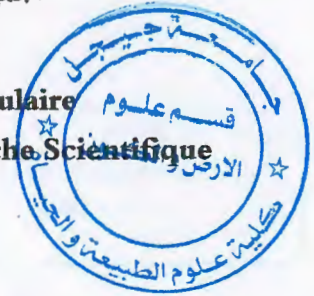


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة جيجل
Université de Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de
l'Univers



Géo. 02/14

كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

01
01

En vue de l'obtention du diplôme : Ingénieur d'état en géologie

Option : Géologie de l'ingénieur

Thème

**Caractérisation géologique, géotechnique et minéralogique par
diffraction de rayons X des argiles.**

**« Cas des argiles sous numidienne de la région de Djimla,
Wilaya de Jijel, Algérie Nord orientale »**

Membres de Jury

Président : Y.Bouftouha
Examineur : H.Kebab et F.Zehani
Encadrant : A.BAGHDAD



Présenté par :

Meryem Lehtihet



Année Universitaire 2013-2014

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

Remerciements

Je remercie avant tout Dieu qui m'a éclairé le chemin de la réussite et du savoir.

Je remercie mes très chers parents, Ali et Aziza, qui ont toujours été là pour moi, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fière ».

Je remercie également mon grand frère Kamel pour son soutien inconditionnel et son encouragement.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à l'égard de mon promoteur, Monsieur Baghdad Abdelmalek qui a dirigé mon travail avec patience et beaucoup d'intérêt, je le remercie une autre fois de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du Jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et pour avoir accepté de le juger.

Je remercie également tous les enseignants du département des sciences de la terre sans exception pour leur participation à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus respectueux et ma profonde gratitude pour leur, disponibilité et soutien durant les années de notre formation.

Mes remerciements vont également :

- *A monsieur LAHOVAL Mesbah Directeur du laboratoire de Toxicologie Moléculaire et Monsieur Bouzerara Ferhat du laboratoire de physique théorique de l'université de Jijel, de nous avoir aidé à la préparation des lames d'argiles.*
- *A Monsieur SAOU Abdelhamid ainsi que le personnel du laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés de l'université de Bejaia de nous avoir aidé à réaliser des analyses par diffraction de rayons X des échantillons.*
- *Au personnel du laboratoire des travaux publics de l'Est, et en particulier à Mr : Benzaid. S pour son aide précieuse,*
- *Au personnel de la station météorologique de Jijel (Aéroport de Jijel) et en particulier à Mr : Cheba. M, pour son aide.*
- *A Mr : Babay. K le Directeur de l'ANRH de Jijel pour avoir mis à ma disposition la documentation nécessaire.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous les membres du laboratoire de matériau, du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Jijel, et à Toute personne ayant aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à tous mes camarades étudiants de ma promotion d'ingénieur et du master 2013/2014.

Dédicaces

Je rends grâce à dieu et dédie ce modeste travail :

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore, symbole de beauté, d'affection, de douceur, de tendresse et de sacrifice je n'oublierais jamais ce qu'elle a fait pour moi pour devenir ce que je suis aujourd'hui, Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

Que dieu les gardes et les protège.

A la mémoire de mes grands parents « Moukhtar » et « AHcen »

A la mémoire de ma grande mère « Louiza »

A la mémoire de mon grand oncle « Boualem » et ma grande tante « CHalabia » que dieu vous garde dans son vaste paradis, Amine ya Allah.

A mes grandes mères, mes deux perles rares ; Yamma et khaliti.

A mon grand frère Kamel et son épouse Warda et sa petite fille Sofia.

A mon chère frère Nassim et son future épouse Imen.

A mon frère Jalil et son épouse Mounira et ces deux petits gosses AHcen et Houcine.

A ma chère tante Zohra et son mari Tonton AHcen et je n'oublierai jamais ma deuxième tante Sadika.

A toutes mes Tantes Chahida, Kaltoum, Souad, Radia, Faten, Naima.

A mes tantes Samia, Khadija, Adila et dida.

A tous mes oncles Touhami, Adlen et Radouane, Ferhat, Nouredinne, Taher et Ali.

A tous mes cousines et cousins sans exception.

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

A toute la promotion « géotechnique » 2014.

Liste des figures

<i>Fig. I.1: Éléments structuraux : Les tétraèdres et les octaèdres (Eslinger et Peaver 1988).....</i>	3
<i>Fig. I.2 : Notion de feuillet, d'interfeuillet et de distance basale « d »</i>	4
<i>Fig. I.3: structure d'un feuillet de kaolinite.....</i>	4
<i>Fig. I.4 : Structure de la chlorite (à droite) et de l'illite (à gauche).....</i>	6
<i>Fig. II.5 : Situation géographique de la zone d'étude (extrait de la carte topographique Texenna NJ-31-VI-44 Ouest à échelle 1/25.000 feuille).....</i>	11
<i>Fig. II.6: Réseau hydrographique du bassin versant inférieur de l'oued Djendjen (Global Mapper v 14.1).....</i>	12
<i>Fig. II.7 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien (D'après A.N.R.H., 1993).....</i>	13
<i>Fig. II.8 : Distribution des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).....</i>	15
<i>Fig. II.9 : Distribution de la température moyenne mensuelle (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).....</i>	16
<i>Fig. II.10 : Courbe Ombro-thermique (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).....</i>	17
<i>Fig. II.11: Graphe du Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....</i>	20
<i>Fig. III.12 : Extrait de la carte structurale au 1/500000 de la chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des confins Algéro-Tunisiens (Jean-Marie Vila, 1978).....</i>	22
<i>Fig. III.13 : Esquisse géologique de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989).....</i>	24
<i>Fig. III.14 : Carte géologique de la région Djimla (extrait de la carte géologique de TAMESGUIDA à l'échelle 1/50.000 feuille N°49 (d'après F. EHRMANN, 1941).....</i>	25
<i>Fig. III.15 : Répartition géographique des affleurements de Trias (Durand Delga, 1955</i>	27
<i>Fig. III.16 : Coupes séries de la région de Dj. Sidi Mansour (Durand Delga, 1955).....</i>	30
<i>Fig. III.17 : Plan et coupes sériees de la région à l'Ouest de Tamentout (Durand Delga, 1955)</i>	36
<i>Fig. IV.18 : Situation géographique des points de prélèvements (Google Earth, 2014).....</i>	40
<i>Fig. IV.19 : Classification triangulaire des sols fins.....</i>	43
<i>Fig. IV.20 : Représentation des courbes granulométriques pour les échantillons analysés.....</i>	44
<i>Fig. IV.21 : Représentation des limites d'Atterberg.....</i>	46
<i>Fig. IV.22 : Mise en place de l'échantillon dans la coupelle.....</i>	46
<i>Fig. IV.23 : Vue globale au niveau de la rainure.....</i>	46
<i>Fig. IV.24: Système d'évaluation du diamètre du rouleau de sol (NF P-94-051).....</i>	47
<i>Fig. IV.25 : Diagramme de plasticité de Casagrande.....</i>	49
<i>Fig. V.26 : Schéma d'un diffractomètre de rayon X.....</i>	55
<i>Fig. V.27 : Canevas de préparation de minéraux argileux en vue d'analyse par DRX.....</i>	59

Fig. V.28 : <i>Diffractionogramme de rayons X de l'échantillon N°01 « Poudre totale »</i>	67
Fig. V.29 : <i>Diffractionogramme de rayons X de l'échantillon N°02 « Poudre totale »</i>	68
Fig. V.30 : <i>Diffractionogrammes des rayons X de l'échantillon N°03 « Poudre totale »</i>	69
Fig. V.31: <i>Diffractionogrammes des rayons X de l'échantillon N°03 « lame orientée Normale »</i>	70
Fig. V.32 : <i>Diffractionogramme des rayons X de l'échantillon N°04 « lame orientée Normale »</i>	70
Fig. V.33 : <i>Diffractionogramme de rayons X de l'échantillon N°04 « Poudre totale »</i>	71
Fig. V.34 : <i>Diffractionogramme de rayons X de l'échantillon N°05 « Poudre totale »</i>	72
Fig. V.35 : <i>Comparaison diffractionogrammes des rayons X de l'échantillon N°03 « lame orientée témoin en bleu » et « lame orientée cuite en rouge »</i>	73
Fig. V.36: <i>Comparaison diffractionogrammes des rayons X de l'échantillon N°04 « lame orientée témoin en bleu » et « lame orientée cuite en rouge »</i>	73
Fig. V.37 : <i>Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°01, « poudre totale»</i>	47
Fig. V.38: <i>Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°02, « poudre totale»</i>	75
Fig. V.39: <i>Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°03, « poudre totale à droite, lame témoin à gauche »</i>	76
Fig. V.40 : <i>Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°04, « poudre totale à droite, lame témoin à gauche »</i>	77
Fig. V.41 : <i>Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°05, « poudre totale»</i>	78

Liste des photos

<i>Photo. III.1 : Affleurements des calcaires métamorphiques (cipolin) au niveau de Dj. Sidi Bouaza.....</i>	26
<i>Photo. III.2 : Photos illustrant les schistes à lentilles de quartz (à droite) et le calcaire métamorphique « Cipolin » (à gauche).....</i>	26
<i>Photo. III.3 : Photos illustrant les micro-plissements caractérisant le flysch massylien faciès.....</i>	32
<i>Photo. III.4:Photos illustrant le flysch numidien à niveau gréseux et à argiles sous numidiennes à Tubotomaculum.....</i>	33
<i>Photo. IV.5: Essai analyse granulométrique par sédimentation (Laboratoire de matériaux, Département STU, 2014).....</i>	42
<i>Photo. IV.6: Mesure de la masse volumique des grains solides par la méthode du pycnomètre.....</i>	45
<i>Photo. IV.7 : Outillage de détermination des limites d'Atterberg.....</i>	48
<i>Photo. IV.8: Agitateur à ailettes (Laboratoire de matériaux, Département STU, 2014).....</i>	52
<i>Photo. IV.9 : Illustration des résultats de l'essai à la tache (échantillon N°1).....</i>	52
<i>Photo. V.10 : Opération de lavage des échantillons par centrifugation.....</i>	57
<i>Photo. V.11 : Procédures de lavage des échantillons en vue de mise en suspension.....</i>	58
<i>Photo. V.12 : Bouteilles de mise en suspension, et confection de lames.....</i>	60

Liste des tableaux

<i>Tab.I.1 : Classification des phyllosilicates (McKenzie, 1975 et Brindley, 1996).....</i>	5
<i>Tab.I.2 : Les minéraux interstratifiés naturels les plus courants (Chaillers, 1982)</i>	6
<i>Tab. II.3 : Coordonnées géographique de la zone d'étude.....</i>	10
<i>Tab .II.4 : Coordonnées de la station météo de Taher (Achouat).....</i>	14
<i>Tab. II.5 : Répartition moyennes mensuelle et saisonnière des précipitations (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).....</i>	14
<i>Tab. II.6 : Distribution de la température moyenne mensuelle et saisonnière (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).....</i>	15
<i>Tab. II.7 : Répartition des précipitations et températures moyennes mensuelles (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).....</i>	16
<i>Tab. II.8 : Résultat du calcul de l'E.T.P selon Thornthwaite.....</i>	18
<i>Tab. II.9 : Calcul du bilan hydrogéologique selon la méthode de Thornthwaite.....</i>	19
<i>Tab. IV.10 : Coordonnées géographiques des points de prélèvement.....</i>	39
<i>Tab. IV.11 : Résultats de calcul de C_U et de C_C.....</i>	42
<i>Tab. IV.12 : Pourcentage des fractions constituant les échantillons analysés.....</i>	43
<i>Tab. IV.13 : Tableau récapitulatif des résultats de mesure de la masse volumique des grains solides « γ_s » des échantillons.....</i>	45
<i>Tab. IV.14 : État du sol d'après l'indice de plasticité.....</i>	47
<i>Tab. IV.15 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité.....</i>	48
<i>Tab. IV.16 : État de consistance du sol en fonction de I_C.....</i>	48
<i>Tab. IV.17 : Résultats de l'essai des limites d'Atterberg.....</i>	49
<i>Tab. IV.18 : Évaluation du potentiel de gonflement en fonction de I_p.....</i>	50
<i>Tab. IV.19 : Estimation du potentiel de gonflement en fonction de I_p.....</i>	50
<i>Tab. IV.20 : Capacité d'échange de cations (CEC) et surface spécifique de quelques argiles (D'après Grim).....</i>	51
<i>Tab. IV.21 : Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de méthylène « V_B ».....</i>	51
<i>Tab. IV.22 : Résultats de l'essai au bleu de méthylène.....</i>	52
<i>Tab. V.23 : Valeurs de la réflexion basale (001) des principaux minéraux argileux, obtenues après les traitements de routine orientées.....</i>	61
<i>Tab. V.24 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°01 «poudre totale ».....</i>	63
<i>Tab. V.25 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°02 «poudre totale ».....</i>	63
<i>Tab. V.26 : Résultats de dépouillement du Diffractogrammes RX de l'échantillon N°03 « Poudre totale ».....</i>	64

Tab. V.27: Résultats de dépouillement du Diffractogrammes RX de l'échantillon N°03 « lame orientée témoin ».....	64
Tab. V.28 : Résultats de dépouillement du Diffractogrammes RX de l'échantillon N°04 « Poudre totale ».....	65
Tab. V.29: Résultats de dépouillement du Diffractogrammes RX de l'échantillon N°04 « lame orientée témoin ».....	65
Tab. V.30: Résultats de dépouillement du Diffractogrammes RX de l'échantillon N°05 « Poudre totale ».....	66
Tab. V.31: Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°01 « poudre totale ».....	74
Tab. V.32: Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°02« poudre totale ».....	75
Tab. V.33 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°03 « poudre totale ».....	75
Tab. V.34 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°03 « lame témoin ».....	76
Tab. V.35 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°04« poudre totale ».....	76
Tab. V.36: Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°04 « lame témoin ».....	77
Tab. V.37 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°05« poudre totale ».....	77

Résumé

Une des particularités de la région de Jijel est son important potentiel en argiles. Les principales formations argileuses de cette région sont représentées par les argiles marneuses du Burdigalien, formant le remplissage du bassin néogène de Jijel et les argiles sous numidiennes, occupant la base de la nappe numidienne faisant l'objet de notre étude et affleurant dans différents endroits de la région de Jijel, essentiellement dans la région de Djimla. L'objectif principal de notre étude, portera sur une caractérisation géologique, géotechnique et minéralogique par diffraction de rayon X des argiles sous numidienne en optant pour divers tests, afin de mieux appréhender leurs comportements. Deux méthodes d'investigation minéralogique qualitative et quantitative par diffraction de rayons X (DRX) ont été adoptées, il s'agit, d'une part, de l'analyse d'une poudre totale sèche et désorientée et, d'autre part, de la fraction argileuse inférieure à deux microns extraite du matériau et préparée sous forme d'agrégat orienté. Le traitement et le dépouillement des diffractogrammes a permis de constater que les principaux minéraux argileux identifiés sont représentés par la kaolinite, illite, la chlorite, la vermiculite et la montmorillonite. Deux minéraux majeurs se détachent de l'assemblage : la kaolinite et l'illite. Leurs proportions relatives varient suivant la position de l'échantillon par rapport à la couche d'argiles sous numidiennes.

