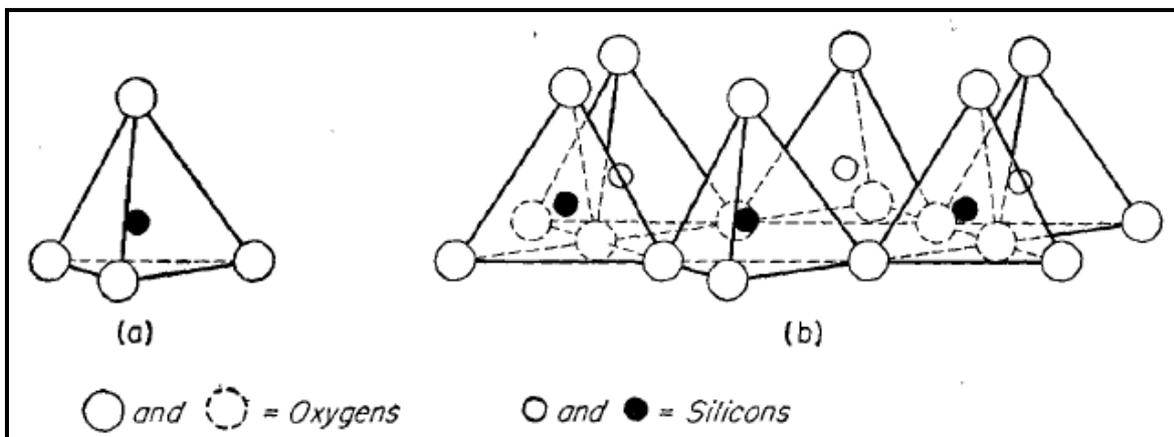
- La porosité interfoliaire: elle peut varier par incorporation de molécules d'eau, cette propriété importante des argiles est appelée le gonflement.
- La porosité intraparticulaire: elle est définie dans les particules constituées par des ensembles de feuillets. Les porosités varient de plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'Å en fonction du niveau de compactage de l'argile.
- La porosité interparticulaire.
- La porosité interagrégats: les agrégats sont définis comme l'assemblage de particules.

## VI. Minéralogie et Structure cristalline des argiles

### VI.1. Minéralogie et cristalochimie des argiles

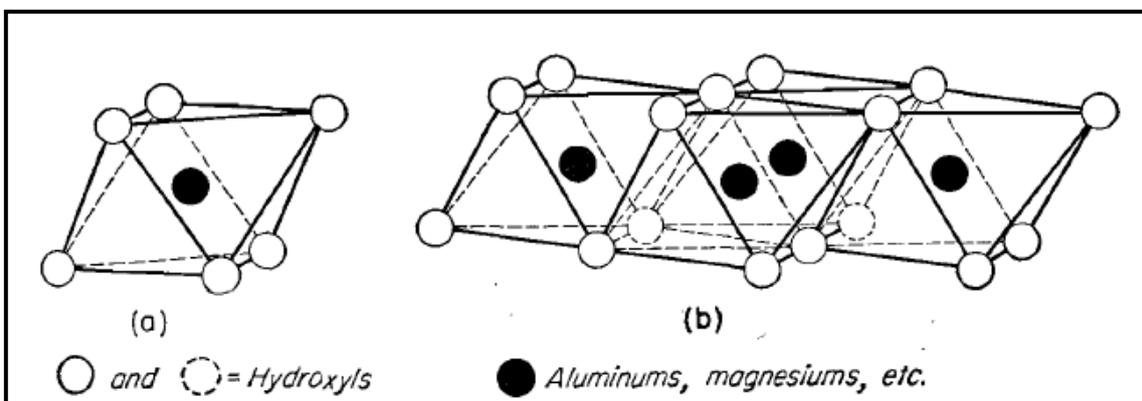
La structure cristallographique de ces feuilletts est caractérisée par la superposition de deux couches :

- Couche tétraédrique : tétraèdre de quatre oxygènes avec un atome de silicium au centre. Il s'agit de l'anion orthosilicate qu'on retrouve dans le quartz ; ici seuls 3 atomes d'oxygène sont partagés avec des atomes de silicium. Ils s'allient en formant des hexagones dans le plan, ce qui donne la formule de la couche  $n(\text{Si}_2 \text{O}_5)^{2-}$ , les atomes d'oxygène des sommets supérieurs sont chargés (Figure 2).



**Figure 2.** Croquis schématique montrant (a) un seul tétraèdre de silice et (b) Structure d'une feuille de tétraèdres de silice disposés en réseau hexagonal.

- Couche octaédrique : à base d'octaèdres de gibbsite  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , octaèdre de 6 hydroxyles  $\text{OH}^-$  avec un ion aluminium au centre. Un octaèdre est le volume formé par deux pyramides de base carrée, assemblées par des bases. De nouveau, ces octaèdres s'associent en formant des hexagones selon un plan (Figure 3). On peut aussi trouver de la brucite  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  à la place de gibbsite.



**Figure 3.** Croquis schématique montrant (a) une seule unité octaédrique (b) Structure de la feuille des unités octaédriques.

Les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de ces deux couches.

## VI.2. Classification des minéraux

Plusieurs classifications ont été proposées :

- La première, par l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles, 1966-1972), se base uniquement sur la charge du feuillet et sur le nombre d'atomes métalliques en couche octaédrique ;
- La deuxième, établie par Mering et Pedro (1969) prend en compte la localisation des substituant, leurs distributions et le type des cations compensateurs ;
- La classification basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet on distingue 4 groupes :
  - 1) Minéraux à 7 Å: Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O ou de type 1/1. Son épaisseur est d'environ 7 Å ;
  - 2) Minéraux à 10 Å: Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O/T ou de type 2/1. Son épaisseur est d'environ 10 Å ;
  - 3) Minéraux à 14 Å: Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T/O/T et de couches octaédriques interfoliaires ;
  - 4) Minéraux interstratifiés: L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier des minéraux argileux.
- La classification la plus classique est basée principalement sur les paramètres suivants :
  - 1) la combinaison de feuillets (T/O ou 1/1; T/O/T ou 2/1; T/O/T/O ou 2/1/1);
  - 2) le type de cations dans l'octaèdre;
  - 3) la charge de la couche;
  - 4) le type de matériel dans l'espace interfoliaire (cations, molécules d'eau, etc.).

- Celle qui est prise en considération issue des travaux de McKenzie (1975) et Brindley (1996). On distingue ainsi :
  - 1) Kaolinite :  $\text{Al}_4 [\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$  fréquente dans les roches sédimentaires argileuses résiduelles ou détritiques, provenant de l'altération de roches acides riches en feldspath (granites), le feuillet de la kaolinite est toujours neutre, dioctaédrique et alumineux, une couche de tétraèdres à cœur de silicium et une couche d'octaèdres à cœur d'aluminium, la kaolinite se présente sous forme de particules hexagonales constituées par des empilements de feuillets, La faible capacité d'échange des kaolinites est due a des sites de surface amphotères. La distance de la surface d'un feuillet à l'autre est d'une épaisseur de 7 Å (Figure 4).

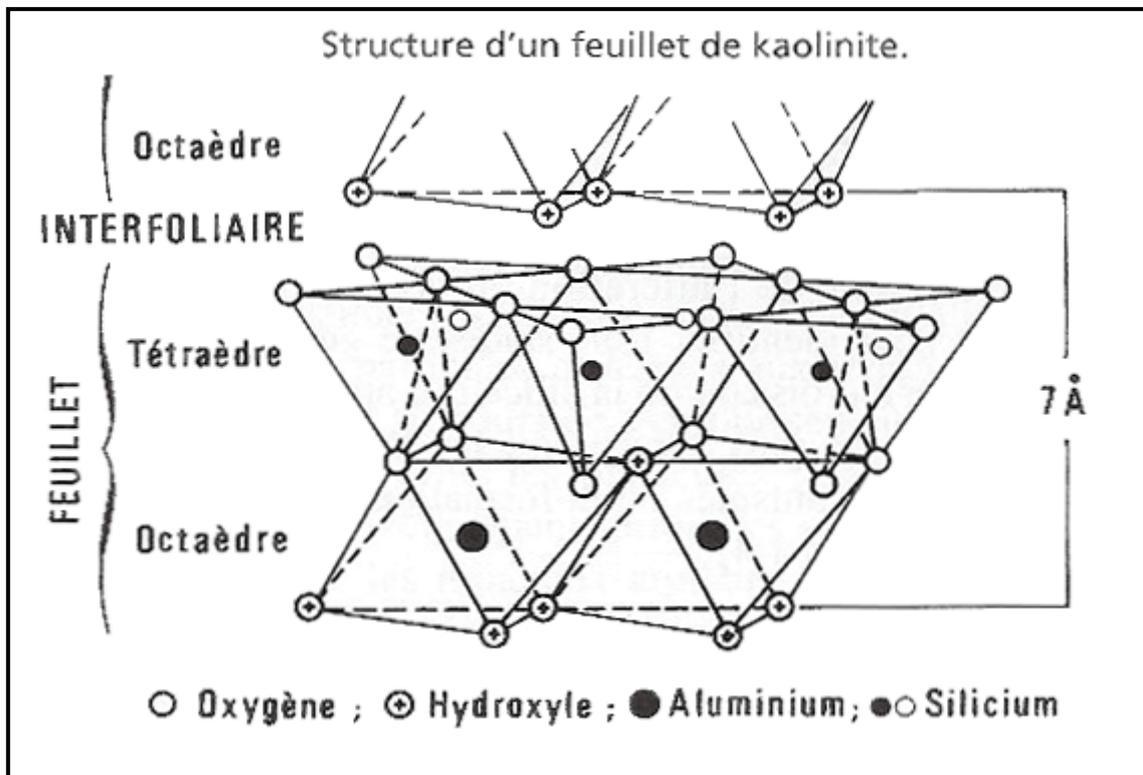


Figure 4. Croquis schématique de la structure de la kaolinite. D'après Gruner(1932)

2) Illite :  $(K, H_2O) Al_2 [(Al, Si)_3 Si_3 O_{10}] (OH)_2$  c'est le minéral le plus commun des argiles ses feuillets possèdent une charge globale négative, plus élevée que celle des smectites, a une capacité d'échange cationique faible. Il n'y a pas d'hydratation des espaces interfoliaires. Associent, comme les micas, une couche octaédrique généralement alumineuse à deux couches tétraédriques généralement siliceuses, (T/O/T ou 2/1), mais les ions Al peuvent remplacer Si, et des ions Mg et Fe peuvent remplacer Al le feuillet n'est plus équilibré, et des ions k viennent le saturer en position interfoliaire. à une épaisseur de 10 Å (Figure 5).

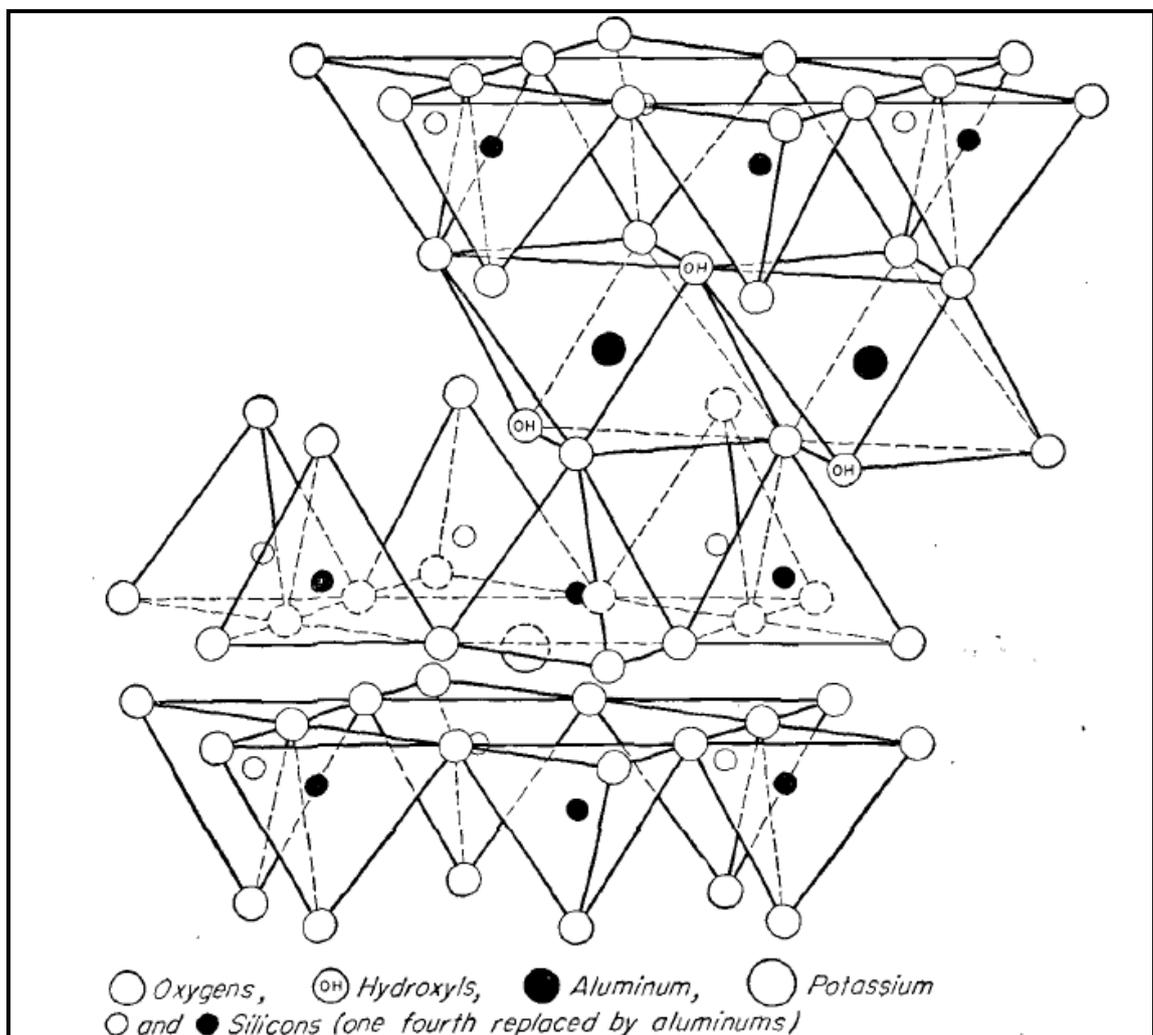


Figure 5. Croquis schématique de la structure de l'Illite. (Muscovite. D'après Grim. (1962)).

- 3) Les chlorites  $(\text{Mg, Al, Fe})_{12}(\text{Si, Al})_8 \text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$  : Sont construites sur un modèle analogue à celui des illites, mais l'espace interfoliaire est garni d'une couche continue d'hydroxydes de natures variées. Cette couche octaédrique supplémentaire est stable et l'équidistance réticulaire est fixe à 10 Å. Les chlorites peuvent être présentes en quantité non négligeables dans la fraction fine de sols peu évolués (Figure 6).

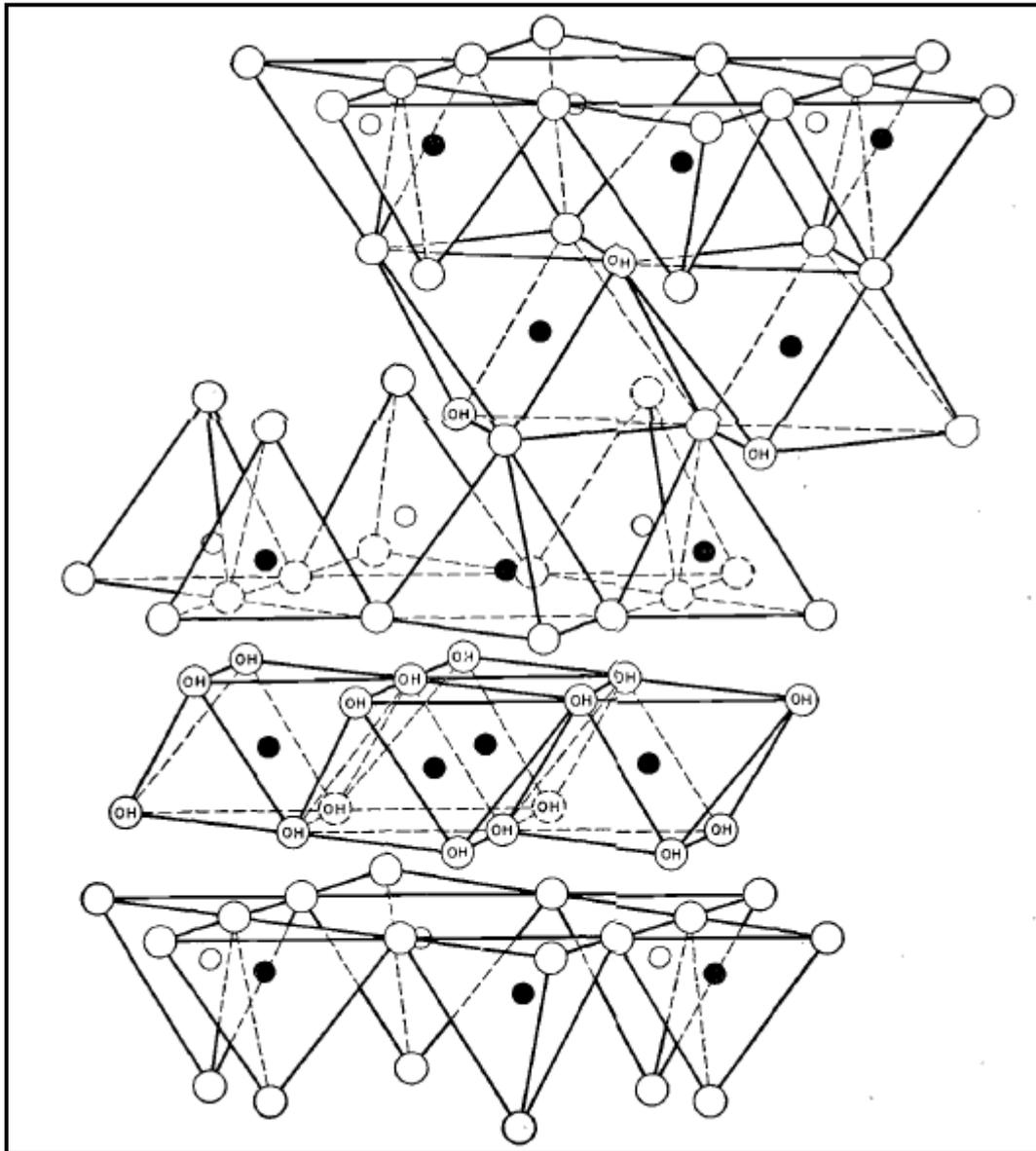


Figure 6. Croquis schématique de la structure de chlorites. D'après Mc Murchy. (1934)

- 4) Les smectites  $(OH)_4 Si_8 (Al_{10/3}, Mg_{2/3}) O_{20}, nH_2O$  : Les smectites se sont des phyllosilicates constitués des deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique bâtie sur le même modèle que les illites, mais l'empilement des feuillets élémentaires est désordonné, chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent. Ce désordre et la faible charge des feuillets facilitent leurs écartements. Peuvent se loger dans cet espace interfoliaire des cations divers ; des molécules d'eau et des molécules organiques, d'encombrement variable. C'est pourquoi l'équidistance réticulaire peut varier de 10 à 18 Å.

Les minéraux les plus importants de cette famille sont la montmorillonite, la beidellite, l'hectorite et la saponite (Figure 7).