Mots-clés: Argile, Diffraction de rayons X, Poudre totale, Agrégat orienté, Diffractogramme, Jijel.

ABSTRACT

One feature of Jijel is its great potential clays. The main clay formations in this region are represented by marly clays Burdigalien forming the Neogene basin fill of Jijel and clays under numidiennes, occupying the base of the Numidian tablecloth covered by our study and exposed in different places Jijel, mainly in the region of Djimla. The main objective of our study, will focus on geological, geotechnical and mineralogical characterization by X-ray diffraction of clays under Numidian opting for various tests, to better understand their behavior. Two methods for qualitative and quantitative mineralogical investigations by X-ray diffraction (XRD) were adopted, it is, first, an analysis of the total dry powder and disoriented and, secondly, of less than two microns of material extracted and prepared as aggregate oriented clay fraction. Processing and counting of diffractograms has shows that the main clay minerals identified are represented by kaolinite, illite, chlorite, vermiculite and montmorillonite. Two major minerals come off the assembly: kaolinite and illite. Their proportions vary depending on the position of the sample relative to the clay layer under numidiennes.

KEYWORDS: Clay, X-ray diffraction, Whole powder, Aggregate oriented, Diffractogram, Jijel.

Introduction générale

Introduction générale

Les argiles sous numidiennes faisant partie de la nappe numidienne de la région de Djimla qui constitue notre secteur d'étude est situé à environ 30 km au Sud-Est du chef lieu de la wilaya de Jijel, limitée par la commune de Djimla, Ben-Yadjis et le col de Tamentout.

Il s'agit essentiellement d'argile souvent verdâtre, parfois rougeâtre marquant la base du flysch numidien, fort épais et riches en Tubotomaculum. Dans la région d'étude cette nappe repose en discordance sur les formations tellienne.

Le travail que nous avons entrepris et que nous présentons ci-après, consiste essentiellement à présenter le contexte géologique du site et à déterminer les caractéristiques géotechniques et minéralogiques de ces argiles sous numidiennes de la région de Djimla, afin de mieux appréhender leurs comportements vis-à-vis des diverses infrastructures (bâtiments, routes.etc).

Pour ce faire, nous avons structuré cette étude de la façon suivante :

- **Chapitre I** : Ce premier chapitre présente les notions de base sur la structure des minéraux argileux, comment elle détermine les propriétés physico-chimiques et aussi comment elle donne des particularités qui permettent de définir les familles et les espèces et encore des variétés d'argiles.
- **Chapitre II** : Renseigne sur le cadre géographique, et hydro climatologique de la région d'étude, qui nous a permis de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement (facteurs hydrographiques, facteurs morphologiques et facteurs climatiques).
- **Chapitre III** : Décrire la géologie locale de la région de Djimla et le cadre structural qui conditionne la répartition des affleurements des argiles sous numidiennes. Celle-ci, est illustrée par des cartes et des coupes détaillées.
- **Chapitre IV** : A pour but de réaliser une étude géotechnique détaillée des formations argileuses, afin de pouvoir déterminer leurs caractéristiques physiques responsables du comportement de ces formations notamment celui spécifique au phénomène retrait-gonflement.
- **Chapitre V** : Présente la méthodologie d'investigation minéralogique qualitative et quantitative par diffraction des rayons X des minéraux argileux, par l'application de deux méthodes, à savoir la poudre totale sèche désorientée et, d'autre part, de la fraction argileuse (inférieure à deux microns) extraite du matériau et préparée sous forme d'agrégat orienté.

L'ensemble de ce travail s'achève par une conclusion générale.

Chapitre I

Aperçu bibliographique sur les argiles

I.1. Introduction

Le but de ce chapitre est de présenter les notions de base sur la structure des minéraux argileux, comment elle détermine les propriétés physico-chimiques et aussi comment elle donne des particularités qui permettent de définir les familles et les espèces et encore les variétés d'argiles.

I.2. Définition des argiles

L'argile est un matériau de la couche superficielle de l'écorce terrestre. Elle se forme le plus souvent par altération des minéraux des roches sous l'action des eaux de surface. Au plan minéralogique, les argiles appartiennent à la famille des phyllosilicates ou silicates en feuillets. Elles sont donc formées par l'association de couches d'octaèdres et de tétraèdres. Son étude, confiée aux minéralogistes, a conduit à une définition des propriétés physiques et chimiques qui en permettent une meilleure utilisation (Chaillers *et al*, 1982)

I.3. Origine des minéraux argileux

Rappelons que l'on reconnaît trois origines possibles aux argiles : par héritage, par transformation et par néogènes (Cyril, 2005).

a. Héritage

C'est l'apport d'éléments phylliteux formés ailleurs sur le continent et transportés soit par l'eau (ruissellement ou cours d'eau) soit par le vent. Au cours du transport les argiles déjà formées ne subissent que de faibles modifications de structure et de composition. En général elles arrivent ensuite dans la mer ou dans les bassins lacustres. Ces sédiments argileux hérités reflètent, le plus souvent, le climat des régions continentales où ils se sont formés.

b. Transformation par dégradation et aggradation

Dans certains cas, les minéraux argileux conservent quelques caractères structuraux des matériaux originels mais, ils subissent au cours du transport des transformations qui peuvent être importantes et qui les font passer d'un type minéralogique à un autre par « dégradation », c'est-à-dire par soustraction de certains éléments. Par contre, la fixation d'ions alcalins sur une beidellite ou une vermiculite redonne un mica et la fixation d'hydroxyde entre les feuillets d'une smectite le fait évoluer en chlorite. Un tel phénomène constitue l'« aggradation ». Ces deux phénomènes peuvent prendre place « in situ » ou au cours du transport.

c. Néogènes ou néoformation

Les minéraux argileux sont, dans ce cas, formés par précipitation d'ions en solution : silicium, aluminium, potassium, susceptibles de réagir entre eux quand ils sont mis en contact par diffusion ou mélange. Les composés, ainsi formés sont stables dans les conditions physico-chimiques du milieu où ils ont pris naissance.

I.4. Les structures cristallines fondamentales des minéraux argileux

Les minéraux argileux constituent un groupe minéralogique complexe, ce sont des phyllosilicates ou des silicates en feuillets de taille inférieure à $2\mu\text{m}$. Ils sont, pour la plupart, des silicates d'aluminium, de magnésium ou de fer dont les atomes sont disposés de façon à former des figures géométriques très régulières (Millot, 1964).

Chaque minéral argileux est formé par l'empilement de feuillets qui constituent un empilement de couches ; une ou deux couches tétraédriques, une couche octaédrique (Fig.I.1) et un espace interfoliaire qui contient souvent des cations.

Les chercheurs ont observé qu'il n'existait que deux structures fondamentales (Fig.I.1) (McKenzie, 1975):

- La structure fondamentale tétraédrique « SiO_4 ».
- La structure fondamentale octaédrique « $\text{Al}(\text{OH})_6$ ».

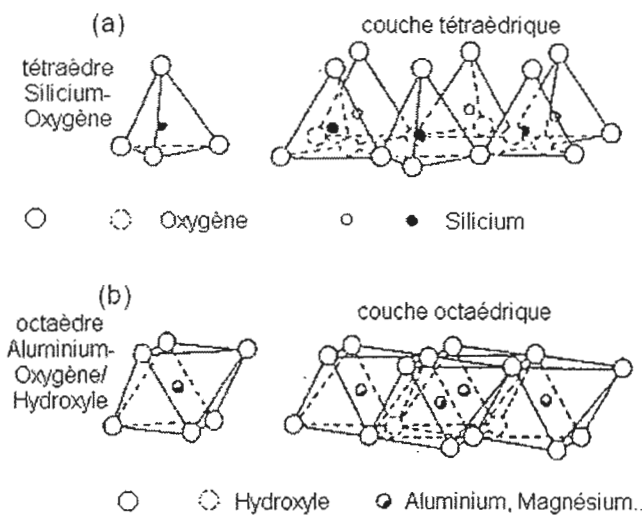


Fig. I.1: Éléments structuraux : Les tétraèdres et les octaèdres
(Eslinger et Peaver 1988)

I.4.1. Les différents types de minéraux argileux

Les minéraux argileux sont formés par l'empilement des feuillets élémentaires constitués à partir de deux motifs de couches de base : une couche tétraédrique siliceuse et une couche octaédrique alumineuse. L'équidistance basale « d » ou la réflexion de base est la somme des épaisseurs du feuillet et de l'inter feuillet (Fig.I.2) (McKenzie, 1975).

L'association de ces deux motifs de couches conduit à trois principaux types de minéraux (Tab.I.1):

- ☞ minéraux de type 1/1 ou T-O à une couche tétraédrique et une couche octaédrique. L'équidistance caractéristique est voisine de 7 \AA . A ce type correspond le groupe de la kaolinite ;

- ☞ minéraux de type 2/1 ou T-O-T à une couche octaédrique encadrée par deux couches tétraédriques. L'équidistance caractéristique varie de 9.4 à 15 Å° selon le contenu de l'inter feuillet ;
- ☞ minéraux de type 2/1/1 ou T-O-T-O à une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques, et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdres. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å. A ce type correspond le groupe des chlorites.

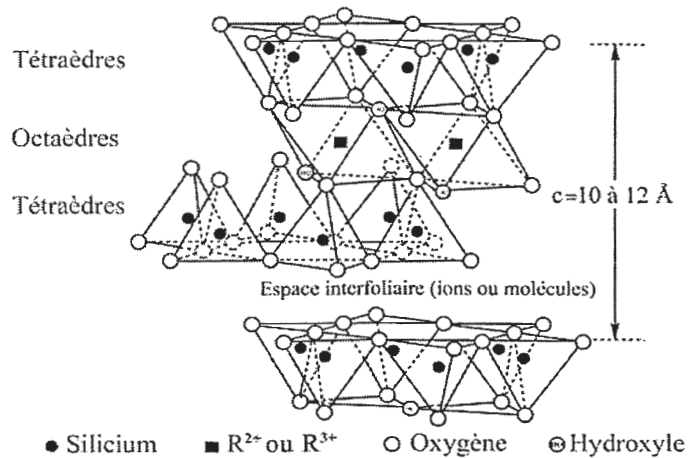


Fig. I.2 : Notion de feuillet, d'interfeuillet et de distance basale « d » (Brindley, 1996).

- a) **La Kaolinite (1/1, d=7Å°)** : Pas de substitution dans les couches. Le feuillet est neutre. La kaolinite se forme dans les sols bien drainés, par pH acide, surtout en climat subtropical et tropical. Ses cristaux sont souvent grand (jusqu'à 15 µm). (Fig. I.3)

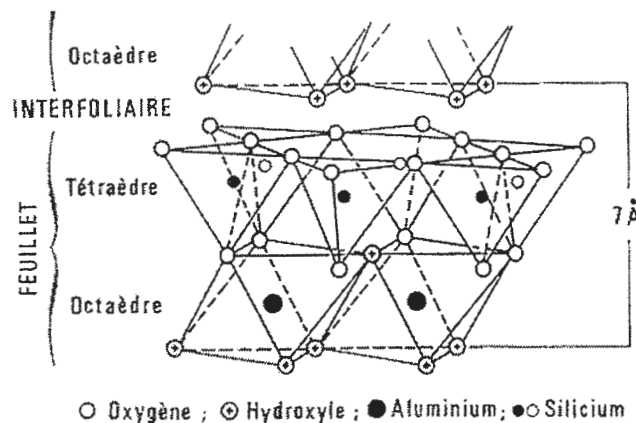


Fig. I.3 : Structure d'un feuillet de kaolinite (Cyril, 2005).

- b) **Les Illites (2/1, d=10Å°)** : Association d'une couche octaédrique (alumineuse) et deux couche tétraédrique (siliceuses). Mais il peut y avoir des substitutions (remplacement de Si par Al). Des cations (K⁺) sont adsorbés dans l'espace interfoliaire afin de compenser le

déséquilibre des charges. C'est le minéral ubiquiste par excellence. Sa structure est proche de la muscovite (plus d'eau, moins de K^+) (Voir. Fig. I.4).

- c) **Les Smectites (2/1, $d= 14 \text{ \AA}$)** : L'empilement des feuillets est désordonné; chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent. Les substitutions d'atomes sont importantes. Ce désordre et la faible charge des feuillets facilitent leur écartement et l'adsorption des molécules variées (eau, cations, molécules organiques) au niveau de l'espace interfoliaire qui s'écarte ($d = 18 \text{ \AA}$). Les smectites, ou montmorillonites, sont généralement calciques, plus rarement sodiques. Elles sont formées dans les sols mal drainés plutôt alcalins (Rautureau, 2011).
- d) **Les Chlorites (2/1/1, $d= 14 \text{ \AA}$)** : L'espace interfoliaire est garni par une couche composée de Mg et OH. L'Al est remplacé localement par le Fe. Les chlorites existent en plus grands cristaux dans les roches magmatiques; elles sont également formées pendant la diagenèse des roches sédimentaires. On les retrouve en éléments détritiques dans les sols sous climat peu agressif (Fig. I.4).

Tab.I. 1 : Classification des phyllosilicates (McKenzie, 1975 et Brindley, 1996).

Type	Groupe	Sous-groupe	Espèces	Formules
1 : 1	Kaolinite	Kaolinites	dichite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
			nacrite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
			kaolinite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
			matahalloysi- halloysite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
				$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 4(H_2O)$
Talc	Talc	Serpentine	antigorite	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
		Pyrophyllite	pyrophyllite	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
		Talc	talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2 : 1	Smectite	Smectites dioctaédriques	montmorillonite	$(Al_{1,67}Mg_{0,33})Si_4O_{10}(OH)_2$
		Smectites trioctaédriques	saponite	$Mg_3(Si_{3,67}Al_{0,33})O_{10}(OH)_2$
	Vermiculites	Vermiculite dioctaédrique	vermiculite dioctahédrique	$(Al,Fe\dots)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$
		Vermiculite trioctaédriques	vermiculite	$(Mg,Fe\dots)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$
Micas	Micas	Micas dioctaédrique	muscovite	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
		Micas trioctaédriques	phlogopite	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
2 : 1 : 1	Chlorite	Chlorite dioctaédrique	sudoite	$(Al_4Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$
		Chlorite trioctaédriques	espèces différentes	$(Mg,Fe\dots)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$

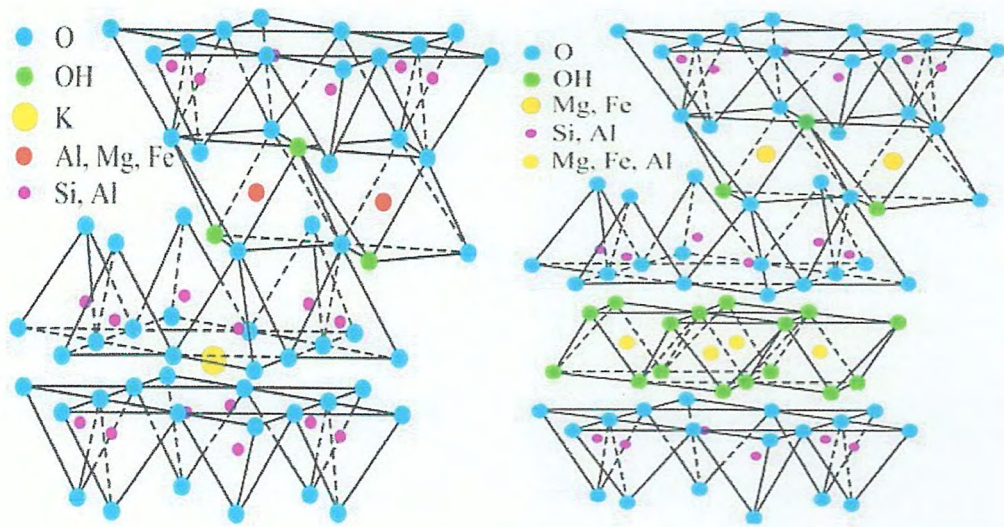


Fig. I.4 : Structure de la chlorite (à droite) et de l'illite (à gauche) (Grim, 1962).

I.4.2. La famille des minéraux interstratifiés

Un minéral inter stratifié régulier est formé de l'empilement régulier de feuillets de minéraux argileux simples différents. Dans ce cas l'empilement des différents types de feuillets se fait selon des séquences répétitives (par exemple A-B - A-B - A-B ...) (Duchaufour, 2001).

Un inter stratifié est considéré comme irrégulier si l'empilement des différents types de feuillets est aléatoire, c'est à dire si aucune séquence répétitive ne se dessine.

Le tableau (Tab.I.2) présente les différents types de minéraux interstratifiés.

Tab.I.2 : Les minéraux interstratifiés naturels les plus courants (Chaillers, 1982)

Type d'interstratification	
Alternance régulière : Système à deux composés	Muscovite-montmorillonite
	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
	Chlorite-smectite
	Chlorite-vermiculite
	Mica-vermiculite
	Serpentine-chlorite
Kaolinite-smectite	
Alternance de type ABAA Système à deux composés	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
Alternance aléatoire : Système à deux composés	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
	Mica-vermiculite
	Mica-chlorite
	Smectite-chlorite
Système à trois composés	Kaolinite-smectite
	Illite-chlorite-smectite
	Illite-smectite-vermiculite

I.4.3. Les minéraux à pseudo-feuillets et à faciès fibreux

Ces minéraux appartiennent à la famille de la sépiolite ou de la palygorskyte.

Leurs structures ont des caractères communs avec celles des phyllosilicates, car leur faciès fibreux résulte d'une discontinuité du feuillet dans le sens de la largeur. Les couches T sont continues et constituées de tétraèdres qui n'ont pas tous la même disposition (Duchaufour, 2001). Les couches octaédriques, elles, sont discontinues. Cette rupture donne naissance à des lacunes qui forment des canaux structuraux entre des rubans. La largeur de ces rubans est caractéristique de chaque famille.

I.5. Propriétés des argiles

a) Plasticité

Déformation souple sous l'effet des contraintes, rôle de couche savon pour glissements des matériaux à toute échelle (glissement de terrain, nappe tectonique compaction importante: expulsion d'une grande quantité d'eau.

b) Propriétés colloïdales

Cette propriété est d'une grande importance pour les procédés de purification des argiles. Elle est liée à la présence de charges négatives à la surface de chaque grain d'argile. Le caractère colloïdal se traduit par le recouvrement de chaque grain d'argile par une double couche d'ions hydrosoluble de charges opposées (Deribere, 1941).

c) La capacité d'échange

Les échanges ioniques jouent un rôle important dans l'évolution de la composition chimique des eaux naturelles, lorsque le rapport solide/liquide n'est pas voisin de zéro. Le rôle de ces échanges est sensible surtout lorsque les solutions aqueuses sont diluées.

d) Absorption d'eau

L'absorption est un phénomène de sorption qui consiste à lier une molécule (dite : absorbée) à une autre, ce qui entraîne sa disparition par transformation ou modification chimique. Elle est liée à la structure cristalline et variable selon le type d'argile.

Les molécules d'eau sont polaires : la charge positive du dipôle de ces molécules est attirée par les charges superficielles négatives des particules d'argile. Une première couche mono moléculaire d'eau est ainsi fixée sur leur surface. Les « extrémités négatives » des molécules d'eau de cette première couche peuvent, à leur tour, attirer une seconde couche de molécules d'eau orientée, et ainsi de suite. En fait, l'orientation préférentielle des molécules des différentes couches diminue lorsque leur distance à la surface de la particule augmente.

I.6. Les méthodes d'étude des minéraux argileux

Les matières argileuses sont caractérisées par la présence d'une proportion de particules fines dont la taille supérieure est généralement fixée à 2 μm . Cette fraction est constituée par les minéraux argileux, mais on y trouve aussi des espèces dont les plus fréquentes sont la silice, des silicates non phylliteux, des oxydes, des hydroxydes cristallisés ou amorphes et des carbonates (Chaillers *et al* 1982).

L'analyse des aluminosilicates comme les argiles nécessite l'association de plusieurs techniques.

I.6.1. Diffractométrie des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X est une technique très utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés (cristaux, minéraux, argiles...) du fait que leurs atomes sont arrangés selon des plans cristallins spécifiques. Le principe de la méthode repose sur la diffraction des rayons X par une famille de plans réticulaires (hkl) favorablement orientée sous un angle θ par rapport au faisceau incident. Ceci se traduit dans le diffractogramme, représentant l'intensité en fonction de l'angle de diffraction θ , par l'observation de raies à partir desquelles peuvent être déterminées les distances réticulaires d_{hkl} , caractéristiques d'un composé cristallin donné (Dejou 1987).

I.6.2. Analyse thermique

Une substance soumise à un traitement thermique peut subir des modifications de ses propriétés physico-chimiques, par exemple un changement de phase, une modification de structure, une décomposition, une oxydation, une pyrolyse, une variation de volume, etc.

L'analyse thermique permet d'observer ces modifications en fonction de la température. Parmi les techniques mises en œuvre, on peut citer l'analyse thermique différentielle (ATD) et l'analyse thermogravimétrique (ATG) (Dejou 1987).

I.6.3. Spectroscopie infrarouge (IR)

Le principe de base de la spectrométrie infrarouge (IR) repose sur l'interaction du rayonnement électromagnétique IR avec la matière à différentes fréquences. Dans le spectre général des rayonnements électromagnétiques, le domaine du rayonnement IR est compris entre 12800 et 10 cm^{-1} qui se décompose en trois parties : le proche, le moyen et le lointain IR.

Lors de l'irradiation d'une molécule par le rayonnement IR, celle-ci peut absorber partiellement et sélectivement ce rayonnement. De ce fait, elle se trouve dans un état excité et son énergie vibrationnelle et rotationnelle sont modifiées avec une augmentation de leurs amplitudes. De ce fait, l'énergie du rayonnement IR incident se retrouve diminuée après l'interaction, ce qui conduit à l'apparition d'une bande d'absorption à cette fréquence. L'énergie absorbée (ν_0) est donc caractéristique de chacune des liaisons chimiques du minéral analysé.

I.6.4. Microscopie Électronique à Balayage (MEB)

Le principe de cette technique repose sur l'interaction entre un faisceau d'électron engendré par un « canon à électrons » et une matrice cristalline ou non. Le faisceau d'électrons secondaires ou celui des électrons rétrodiffusés quittant la surface, sous l'impact de la sonde électronique, est attiré par le collecteur. Le balayage de la sonde sur l'échantillon est utilisé pour en obtenir une image point par point, ligne par ligne, selon un processus séquentiel.

Cette technique donne des informations sur le relief de l'échantillon, la morphologie des grains et leur agencement. En complément, un spectre de dispersion en énergie donne une information semi-quantitative sur la composition chimique du matériau examiné (Deribere et Esme, 1941).

I.6.5. Analyse chimique

La composition chimique est déterminée par plusieurs méthodes, parmi lesquelles on cite l'analyse par la voie chimique ou la fluorescence X. Cette méthode de dosage consiste à prélever une quantité précise d'échantillon séchée à 110°C pour en faire une perle. Celle-ci est chauffée à 1000°C pour transformer ces constituants en oxydes dont les teneurs sont évaluées en pourcentages massiques.

I.6.6. Mesure de la capacité d'échange cationique (CEC)

On caractérise les phyllosilicates par leur capacité d'échange cationique qui est définie comme étant le nombre de cations monovalents qu'il est possible de substituer aux cations compensateurs de charge pour équilibrer la charge électrique de 100 g d'argile calcinée (C.E.C. en meq/100 g d'argile calcinée). On distingue les phyllosilicates à la fois par leur densité de charge (critère pour établir leur classification) et par leur capacité d'échange cationique. Dans le cas des smectites, les cations compensateurs sont échangeables en quasi-totalité (Dejou, 1987).

I.6.7. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer quantitativement la distribution des particules de sol par classes de diamètres. Le nombre et la grandeur des classes de diamètres dépendront de l'objectif pour suivi et, éventuellement, de l'importance de l'échantillon dont on dispose. Le mode opératoire utilisé pour la présente étude est celui de la norme NF P18-560 pour la granulométrie par tamisage, et la norme NF P94-057 pour l'analyse granulométrique méthode par sédimentation (éléments < à 0,08 mm).

Chapitre II

Situation géographique et caractéristiques hydro climatologiques

II.1. Situation géographique

La zone d'étude est située à environ 30 km au Sud-Est du chef lieu de la wilaya de Jijel, elle est limitée par la commune de Djimla, Ben-Yadjis et le col de Tamentout. Les points de prélèvement sont matérialisés le long de la route nationale N°77 (Fig. II.5).

La zone d'étude est définie par les coordonnées géographiques suivantes (Tab. II.3) :

Tab. II.3 : Coordonnées géographiques de la zone d'étude

Coordonnées géographiques		
	Longitude	Latitude
Point 01	751512,72	4051778,142
Point 02	757407,547	4051778,142
Point 03	757407,547	4047866,946
Point 04	751512,72	4047866,946

III.2. Le relief

La Wilaya de Jijel est caractérisée par un relief montagneux, bien que l'altitude moyenne soit de 600 à 1000 m, on distingue principalement deux régions :

III.2.1. Les zones de plaines

Situées au nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines de Jijel, les plaines d'El-Aouana, le bassin de Jijel, les vallées de Oued Kébir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hor.

III.2.2. Les zones de montagnes

Elles constituent l'essentiel du territoire de la wilaya (82%) et sont composées de deux zones :

- zones moyennes montagnes situées dans la partie littorale et centrale de la wilaya, caractérisée par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important.
- zones de montagnes difficiles situées à la limite sud de la wilaya, elles comportent les plus hauts sommets de la wilaya dont les principaux sont : Tamazghida, Tababour, Bouazza et Seddat.

Notre zone d'étude fait partie de la zone montagneuse située au sud, marqué par de grands contrastes topographiques. Elle est représentée par des massifs culminants à différentes altitudes (Dj. Sidi Bouaza 1400 m, Dj. Tamesguida 1623 m) et des dépressions, et des ravins assez profonds.