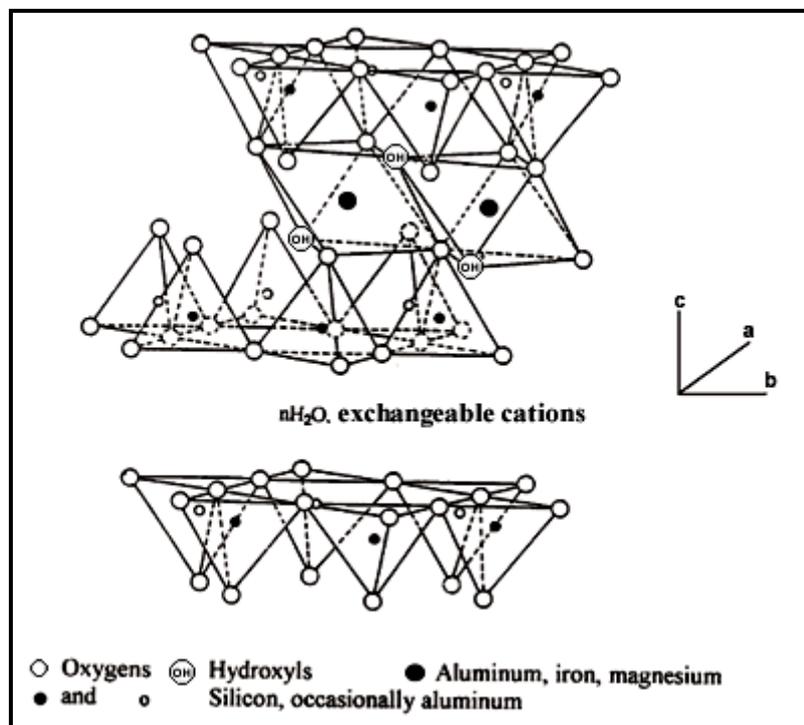
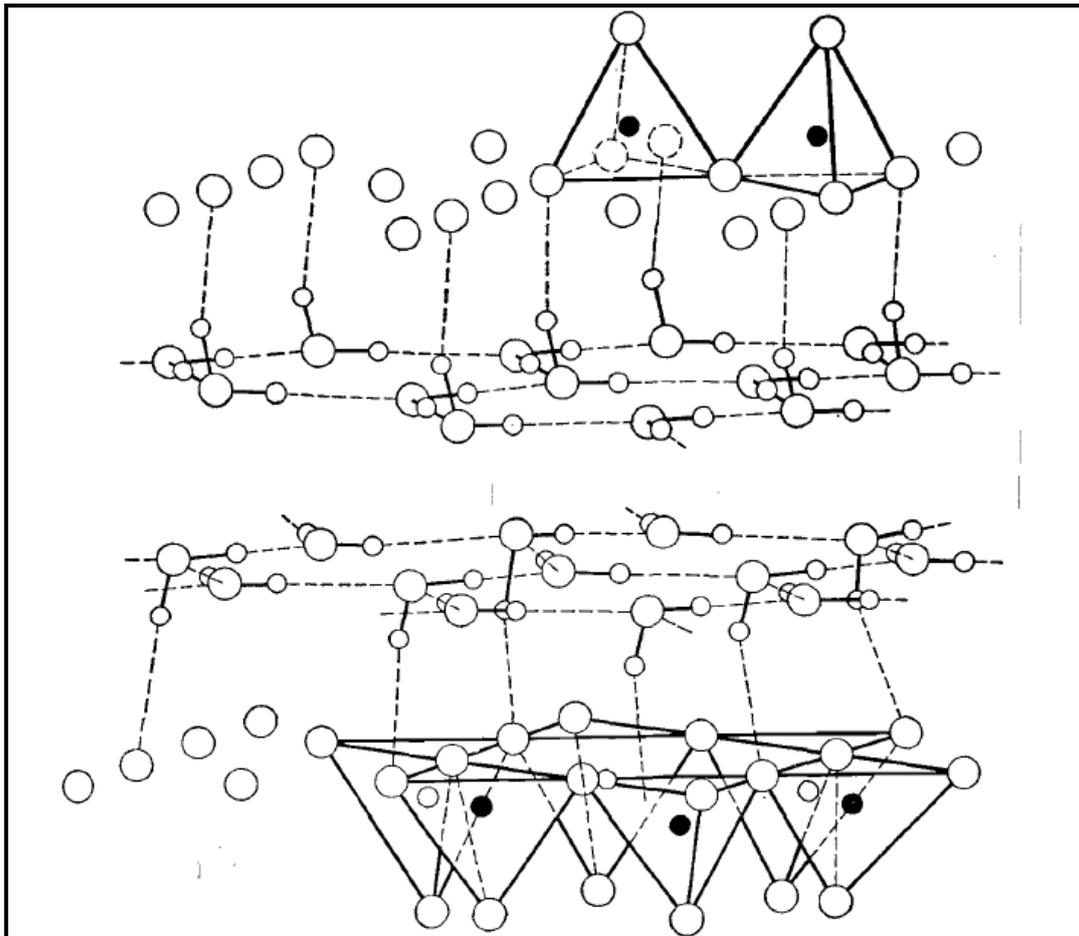


Figure 7. Croquis schématique de la structure d'une smectite. Adapté par Grim (1962).

- 5) Les vermiculites  $Mg_3 [AlSi_3O_{10}] (OH)_2 \cdot nH_2O$  : Elles sont majoritairement trioctaédriques. Fréquente dans les sols de la zone tempérée. Elles constituent une famille proche de celle des smectites, mais les feuillets sont caractérisés par un déficit de charge plus important. La couche octaédrique contient du Fe et du Mg. La vermiculite est proche des illites et chlorite mais montre des propriétés gonflantes (Figure 8).



*Figure 8. Croquis schématique de la structure de vermiculite montrant des couches d'eau, d'après Hendricks et Jefferson. (1938).*

Les minéraux argileux sont classés en groupe qui se résume dans le tableau 3.

Tableau 3. Classifications des minéraux argileux. D'après Millot. G, (1964).

<i>LE GROUPE DE LA KAOLINITE</i>	La kaolinite
	Dickite
	Nacrite
	Halloysite
	Les serpentines
	Les homéotypes de la kaolinite
<i>LE GROUPE DES MICAS</i>	Les micas
	Pyrophyllite
	Talc
	Les illites
	La glauconite
<i>LE GROUPE DE LA MONTMORILLONITE</i>	Les montmorillonites
<i>LE GROUPE DES CHLORITES</i>	Les chlorites variant
	Les chlorites gonflantes
	Les chlorites dioctaédriques
<i>LE GROUPE DES VERMICULITES</i>	La minérale vermiculite
<i>LE GROUPE DES ATTAPULGITES, SEPIOLITES</i>	Les attapulgites
	Les sépiolites

## VII. Méthodes d'étude

Il existe de nombreuses techniques analytiques qui permettent de caractériser les minéraux argileux. En fonction des techniques, il est possible d'avoir des informations sur la structure, la chimie, la morphologie ou encore la localisation du minéral dans un échantillon et ce, à des échelles d'investigation différentes.

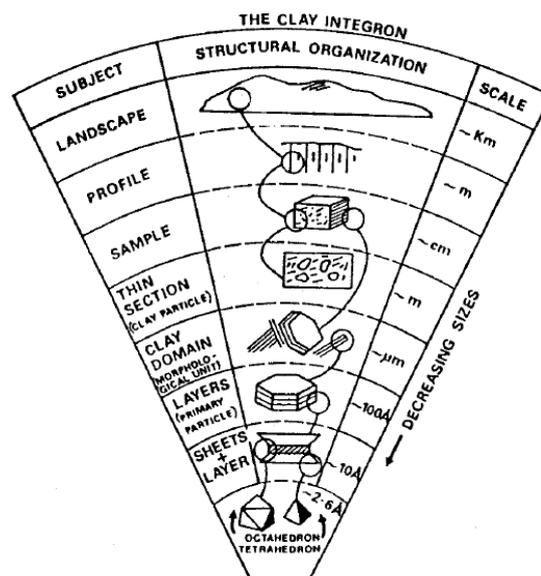


Figure 9. Méthode d'étude à différentes échelles, de l'atome au paysage. (Thorez, 1989).

### 1. Analyse thermique différentielle A.T.D.

En augmentant la température de l'échantillon à analyser de façon régulière, par un apport de chaleur constant on distingue qu'à des températures bien précises pour chaque échantillon, il se produit une réduction subite de la température correspondant à l'évaporation d'une partie d'eau de constitution (pic endothermique) ou une élévation subite de la température, (pic exothermique) correspondant à un changement d'état.

### 2. Microscopie électronique à transmission ou à balayage

Les dimensions des particules d'Argiles sont si faibles elles sont d'ordre inférieur à 2  $\mu\text{m}$ , qu'elles ne peuvent être examinées par des moyens conventionnels (binoculaires ou microscopes). Il faut donc utiliser un microscope électronique à transmission (M.E.T.) ou à balayage (M.E.B.) pour étudier ces poudres d'Argiles. Ces examens permettent de connaître les formes des cristaux unitaires de chaque type d'Argile :

- Empilements « d'assiettes » pour les Kaolinites ;
- Empilements de plateaux plus ou moins tourmentés pour les smectites.

### 3. Analyse chimique

Elle apporte une contribution aux analyses précédentes, car les taux de Mg, Fe, ou Na permettent de connaître les éléments échangeables et leur facilité d'échange.

### 4. Capacité d'échange ionique

Cette mesure permet de déterminer la capacité d'une argile à remplacer un certain type d'ions qu'elle possède dans sa structure, par d'autres prélevés sur le milieu avec lequel elle est en contact. Il s'agit donc d'une véritable mesure d'activité de l'argile. Le principe de la mesure est simple : On met de l'argile en contact avec une quantité donnée des produits que l'on veut faire adsorber ; après un temps de contact déterminé, on dose la quantité de produit n'ayant pas été adsorbée et connaissant la quantité d'argile mise en jeu, on peut déterminer les possibilités de fixation.

Généralement, on ramène les poids de produit absorbé en équivalent moléculaire et

l'on exprime la C.E.C. (Capacité d'Echange de Cations) en milliéquivalents pour 100 g d'argiles.

5. Autres analyses : en joignant aux analyses citées précédemment d'autres analyses destinées à expérimenter les postures de l'argile en dispersion dans l'eau tel 'que :

- Tyxotropie (capacité à former un gel dès que l'on arrête l'agitation de la suspension) ;
- Plasticité, en fonction du rapport eau / argile.

6. Diffraction aux rayons X

En faisant franchir une couche mince du minéral par un faisceau de rayons X qui arrive sous un impact changeant, on enregistre les angles de diffraction qui correspondent aux espaces inter-réticulaires, Chaque type d'argile est ainsi défini par la présence de pics sur les enregistrements, à des positions bien déterminées.

En conclusion le seul moyen précis d'identification et de classer un minéral est donc la diffraction aux rayons X détaillé dans la deuxième partie chapitre 3.

*Chapitre II : Géologie Régionale Et  
Locale*

## I. Introduction

De nombreuses recherches sont effectuées depuis près d'un siècle et demi par plusieurs géologues, ils ont pu recouvrir l'ensemble de l'Algérie du nord. Peu d'entre eux ont touché le bassin ce qui nous a initié à faire notre étude dans cette zone qui sera présentée dans ce chapitre.

## II. Cadre géologique régional

L'Algérie septentrionale est formée de divers terrains géologiques d'origines variées, la zone côtière est bordée par deux orogènes majeurs, l'Atlas et le Tell. La chaîne de l'Atlas est délimitée au Sud par le Front Sud Atlasique, et bordée par la plate-forme saharienne peu déformée au cours de l'histoire Méso-Cénozoïque du Nord de l'Afrique [Frizon de Lamotte et al., 2000]. Cette chaîne montagneuse d'orientation NE-SO constitue des reliefs marqués, les plus importants du Nord de l'Algérie. Plus au Nord, les Maghrébides au relief moins prononcé que l'Atlas saharien appartiennent à l'orogène de type alpin péri-méditerranéen [Durand-Delga, 1969] c.à.d. dont l'histoire est liée à l'ouverture et la fermeture de la Téthys "Alpine". Cet orogène s'étend sur plus de 2000 km depuis le sud de l'Espagne (Cordillère 'Bétique) à l'arc calabro-sicilien. Elle comprend côté africain la chaîne du Rif au Nord du Maroc et la chaîne du Tell au Nord de l'Algérie et de la Tunisie.

La chaîne du Tell de l'Algérie du Nord est subdivisée en trois domaines paléogéographiques Principales (Figure 10).

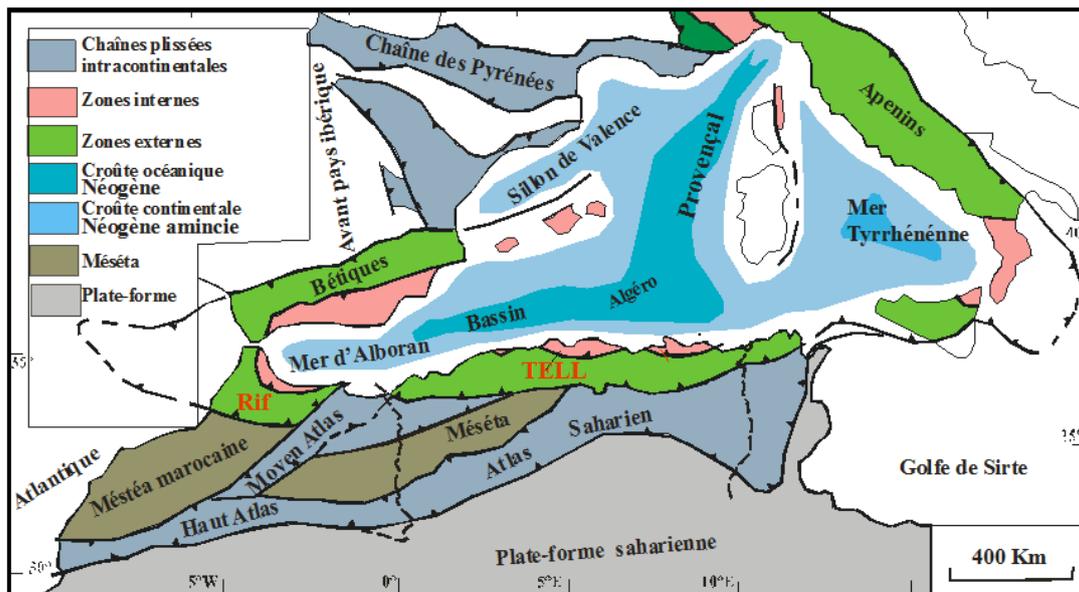


Figure 10. Principaux domaines structuraux du Nord de l'Algérie dans le cadre de la Méditerranée occidentale (frizon de Lamotte et al., 2000, modifiée R. BRACENE, 2005).

### **II.1. Le domaine interne**

Il regroupe les massifs Kabyles à matériel antécambrien et paléozoïque, c'est le socle Kabyle, et une couverture calcaire appelée « Dorsale Kabyle ». C'est une zone étroite et discontinue qui caractérise l'axe interne de l'orogène nord-algérien qui est subdivisée en trois unités (Dorsale interne, Dorsale Médiane et Dorsale externe) (J. F. Raoult, 1974 ; J.M. Vila, 1980).

### **II.2. Domaine des Flyschs**

Selon Raoult (1969) La complexité structurale de la zone des flyschs ainsi que la pauvreté de celle-ci en fossiles ont été pendant longtemps mal connus, on distingue :

- Les flyschs maurétaniens (Tithonique- Crétacé inférieur) ;
- Les flyschs massyliens. « schisto-quartzeux », (flyschs albo-aptiens de Glangeaud, 1932) ;
- La nappe numidienne.

### **II.3. Domaine externe**

Désigné souvent par Tell ou Tell externe, il représente la marge téthysienne du continent africain. Il est constitué par un ensemble de nappes allochtones pelliculaires constituées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène et qui ont été charriées sur une centaine de km vers le Sud. On distingue du Nord au Sud :

- Les nappes ultra-telliennes ;
- Les nappes telliennes sensu-stricto ;
- Les nappes péni-telliennes.

## **III. Présentation de la zone d'étude**

### **III.1. Situation géographique**

Tizi-Ouzou se trouve à environ 100 km à l'Est d'Alger, elle est limitée par:

- La mer méditerranée au Nord ;
- La Wilaya de Bouira au Sud ;

- La Wilaya de Boumerdes à l'Ouest ;
- La Wilaya de Bejaia à l'Est. (Figure 11).

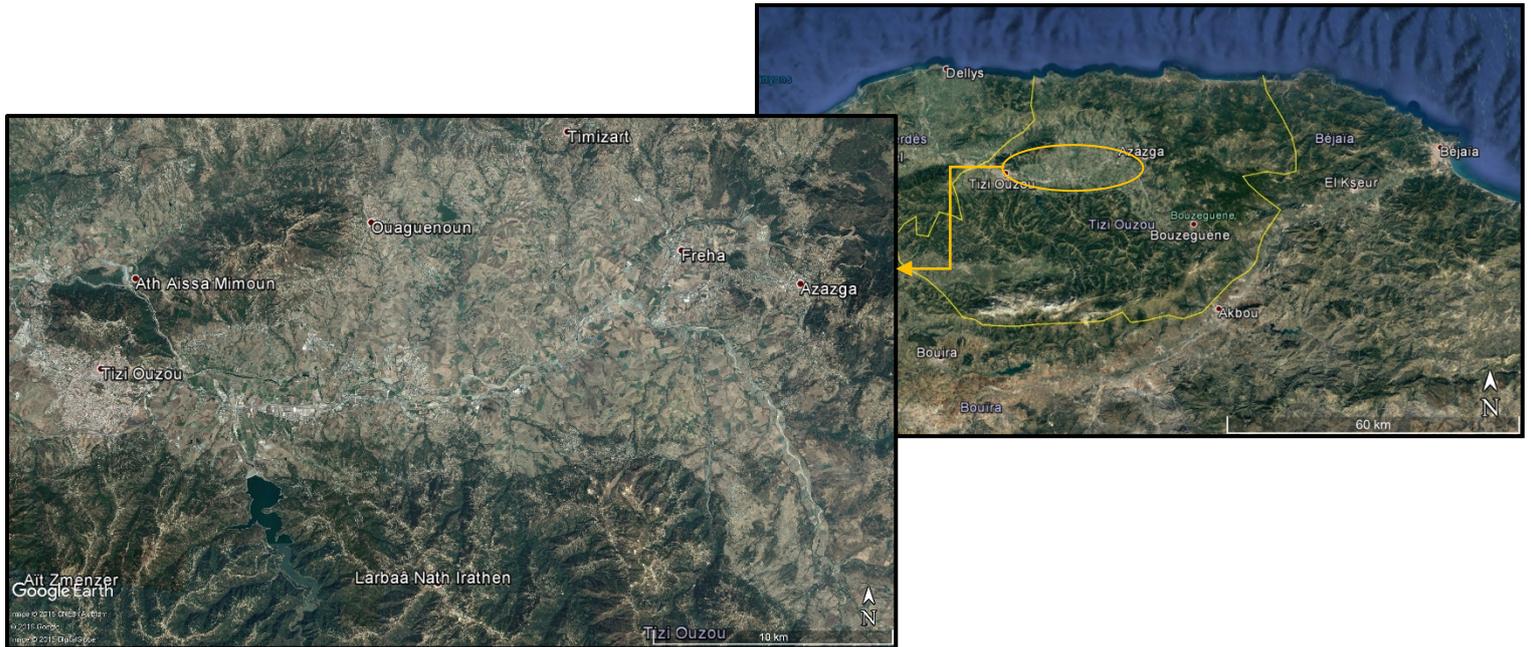


Figure 11. Situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou et la zone d'étude.