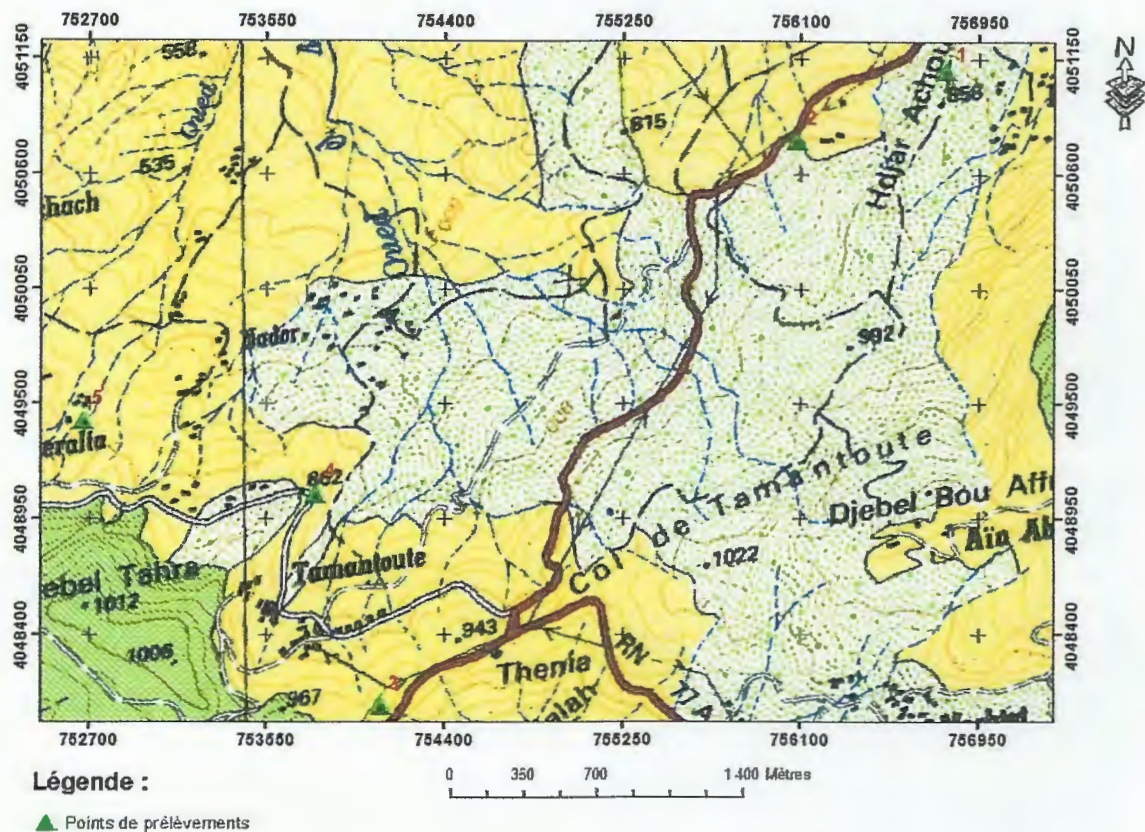


Fig. II.5 : Situation géographique de la zone d'étude (extrait de la carte topographique Texenna NJ-31-VI-44 Ouest à échelle 1/25.000 feuille)

II.3. Végétation

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale assez dense. Cette dernière est favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses. Ces forêts sont représentées essentiellement par du *chêne-liège*, du *chêne-zéen*, des *broussailles*, et autres arbres fruitiers. En général, ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et sylvicole.

II.4. Réseau hydrographique

La zone d'étude fait partie du bassin versant inférieur de l'oued Djendjene (Fig. II.6). Elle est caractérisée par un réseau hydrographique assez important en relation surtout avec la lame d'eau précipitée durant l'année. Ce réseau est représenté par les différents drains, alimentés surtout par les ressources et les ruissellements de surface en liaison surtout avec la fonte des neiges des reliefs élevés. Ces différents drains alimentent les principaux Oueds de la région (Oued Djen-Djen, Oued Missa, Oued Reha, Oued Grou, Oued Mellah, Oued Beltasse et Oued Laghou).

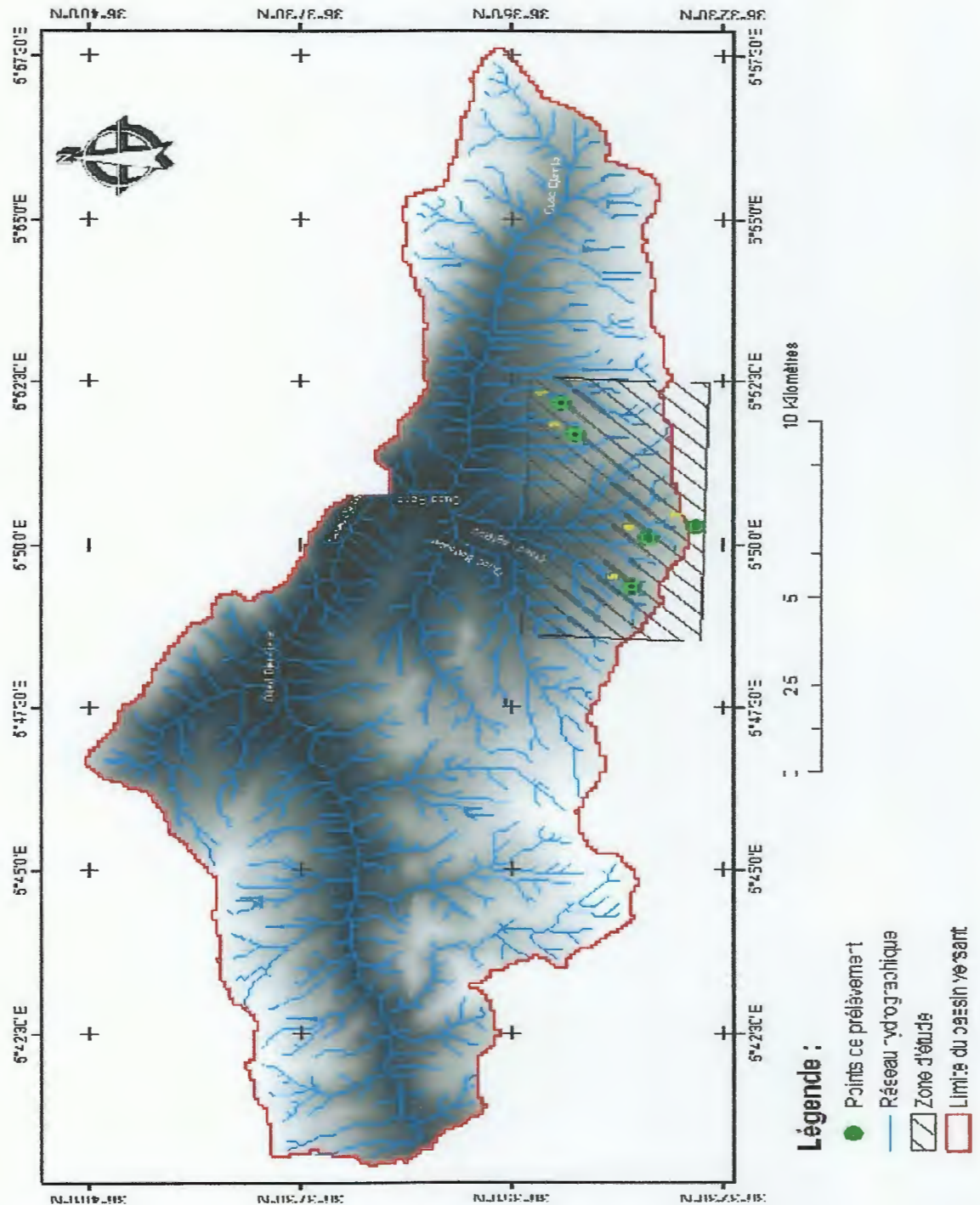


Fig. II. 6: Réseau hydrographique du bassin versant inférieur de l'oued Djendjen (Global Mapper v 14.1)

II.5. Caractéristiques hydro climatologique

Au fil du temps, sous l'effet des phénomènes climatiques, les massifs montagneux s'érodent en fragments de roches, transportés par le vent et les eaux. Soumises à la gravité, les particules les plus fines (les minéraux argileux) sont transportées sur de longues distances

avant de s'accumuler au fond des océans, mers, lacs et lagunes. Peu à peu, les dépôts présents dans ces grandes étendues d'eau forment par sédimentation une roche argileuse.

Dans ce cas là, le climat est le facteur le plus important dans les processus de formation des roches détritiques. Le rôle primordial que joue l'eau dans le changement des caractéristiques physico-mécaniques des argiles nous mène à réaliser une étude hydro-climatologique de la région étudiée (Musy *et Al*, 1998).

II.5.1. Aperçu climatique

Comme toutes les régions du littoral algérien, la wilaya de Jijel bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver pluvieux et froid et un été chaud. Le climat, le long de la côte, est adouci par la présence de la mer, caractéristique des zones méditerranéennes (Fig. II.7). La wilaya de Jijel est l'une des zones les plus arrosées en Algérie.

La région de Djimla est assez riche en ressource hydrique et est soumise à des précipitations fréquentes et irrégulières, elles se manifestent surtout en hiver.

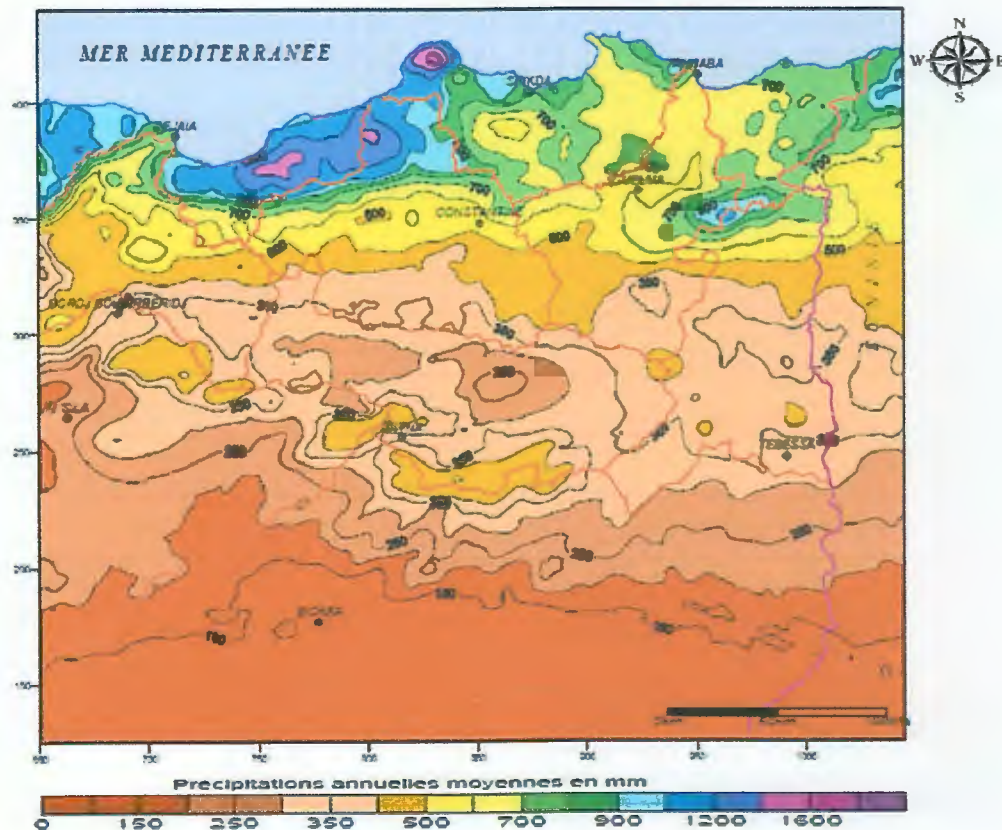


Fig. II.7 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien
(D'après A.N.R.H., 1993)

II.5.2. Analyse des paramètres hydro climatiques

Le manque de station hydro climatologique au niveau de la région d'étude, nous a contraints d'opter sur le choix et le traitement des données les plus proches de notre zone d'étude. La

station Météo de Jijel Aéroport (Achaout, Taher) dont les caractéristiques géographiques sont représentées sur le tableau. II.4 ci-dessous, a été prise en considération dans l'analyse des caractéristiques climatiques avec une série de 42 ans (1971-2013) :

Tab. II.4 : Coordonnées de la station météo de Taher (Achaout)

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Série
Achaout	Est 5° 52'	Nord 36° 47'	08 m	1971-2013

II.5.2.1. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières

L'étude des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières a été effectuée à partir d'une série de données allant de 1971 à 2013 pour la station Aéroport F. Abbès de Taher.

Tab. II.5 : Répartition moyennes mensuelle et saisonnière des précipitations (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été			Total
	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	
Précipitations moyennes mensuelles (mm)	66.26	108.36	137.86	166.40	137.05	124.81	106.25	87.10	50.81	13.10	5.51	11.87	1015.37
Précipitation saisonnière (mm), (%)	312,48			428,26			244,16			30,48			
	30,77			42,18			24,05			3,00			

Les données du tableau II.5 et leur représentation sur le graphe (Fig. II.8) permettent de conclure que :

- Décembre est le mois le plus pluvieux, par contre juillet est le mois le plus sec.
- C'est à partir du mois d'août que les précipitations commencent, elles vont en progressant jusqu'au mois de décembre ou elles atteignent leur maximum (Fig. II.8)

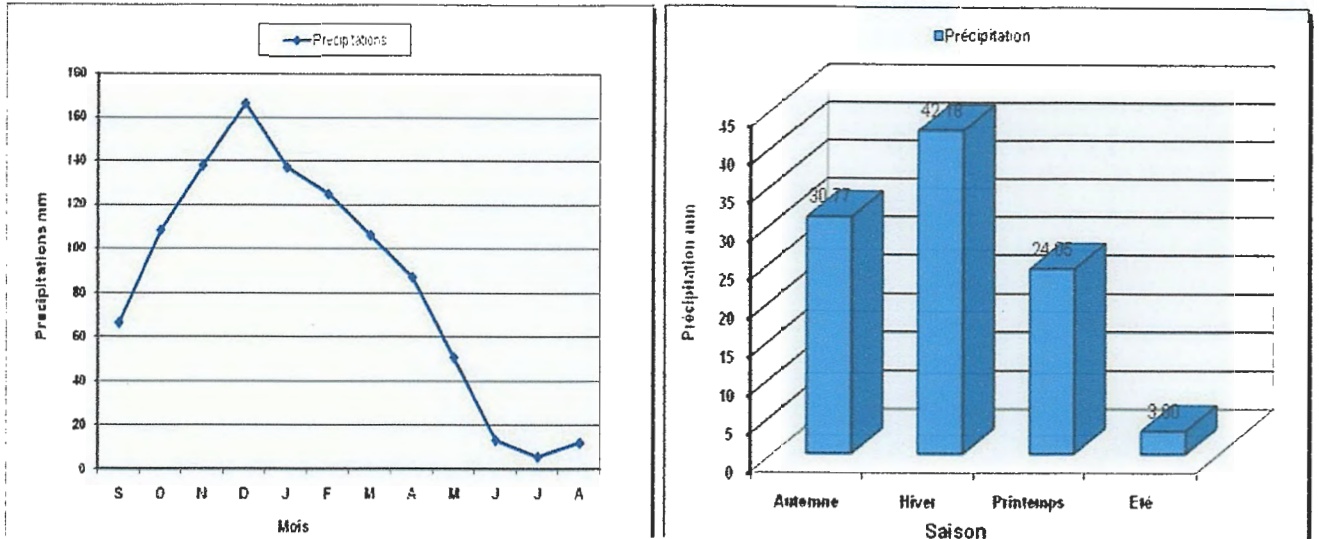


Fig. II.8 : Distribution des précipitations moyennes mensuelles et saisonnière (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013)

La répartition saisonnière des pluies bien visible sur la figure II.8 laisse apparaitre au niveau de la station étudiée que :

- La saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de l'ordre de 42,18 mm soit 42,18%.
- la saison la plus sèche est l'Été avec des précipitations de l'ordre de 3,90 mm soit 3,90 % des précipitations totales.

II.5.2.2. Température moyenne mensuelle

La température est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration). Le tableau II.6 et la figure. II.9 représentent les températures moyennes mensuelles de la station de l'Aéroport F. Abbés, pour la série allant de 1971 à 2013.

Tab. II.6 : Distribution de la température moyenne mensuelle et saisonnière (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été			
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Température moyenne mensuelle et saisonnière (C°)	24.02	20.74	16.25	13.46	12.04	12.13	13.46	15.44	18.7	22.31	25.54	26.5	18.38
	20,34			12,54			15,87			24,78			

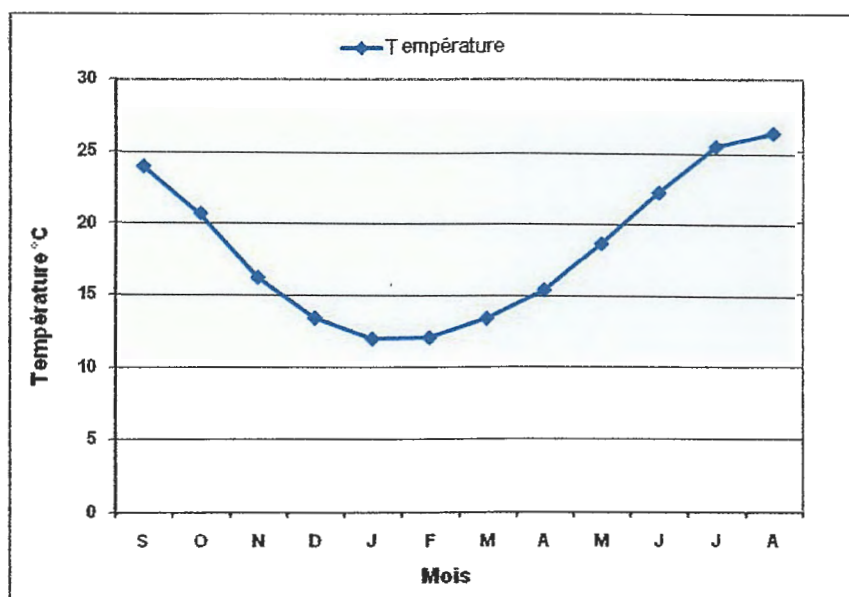


Fig. II.9 : Distribution de la température moyenne mensuelle (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013)

D’après les résultats obtenus dans le tableau II.6, le maximum de températures est observé au mois d’Août (26.50 °C) et le minimum au mois de Janvier (12.04 °C) avec une moyenne de l’ordre de 18.38°C. Pour la température saisonnière, en remarque que la saison la plus froide correspond à l’Hiver avec une valeur moyenne de 12.54 °C et la saison la plus chaude correspond à l’Été avec une valeur moyenne de 24.78°C.

II.5.2.3. Graphe Ombro-thermique

Ce graphe permet de déterminer les périodes sèches et humides d’une région étudiée. Il est établi selon la règle de Gausson et Bagnoulis, qui est dressé selon le rapport des précipitations sur les températures (P/T) (Tab. II.7), dans lequel la Température est rapporté à l’échelle double des Précipitations.

Nous parlons de sécheresse lorsque la moyenne mensuelle des précipitations du moins est inférieure ou égale au double de la température moyenne de la même période ($P < 2T$). Toute courbe représentative des températures passant au dessus de celle des précipitations indique une période déficitaire.

Tab. II.7 : Répartition des précipitations et températures moyennes mensuelles (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitation (mm)	137,05	124,81	106,25	87,10	50,81	13,10	5,51	11,87	66,26	108,36	137,86	166,40
Température (°C)	12,04	12,13	13,46	15,44	18,70	22,31	25,54	26,50	24,02	20,74	16,25	13,46

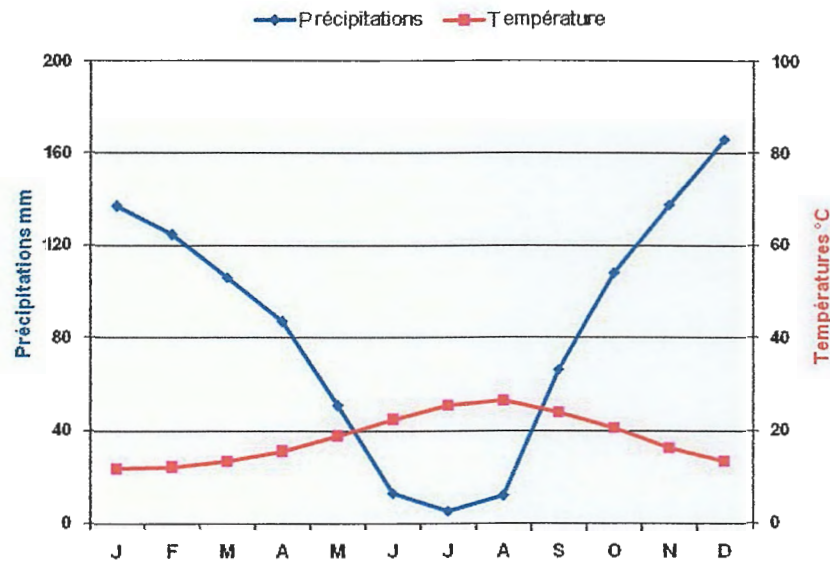


Fig. II.10 : Courbe Ombro-thermique (Station Jijel Aéroport, période 1971/2013)

D'après le graphique établi dans la figure (Fig. II.10), on constate que la période humide (la période hivernale) débute du début du mois de Septembre et s'étale jusqu'à la fin du mois de Mai et la période sèche (période déficitaire) s'étale de la fin du mois Mai jusqu'au début du mois de Septembre.

II.5.2.4. Bilan hydrologique

L'établissement d'un bilan hydrologique est indispensable pour l'évaluation des réserves d'eau transmise ou emmagasinée dans une région. Il est représenté par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + W_a$$

Avec:

P : précipitation moyenne annuelle en mm ;

R : ruissellement en mm ;

I : infiltration moyenne en mm ;

ETR : évapotranspiration réelle en mm.

W_a : variation des réserves (négligée)

Ce bilan s'effectue sur une année hydrologique, période d'environ 12 mois choisie pour que les variations des réserves soient minimales.

II.5.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation.

II.5.2.4.2. Évapotranspiration potentielle (E.T.P)

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

La formule utilisée pour le calcul d'ETP est la formule de Thornthwaite.

$$ETP = 16 . \left(\frac{10 . t}{I} \right)^a$$

Avec :

E.T.P : l'évapotranspiration potentielle (mm)

t : température moyenne mensuelle en °C.

I : indice thermique annuel égale à la somme des indices mensuels des 12 mois de

l'année : $I = \sum_{i=1}^{12} i$

Avec : $i = (T/5)^{1.514}$

a : exposant climatique défini ainsi: $a = 0.016(I) + 0.5$

ETPc = ETP . K avec ETPc : évaporation potentielle mensuelle corrigée.

Avec :

K : coefficient d'ajustement de la formule de Thornthwaite en fonction de la Latitude.

Après avoir établie les calculs nécessaires, les résultats obtenus sont exposé dans le tableau suivant (Tab. II.8) :

Tab. II.8 : Résultat du calcul de l'E.T.P selon Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Précipitation (mm)	66.26	108.36	137.86	166.40	137.05	124.81	106.25	87.10	50.81	13.10	5.51	11.87	1015.37
Température (°c)	24.02	20.74	16.25	13.46	12.04	12.13	13.46	15.44	18.70	22.31	25.54	26.50	18.38
i	10.77	8.62	5.96	4.48	3.78	3.83	4.48	5.51	7.37	9.62	11.81	12.49	88.71
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP	108.28	81.65	51.13	35.64	28.73	29.17	35.64	46.35	66.96	93.94	121.77	130.72	829.98
ETPc	111.53	79.20	43.97	29.93	25.00	24.80	36.71	50.99	81.02	114.61	151.00	151.63	900.38

II.5.2.4.3. L'évapotranspiration réelle (ETR)

Par définition l'ETR est la quantité d'eau évaporée ou transpirée selon les conditions climatique réelles, l'ETR est fonction de l'ETP et de la quantité d'eau présente dans le sol.

- ❖ Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR = ETP$
- ❖ Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP) :
 - si P (du mois considéré) + RFU (antérieures au mois considéré) $>$ ETP (du mois considéré) alors $ETR = ETP$.
 - si P (du mois considéré) + RFU (antérieures au mois considéré) $<$ ETP (du mois considéré) alors $ETR = P$ (du mois considéré) + RFU (du mois antérieur).

Tab. II.9 : Calcul du bilan hydrogéologique selon la méthode de Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Précipitation (mm)	66.26	108.36	137.86	166.40	137.05	124.81	106.25	87.10	50.81	13.10	5.51	11.87	1015.37
ETPc mm	111.53	79.20	43.97	29.93	25.00	24.80	36.71	50.99	81.02	114.61	151.00	151.63	900.38
P-ETP	45.27	29.16	93.89	136.47	112.05	100.01	69.54	36.11	30.21	101.51	145.49	139.76	
RFU (mm)	0	29.16	100	100	100	100	100	100	69.79	0	0	0	
EX (mm)	0	0	23.04	136.47	112.05	100.01	69.54	36.11	0	0	0	0	477.23
D.A (mm)	45.27	0	0	0	0	0	0	0	0	31.72	145.49	139.76	362.24
ETR (mm)	66.26	79.20	43.97	29.93	25.00	24.80	36.71	50.99	81.02	82.88	5.507	11.87	538.14

L'analyse du tableau (Tab. II.9) et la figure (Fig. II.11) permettent les observations suivantes :

- Un excédent enregistré durant six (06) mois où les réserves facilement utilisables « RFU » atteint son maximum à partir du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, avec une valeur maximale de 136.76 mm atteint au mois de Décembre.
- L'évapotranspiration réelle calculée est de l'ordre de 538.14 mm soit 53.00% des précipitations.
- Un déficit agricole « D.A » enregistré en quatre (04) mois (juin, juillet, aout, septembre) avec une valeur annuelle de 362.24 mm.

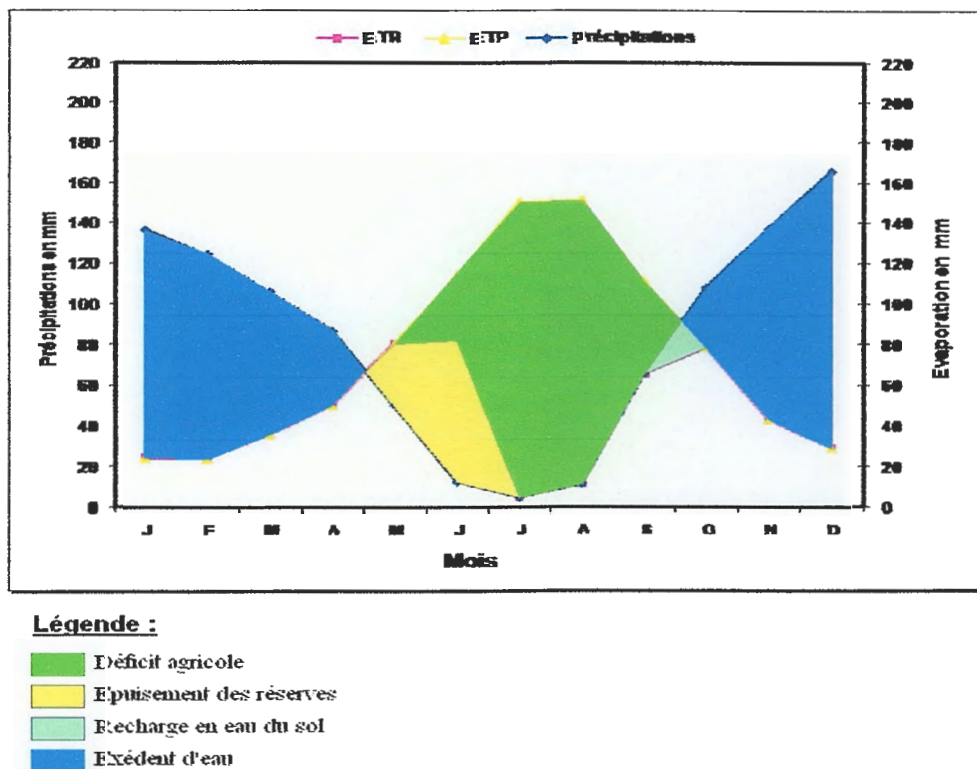


Fig. II.11: Graphe du Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L'examen du graphique (Fig. II.11) permet de déduire que :

La période hivernale s'étale du mois d'octobre au mois d'avril, dans cette période les précipitations liquides sont très abondantes et sont supérieures à l'évapotranspiration. Les pluies tombées vont en premier lieu pour alimenter les réserves, cela continue jusqu'au mois de novembre. A partir de ce mois le plein des réserves est atteint, l'excédent d'eau va donc s'écouler. Les ruissellements atteignent leur maximum au mois de décembre.