### III.2. La topographie

La Wilaya de Tizi-Ouzou présente un relief montagneux fortement accidenté qui s'étale sur une superficie de 2 994 km<sup>2</sup>. La topographie de la région est représentée par un ensemble de montagnes plus ou moins érodées et aux sommets dentelés.

Au nord, les montagnes plus ou moins érodées d'altitudes moyennes 600-800 m, tel que le Djebel Aissa Mimoun et les plus élevées tels que le djebel Tamgout (1278 m), djebel Azzoura (1084 m) et djebel Toukra (1465 m).

Au sud les montagnes sont caractérisées par des altitudes très élevées, Lalla Khedidja (2308m).

### III.3. Le réseau hydraulique

Le réseau hydrographique renferme deux grands bassins versants à savoir le bassin de l'Oued Sebaou et le bassin côtier. La pluviométrie moyenne de l'année en cours de la Wilaya a atteint 900 mm (Figure 12).

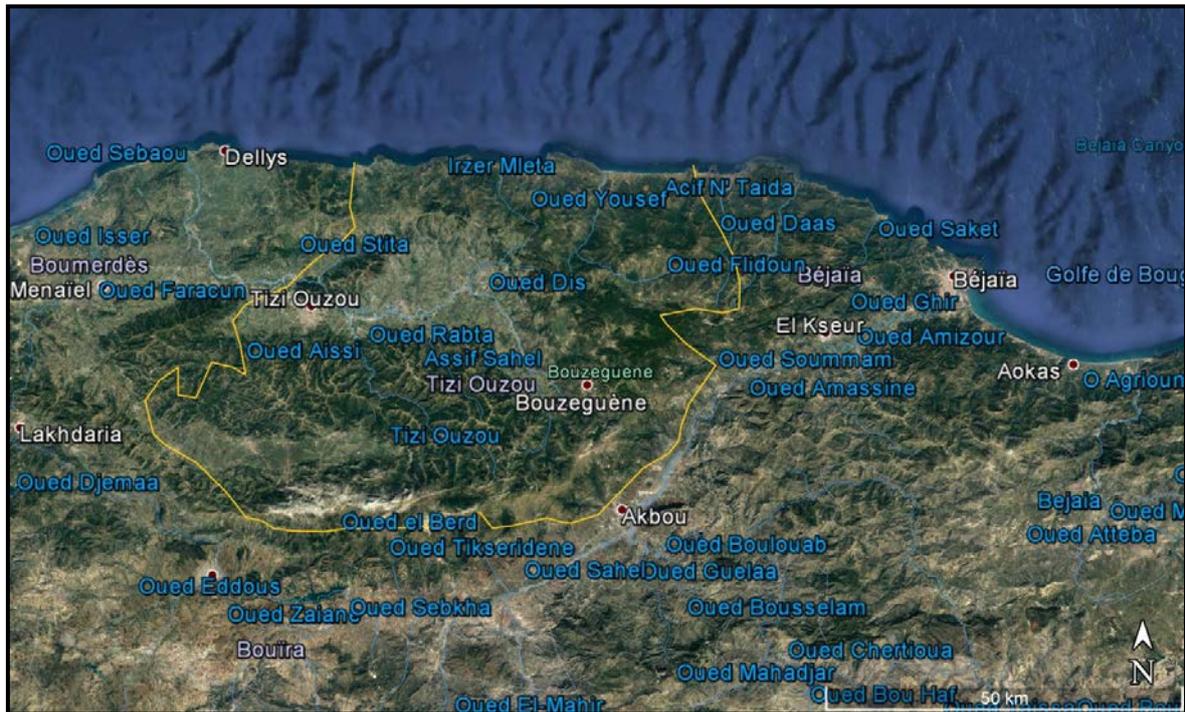


Figure12. Réseau hydrique de Tizi-Ouzou.

La principale ressource en eau potable de la Wilaya est soutirée à partir de :

- La nappe alluviale de l'Oued Sebaou 36% ;
- Ressources superficielles (barrages) 58 % ;
- Sources superficielles, prise d'eau 5 % ;
- Dessalement 1 %.

Les ressources en eau de la wilaya sont de trois (03) types :

- Superficielles ;
- Souterraines (nappes: Les ressources souterraines mobilisées (forages et puits) dont le volume estimé à 79 millions de m<sup>3</sup> d'eau se trouvent principalement dans les nappes alluviales des oueds de la wilaya ;
- Sources : La wilaya compte plus de 146 sources aménagées mobilisant un volume de 22,2 millions de m<sup>3</sup> d'eau par an.

### III.4. Le climat

La wilaya de Tizi-Ouzou qui est une partie d'Algérie du nord se situe donc sur la zone de contact et de lutte entre les masses d'air polaire et tropical Le climat est typiquement méditerranéen. L'humidité dans la wilaya de l'air est toujours élevée au Nord qui diminuera en allant vers le Sud et est due à des dépressions de front polaire qui balaient les montagnes et

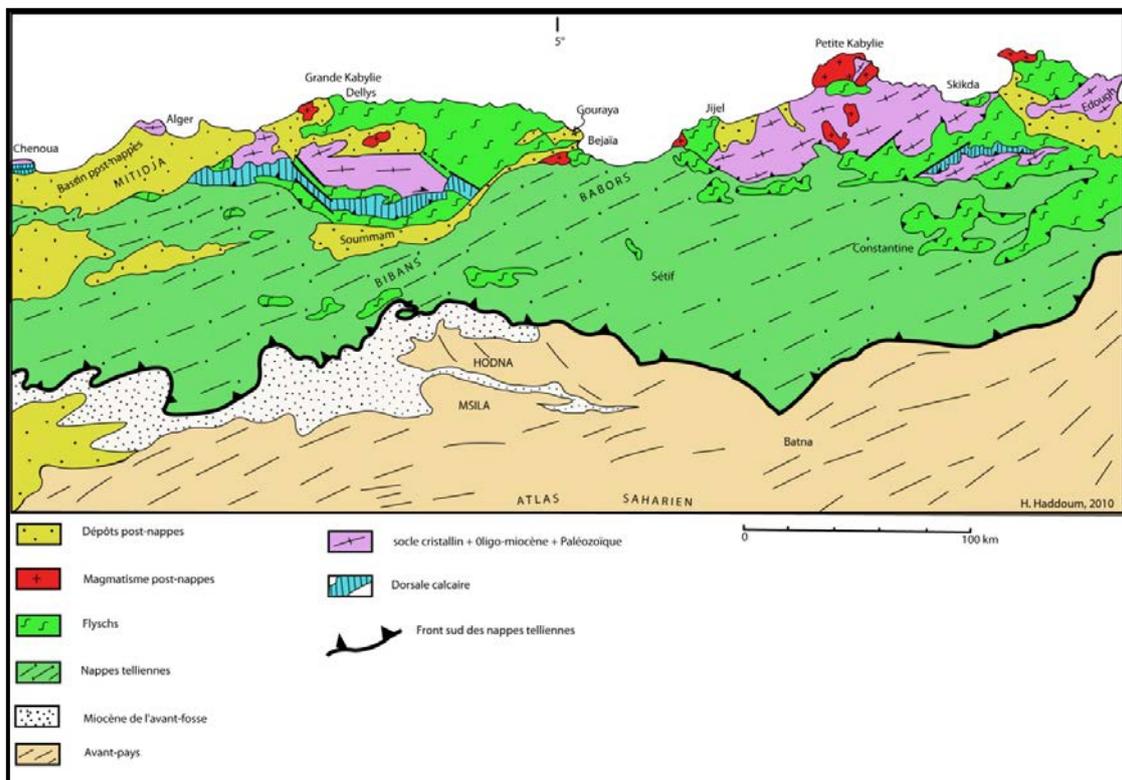
provoquent pluie et neige. Les pluies sont pratiquement limitées au mois d'hiver (la pluviométrie annuelle moyenne varie entre 500 à 800).

### III.5. Ressources minières

Le domaine minier de la wilaya est riche en gisements de substances utiles : calcaire (au sud de la wilaya), grès (bande littorale et partie orientale), argiles (centre) et marbres (au centre et partie occidentale).

### III.6. Géologie de la zone d'étude

Nous regroupons sous la terminologie de bassin de Tizi-Ouzou l'ensemble des formations miocènes post-nappes qui affleurent dans la région de Tizi-Ouzou, mais plus largement entre les méridiens de Thénia à l'Ouest, Azazga à l'Est et de Dellys au Nord jusqu'au socle Kabyle au Sud. (Figure 13).



**Figure 13.** Schéma structural simplifié de la partie centro-orientale algérienne des Maghrébides (Synthèse des travaux des auteurs, Boccaletti, 1985; Villa, 1978 ; Saadallah, 1991).

III.6.1. Le Néogène des zones internes repose en discordance sur un socle d'âge panafricain et hercynien (G. Bossière *et al.*, 1986 ; J. J. Peucat *et al.*, 1991), sur l'Oligo-Miocène lui-même transgressif sur le socle et sur les unités charriées nord-kabyles (J. Magné et D.

Raymond, 1974). L'ensemble est déformé par une tectonique de revêtement faisant apparaître des plis de direction N 070°.

### III.6.1.1. Le socle

Les terrains métamorphiques sont divisés en trois ensembles structuraux superposés (G. Bossière, 1980) qui sont de bas en haut :

- Un socle gneissique fortement métamorphique composé de noyaux avec des gneiss fins (à biotite, plagioclase, sillimanite), localement migmatitiques auxquels sont superposés des gneiss oeillés (à microcline, biotite, plagioclase, muscovite) ;
- Une série de schistes satinés (« phyllades » des auteurs), faiblement métamorphique. Il s'agit de séricitoschistes et de chloritoschistes au sein desquels s'intercalent des porphyroïdes oeillés. La base de cette série est très diversifiée et comporte, de haut en bas, des marbres (purs ou à minéraux : clinopyroxène, plagioclase, amphibole, parfois olivine), des quartzites, des séricitoschistes à andalousite et biotite, et des amphibolites (à hornblende, plagioclase, biotite). Ces schistes satinés constituent la couverture discordante des noyaux gneissiques (G. Bossière, 1980) ;
- Des schistes argileux et silteux, localement fossilifères, peu ou pas métamorphiques.

Toutes les unités lithostratigraphiques reposant sur le socle kabyle sont décrites chronologiquement ci-après. Les repères chronologiques sont empruntés aux travaux de W.A. Berggren *et al.*, (1985) et aux biozonations de Blow (1969).

### III.6.1.2. L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK)

Ce terme regroupe toutes les formations d'âge Oligocène à Burdigalien inférieur discordantes sur le massif ancien de Grande Kabylie. Elles comprennent de bas en haut des conglomérats à galets de socle kabyle, des grès arkosiques riches en grains de quartz et de feldspaths arrondis et des marnes à passés de silexites. Ces formations passent vers le haut à un olistostrome à blocs divers de flyschs crétacés, recouverts par les nappes de flyschs nord-kabyle (Raymond, 1976 ; Gélard, 1978 ; Géry, 1983). L'origine des sédiments de cet Oligo-Miocène Kabyle est d'une part proximale avec des conglomérats, des grès et des argiles provenant du socle et d'autre part lointaine avec les silexites dont l'origine semble différente.

En effet, cette origine est à rechercher dans des centres d'émissions volcaniques qui peuvent être situés à distances considérables du bassin sédimentaire (Gélard, 1978).

### III.6.1.3. Le Miocène post-nappe

Il occupe de vastes surfaces entre les méridiens de Thénia et d'Azazga. Il forme le Dj. Takdempt à l'W de Dellys, les collines situées à l'W du cours inférieur de l'Oued Sebaou et l'essentiel de la région comprise entre Thénia et Azazga. Il repose en discordance sur le socle kabyle, sur l'Oligo-Miocène transgressif et sur les unités charriées nord-kabyles. Les terrains les plus récents appartenant à cet ensemble sont datés du passage Langhien-Serravalien ce qui correspond à la partie inférieure du Miocène moyen. Ces formations miocènes ont été datées par une abondante microfaune planctonique (globigérinidés) (J. Magné et D. Raymond, 1974).

Dans le bassin de Tizi-Ouzou plus précisément, les faciès ainsi que les épaisseurs varient beaucoup latéralement suivant les points de l'aire de sédimentation du Miocène post-nappes. Pour cela ne seront rappelés que les principaux résultats des analyses lithostratigraphiques précises (1976). Celui-ci décrit (1976) :

- Un cycle inférieur « Cycle 1 » ou « Dellysien », composé de:
  - conglomérats (100 à 250 m) à débris peu roulés de socle kabyle (gneiss, micaschiste, granite) ;
  - Un ensemble molassique grés-marneux, épais d'environ 250 m tholéitiques sont interstratifiés.

Les roches éruptives et magmatiques sont constituées de roches basaltiques, dacitiques et rhyolitiques abondantes à Dellys, Cap Djinet et de Granodiorites à Thénia (ex-Ménerville). Les laves comprennent une série inférieure basaltique et une supérieure andésitique ayant les caractères des termes basiques d'une lignée calco-alcaline, à l'exception de basaltes alumineux à caractère hybride calco-alcalin tholéitique (Degiovanni-Azizi, 1978).

- Un cycle supérieur « Cycle 2 » composé de marnes (dont la puissance atteint au plus 500 m), transgressives sur les formations inférieures et parfois transgressives sur le socle kabyle. Toutefois selon l'échelle de G. S. et Ch. Odin (1990) ce « Cycle 2 » correspondrait à la partie tout à fait terminale du Langhien et au Serravalien. Il est à

noter de plus, qu'en Grande Kabylie, le Tortonien et le Messinien manquent, ainsi qu'une partie du Serravalien ce qui ne permet pas de donner plus de précisions sur la limite supérieure du « Cycle 2 ».

#### III.6.1.4. Le Pliocène

Le Pliocène de Dellys ou « Cycle 3 » est constitué de marnes à foraminifères et de lumachelles à lamellibranches qui ont été datées par M. Muraour (1956) et D. Raymond (1976). Les faciès sont très constants, ce sont des marnes épaisses d'environ 60 m, comprenant des intercalations de calcaires à lamellibranches. Le Pliocène de la région de Dellys est subhorizontal, il repose en discordance sur le Miocène moyen. L. Glangeaud et M. Muraour, (1953) et D. Raymond (1976) ont observé que le Pliocène s'est déposé dans de simples dépressions morphologiques.

Ces formations sont donc organisées en trois cycles sédimentaires successifs datés respectivement du Burdigalien terminal-Langhien (Cycle 1), du Langhien-Serravalien (Cycle 2) et du Pliocène inférieur (Cycle 3). (Figure 14).

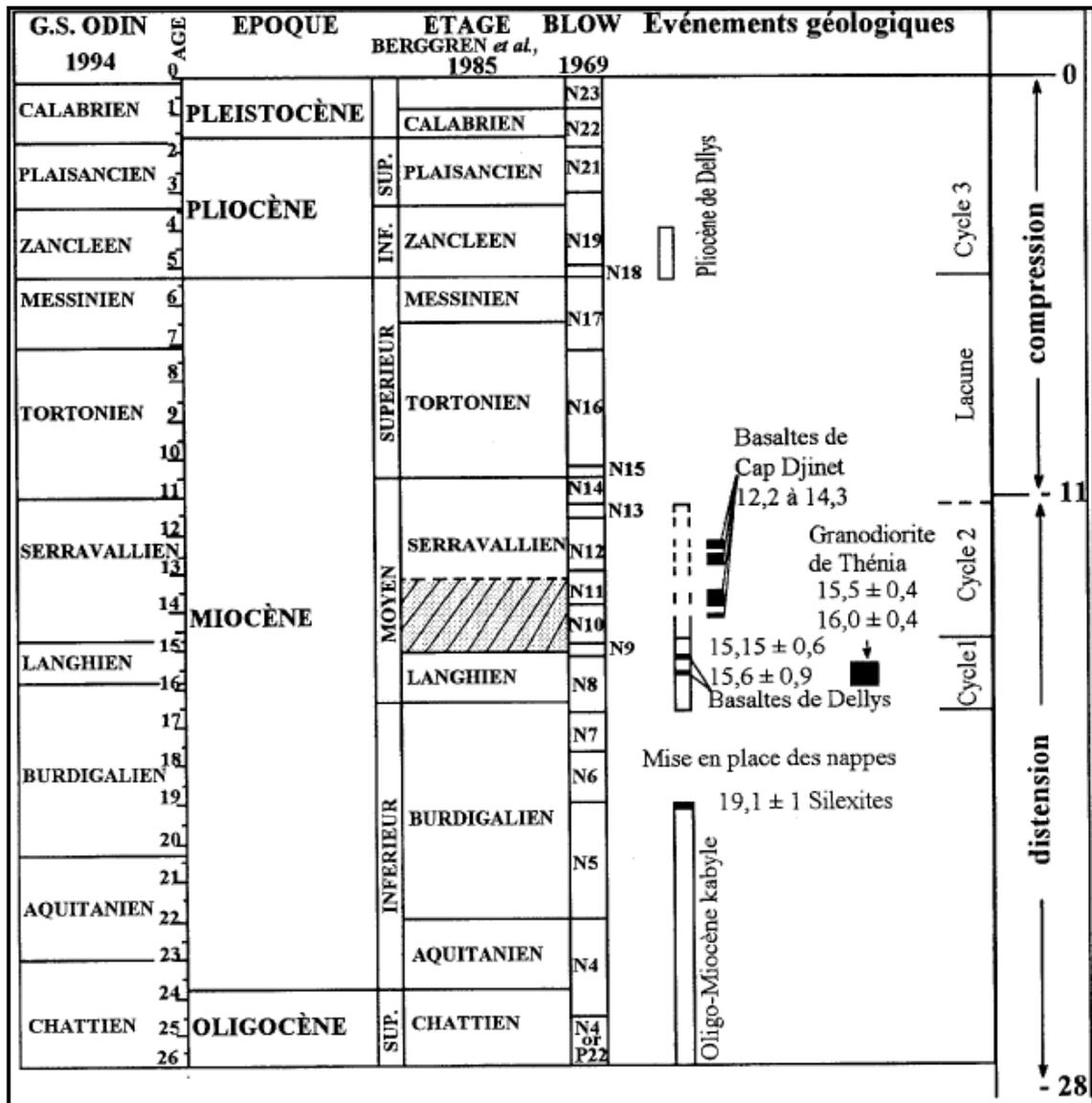


Figure 14. Événements géologiques du Néogène de grande Kabylie. D'après AITE (1991).

### III.6.2. Déformations des bassins Miocènes

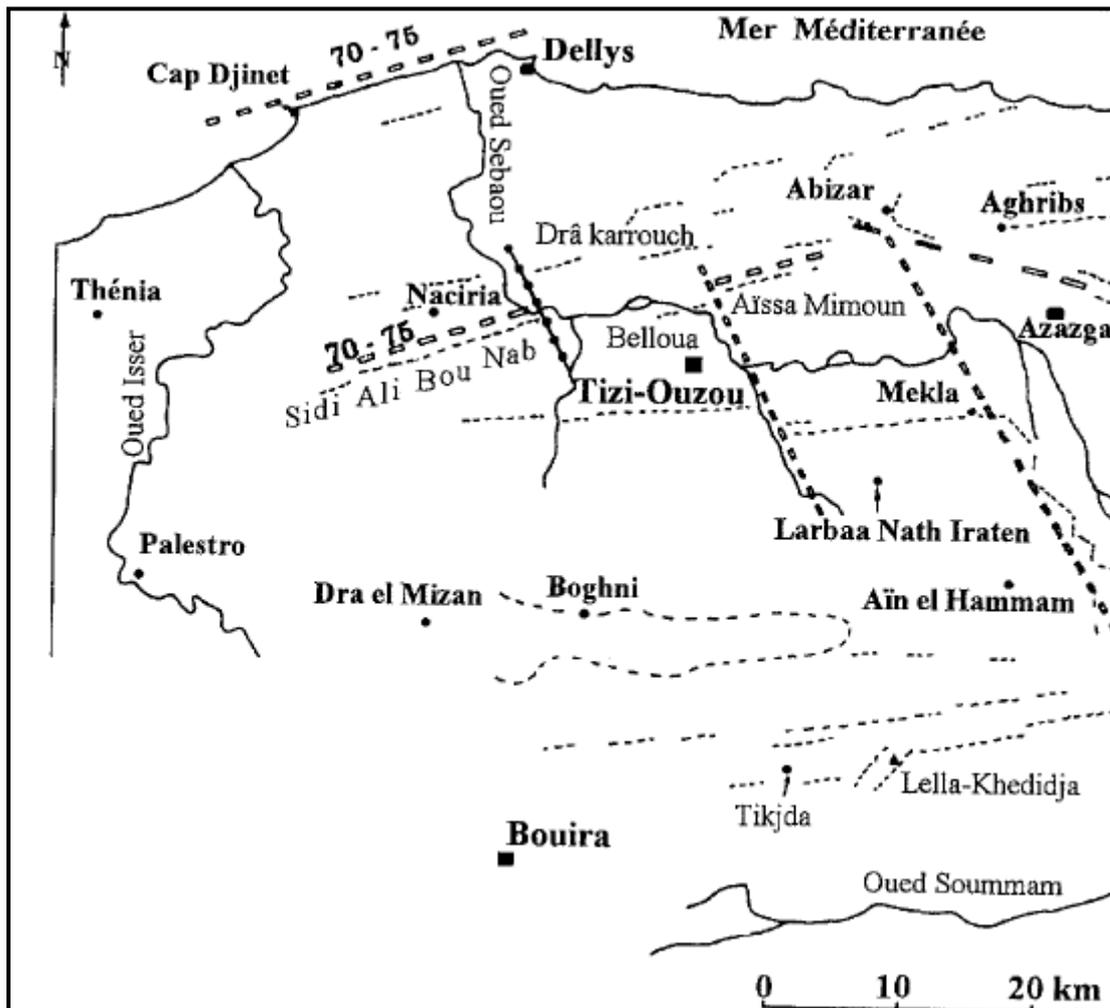
Au nord de la grande Kabylie, le Miocène post-nappes situé au nord de Tizi-Ouzou, ainsi que le socle sous-jacent, sont affectés par des plis plurikilométriques. Ces plis, dont les axes s'orientent régulièrement suivant une direction N 070°E, sont du sud au nord. Le synclinal de Tizi-Ouzou (a) ; l'anticlinal des Aissa Mimoun– Djebel Belloua (b) ; l'anticlinal de Sidi Ali Bou Nab (c) ; le synclinal de l'oued Stita-Tadmait(d) ; l'anticlinal de Draa Karrouch(e) ; l'anticlinal de Naciria (f) et le synclinal de l'oued Chender-Oued Rha(g).

Dans la région de Dellys, le Miocène post-nappes est redressé à la verticale. Sur un segment d'environ 3Km de large, Raymond (1976) y reconnu plusieurs plis serrés.

Ces divers plis traduisent un raccourcissement NNW-SSE.

Au pied sud du Djurdjura, le Miocène post-nappes de la Soummam est repris par une faille inverse inclinée à 40° vers le NNW qui provoque un chevauchement tardif des nappes sur le Miocène post nappes (Gélard, 1979 ; Coutelle, 1979 ; Boudiaf, 1996). Cette faille est observable sur plusieurs dizaines de kilomètres de long, indique comme les plis des zones internes, une compression NNW-SSE. (Figure 15).

En Grande Kabylie orientale, notamment dans la région d'Azazga, l'édifice des nappes a également été plissé et faillé (Gélard, 1979).



**Figure 15.** Carte des linéaments affectant la Grande Kabylie d'après Gélard, 1979, modifiée.

### III.6.3. Les phases tectoniques

La période préTECTOGÉNIQUE de la chaîne alpine d'Algérie a commencé dès le Trias, mais elle s'est surtout structurée au cours des phases tectoniques tertiaires.

La structuration du bassin maghrébin est héritée d'une structuration ancienne (R. Guiraud, 1973).

Raymond (1976 ,1981) a montré que le bassin de Tizi-Ouzou avait été affecté par une tectonique post-nappe, il a pu identifier, depuis la partie centrale du bassin jusqu'à la mer. Une succession d'anticlinaux et synclinaux et de failles orientés N 070°. Les plis dans le bassin ou dans sa bordure septentrionale, sont généralement droits et présentent des déversements vers le sud.

Le Miocène marin du Nord de la Grande Kabylie est affecté par des plis et des failles. Les structures les plus spectaculaires intéressent la région de Tizi-Ouzou et de Dellys, qui ont été décrites en détail par D. Raymond (1976). Un certain nombre d'entre elles étaient connues antérieurement en particulier par les travaux de P. Muraour (1955).

Au cœur du bassin néogène de Tizi-Ouzou, le Miocène se trouve engagé dans les plis affectant le socle sous-jacent. L'axe des plis s'oriente régulièrement suivant une direction N 70. Les plis d'ampleur plurikilométrique, sont du Sud au Nord :

- le synclinal de Tizi-Ouzou – Oued Aguer gour ;
- l'anticlinal des Aïssa Mimoun – Djebel Belloua que prolonge à l'Ouest celui de Sidi Ali Bou Nab ;
- le synclinal de l'Oued Stita-Tadmaït ;
- l'anticlinal du Drâ Karrouch, prolongé à l'Ouest par celui de Naciria.

Au Nord de la Grande Kabylie, une importante phase de compression SSE-NNW se manifeste donc cartographiquement par la genèse de plis plurikilométriques (M.O.Aite, 1997).

## *Partie II : partie pratique*

*Chapitre III : Etude minéralogique  
par méthode DRX*

## **I. Introduction**

Les minéraux argileux peuvent être étudiés à différentes échelles, de l'atome au paysage avec des méthodes appropriées. L'observation de lames minces permet une approche micro-morphologique qui consiste à étudier la distribution des argiles dans la roche sédimentaire ou les sols. La fabrication ou agencement des particules argileuses s'étudie via la microscopie électronique à balayage (MEB, SEM); la morphologie des particules s'observe plutôt au microscope à transmission (MET, TEM). Le degré d'hydratation des assemblages argileux s'obtient via des analyses thermiques différentielles (ATD, DTA) ou thermogravimétrie (ATG, TGA). L'étude à l'échelle moléculaire est obtenue par spectroscopie infrarouge (IR), à l'échelle atomique par microscopie électronique à transmission à haute résolution (HRTEM). La composition minéralogique des assemblages argileux est déduite par la diffraction des rayons X (DRX, XRD).

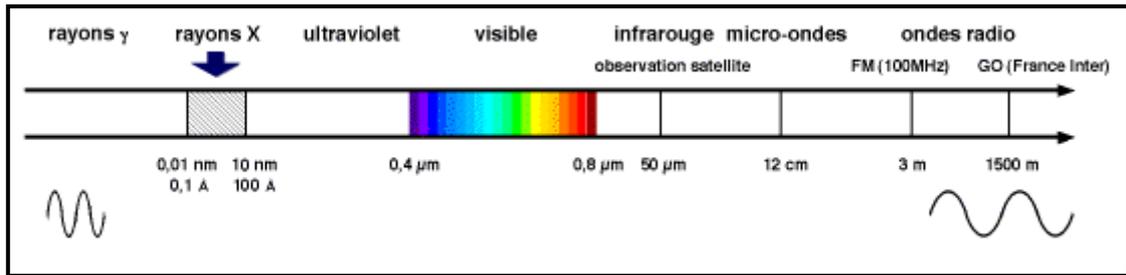
## **II. La diffractométrie de rayons X**

### **II.1. Historique**

La diffraction aux rayons X a été découverte par Röntgen en 1895, et leur nature ondulatoire a été mise en évidence en 1913 avec la réalisation des premières expériences de diffraction suggérées par Max Von Laue (Prix Nobel en 1914) et longuement étudié par sir William Henry Bragg et son fils sir William Lawrence Bragg (prix Nobel commun en 1915). Ultérieurement, Barkla a montré le caractère transversal de ces ondes établissant ainsi qu'il s'agissait d'ondes électromagnétiques.

### **II.2. Définition**

DRX La diffractométrie de rayons X (XRD pour X-ray diffraction) technique fondée essentiellement sur la diffraction des rayons X sur la matière, est une méthode adaptée à l'identification de la composition minéralogique des assemblages argileux. Elle consiste à appliquer un rayonnement d'une longueur d'onde du domaine des rayons X (entre 0.1 et 10 nm) (Figure 16) sur un échantillon orienté ou non.



*Figure 16. Les Longueurs d'ondes.*

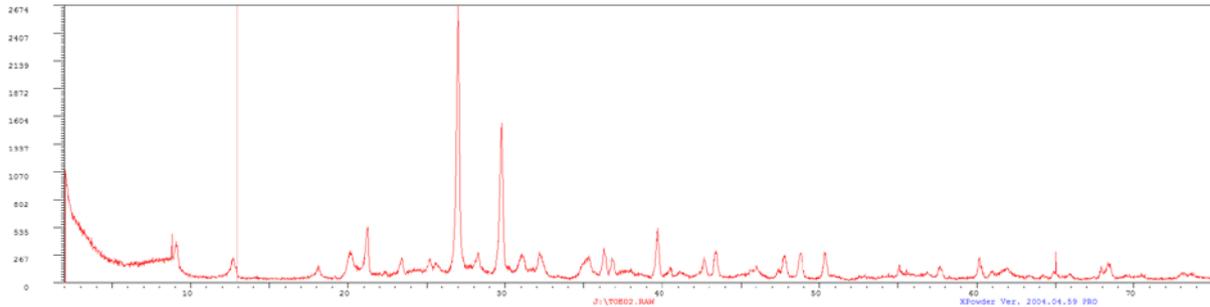
L'analyse des phases cristallines est rendue possible grâce aux périodicités de l'arrangement atomique des cristaux. Ces périodicités sont dues à un empilement de plans identiques dans un cristal et sont décrites par des longueurs correspondant aux distances entre les plans d'empilement. Cette distance entre les plans réticulaires est nommée distance réticulaire.

### II.3. Appareil

L'appareil de mesure (Figure 17) s'appelle un diffractomètre. Les données collectées forment le diagramme de diffraction ou diffractogramme (Figure 18).



*Figure 17. L'appareil de mesure le diffractomètre modèle PW 1729.*



*Figure 18. Diffractogramme.*

#### II.4. Avantage

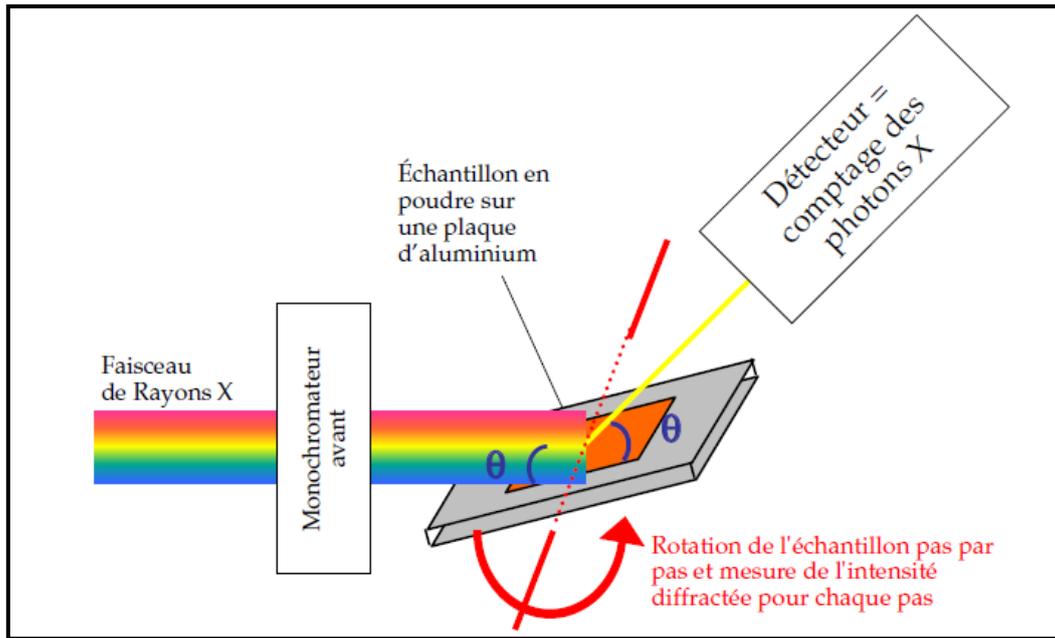
Par rapport à d'autre technique la diffraction des rayons X est une technique non destructive et qui peut nous permettre de reconnaître la symétrie du cristal, de déterminer la structure les paramètres de son réseau et d'identifier un cristal. Donc c'est de nous donner directement des caractérisations globales et des informations sur la structure cristalline des minéraux argileux.

#### II.5. Champ d'application

La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse physico-chimique. Elle ne fonctionne que sur la matière cristallisée (minéraux, métaux, céramiques, produits organiques cristallisés), mais pas sur la matière amorphe (liquides, polymères, verres) ; toutefois, la matière amorphe diffuse les rayons X, et elle peut être partiellement cristallisée, la technique peut donc se révéler utile dans ces cas-là. Par contre, elle permet de reconnaître des produits ayant la même composition chimique brute, mais une forme de cristallisation différente, par exemple de distinguer les différentes silices (qui ont toutes la même formule brute  $\text{SiO}_2$  : quartz, cristobalite...), les différents aciers (acier ferritique, austénite...) ou les différentes alumines (qui ont toutes la même formule brute  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : corindon/alumine  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\theta$ ...).

### III. Méthodes

On prépare l'échantillon sous la forme d'une poudre aplanie dans une coupelle, ou bien sous la forme d'une plaquette solide plate. On envoie des rayons X sur cet échantillon, et un détecteur fait le tour de l'échantillon pour mesurer l'intensité des rayons X selon la direction (Figure 19). Pour des raisons pratiques, on fait tourner l'échantillon en même temps, ou éventuellement on fait tourner le tube produisant les rayons X.



**Figure 19.** Principe de la diffraction.

Le rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté. La condition pour que les radiations soient en phase s'exprime par la loi de Bragg.

### III.1.Loi de Bragg

Les directions dans lesquelles les interférences sont constructives, appelées « pics de diffraction », peuvent être déterminées très simplement par la formule suivante, dite loi de Bragg :

$$2d \sin \theta = n \cdot \lambda$$

Avec

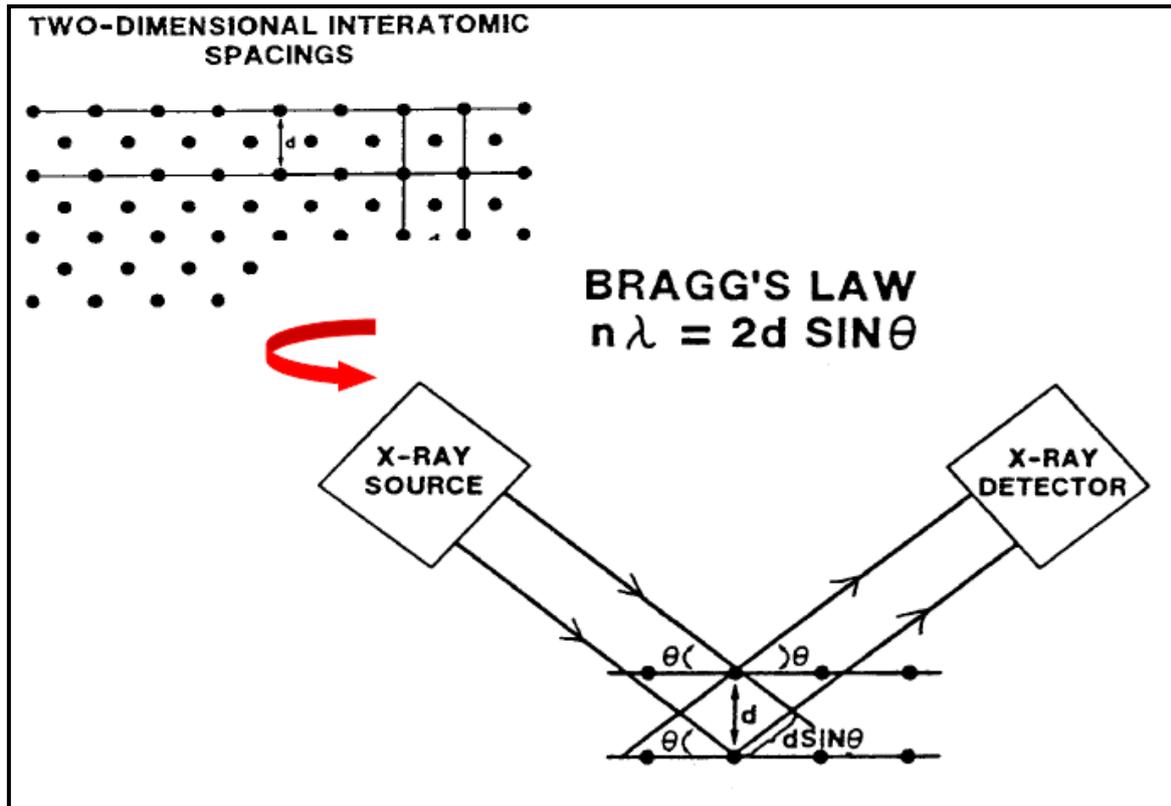
- $d$  = distance interréticulaire, c'est-à-dire distance entre deux plans cristallographiques ;
- $\theta$  = demi-angle de déviation (moitié de l'angle entre le faisceau incident et la direction du détecteur) ;
- $n$  = ordre de réflexion (nombre entier) ;
- $\lambda$  = longueur d'onde des rayons  $\lambda_{Cu} = 1.54051 \text{ \AA}$ .