La période estivale s'étale du mois de mai au mois de septembre, c'est une période déficitaire en eau où les précipitations sont pratiquement nulles, l'évapotranspiration est élevée, les infiltrations sont d'ailleurs nulles, les réserves sont épuisées et les ruissellements sont asséchés.

II.6. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

La formule de **Tixeront-Berkaloff** que nous donnons ci-après permet d'évaluer le ruissellement :

$$R = \frac{P^3}{3 \cdot (ETP)^2}$$

Avec :

R : ruissellement en (mm);

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

ETP : évapotranspiration potentielle d'après Thornthwaite en (mm).

La valeur du ruissellement obtenue est de 430.43 mm correspondant à 42.39% des précipitations.

II.6.1. Calcul de l'infiltration

L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et le sous sol, elle alimente les eaux souterraines donc la reconstitution des réserves aquifères (Roche, 1963).

Elle est estimée à partir de la formule du bilan hydrogéologique :

$$P = ETR + R + I + W_a$$

Ou : W_a : variation des réserves souvent négligeables

En aura alors:

$$P = ETR + R + I \quad I = P - ETR - R$$

Ou : $I = EX - R$

On obtient alors une quantité d'eau infiltrée $I = 46.80$ mm et qui présente 4.61% des précipitations.

II.7. Conclusion

La zone d'étude est située à environ 30 km au Sud-est du chef lieu de la wilaya de Jijel, elle est limitée par la commune de Djimla, Ben-Yadjis et le col de Tamentout.

L'étude climatologique nous a permis de constater que le climat de la région est tempéré due à l'influence méditerranéenne, caractérisé par des précipitations de l'ordre de 1015.37 mm/an et des températures moyennes mensuelles de l'ordre de 18,38 °C. D'après le tableau .II.4 le mois de Décembre est le plus pluvieux avec 166.40 mm et le mois le plus sec est Juillet avec 5.51 mm.

D'après la répartition saisonnière des précipitations (Voir tableau. II.5), la saison la plus pluvieuse est celle de l'hiver avec 428.26 mm soit 42.18 % et l'Été la saison la plus sèche avec 30.48 mm, soit 3,00 % des précipitations. Les calculs réalisés à l'aide du bilan hydrologique, ont montrés que 46.80 mm participes à l'infiltration soit 4.61 % des précipitations, et 430.43 mm participes au ruissellement soit 42.39% des précipitations totales.

Chapitre III

Cadre géologique

III.1. Introduction

La région de Jijel appartient au massif de la Petite Kabylie occidentale.

En Algérie, le massif de la Petite Kabylie dont fait partie la région étudiée occupe une position septentrionale dans le domaine interne de la chaîne Alpine (*W. Wildi, 1983*). Il s'étend sur plus de 150 km, le long du littoral Algérien (Fig. III.12). Il est limité à l'Ouest par la chaîne des Babors, et l'Est par le massif de l'Edough, avec une extension Nord-Sud sur plus de 50 km.

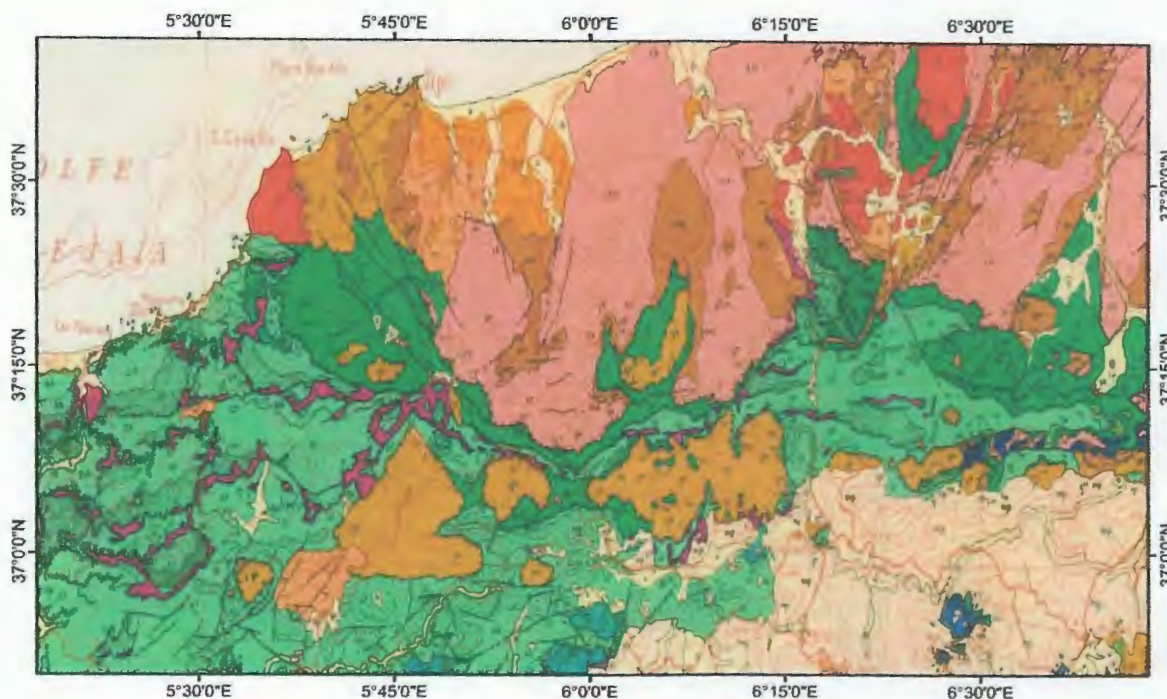


Fig. III.12 : Carte géologique de la région d'étude (Extrait de la carte structurale au 1/500000 de la chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des confins Algéro-Tunisiens) (Jean-Marie Vila, 1978).

Légende :

Roches éruptive récentes

- Granite ,grano- d diorite, microgranites,diolérte et rhyolites
- Complexe stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Hamman Meskouine.

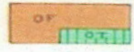
Roches récentes et cycles postérieurs au Burdigalien inférieur

- Quaternaire indifférencie (Villafran -chien à actuel)
- Pliocène marin des zones côtières
- Moi-Pliocène continental
- Burdigalien supérieur –Langhien de la marge littorale

Socle Kabyle, Chaîne calcaire



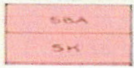
Oligo-Miocène kabyle, olistostromes à flysch resédimentés (y compris le numidien) et flysch en position nord-kabyle.



Olistostromes superposés à l'oligo-Miocène kabyle ; TO- Olistolites telliens de la région d'El Milia



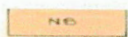
Chaîne calcaire : Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones interne, médiane et externe.



Socle Kabyle : SBA-Paléozoïque des Béni-Afeur.

Socle métamorphique de Petite Kabylie et du Bou Hatem (phyllades micashiistes, Porphyroïdes, gneiss et marbres.

Nappe numidienne



Formation de Babouche (Aquitano-Burdigalien)



Grès numidien et séries mixtes.



Principaux affleurements d'argiles de base à Tubotomaculum

Nappes de flysch Kabyles

Flysch Mauritanien



Séries internes d'Ain Nacour, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settifer, de Bou Taieb, de la Marsa.

Séries médianes de Grouche, d'El Kar n

Série externe (ex-Medjanien) et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mezzouch et de Ziane

Flysch Massyliens



Séries typiques à phlanites ou à brèches vertes et rouges.



Cas de la série du Djebel Flifila (1-Crétacé, 2-Jurassique)



Unités de type Adissa et Sénonien marneux à micro brèches ou à blocs. (A-Eocène, F-Sénonien marneux à micro brèches ou à blocs.

Trias exotique ou extrusif



Argiles, gypse broyés et glaçons calcaire-dolomitiques.

Trias resédimenté.

Signes conventionnels



1-Contacts stratigraphiques

2-Principales failles

3-Chariages et chevauchements (les barbelures sont du côté chevauchement)

4-Trace des olistolites telliens du bassin du Hodna.

a- visibles

b- caché (e) s ou supposées

c- déduits de données géophysiques.

Du point de vue structural, les Maghrébides sont constituées de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme Africaine, transversalement on distingue de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne:

- Le domaine interne (Kabyle) ;
- Le domaine des flyschs ;
- Le domaine externe (tellien et l'avant pays) ;

Sur l'ensemble de ces unités géologiques repose en discordance la nappe numidienne, et les formations post-nappes (Djellit, 1987).

III.2. Les grands ensembles géologiques de la région d'étude

La région de Djimla est située au Sud-est du chef lieu de la wilaya de Jijel, dont fait partie la zone étudiée, elle est située dans la zone de contact des formations du domaine interne avec les formations du domaine externe. (Voir. Fig.III.14)

III.2.1. Lithostratigraphie des formations géologiques de la région d'étude

Les formations géologiques qui affleurent dans la région de Djimla sont principalement représentées par, du Nord vers le Sud (Fig. III.13 et Fig. III.14) :

- Les formations du socle Kabyle ;
- Les formations triasiques ;
- Les formations de type flysch ;
- Les formations telliennes ;
- Les formations du flysch numidien ;
- Les formations quaternaires ;

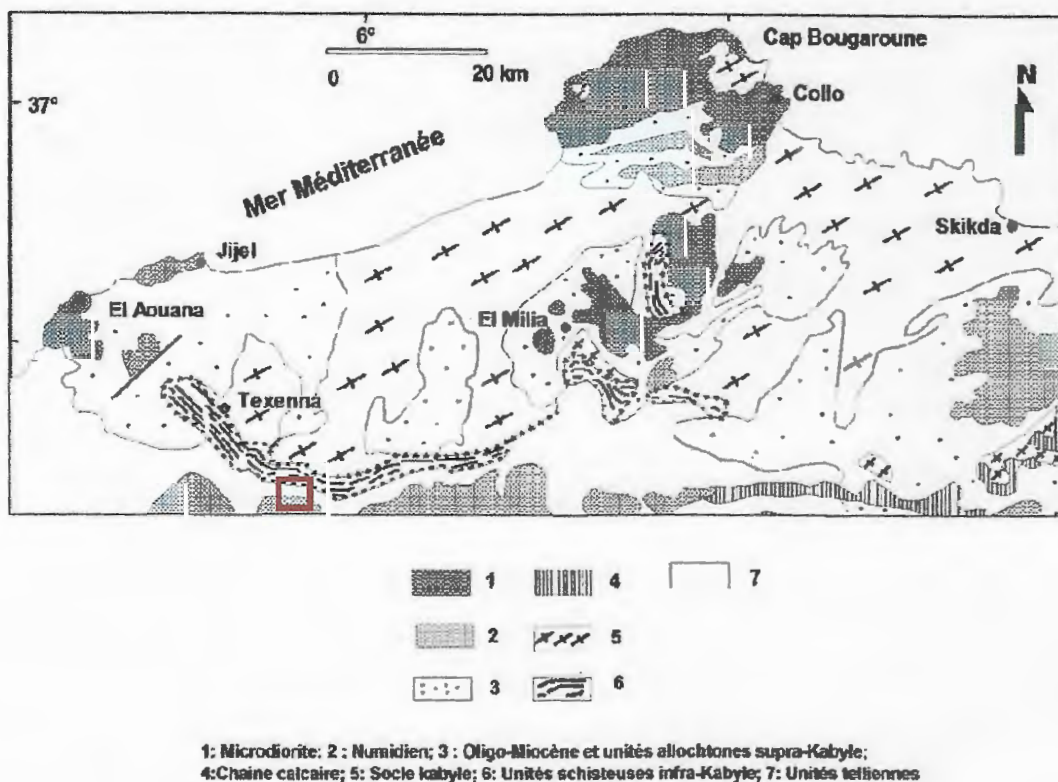


Fig. III.13 : Esquisse géologique de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989)

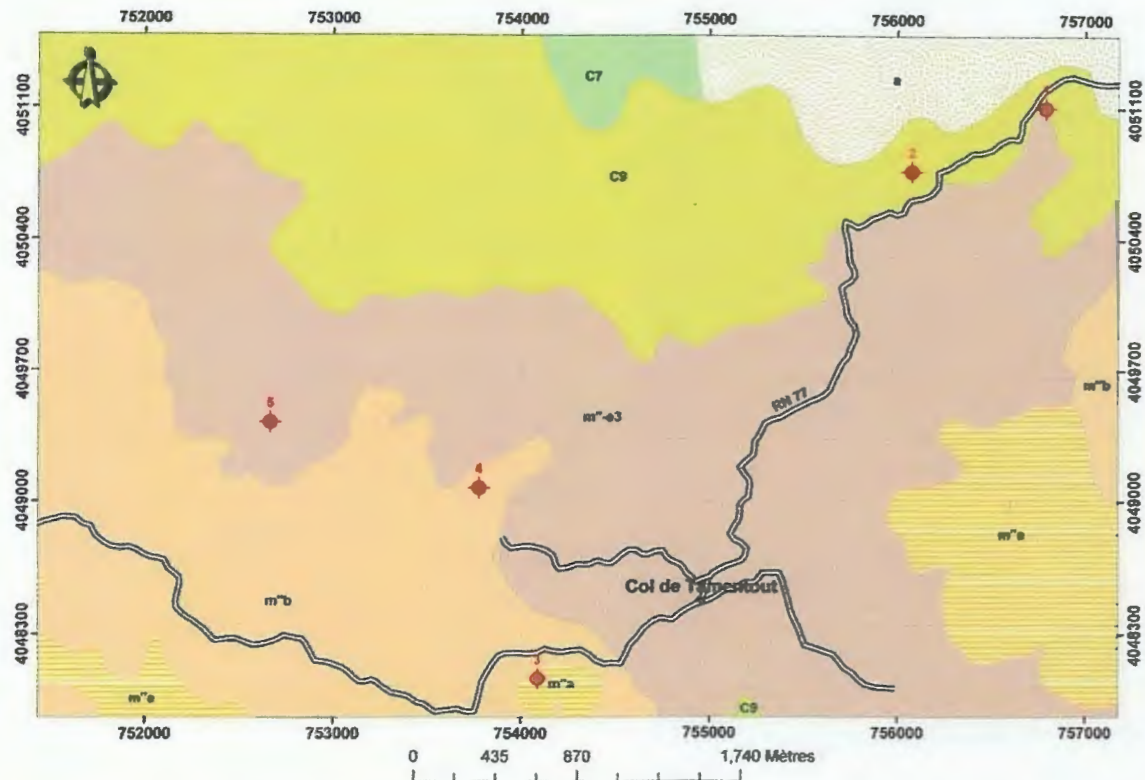


Fig. III.14 : Carte géologique de la région Djimla (extrait de la carte géologique de TAMESGUIDA à l'échelle 1/50.000 feuille N°49 (d'après F. EHRMANN, 1941)

Légende :

Quaternaire

 Eboulis, brèches consolidées

Oligocène

 Grès « numidiens »

 Argiles et grès

 Marnes schisteuses et argiles « numidiennes »

Paléocène inf à Crétacé sup

 Marnes schisteuses du Danien -Mastrichtien

 Argiles schisteuses de l'Emschérien

 Points de prélèvement

 Routes

III.2.1.3. Les formations telliennes

Etudié par Durand-Delga (1955) et Obert (1981), l'ensemble tellien est caractérisé par des formations, lacuneuses et à nombreuses discordances, allant du Lias au Miocène.

a) Lias basal, dolomitique (infra-Lias)

Au niveau de notre région d'étude, on trouve un premier affleurement à l'est du village de Beni Yadjis au niveau de Dj. Sidi-Mansour à 912 m d'altitude (Fig. III.16), il est constitué de calcaires compacts, en grandes dalles, de teinte assez claire, montrant parfois des grains de quartz, plus loin à 500 m de l'ouest à l'est, ils sont totalement transformés en une dolomie grise, où la stratification a entièrement disparu. Ces calcaires et dolomies sont attribuables au Lias inférieur-Pliensbachien (Durand Delga, 1955).

En effet, dans une série de synclinaux, situés au NW et au SE du Sidi-Mansour (Fig. III.16), apparaissent des assises plus récentes, datées du Domérien inférieur : marnes et marno-calcaires à patine jaunâtre, quelquefois à silex. Au sein de ces derniers, on y note des *Encrines*, quelques *Atractites*, des Ammonites de petite taille (*Fucinieras*, petits *Phylloceras* et *Rhacophyllites*?) et surtout des *Brachiopodes*.

Les *Brachiopodes* datent ces couches du Lias moyen. Les Ammonites (surtout les *Fucinieras*), mauvais état de conservation, permettent de préciser qu'il s'agit probablement de Domérien inférieur

A l'Ouest de ce relief, le Dj. Sidi-Oussaf (929 m) est constitué par des calcaires liasiques, subhorizontaux, qui montrent, en contact anormal au-dessus du Trias diapir :

1. calcaires à silex, en tout petits bancs (infralias ?),
2. calcaires compacts, à litage plus ou moins net (Lias inférieur-Pliensbachien?) couronnés parfois par une assise de calcaires à fins grains de quartz,
3. calcaires plus ou moins marneux, un peu jaunâtres, puis calcaires à silex, lités (Domérien?).

Cette série n'a pas livré de fossiles: les assimilations d'âge sont basées uniquement sur les faciès.

b) Dogger et Malm

Au niveau de Dj. es Daki (NE du Dj. el-Kalaa), situé sur la rive Sud de l'oued Djendjene, on note une série subhorizontale, séparée du Sénonien plus septentrional par une cassure injectée de Trias (Durand Delga, 1955) :

- calcaires en bancs (60 à 80 m visibles) à lits de silex noirs. Vers le haut, les dalles calcaires augmentent d'épaisseur et les silex diminuent de fréquence.
- calcaires marneux grisâtres, de patine jaunâtre, et calcaires en minces dalles à cassure claire et silex clairs (10 m au total env.),
- marne-calcaires bleuâtres (20 m),

Plus au Sud, à Dj. Sidi-Mansour, le Sénonien repose en discordance sur les calcaires compacts du Lias. Sa base, à l'extrémité occidentale de cet anticlinal, est marquée par une puissante carapace conglomérats massifs, tandis que, à l'Est du pli, le Sénonien débute au-dessus des marno-calcaires Domériens par quelques lits à petits galets. Au S du chaînon, le Sénonien semble très étiré, il reprend une épaisseur notable qu'à l'Ouest du Dj. Tebala, où il admet des niveaux calcaireux (Durand Delga, 1955).

Partout ailleurs autour du pli du Tigmounene, le Sénonien est constitué, dès la base, par des marnes noirâtres, parfois avec boules jaunes. Les galets de calcaires jurassiques (certains de grande taille) n'y sont pas exceptionnels. La microfaune est réduite à quelques Rosalines indéterminables.

Tout au Sud enfin, la position structurale de l'épaisse série de marnes grises à microbrèches, qui affleure si largement entre Tamentout et le Dj. Seridj, est mal précisée. Apparemment ce Flysch calcaireux (à rares lits de petits poudingues) surmonte les marnes noires sénoniennes, que nous venons de décrire au SE du Dj. Tigmounene.

e) L'Eocène

Au Sud-ouest de l'anticlinal à cœur liasique du Dj. Sidi-Mansour, une bande discontinue de calcaires « Suessoniens », le plus souvent sans silex, paraît jalonner en direction WNW-ESE l'axe d'un synclinal dont les flancs seraient formés de marnes noires à nodules jaunes.

Au NE, on trouve à partir de l'axe synclinal la série renversée suivante, qui a été relevée au SW du marabout Sidi-Mansour de haut en bas (Durand Delga, 1955) :

4. calcaires à silex,
3. calcaires marneux blanchâtres (quelques mètres) formant un niveau de transition à
2. marnes noires à nodules jaunes (de l'ordre de 100 m),
1. marnes noirâtres avec bancs calcaires discontinus (Sénonien probable).

Le niveau de transition (3) a fourni des *Globigérine* à cachet Eocène, des *Spiroplectamina*, des Radiolaires.

Non loin au NW du col de Tamentout, l'Éocène est impliqué dans de petits plis couchés au Nord. Il comporte, 600 m au Nord de la maison forestière, des calcaires lités, apparemment plissés en synclinal couché (?); ceux-ci sont séparés des marnes noires à boules jaunes par des marno-calcaires feuilletés, blanchâtres, qui ont livré une microfaune probablement Yprésienne (*Globorotalia wilcoxensis*, *Gl. aragonensis* NUTTALL, *Globigerina soldadoensis* BRÖNN, *G. eocenica* TERQUEM).

III.2.1.4. Les formations de type flysch

Selon Durand Delga (1955), le flysch est une formation généralement épaisse, constituée essentiellement par une alternance plus ou moins régulière de couches marines détritiques, les unes grossières « gréseuses », les autres fines « schisteuses ». Elles sont représentées dans la région étudiée par les formations du flysch Massylien et flysch numidien.

Au Sud du col de Tamentout, et à l'ouest de l'oued El-Kebir et de son affluent de gauche l'oued El-Menar, le « Numidien » repose directement sur les marnes ou sur les calcaires de l'Éocène. La discordance apparaît parfois avec netteté. Les argilites de base, dont la teinte est plus souvent grisâtre que verdâtre, sont parfois légèrement calcareuses. Leur puissance est beaucoup plus forte que d'ordinaire (100 à 200 m).

Les formations numidiennes reposent en discordance sur les formations telliennes.

III.2.1.5. Les formations quaternaires

Dans la région d'étude, les formations du quaternaire sont représentées essentiellement par des éboulis de pentes constitués par une matrice argilo-sableuse dans laquelle est enchâssé des blocs, galets de grès numidien de différente taille. L'affleurement le plus significatif et celui situé à l'ouest du village de Djimla, le long de la route nationale N°77, dans lequel se manifeste des instabilités de terrain, par des glissements le long de la pente.

On note aussi, la présence de terrasse alluviale du lit mineur et majeur de l'oued Djendjen, qui a fait l'objet d'une exploitation pour la fabrication des granulats nécessaire pour la fabrication du béton destiné pour la réalisation du futur barrage de Tabellout.

III.3. Aspect Morpho-structural de la région de Djimla

Deux des caractéristiques structurales de la géologie de la zone des Babors ont été observées par M. Durand Delga (1955) et J. P. Bouillin (1977) :

- Une phase tectonique anté-néocomienne qui est à l'origine, du moins au Nord-est de Texenna des fortes discordances angulaires du Néocomien sur son substratum.
- Une phase anté-sénonienne, caractérisée dans les chaînons du Dj. sidi Mansour, Dj. Tigmounane et Kef dardja par de fortes discordances, par la mise en place de klippes sédimentaires et par la sédimentation de conglomérats sénoniens.

Une importante orogénèse se placerait vers la fin du Miocène ou au début du Pliocène marquera la plupart des massifs Jurassiques des Babors et probablement ceux de l'Ouest de la chaîne numidique qui ont alors percé leur couverture. Les cassures qui les limitent ont été injectées par le Trias.

En dehors de la bande de Flysch Massylien qui limite au Sud le massif ancien (socle cristallophyllien), la zone externe montre de grands affleurements de Crétacé supérieur, surmonté de place en place par des témoins Eocènes. Des lames triasiques percent fréquemment cette épaisse couverture marneuse au milieu de laquelle surgissent aussi des noyaux jurassiques, en position grossièrement anticlinale (Durand Delga, 1955).

Au Sud de la région des massifs jurassiques, la nappe numidienne a été en grande partie affectée par l'érosion. Cette grande dalle de grès numidiens n'est pas extrêmement plissée. La largeur de cette zone externe varie au total entre 4 et 14 km. Nous décrirons successivement quelques secteurs qui font partie de la région d'étude.

III.3.1. Le secteur entre Dj. Tamesguida et de Tamentout

La plus grande partie de ce domaine est située aux abords méridionaux de Texenna. La feuille « Tamesguida » (EHRMANN, 1946) permettait déjà une interprétation correcte de la structure de ce secteur.

III.3.1.1. Entre le Sud-est du col de Selma et le Sud de Texenna

Le cours de l'Oued Djendjene, dirigé grossièrement N20°E, entame la nappe de Guerrouch, cette dernière est intensément plissée et bousculée. Elle butte au Sud, à peu près parallèlement au fleuve, contre une grande masse de Trias diapir, au sein de laquelle est noyée la dalle calcaire essentiellement jurassique et éocène du Dj. el-Kalaa (Durand Delga, 1955).

L'orientation sensiblement E-W de la bordure septentrionale de ce diapir est à peu près aussi celle du réseau post-miocène de fractures, injectées de Trias, qui limite au Sud le chaînon jurassique le plus oriental de la Kabylie des Babors : Dj. Tloundene, Dj. Hadid, Dj. Tazeguezaout. Ces deux « accidents » sont situés sensiblement dans le prolongement l'un de l'autre. Le diapir triasique de la zone du Dj. el-Kalaa arrive, au SE de Texenna, jusqu'à entamer le Flysch crétaé moyen.

III.3.1.2. Au Sud de Texenna

Au niveau de cette zone, on voit au contraire cette bande triasique changer brutalement de cap et devenir parallèle au contact frontal Kabyle, en longeant la bande de Flysch masylien et le bord méridional du grand lambeau de recouvrement (« Flysch » tithonique-éocrétaé) des Beni Yadjis. A la faveur de cette modification de direction, le Trias s'étale et forme une gigantesque pustule d'une trentaine de km².

Dans cette région, la couverture de marnes sénoniennes est bousculée et tronçonnée en affleurements discontinus. Des paquets de calcaires liasiques, intensément dolomités, ont été expulsés de la masse triasique, tels de véritables échardes, et poussés en coin au sein des marnes crétaées. La dalle subhorizontale du Dj. Sidi-Oussaf et les rochers à l'ouest de la Mechtat es-Stitra sont deux remarquables exemples de ces extrusions, limitées sur tout leur pourtour par des contacts anormaux d'étirement (Durand Delga, 1955).

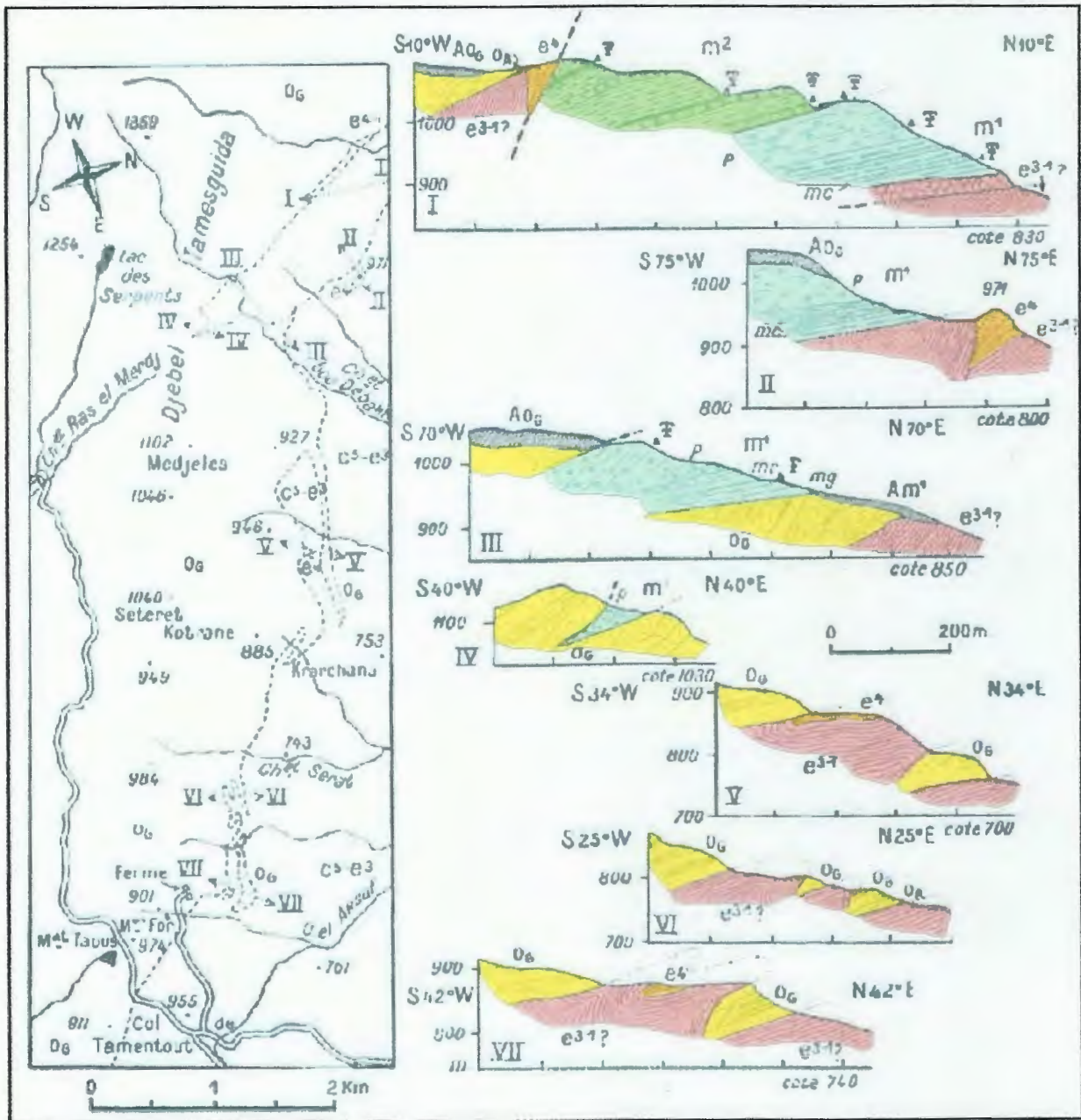
III.3.1.3. Au Sud-est de la cluse de l'oued Bou-kerma

La masse triasique se résout en deux bandes élémentaires qui deviennent vers l'Est de plus en plus étroites et discontinues. Les terrains jurassiques, crétaés et éocènes forment ainsi d'assez larges affleurements dont on peut analyser la structure. Du NE au SW, nous distinguerons ainsi le secteur des diapirs, le massif jurassique du Sidi-Mansour et ses entours, et enfin la zone de bordure du « Numidien » du Tamesguida. La plupart des éléments tectoniques sont allongés de l'WNW à l'ESE, parallèlement à l'orientation locale du chevauchement bordier du massif ancien.