Chaque famille argileuse sera caractérisée par sa valeur de d. (Tableau 4)

**Tableau 4.** Les principaux écarts réticulaires. D'après Ivan Kostov (1968).

Kaolinite	7.14(10) - 3.57(10) - 2.338(8) - 1.487(10) - 1.283(7) - 1.126(8)
Montmorillonite	15.3(10) - 4.50(10) - 3.07(10) - 2.55(10) - 1.497(10)
Vermiculite	13.7(10) - 2.65(4) - 2.55(6) - 2.39(8) - 1.533(9) - 1.321(4)
Saponite	15.8(8) - 4.57(10) - 2.65(8) - 1.527(10) - 1.320(8) - 1.301(8)
Illite	9.98(10) - 4.47(8) - 3.31(6) - 2.56(8) - 1.98(6) - 1.50(8) - 1.29(6)
Nontronite	16.6(10) - 4.52(7) - 3.066(6) - 1.519(10) - 1.310(7) - 1.258(6)
Dichite	7.17(1) - 3.592(10) - 2.345(10) - 1.922(8) - 1.666(10) - 1.322(10)
Beidilite	15.1(10) - 4.45(10) - 3.02(10) - 2.60(10) - 2.49(10) - 1.488(10)
Stilpnomelane	11.9(10) - 4.045(6) - 3.036(5) - 2.549(5) - 1.576(4) - 1.561(4)
Spodiophyllite	10.09(8) - 3.32(10) - 2.60(8) - 1.966(8) - 1.659(7) - 1.520(8)
Hydromuscovite	4.47(9) - 3.33(6) - 2.58(10) - 2.42(5) - 1.995(6) - 1.502(8)
Tainiolitr	3.65(5) - 3.33(8) - 2.595(7) - 1.99(10) - 1.65(5) - 1.501(8) - 1.303(5)
Brammalite	10.2(10) - 4.4(10) - 3.2(10) - 2.54(9) - 1.64(7) - 1.49(10)
Zinnwaldite	10.0(10) - 3.34(10) - 2.62(8) - 2.432(8) - 2.184(8) - 1.995(8) - 1.672(8)
Glauconite	3.67(5) - 3.31(7) - 2.58(10) - 2.40(5) - 1.656(5) - 1.516(10)
Stevensite	9.78(8) - 4.52(8) - 3.22(6) - 2.60(6) - 2.49(8) - 1.52(8) - 1.31(8)
Hydrobiotite	11.4(8) - 2.596(10) - 2.016(4) - 1.668(6) - 1.533(10) - 1.322(6)
Anauxite	7.4(8) - 4.6(10) - 4.08(10) - 3.59(8) - 1.67(6) - 1.502(8)
Nacrite	7.15(10) - 4.42(8) - 3.59(10) - 2.416(10) - 1.489(8) - 1.372(6)
Donbassite	4.80(10) - 3.536(10) - 2.834(6) - 2.334(7) - 1.662(6) - 1.496(6)
Lepidolite	4.47(8) - 3.36(10) - 2.84(8) - 2.58(10) - 2.012(10) - 1.695(8) - 1.492(10)

Le détecteur est positionné par rapport à l'échantillon et se déplace avec l'angle d'incidence  $\theta$ . L'échantillon et le détecteur sont couplés. La rotation de  $2\theta$  du détecteur s'accompagne d'une rotation de  $\theta$  de l'échantillon. Ceci permet de conserver un angle d'incidence et de diffraction identique  $\theta$ , équivalent à la moitié de l'angle de diffraction ( $2\theta$ ). L'énergie du faisceau diffracté est enregistrée selon l'angle de diffraction (Figure 20). Ensuite les spectres de diffraction ou diffractogrammes soient interprétés manuellement ou via un logiciel de traitement.



*Figure 20. Principe de la diffraction et illustration de la Loi de Bragg (Eslinger & Peaver, 1988).*

Cependant il faut considérer les différents ordres de diffraction  $n$ . Une même espèce argileuse aura donc plusieurs pics de diffraction correspondant à différentes valeurs de  $d$ :  $d/1$  ( $n=1$ ),  $d/2$  ( $n=2$ ),  $d/3$  ( $n=3$ ), etc.

Soit :

Illite  $d = 10\text{Å}$ ,  $d/2 = 5\text{Å}$

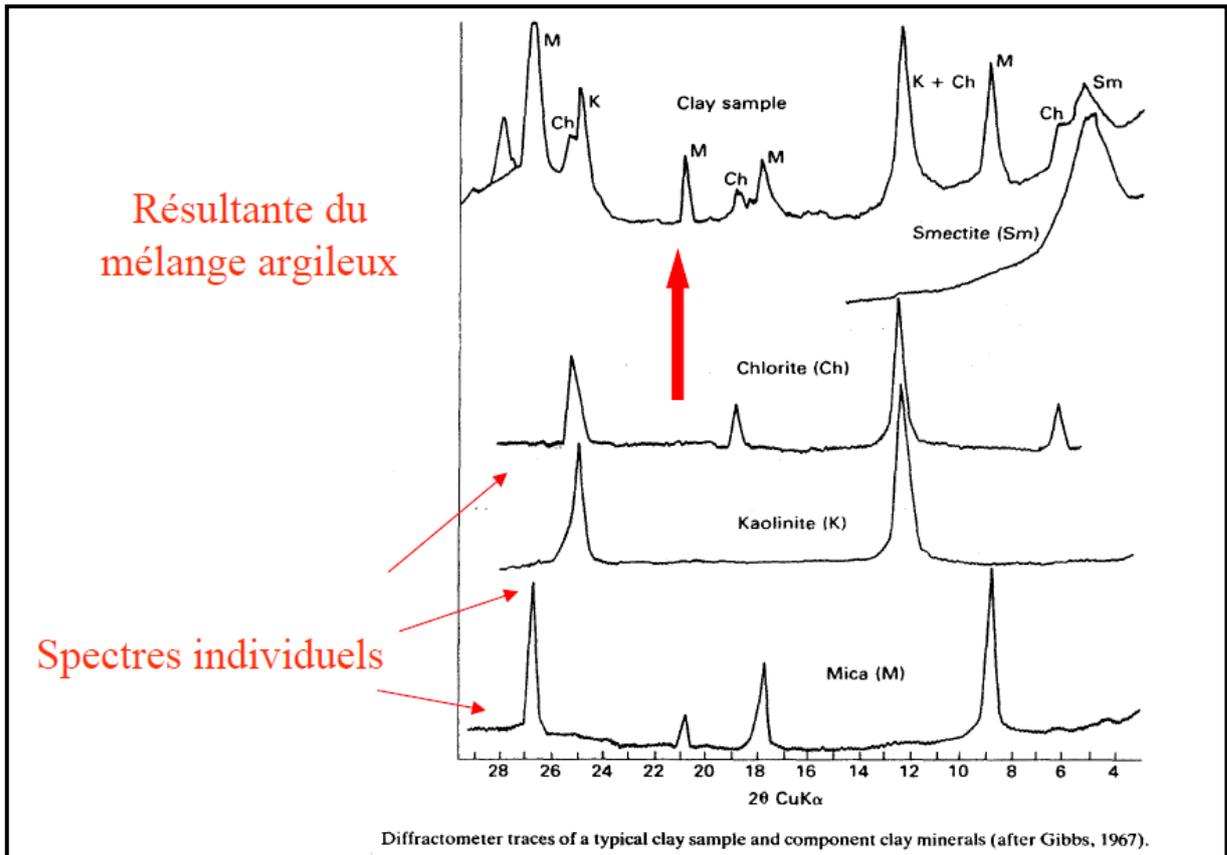
Chlorite  $d = 14\text{Å}$ ,  $d/2 = 7\text{Å}$ ,  $d/3 = 3.57$

Kaolinite  $d = 7\text{Å}$ ,  $d/2 = 3.54\text{Å}$

Smectite  $d = 15\text{Å}$ ,  $d/2 = 7\text{Å}$ ,  $d/3 = 5$

Dans un mélange argileux naturel, le spectre de diffraction enregistrera différents pics correspondants aux réflexions principales des différentes familles présentes mais aussi les réflexions secondaires ou d'ordre 3. On constate que les mêmes valeurs de  $d$  peuvent correspondre à des réflexions d'ordre différents pour des minéraux différents. Par exemple, la réflexion (001) de la kaolinite à  $7\text{Å}$  coïncide avec la réflexion (002) du chlorite.

Dans le cas d'un mélange, le spectre sera la résultante de la somme des spectres individuels avec les superpositions éventuelles (Figure 21).



**Figure 21.** Spectre de diffraction : minéraux individuels et mélanges argileux (Tucker, 1991).

### III.2. Mesure de contraintes

Si le cristal est comprimé ou étiré, les distances interréticulaires varient. Ceci entraîne une variation de la position des pics.

En mesurant les déplacements des pics, on peut en déduire la déformation de la maille, et donc, à partir des coefficients élastiques, la contrainte résiduelle dans le matériau.

En faisant varier l'orientation de l'échantillon par rapport au vecteur de diffraction (bissectrice entre faisceau incident et faisceau détecté), on peut mesurer la variation de cette contrainte selon l'orientation de l'échantillon, et donc déterminer le tenseur des contraintes.

### **III.4. Mesure de texture**

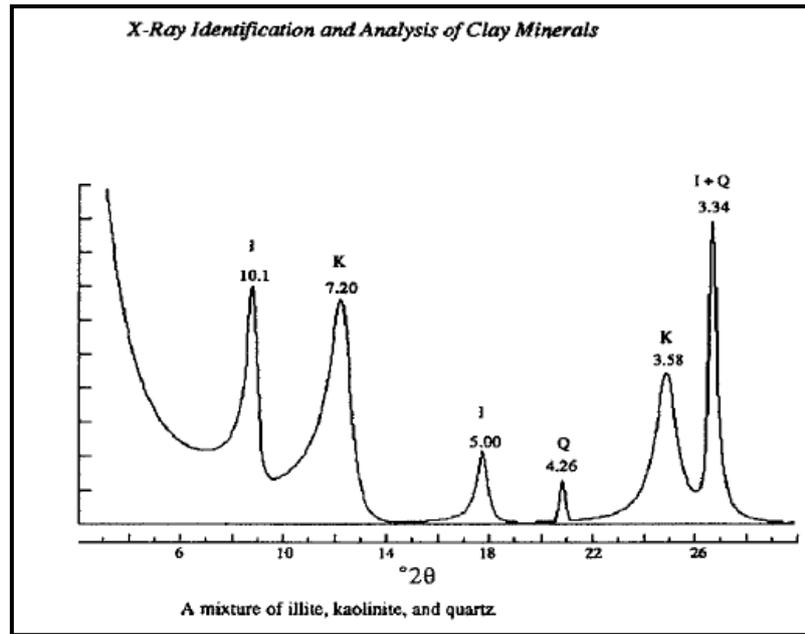
Une des hypothèses de la diffraction de poudre avec géométrie de Bragg-Brentano est que toutes les orientations cristallines doivent être respectées. En effet, comme le vecteur de diffraction est toujours perpendiculaire à la surface de l'échantillon, un plan (hkl) ne peut donner un pic que s'il existe des cristallites dont le plan (hkl) est parallèle à la surface.

Si l'échantillon n'est pas isotrope, alors certains plans donneront des pics moins élevés, d'autres plus élevés qu'une poudre isotrope. Par ailleurs, si l'on incline l'échantillon, le nombre de cristallites dont le plan (hkl) diffracte va varier ; ainsi, en mesurant la hauteur de deux pics pour plusieurs orientations de l'échantillon, on peut déterminer l'orientation globale des cristallites, c'est-à-dire la texture.

## **IV. Traitements**

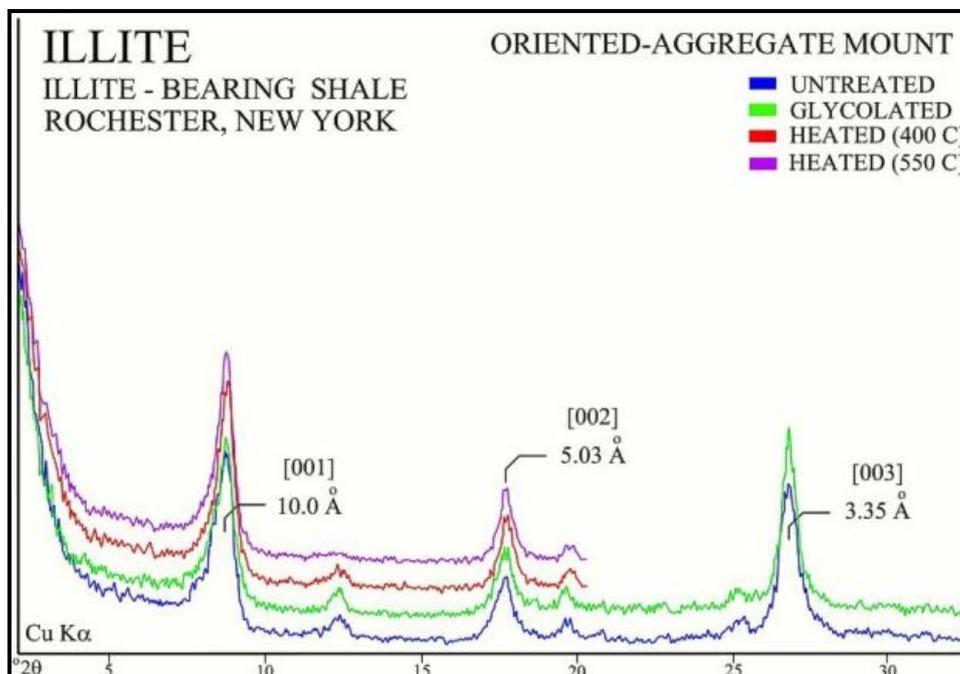
### **IV.1. Traitement des spectres et identification des minéraux argileux simples**

Après diffraction, on obtient un spectre d'énergie du faisceau diffracté en fonction de l'angle de diffraction  $2\theta$ . Dans ce spectre, on peut convertir les valeurs angulaires en espace basal  $d$  (en angströms) en appliquant la Loi de Bragg et en utilisant la longueur d'onde  $K\alpha$  de l'anode utilisée pour produire le rayonnement X incident (Figure 22).



**Figure 22.** Spectre de diffraction des rayons X d'un agrégat orienté : la carte d'identité des minéraux argileux (Morre & Reynolds, 1989).

Voici des exemples de spectres caractéristiques des principaux minéraux argileux pris individuellement (Figures 23, 24, 25).



**Figure 23.** Spectre caractéristique de l'Illite.

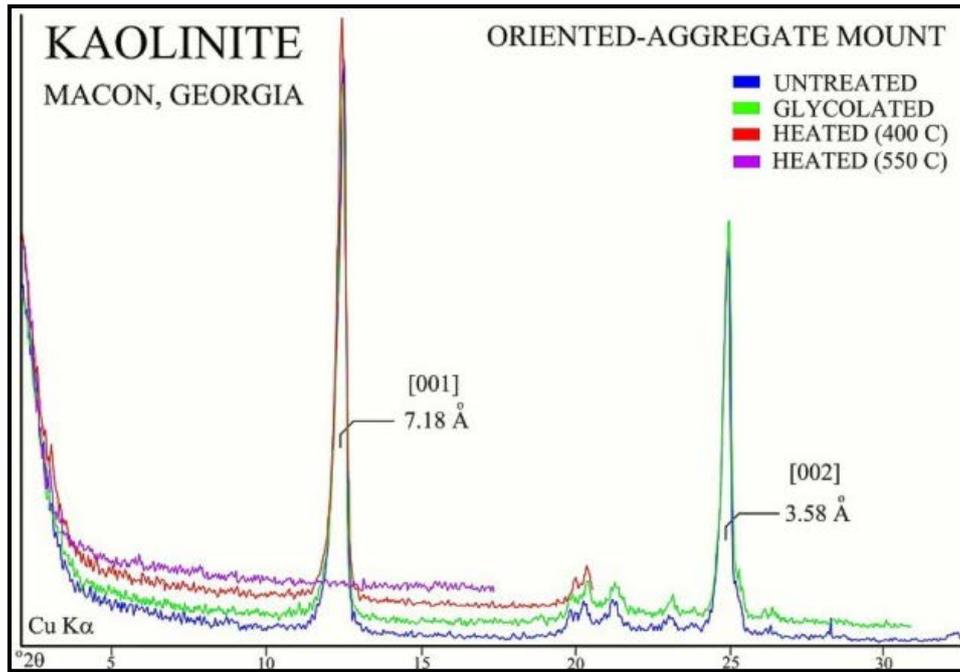


Figure 24. Spectre caractéristique de Kaolinite.

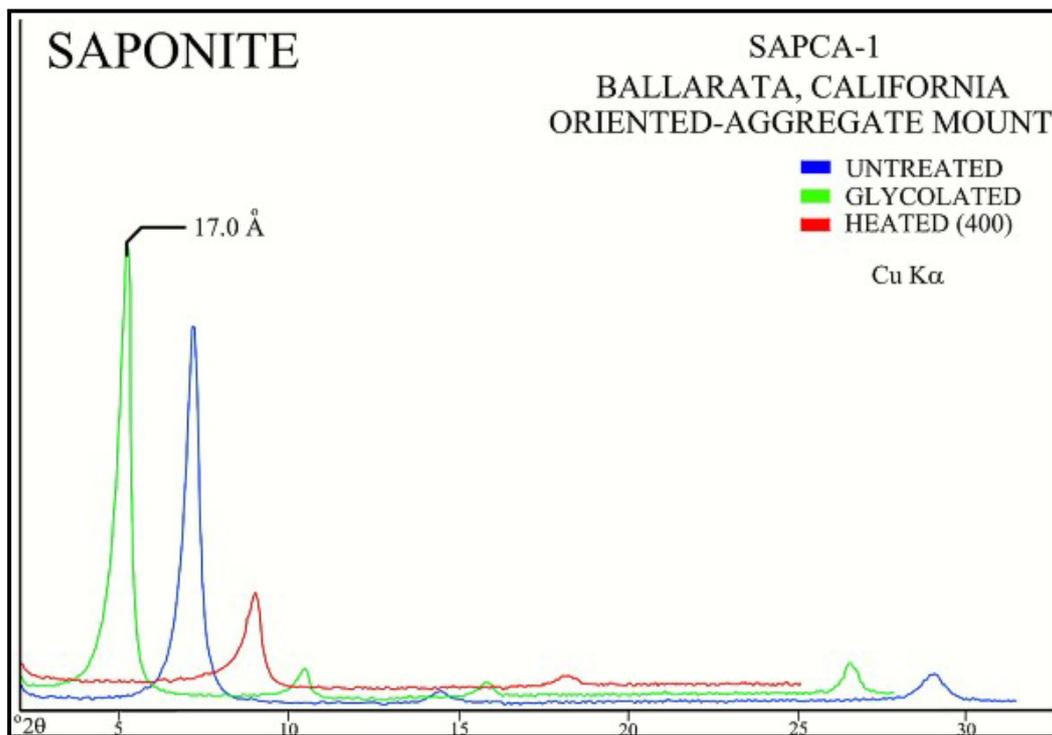


Figure 25. Spectre caractéristique de Saponite.

## IV.2. Identification des minéraux interstratifiés par diffraction des rayons X

Les minéraux interstratifiés se caractérisent par la superposition, selon un empilement vertical, de 2 (ou plus) types de couches. Il ne s'agit pas d'un simple mélange physique des différents composés mais d'un minéral à part entière. L'interstratification est due aux liaisons fortes dans les couches individuelles et la configuration proche de toutes les couches avec l'oxygène pointant vers l'extérieur.

Il s'agit de minéraux très courant en milieu naturel, souvent négligés car difficile à détecter et à quantifier par DRX.

A l'exception des interstratifiés réguliers les minéraux interstratifiés produisent des réflexions larges, non intégrales et asymétriques.

Exemple cas d'une smectite :

Chaque pic multiplié par l'ordre de la diffraction donne 17Å s'il n'y a pas d'interstratifiés (i.e., séquence intégrale). (Figure 26).

Soit :

$$17 \times 1 = 17$$

$$8.5 \times 2 = 17$$

$$5.67 \times 3 = 17$$

$$4.26 \times 4 = 17$$

$$3.40 \times 5 = 17$$

$$2.83 \times 6 = 17$$

Par contre pour une smectite avec 10 à 15% de feuillets illitiques (Figure 27), la séquence n'est pas intégrale.

Soit :

$$17 \times 1 = 17$$

$$8.6 \times 2 = 17.2$$

$$5.58 \times 3 = 16.74$$

$$4.10 \times 4 = 16.4$$

$$3.37 \times 5 = 16.85$$

$$2.81 \times 6 = 16.85$$

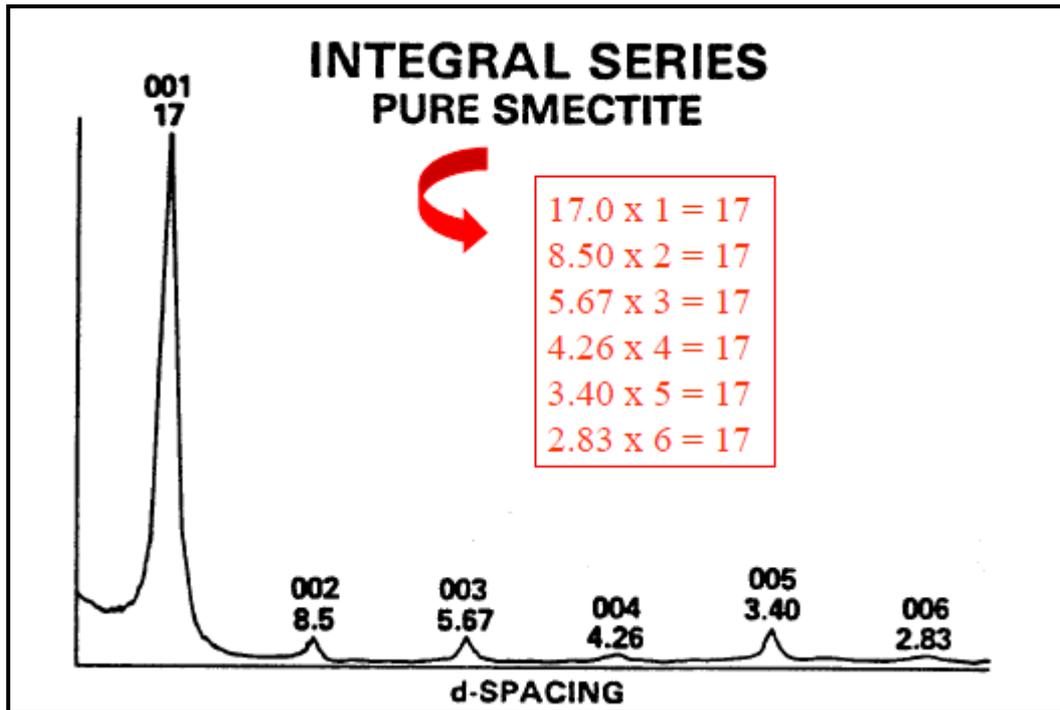


Figure 26. Réflexion harmonique pour les minéraux argileux simples (Eslinger & Peaver, 1988).

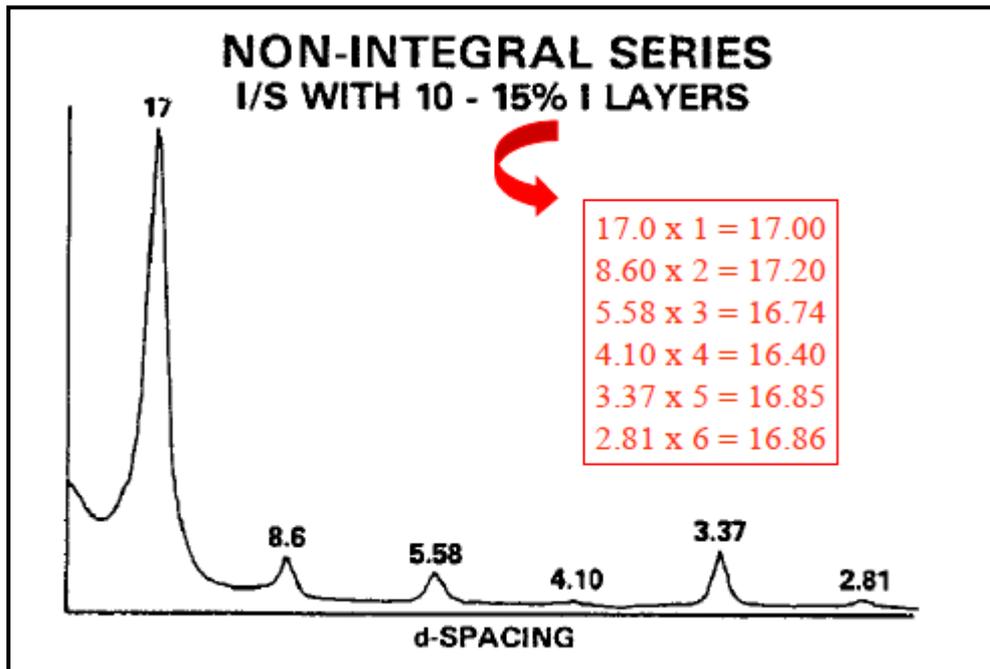
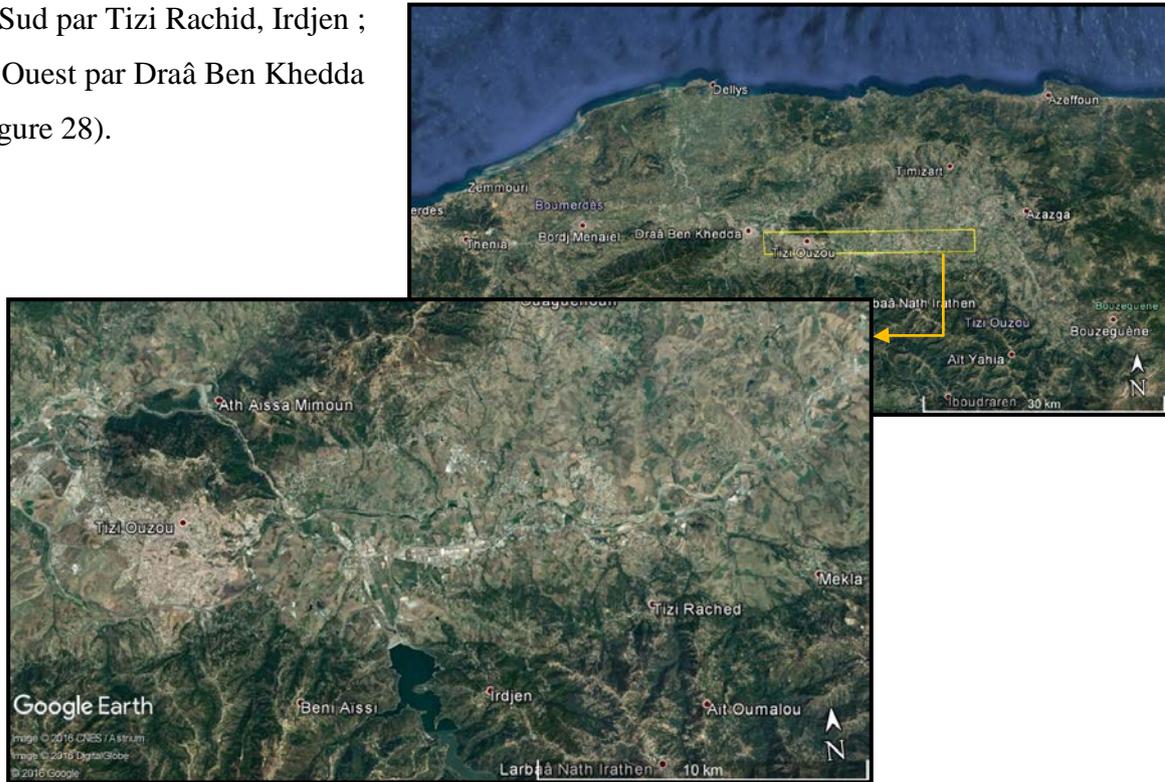


Figure 27. Réflexions harmoniques pour les minéraux argileux interstratifiés (Eslinger & Peaver, 1988).

## **Chapitre IV: Résultats et discussions**

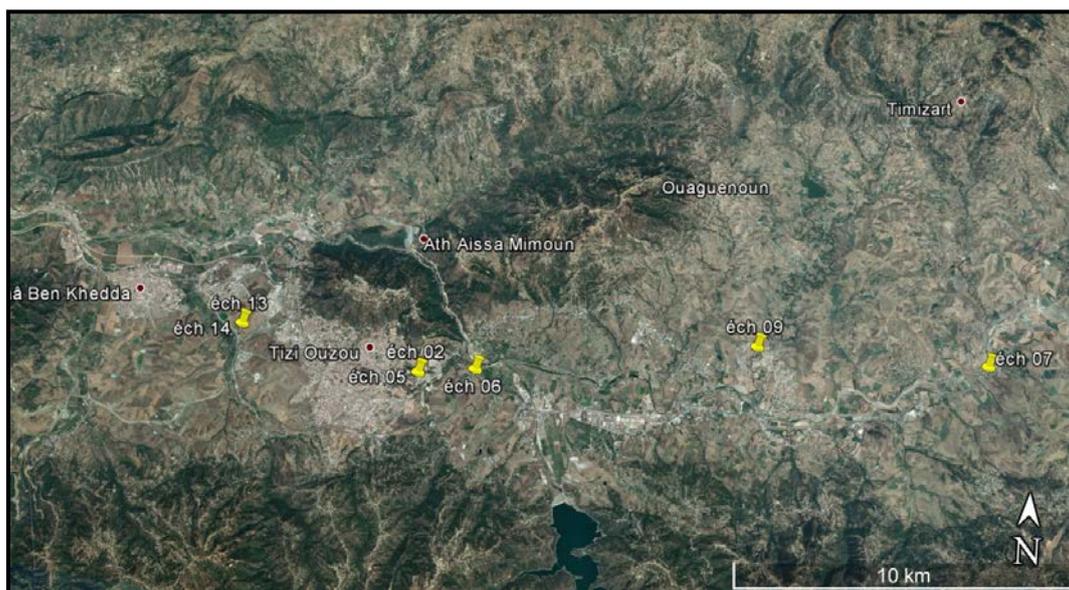
### 1. Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude est délimitée au Nord par : Beloua et Ath Aissa Mimoun,  
A l'Est par Azazga et Freha dans le Nord Est ;  
Au Sud par Tizi Rachid, Irdjen ;  
A l'Ouest par Draâ Ben Khedda  
(Figure 28).



*Figure 28. Délimitation de la zone d'étude.*

### II. Localisation et description des échantillons



*Figure 29. Position des échantillons dans la zone d'étude.*

Les Coordonnées géographiques des sites de prélèvement :

**Tableau 5.** *Les coordonnées géographiques des échantillons.*

Numéro de l'échantillon	X	Y	Z
02	36°42'27.84"N	4° 3'59.89"E	95
05	36°42'28.69"N	4° 4'0.12"E	128
06	36°42'34.19"N	4° 5'12.17"E	88
07	36°43'4.83"N	4°16'3.63"E	138
09	36°43'13.51"N	4°11'10.69"E	139
13	36°43'9.75"N	4° 0'9.47"E	89
14	36°43'10.54"N	4° 0'9.76"E	95

### **III. Préparation des échantillons**

Après le prélèvement des échantillons sur terrain notre travail est poursuivi à l'atelier du département de géologie à l'UMMTO pôle TAMDA, le séchage des échantillons est fait naturellement. Où les processus de concassage, broyage s'est fait à l'aide d'un mortier d'agate jusqu'à obtention d'une poudre d'argile dont la taille des particules est inférieure ou égale à 30µm.

La partie essentielle du travail est faite au niveau du laboratoire des analyses aux rayons X au niveau du département des sciences de la terre et de l'univers à l'USTHB, où on a fait la préparation des échantillons en lames et en poudres (2 lames, 5 en poudre).

Pour la préparation des lames en argiles ou les lames orientées on prend une quantité de volume de poudre d'argile dans un tube, dans la première étape il faut éliminer la matière organique pour cela on ajoute 3 volumes d'eau oxygénée H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> titré à 30 volumes, il faut bien agiter le tube et on le laisse reposer, après 24 heures on aura la matière organique qui flotte en surface dans le tube, pour rincer la pâte obtenue en lui ajoute de l'eau distillée on laisse reposer 24 heures et on rince.

Pour la seconde étape de préparation de lame, il faut éliminer les carbonates qui sont entre 59 et 63% dans nos argiles, donc pour l'élimination des carbonates on ajoute 3 volumes d'HCl à 5n et on va agiter et laisser reposer 24h, puis on ajoute 3 volume d'eau distillée, on agite et on a laissé 24 h. Pour préparer les lames, on prend 1/3 supérieure de la solution obtenue à l'aide d'une pipette et on l'introduit sur les lames.

On a plusieurs types de lames mais celles qui nous intéressent c'est les lames ordinaires qui sont préparés en lui posant dessus la solution et celle qui va nous donner au final un diagramme normal. Il existe d'autres lames mais qu'on n'a pas utilisées.

Pour la préparation des échantillons en poudre, sur un porte échantillon on pose une quantité de poudre d'argile et la compacter pour la mettre au même niveau que le porte échantillon.

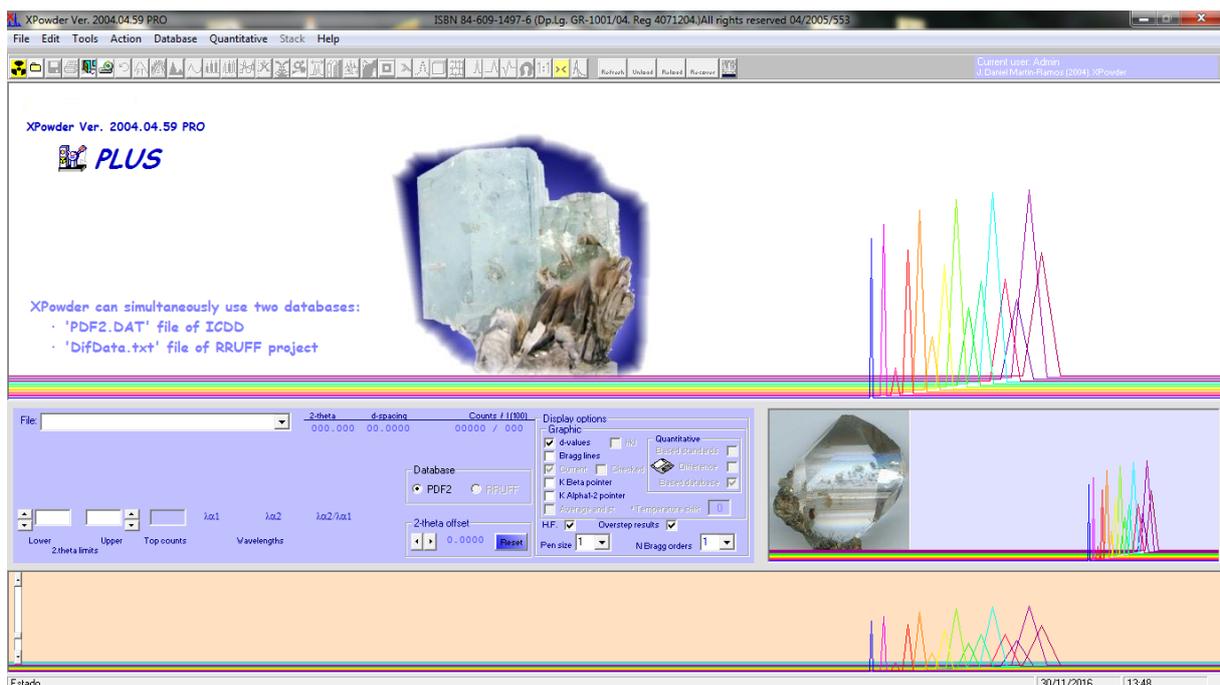
Les analyses par diffractions aux rayons-X ont été réalisées par un diffractomètre des rayons-X modèle PW 1729 a 30 KV et 20 mA, la première étape est l'enregistrement du diagramme une fois l'enregistrement effectué, nous obtenons un diagramme donnant le nombre de coups de photons X reçus par le détecteur en fonction de sa position sur le cercle de diffraction.

#### **IV. Méthode d'analyse avec le logiciel Xpowder**

On arrive à l'étape d'exploitation informatique des données (diffractogramme) à l'aide d'un logiciel Xpowder qui permet de traiter ces diagrammes et d'identifier et quantifier les minéraux argileux pour chaque échantillon. L'identification est réalisée en comparant le diffractogramme obtenu avec une base de données internationale.

Les diffractogrammes obtenus par la diffraction aux rayons X sont enregistrés sous forme des fichiers RAW, qui seront traités avec le logiciel.

La figure suivante montre l'étape initiale de l'ouverture du logiciel,



*Figure 30. Fenêtre d'ouverture de Xpowder.*

Par la suite on ouvre le diffractogramme, on choisit les lignes de Bragg proposées par le logiciel et vérifier si elles sont convenables avec les grands pics présentes.

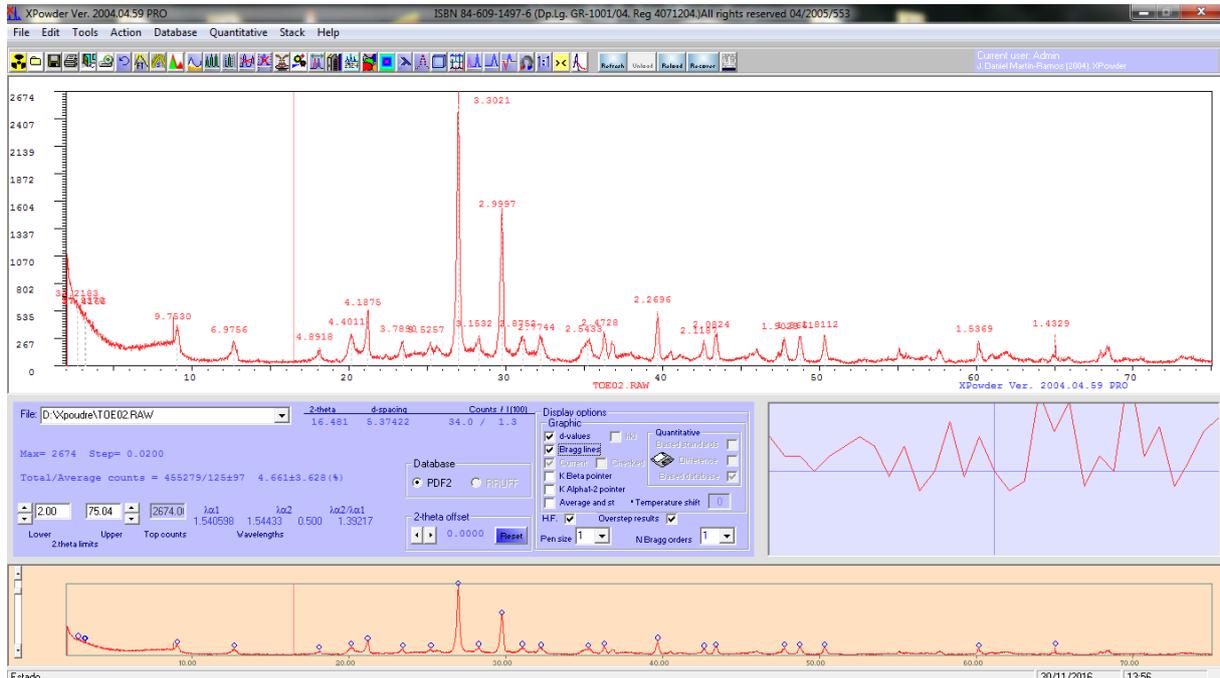


Figure 31. Fenêtre montre le diffractogramme ouvert.

Le logiciel a une base de donnée international qui contient les données des minéraux essentiels qu'on choisit un par un en se basant sur les principaux espaces réticulaires de chaque minéral.

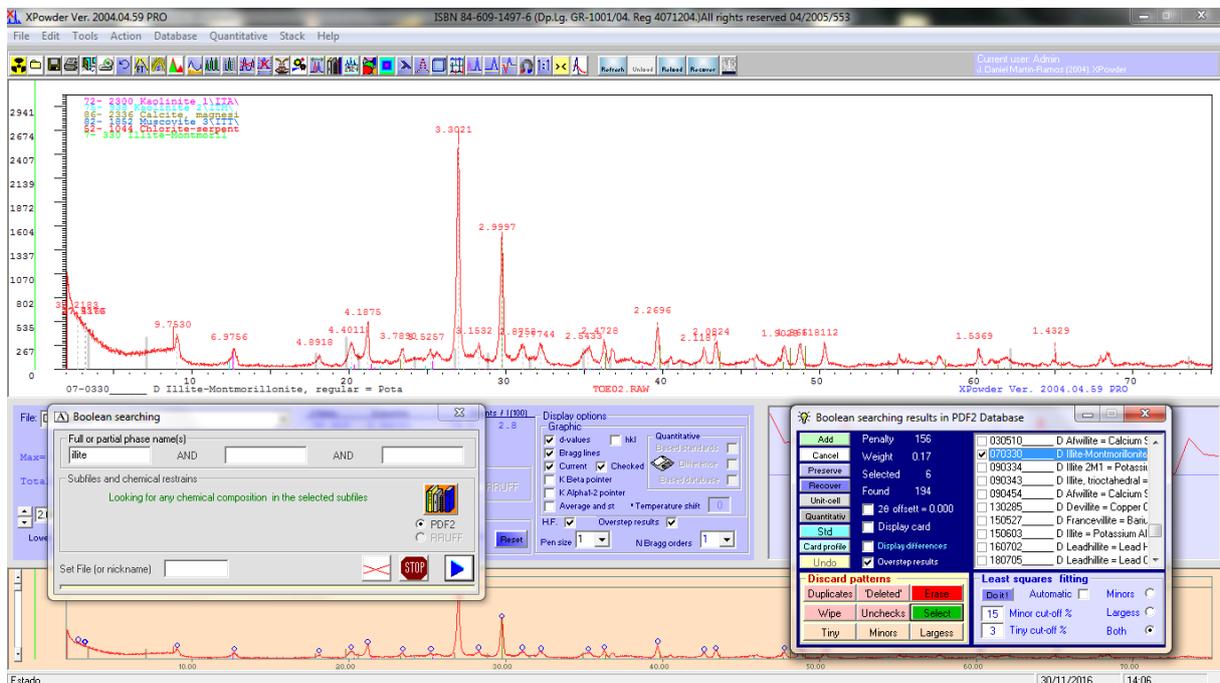


Figure 32. Fenêtre montre le diffractogramme après le choix des minéraux.

Après avoir choisie les principaux minéraux argileux présentés sur le diffractogramme, grâce à l'option de quantification que contient le logiciel on obtient les pourcentages des minéraux choisis au pars avant.

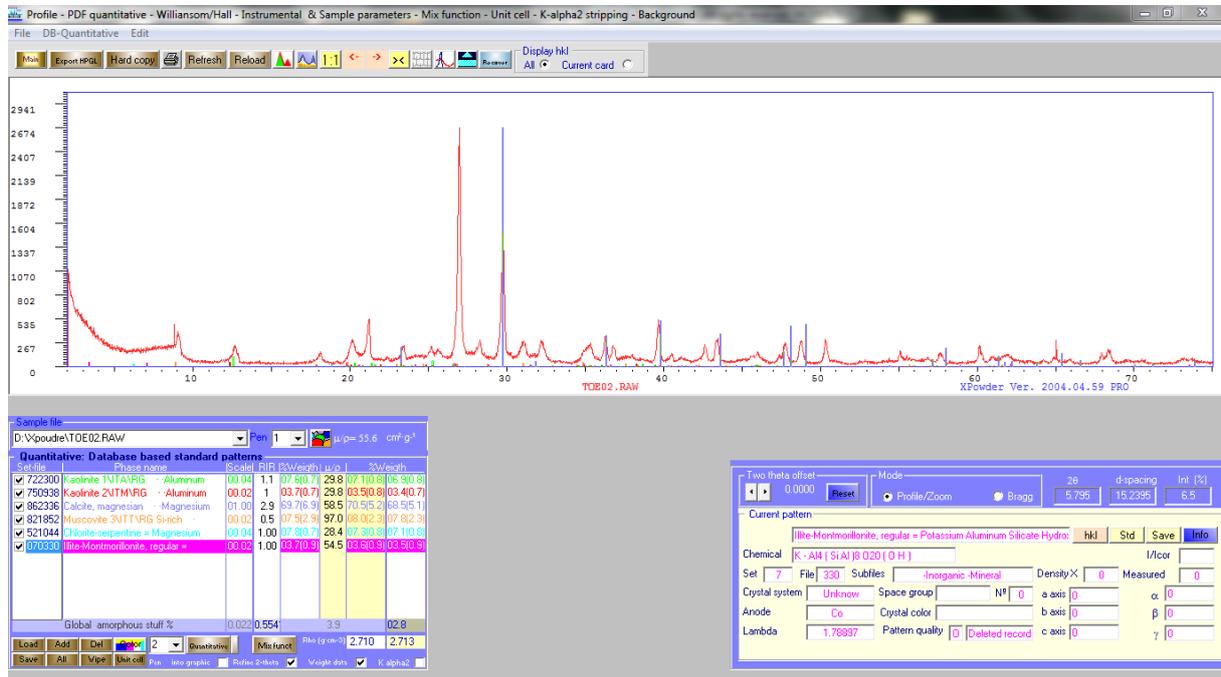


Figure 33. Fenêtre montre les pourcentages obtenus.

Pour finir avec le logiciel on sauvegarde les données traitées en sauvegardant le graphe sous forme d'image, et le pourcentage sous forme texte (TXT).

## V. Description des échantillons et discussion des résultats

On a regroupé les 07 échantillons en 5 sites d'après leur rapprochement géographique.

### V.1. Site 01

Le 1<sup>er</sup> site de prélèvement est situé à l'Habitat on a pris deux échantillons numéro 02 et numéro 05.

Pour ce qui concerne l'échantillon 02 : le lieu de prélèvement est présenté par une formation dure à la base et friable au sommet, avec un aspect lenticulaire, nodulaire et allongée au milieu de la formation, ce sont des marnes dégradées surmonter par des argiles friable avec une couleur grisâtre (Figure34).



**Figure 34.** Lieu de prélèvement de l'échantillon 02. (Habitat).

Les résultats obtenus par la DRX (Figure 1, annexe 01) montrent que l'échantillon numéro 02 est composé essentiellement de 66,2 % des calcites et 33,8% des minéraux argileux dont la muscovite, Kaolinite, chlorite, illite et l'interstatifier illite-montmorillonite, pour classer la nature de cet échantillon on utilise la classification de Jung (tableau 01 chapitre2) et on déduit que l'échantillon 02 est classé comme un calcaire-argileux. (Tableau 6)

**Tableau 6.** Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 02.

Minéraux	Pourcentage (%)
Calcite	66.2
Muscovite	7.4
Kaolinite	6.6
Kaolinite	3.3
Chlorite	6.8
Illite-mo	3.4
Illite	3.6

Concernant l'échantillon 05, il se présente par des marnes argileuses, dure, d'une couleur jaune, (Figure35), avec un aspect nodulaire. Ces bancs sont plus au moins compacts et qui forment des grandes lentilles de glissement.



**Figure 35.** Lieu de prélèvement de l'échantillon 05. (Habitat).

Le pourcentage obtenu par la DRX (Tableau7) Les minéraux argileux (Illite, kaolinite, montmorillonite, vermiculite et chlorite) ne représentent que 15,5% par contre la calcite domine avec 84,5%, cet échantillon d'après la classification de Jung est un calcaire-argileux. (Figure 2, annexe 01).

**Tableau7.** Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 05.

Minéraux	Pourcentage (%)
Illite-I	2.5
Kaolinite	3.0
Montmorillonite	2.3
Vermiculite	2.3
Chlorite	2.4
Calcite	84.5

**V.2. Site 02.**

Dans le 2<sup>ème</sup> site dans la région Tazmalt El Kef plus exactement à côté de la pompe à essence (Figure 36) on a pris l'échantillon 06 qui se présente par des marnes nodulaire friable d'une couleur grisâtre surmonter par le quaternaire.



*Figure 36. Tazmalt el kef lieu de prélèvement de l'échantillon 06.*

Les pourcentages obtenus par la DRX (Figure 8, annexe 01), pour l'échantillon 06 présenter en lame sont des pourcentages des minéraux argileux kaolinites, illite, montmorillonite sont proche les uns des autres entre 15 et 18 %. (Tableau8).

*Tableau8. Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 06.*

Minéraux	Pourcentage (%)
Kaolinite	15.1
Illite-2\	18.5
Illite-1\	17.0
Montmorillonite	15.3
Vermiculite	15.8
Chlorite	16.4

### V.3. Site 03

Dans la région de Chaoufa on a pris l'échantillon 07 (Figure37). Qui présente des marnes argileuses nodulaires très friables d'environ 70 m d'une couleur grise.



**Figure 37.** Chaoufa lieu de prélèvement de l'échantillon 07.

Les résultats de l'analyse pour l'échantillon 07 (Tableau9) montre que la calcite est abondante par rapport à l'ensemble des minéraux argileux avec un pourcentage de 71,2% et un pourcentage de 28,8% pour les minéraux argileux (kaolinite, illite, montmorillonite et chlorite). (Figure 3, annexe 01). donc on peut le considérer comme un calcaire-argileux d'après la classification de Jung.

**Tableau9.** Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 07.

Minéraux	Pourcentage (%)
Kaolinite	0.3
Kaolinite	4.9
Illite-1\	4.1
Illite	10.2
Montmorillonite	0.9
Chlorite	4.6
Calcite	71.2

#### **V.4. Site 04**

Dans la région de Tamda on a pris l'échantillon 09 qui est à la base des marnes compactes et qui devient plus dégradé en allant vers le haut, cet échantillon a un aspect nodulaire, dégradé et friable (Figure 38).



*Figure 38. Tamda lieu de prélèvement de l'échantillon 09.*

L'échantillon 09. (Figure 4, annexe 01). formé essentiellement de calcite 71,8% et un pourcentage moins important 28,2% des minéraux argileux (kaolinite, illite, montmorillonite, chlorite et vermiculite) (Tableau10) donc se présent échantillon est considéré comme un calcaire-argileux d'après Junge (Tableau 01 chapitre 2).

*Tableau10. Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 09.*

Minéraux	Pourcentage (%)
Kaolinite	3.7
Illite =	4.0
Montmorillonite	4.5
Montmorillonite	3.9
Chlorite	4.7
Vermiculite	4.1
Calcite	71.8

### V.5. Site 05

A Boukhalfa dans le grand affleurement des marnes dans la nouvelle autoroute vers Alger on a pris deux échantillons, échantillon 13 à la base de l'affleurement qui est une marne argileuse d'une couleur grise un peu dure avec un aspect nodulaire dégradé.

Pour l'échantillon 14 qui est pris à une hauteur de l'échantillon 13, et qui présente presque le même aspect, qui sont des marnes nodulaires d'une couleur grise très dégradé et très friable. (Figure 39).



**Figure 39.** Boukhalfa lieu de prélèvement des échantillons 13 et 14.

L'échantillon 13 est une marne voir les pourcentages obtenus. (Figure 5, annexe 01). qui présente une dominance de calcite avec 62.2% et 33.8 % d'ensembles des minéraux argileux (Kaolinite, Montmorillonite, Vermiculite, Chlorite) et d'interstratifier Illite-Montmorillonite. (Tableau11).

**Tableau11.** Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 13.

Minéraux	Pourcentage (%)
Illite-mo	3.5
Illite, s	3.5
Kaolinite	4.4
Montmorillonite	3.4
Montmorillonite	9.5
Vermiculite	3.6
Chlorite	3.5
Chlorite-	3.4
Calcite	62.2

L'échantillon 13 préparé en lame présente des pourcentages variables des différents minéraux argileux à dominance d'illite avec plus de 40 %, de vermiculite à plus de 25%, et des pourcentages moins importants présenté par des kaolinites et des montmorillonites. (Tableau12). (Figure 8, annexe 01).

**Tableau12.** *Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 13l*

Minéraux	Pourcentage (%)
Kaolinite	7.5
Kaolinite	3.8
Illite-mo	8.1
Illite-1\	8.4
Illite-2\	27.8
Vermiculite	25.8
Montmorillonite	8.4
Montmorillonite	7.6

Dans l'échantillon 14. (Figure 6, annexe 01)., l'ensemble argileux (kaolinite, illite, montmorillonite et vermiculite) et l'interstratifier Illite-Montmorillonite qui présentent des valeurs proches les uns des autres, avec un pourcentage dominant 91 ,2% par rapport à la calcite avec 8 ,8 % (Tableau13) ce qui nous permet de le classer autant qu'un argilo-calcaire selon Jung.

**Tableau13.** *Pourcentage de l'analyse pour l'échantillon 14.*

Minéraux	Pourcentage (%)
Kaolinite	10.1
Kaolinite	10.9
Illite=	12.3
Illite-mo	11.2
Montmorillonite	24.2
Montmorillonite	10.2
Vermiculite	10.5
Calcite	8.8

## **Conclusion**

L'étude des argiles et des marnes argileuses prélevées dans la région d'étude située dans le bassin miocène de Tizi-Ouzou par la méthode de diffraction aux rayons X et le traitement des diffractogrammes obtenus et analysés par le logiciel Xpolder. Cette méthode nous a permis de classer et caractériser de point de vue minéralogique les différents échantillons des 5 sites représentatifs de la région d'étude (Tableau 14).

**Tableau 14.** *Tableau récapitulatif des résultats.*

Site	Echantillon	Pourcentage des minéraux argileux	Pourcentage de la calcite	Classification
(1) Habitat	02	33.8	66.2	calcaire-argileux
	05	5.5	84.5	calcaire-argileux
(3) Chaoufa	07	71.2	28.8	calcaire-argileux
(4) Tamda	09	28.2	71.8	calcaire-argileux
(5) Boukhalfa	13	33.8	62.2	marne
	14	91.2	8.8	argilo-calcaire

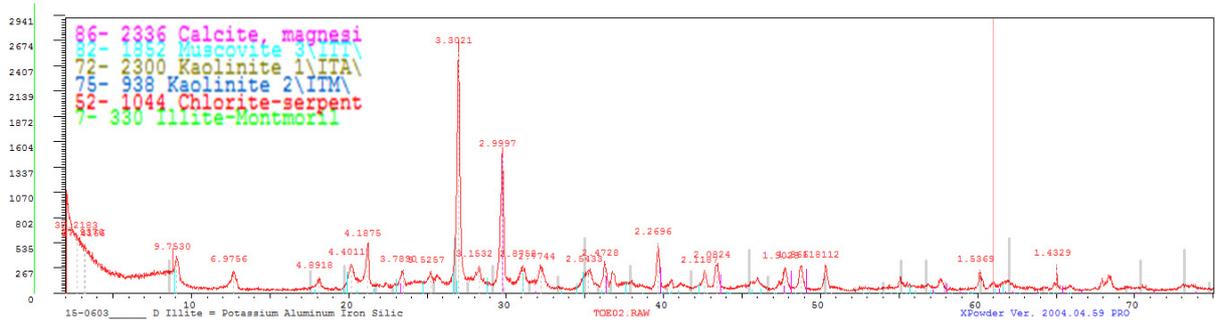
## **Conclusion Générale**

## **Conclusion générale**

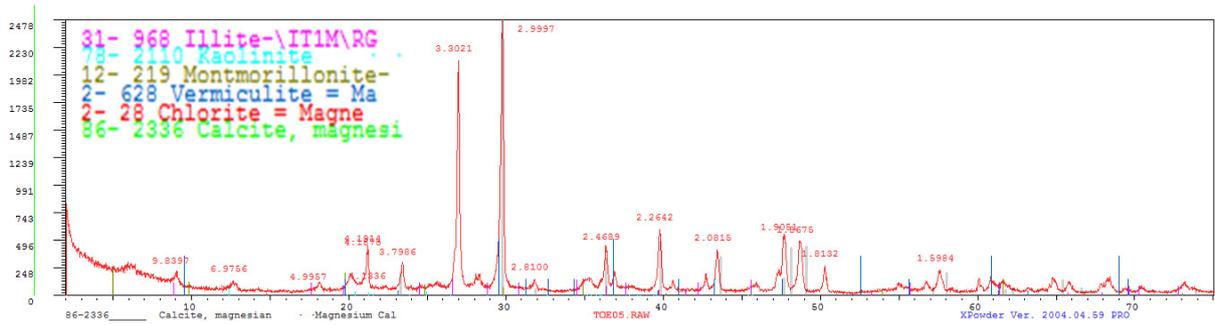
Les marnes du bassin miocène de Tizi-ouzou, sont composés essentiellement de calcite magnésienne, kaolinite(s), d'illite(s), montmorillonite(s) et occasionnellement des cholrites. Cette composition est obtenue à l'aide du logiciel Xpowder. Cette méthode nous a permis de classer et caractériser de point de vue minéralogique les différents échantillons des 5 sites représentatifs de la région d'étude.

Cinq sites sont au sujet d'étude dont on a prélevé sept échantillons qu'on a traité avec la méthode de diffraction aux rayons X, les résultats obtenus sont différents d'un site à l'autre. Dans le premier site situé à l'habitat, les échantillons sont classés comme des calcaire-argileux, dans le deuxième site à Tazmalt El Kef les résultats ont dévoilé que l'échantillon en lame contient une variation minéralogique, dans le troisième site à Chaoufa les analyses obtenues montrent que la formation s'agit des calcaire-argileux comme dans le quatrième site situé à Tamda qui montre aussi que la formation est classée comme un calcaire argileux. Pour le dernier site à Boukhalfa la classification de nos deux échantillons présente de marne et des argilo-calcaire.

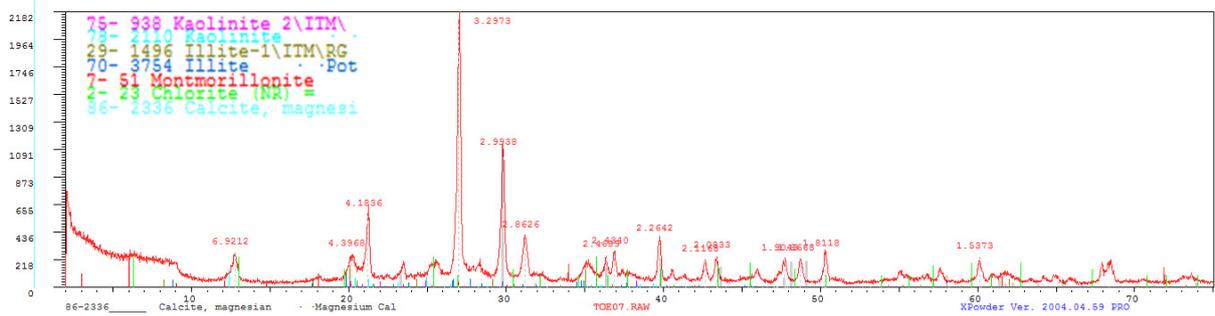
**Annexe 01 : Les diffractogrammes obtenus.**



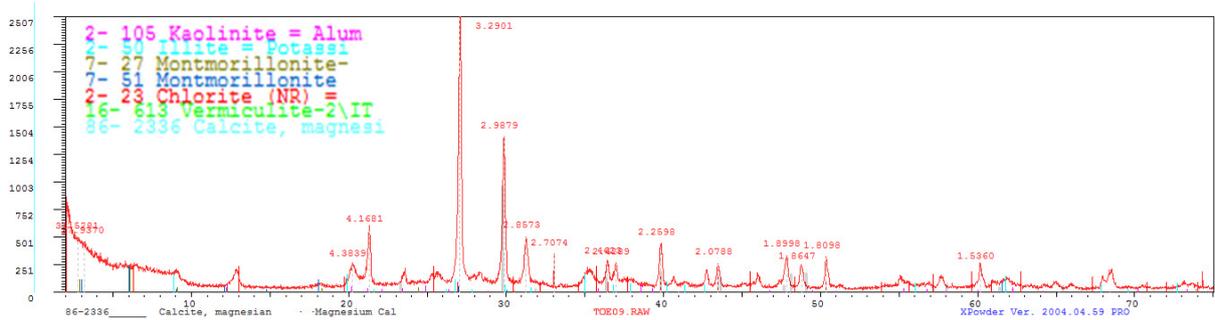
**Figure 1. Diffractogramme de l'Échantillon 02.**



**Figure 2. Diffractogramme de l'Échantillon 05.**



**Figure 3. Diffractogramme de l'Échantillon 07.**



**Figure 4. Diffractogramme de l'Échantillon 09.**

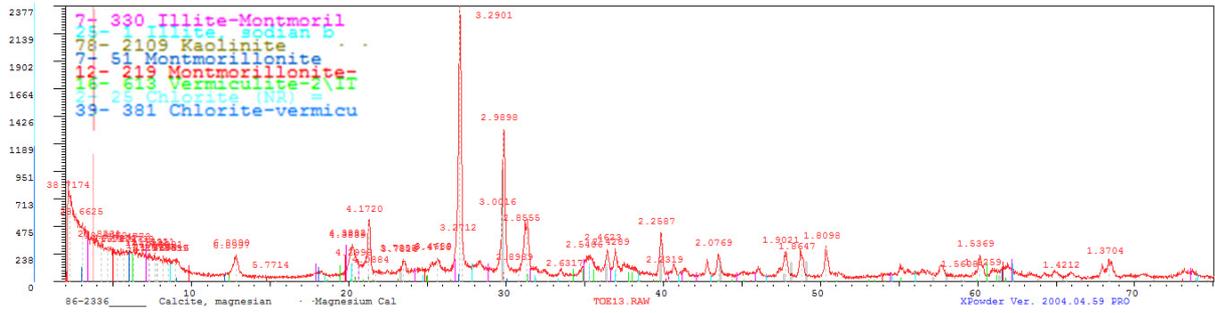


Figure 5. Diffractogramme de l'Échantillon 13.

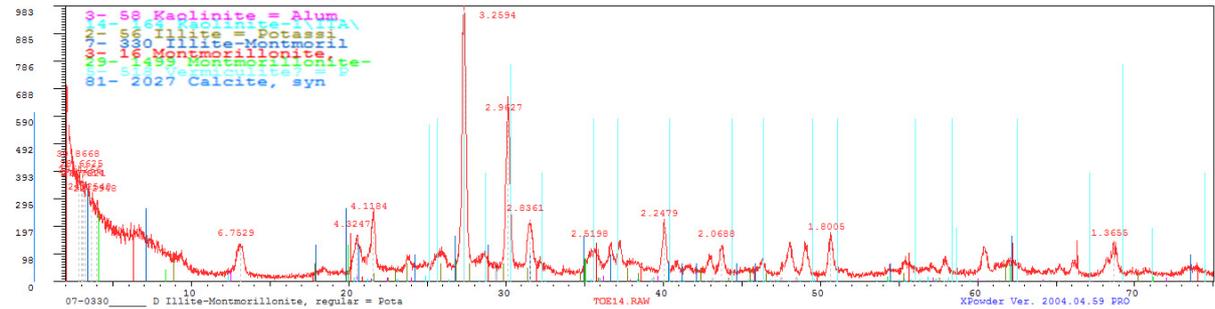


Figure 6. Diffractogramme de l'Échantillon 14.

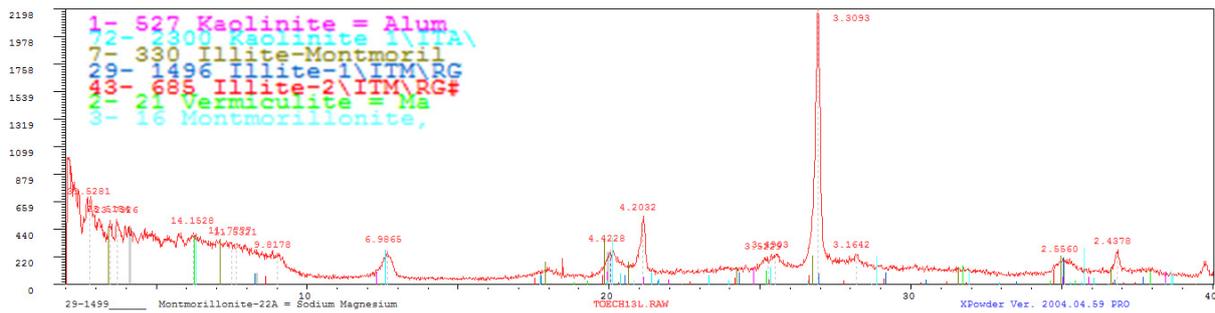


Figure 7. Diffractogramme de l'Échantillon 13l.

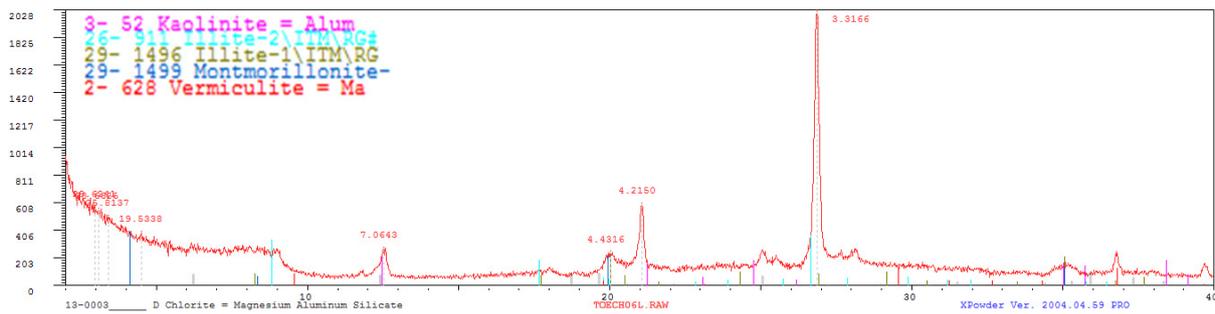


Figure 8. Diffractogramme de l'Échantillon 06l.

Annexes 02 : les formules chimiques

Set	File	Nom	Formule chimique
86	2336	Calcite, magnesian magnesium calcium carbonate	(Mg.129 Ca.871) (Co3)
07	0330	Illite-Montmorillonite, régular= P otassium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate	K- Al4 (Si Al)8 O20 (OH)
82	1852	Muscovite 3\ITT\RG .. Potassium Aluminum Iron Magnésium Titani	(K0.93 Na0.03) (Al1.54 Fe0.
72	2300	Kolinite 1\ITA\RG .. Aluminum Silicate Hydroxide	Al2 Si2 O5 (OH)4
75	0938	Kaolinite 2\ITM\RG .. Aluminum Silicate Hydroxide	Al2 Si2 O5 (OH)4
52	1044	Chlorite-serpentine = Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide	(Mg, Al)6 (Si, Al)4 O10
31	0968	Illite-\IT1M\RG = Potassium Aluminum Silicate Hydroxide	K Al2 (Si3 Al) O10 (OH)2
78	2110	Kaolinite .. Aluminum Silicate Hydroxide	Al4 (OH)8 (Si4 O10)
02	0028	Chlorite = Magnesium Aluminum Iron Silicate Hydroxide	(Mg, Fe)5 (Al, Si)5 O10
07	0051	Montmorillonite= Sodium Calcium Aluminum Magnesium Silicon Hydroxide Hydrate.	(Na, Ca) 0.3 (Al, Mg)2 Si
12	0219	Montmorillonite.18A= Sodium Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate.	Na 0.3 (AlMg)2 Si4 O10 O H2
16	0613	Vermiculite-2\ITM\RG= Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate.	Mgx (Mg, Fe) 3 (Si, Al)4
25	0001	Illite, sodian brammallite= Sodium Aluminum Silicate Hydroxide.	(Na, K) 1-x (Al, Mg, Fe)
26	0911	Illite-2\ITM\RG#1 [NR]= Potassium Aluminum Silicate Hydroxide.	(K, H3O) Al2 Si3 Al O10(
29	1496	Illite-1\ITM\RG [NR]= Potassium Aluminum Silicate Hydroxide.	K0.7 Al2 (Si, Al)4 O10 (O
29	1499	Montmorillonite-22A= Sodium Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate.	Na0.3 (Al, Mg)2 Si4 O10 (O
39	0381	Chlorite-vermiculite-montmorillonite= Sodium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate.	Na0.5 Al6 (Si, Al)8 O20 (O
43	0685	Illite-2\ITM\RG#2 [NR]= Potassium Aluminum SilicateHydroxide.	K Al2 (Si3 Al) O10 (O H)2
70	3754	Illite ..Potassium Aluminum Silicate Hydroxide.	K (Al4 Si2 O9 (O H)3)
78	2109	Kaolinite ..Aluminum Silicat Hydroxide	Al4 (O H)8 (Si4 O10)
81	2027	Calcite, syn ..Calcium Carbonate	Ca (CO3)
02	0628	Vermiculite = Magnesium Iron Aluminum Silicon Hydroxide Hydrate	(Mg, Fe+2, Al)3 (Si, Al)
01	0527	Kaolinite=Aluminium Silicate Hydrate ..	Al2 Si2 O5(O H)4
02	0021	Vermiculite=Magnesium Aluminum Iron Silicate Hydrate	22 Mg 0 ! 5Al2 O3 !Fe 2 O3 !22
02	0023	Chlorite(NR)=Aluminum Iron Silicate Hydroxide	Al-Fe-Si O2 - O
02	0025	Chlorite(NR)=Magnesium Silicate Hydroxide	Mg-Si O2- OH
02	0050	Illite=Potassium Magnesium Aluminum Silicate Hydrate	2 K2 O !3 Mg 0 !Al2 O3 !24 Si
02	0105	Kaolinite=Aluminum Silicate Hydrate	H4 Al2 Si2 O9

03	0016	Montmorillonite,syn=Aluminum Silicate Hydrate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> !4 Si O <sub>2</sub> !x H <sub>2</sub> O
03	0052	Kaolinite=Aluminum Silicate Hydroxide	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> !2 Si O <sub>2</sub> !2 H <sub>2</sub> O
05	0518	Vermiculite ?=Potassium Aluminum Silicate Hydrate	Na-K-Al-O-Si !12 H <sub>2</sub> O
07	0027	Montmorillonite-Chlorite=Sodium Calcium Aluminum Silicate	Na-Ca-Al-Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> -0

# Références bibliographiques

---

- AITE, M-O., GELARD, J.-P., SUZZONI, J.-M et al., 1991 :** *Déformation post-nappes et paléocontraintes enregistrées sans le bassin miocène de Tizi-Ouzou (Grande Kabylie).* –Bull Office Nat. Géol., Alger.
- AITE, M.-O., 1994 :** *Analyse de la microfracturation et paléo-contraintes dans le néogène post-nappes de Grande Kabylie (Algérie).* Thèse de Doctorat en Géologie structurale, Laboratoire de Géologie, Université du Maine, E.A. 1014, Le Mans, France.
- AIT, M.O., et GELARD J.P., 1997 :** *Distension néogène post-collisionnelle sur le transect de Grande-Kabylie (Algérie).* Bull. Soc. Géol. France. T 168, n°4, pp 423-436.
- BEKHBEKH, Souhila.,** Etude structurale par la méthode de Rietveld des précurseurs de faible stabilité thermique. page 5-7.
- BOSSIERE, G., 1980 :** *Un complexe métamorphique polycyclique et sa blastomylonitisation. Etude pétrologique de la partie occidentale du massif de Grande Kabylie (Algérie).* Thèse Doct. Etat, Univ : Nantes.
- BOSSIERE, G et PEUCAT, J.-J., 1986 :** Structuration evidence and Rb-St, 39-40Ar mica ages relationships for the existence of an Hercynian deep cristal shear zone in Grand Kabylie (Algeria) and its alpine reworking.-Tectonophysics.
- Bouaziz Ala-Eddine.** *Contribution à l'étude géologique des argiles maestrichtiennes le long de la limite Nord Ouest du Oued Bou Sellem, Sétif, Algérie.* 02-11pp.
- BOUAZIZ, Nacira., et MELBOUCI, Bachire.** *Caractérisation de l'alea glissement de terrain en Kabylie (Tizi-ouzou) Algerie.*
- BOUDCHICHA, Mohamed Réda.** Étude de la cristallisation et des propriétés mécaniques et diélectriques de céramiques préparés à partir de Kaolon-Dolomite. 3-28pp.
- BOUDIAF. 1996 :** *Etude de la sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie): utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) et de la télédétection pour la connaissance des structures tectoniques actives: contribution à l'évolution de l'allée sismique.,* thèse, Univ. Montpellier II.
- BOUDLAL, Omar.,** *étude expérimentale du comportement mécanique des fines dans la stabilité des talus et des fondations.* 6-13pp.

- BOURAS, Omar.**, *Propriétés adsorbantes d'Argiles pontées organophiles* : Synthèse et caractérisation. 23-26pp.
- COUELLE, A., 1979** : *Flyschs externe et unités tellienne du flanc sud du Djurdjura* : Présentation d'un modèle d'évolution tectogénique de la Grande Kabylie. –Bull. Soc. Géol. Fr.
- DURAND-DELGA, M., 1969** : *Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie*. Publ. Serv.Géol. Algérie, n°39.
- EI OUAHABI, Meriam.** *Valorisation industrielle et artisanale des argiles du Maroc* 6-26pp
- ERRAIS, Emna.** *Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques* 37-46pp.
- ESLINGER, E., ET PEAVER, D., 1988**: Clay minerals for petroleum geologist and engineers, SEPM Short course Notes N° 22. Society Economic paleontologists and mineralogists, Tulsa, USA.
- FAO (2001)**. Deuxième forum mondial FAO/OMS des responsables de la sécurité sanitaire des aliments. Bangkok (Thaïlande), 12-14 octobre 2004.
- FRIZON DE LAMOTTE, D., SAINT BEZAR, B., BRACENE, R., et MERCIER, E., 2000**: The two main step of the Atlas bulding and geodynamics of the western Mediterrean. Tectonics, Vol. 19, N° 4.
- GELARD, J.-P., 1979** : *Géologie du Nord-Est de la Grande Kabylie*. Thèse de Doctorat. Etat. Univ. De Dijon.
- GERY, B. 1983** : *Situation et âge des formations sédimentaires allochtones du Nord de la Grande Kabylie : exemple du Djbel Aïssa Mimoun*. C.R. Acad. Sci. Paris.
- GRIM R, E., 1962** : *Applied clay mineralogy*, ed. Me Graw-Hill Book, t. 1, New York.
- GRIM R, E., 1968**: *Clay Mineralogy*, Mc Graw-Hill, New York, 2<sup>ème</sup> Edition.
- GUIRAUD, R., 1975** : *L'évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines*. Revue de Géographie physique et de géologie dynamique (2), Vol. XVII, fasc. 4.
- HUBERT, Fabien.**, Modelisation des diffractogrammes de mineraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempere. Implications mineralogique et pedologique., pp 23-44 et 47-52.
- KOSTOV, Evan., 1968**: *mineralogy*. University of Sofia, Bulgaria., Oliver and Boys Edition
- MAGNE, J., et RAYMOND, D., 1974** : *Le Néogène post-nappes de la région de Dellys - Tizi Ouzou (Algérie) ; un enregistreur de l'évolution dynamique du NW de la Grande Kabylie après le Burdigalien*. –Bull. Soc. géol. Fr.

**MAISON, Tatiana.**, *analyse à l'échelle microscopique des phénomènes d'humectation et de dessiccation des argiles.* 22-30pp.

**McKenzie, R.C., 1975 :** *The classification of soil silicates and oxide, in Soil components* vol. 2: Inorganic components, Giesecking J.E., eds. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1.

**MOORE., et REYNOLDS., 1989:** - *X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals.* Oxford University Press.

**MURAOUR., 1956 :** *contribution à l'étude stratigraphique et sédimentologie de la basse Kabylie.* Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S ; Bull. N7. Alger.

**NGUEMTCHOIN MBOUGA, Marie Goletti.,** Formulation d'insecticides en poudre par adsorption des huiles essentielles de *Xylopia aethiopica* et de *Ocimum gratissimum* sur des argiles camerounaises modifiées 37-46pp.

**PEUCAT, J.-J., et BOSSIERE, G., 1991 :** *Age U-Pb fini-Hercynin de la ceinture mylonitique de haute pression-haute température de Grande Kabylie (Algérie).* –C.R. Acad. Sci. Paris.

**RAOULT, J-F., 1969 :** *Nouvelles données sur les flyschs au Nord du Kef Sidi Driss et dans la zone du col des Oliviers (Nord Constantinois, Algérie).* Bull. Soc. Géol. France

**RAOULT, J-F., 1974 :** *Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du Constantinois,Algérie).* Nouvelle série tome II. Mém. Soc. Géol. France, 53pp.

**RAYMOND, D., 1976 :** *Évolution sédimentaire et tectonique du Nord Ouest de la Grande Kabylie – Algérie – Au cours du cycle alpin.* Thèse es Sci-univ. P.M.Curie. Paris VI.

**ROTENBERG, Benjamain.,** *Modélisation multi-echelles du comportement de l'eau et des ions dans les argiles.* 5-28pp.

**ROUSSEAU, Jean-Jacques., et GIBAUD, Alain.** *Cristallographie géométrique et radiocristallographie.* DUNOD, 3<sup>ème</sup> édition., 107-128pp.

**SOUIKI, Souheila.,** *Les argiles du bassin de Mila – Constantine: Composition minérale, chimique, caractéristiques géotechniques et répartition des gisements.* 37-46pp.

**Velde., 1995.** Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment. Springer.

**VILLA, J.M., 1980 :** *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens.* Thèse Docteur ès Sciences. Paris VI, 3 vol,

**Weaver, 1989.** Clay, muds, and shale. Developments in sedimentology 44, Elsevier.

**WILDI, W., 1983 :** *La chaîne tello-rifaine (Algérie – Maroc - Tunisie): Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène.* Rev. de géol. dynam. et de géogra. physique, Vol. 24, Numéro spécial.

## **Sites internet**

[http://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences\\_Terre/Argiles/Argiles4.html](http://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences_Terre/Argiles/Argiles4.html)

## **Autres références**

analyse du phénomène de retrait gonflement des milieux argileux : impacte environnement et impacte de la sécheresse sur le bâti.

**Bougeois, Laurie** Les minéraux argileux.

Cours de mécanique des sols tome1 (propriétés de sols) J. M. TCHOUNI NANA avril1999

M.a J par M. CALLAUD- version de décembre 2003.

**LAUTRIN, Danielle.**, Une procédure rapide d'identification des argiles.

**Tucker.**, 1991. Techniques in sedimentology. Blackwell.