Le secteur des diapirs comporte une bande septentrionale, en paquets discontinus, au

voisinage du contact renversé entre le Flysch crétaé et le Sénonien marneux. La plus orientale et en même temps la plus importante de ces lames détermine une haute falaise le long de l'oued Raha, le Trias semble s'enfoncer au Nord sous le Flysch massylien.

La bande triasique méridionale se poursuit sans interruption depuis Machtat Bou-Kerma jusqu'au Dj. Tigmounane. Aux points où elle s'étrangle, elle pousse vers le haut des paquets de calcaires jurassiques. Son extrémité orientale est en liaison avec un petit anticlinal à noyau de Crétacé moyen, plus ou moins décollé de sa couverture sénonienne.



e^{3-1} , Eocène (inf. ?) marneux ; e^4 , « suessonien » calcaire ; O_G , « numidien » gréseux ; m^1 , Burdigalien-Halvétien ; m^2 , Tortonien continental ; A, éboulis. Détails du Miocène : p, conglomérats ; mg, marnes gréseuses ; mr, marnes rubéfiées à galets ; mc, marnes à lits calcaires.

Fig. III.17 : Plan et coupes séries de la région à l'Ouest de Tamentout (Durand Delga, 1955)

Le Dj. Sidi-Mansour (Fig. III.5) est un important relief de calcaires liasiques, vivement plissés avant le Sénonien. Son aspect topographique actuel est dû à un ploiement en brachyanticlinal dirigé WNW-ESE, dessinant en plan une légère courbe, concave vers le Nord. Au Nord et au Sud, le Lias est séparé des sédiments tendres de sa couverture par des surfaces d'étirement très redressées.

A 500 m plus à l'Est, le Kef bou-Hanni correspond à un petit anticlinal à cœur néocomien, plus ou moins énucléé hors du Sénonien qui l'enveloppe. Sur le flanc nord du Sidi-Mansour, au milieu des marnes du Crétacé supérieur, court une étroite bande de grès et argilites oligocènes, qui, au SE, se glisse entre le relief principal et le Kef bou-Hanni.

Au flanc Sud du Sidi-Mansour, on remarque au milieu des marnes éocènes des paquets de calcaires « suessoniens », qui paraissent jalonner un synclinal N30°W- S30°E. Les torsions qu'il présente sont dues à son serrage au sein d'une masse marneuse très plastique. Les pendages sont toujours très redressés et les disharmonies fréquentes (Durand Delga, 1955).

La bordure du « Numidien » du Tamesguida (Fig. III.17) est troublée par toute une série de petits accidents, orientés aussi WNW-ESE. Selon les points, les formations oligocènes reposent directement sur les calcaires « suessoniens » ou sur des marnes noires éocènes. L'ensemble a été affecté de petits plis couchés au Nord sur quelques dizaines de mètres, au maximum sur une centaine.

Le Miocène visible au flanc Nord du Tamesguida est franchement discordant sur l'Éocène, sur l'Oligocène et apparemment sur les structures dont il vient d'être question. Mais ce Miocène a été à son tour ployé en un synclinal dirigé NNW-SSE. L'extrémité septentrionale de ce pli est assez nette. Par contre, à sa partie moyenne et à sa terminaison Sud, le bord occidental de l'affleurement miocène est nettement chevauché, sur une profondeur pouvant atteindre quelques centaines de mètres, par le « Numidien ».

III.4. Conclusion

La région d'étude marque la limite entre les formations du domaine interne (socle cristallophilien) au nord et les formations du domaine externe (telline) au sud. Une grande partie des affleurements dans la région sont formés par des lithofaciès caractéristiques d'âge Mésozoïque (formations telliennes) tels que :

- Le Lias basal dolomitique caractérisé par des calcaires à silex, compacts à litage plus ou moins net, dolomitiques.
- Le Domérien à dominante marneuse et marno-calcaires à patine jaunâtre, quelque fois à silex.
- Lias supérieur Dogger calcaire et marno-calcaires grisâtre de patine jaunâtre, et calcaire en minces dalles à cassure claire et silex clairs.
- Un crétacé inférieur marneux à marno-calcaires jaunâtres, souvent à patine jaune ou rosée et des calcaires grisâtres en plaquettes à vermiculations.

- Un crétacé supérieur constitué de marnes noirâtres à boules calcaires jaunes. Ce faciès de marnes à nodules jaunes s'étend d'ailleurs beaucoup plus haut dans la série.
- L'éocène représenté par des calcaires à silex, calcaires marneux blanchâtres et des marnes noires à nodules jaunes.

Sur les formations tellienne (d'âge Mésozoïque), repose en discordance des formations d'âge Oligo-miocène représenté essentiellement par la nappe numidienne. Dans toute la région d'étude, le chaînon de Tamesguida doit ses hauts sommets aux formations du flysch Numidien essentiellement gréseuses. Une assises argileuses souvent verdâtres, parfois rougeâtres, marquant la base du flysch numidien dites argiles sous-numidiennes dans lesquelles nous avons réalisés nos prélèvements, sont ici fort épais et riches en Tubotomaculum, elles sont aussi assez puissantes autour de Tamentout.

Le Trias diapirique comporte du gypse, des marnes gypsifères, des argiles bariolées, et des argiles de couleur lie de vin. Ces formations apparaissent en contact anormal avec les formations telliennes et les formations du flysch Massylien. Certains affleurements triasiques sont injectés dans le Crétacé suivant un alignement E-W. Ceux-ci pourraient être expliqués par l'injection de ces formations le long des accidents d'orientation E-W (Durand Delga, 1955).

La plupart des éléments tectoniques sont allongés de l'WNW à l'ESE, parallèlement à l'orientation locale du chevauchement bordier du massif ancien.

Chapitre IV

Étude géotechnique des argiles sous numidiennes

IV.1. Introduction

Identifier un sol, c'est déterminer un ensemble de propriétés physiques, mécaniques ou chimiques qui permettent de le caractériser. Ces propriétés sont déterminées par des essais simples et rapides, appelés « essais d'identification » (Holtz, & Gibbs, 1991).

On distingue classiquement deux grandes catégories d'essais d'identification :

- les essais qui répondent de l'arrangement et de la répartition des phases (squelette solide, eau, air). Ces essais caractérisent l'état du sol et ne peuvent être réalisés que sur des échantillons intacts.
- les essais qui traduisent les propriétés des particules du sol et l'intensité de leurs liaisons avec l'eau. Ces essais caractérisent la nature du sol et sont réalisés sur des échantillons intacts ou remaniés (dont l'état a été perturbé lors du prélèvement ou du transport).

IV.2. Méthodologie d'étude

Dans le présent chapitre nous aborderons la détermination au laboratoire des caractéristiques physiques des échantillons prélevés (limites d'Atterberg, masse volumique des particules solides, valeur du bleu de méthylène et analyse granulométrique). Cette détermination sera basée sur les essais de laboratoire conformément aux modes opératoires (normes) en vigueur.

IV.2.1. Prélèvement des échantillons

Cinq prélèvements au total ont été effectués, deux (02) le long de la route nationale N°77 entre le village de Djimla et le col de Tamentout, deux (02) autres le long du chemin wilaya menant au village de Beni Yadjis à partir du col de Tamentout et un dernier prélèvement réalisé au niveau du col de Tamentout (Voir. Fig. IV.18).

Ces prélèvements effectués sur différentes profondeurs, ont ciblés directement la formation qui nous intéresse, à savoir les argiles sous-numidiennes, identifiées à partir des «Tubotomaculum», dont les coordonnées géographiques des points de prélèvement sont présentées dans le tableau. IV. 10 ci-joint :

Tab. IV.10 : Coordonnées géographiques des points de prélèvement

Échantillon N°	Longitude	Latitude
1	5.86967°E	36.57348°N
2	5.86159°E	36.57065°N
3	5.83850°E	36.54686°N
4	5.83537°E	36.55602°N
5	5.82309°E	36.55946°N

Les prélèvements une fois effectués, ils ont été emballés dans des sachets en plastique hermétique permettant une sauvegarde totale des échantillons (l'état hydrique), et sur lesquels une batterie d'essais d'identification a été programmée.



Fig. IV.18 : Situation géographique des points de prélèvements (Google Earth, 2014)

IV.2.2. Les essais de laboratoire

IV.2.2.1. Essai d'analyse granulométrique (NF P 18-560 et NF P 94-057)

Le sol est un mélange de grains, de formes et de tailles différentes. L'analyse granulométrique a pour objet de déterminer la distribution en poids des particules suivant leurs dimensions.

L'analyse granulométrique comprend deux étapes :

a) Le tamisage (NF P 18-560) pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 μm .

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

b) La sédimentation (NF P 94-057) pour les grains de diamètre inférieur à 80µm.

L'essai, utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leur dimension. La loi de Stokes donne, dans le cas de grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre des grains et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules, (Voir. Photo. IV.1).

IV.2.2.1.1. Caractéristiques granulométriques

a. La courbe granulométrique

Une des premières étapes de la caractérisation d'un sol consiste à évaluer sa composition à partir de sa courbe granulométrique ; il s'agit d'un graphique qui indique, pour une dimension donnée d'un grain (portée en abscisse), le pourcentage en poids des grains de dimension inférieure (tamisât, passant) ou supérieure (refus) à d.

La courbe est tracée en coordonnées semi-logarithmiques, de façon à donner une représentation plus précise des particules fines. On obtient les données nécessaires au tracé de cette courbe grâce à l'analyse granulométrique (Sanglerat & Costet, 1983).

b. Interprétation des courbes

On définit alors les caractéristiques de la courbe granulométrique suivantes :

b.1.Le coefficient de Hazen (ou coefficient d'uniformité) : $C_U = D_{60}/D_{10}$

Ce coefficient permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée.

D'après la valeur du coefficient d'uniformité, on peut classer les matériaux granulaires en cinq catégories (Robitaille & Tremblay, 1997) :

$C_U \leq 2$	granulométrie très serrée
$2 < C_U \leq 5$	granulométrie serrée
$5 < C_U \leq 20$	granulométrie semi-étalée
$20 < C_U \leq 200$	granulométrie étalée
$C_U > 200$	granulométrie très étalée.

b.2.Le coefficient de courbure : $C_C = (D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$

Ce coefficient vient en complément de C_U dans la classification des sols LCPC afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée (un sol est mal gradué si une fraction de grains prédomine) (Philipponnat & Bertrand, 2003).

Pour : $1 < C_C < 3$: bien gradué (continuité bien répartie)

$C_C < 1$ et $C_C > 3$: mal gradué (continuité mal répartie)

Avec :

D_{10} , D_{30} et D_{60} étant respectivement les diamètres correspondant à 10%, 30% et 60% d'éléments de dimension inférieure.

IV.2.2.1.2. Présentation et interprétation des résultats

Les cinq (05) échantillons prélevés ont subis une analyse granulométrique par tamisage et par sédimentation. Les opérations d'analyse ont été réalisées au niveau du laboratoire de matériau du département des sciences de la terre et de l'univers en collaboration avec le laboratoire de mécanique des sols du génie civil et le laboratoire des travaux publics de l'Est « LTP-Est » (Voir Photo. IV.5).

L'analyse granulométrique nous a permis de tracer les courbes granulométriques des cinq (05) échantillons et de tirer tous les paramètres indispensables à l'interprétation et à la classification des sols. Le tableau ci-dessous (Tab. IV.11), présente les coefficients d'uniformité et de courbure tirés à, partir des courbes granulométrique voir (Fig. IV.20) :

Tab. IV.11 : Résultats de calcul de C_U et de C_C

Paramètre	N° échantillon					Observation
	01	02	03	04	05	
Coefficient d'uniformité « C_U »	633,3	384,6	285,7	775,0	400,0	très étalée $C_U > 200$
Coefficient de courbure « C_C »	0,19	47,12	24,03	3,23	0,21	mal graduée $C_c > 3$ et $C_c < 1$



Photo. IV.5 : Essai analyse granulométrique par sédimentation (Laboratoire de matériaux, Département STU, 2014)

D'après les valeurs des coefficients d'uniformités « C_U » et, de courbures « C_C » des échantillons analysés, on est en présence d'un sol présentant une granulométrie étalée et mal graduation.

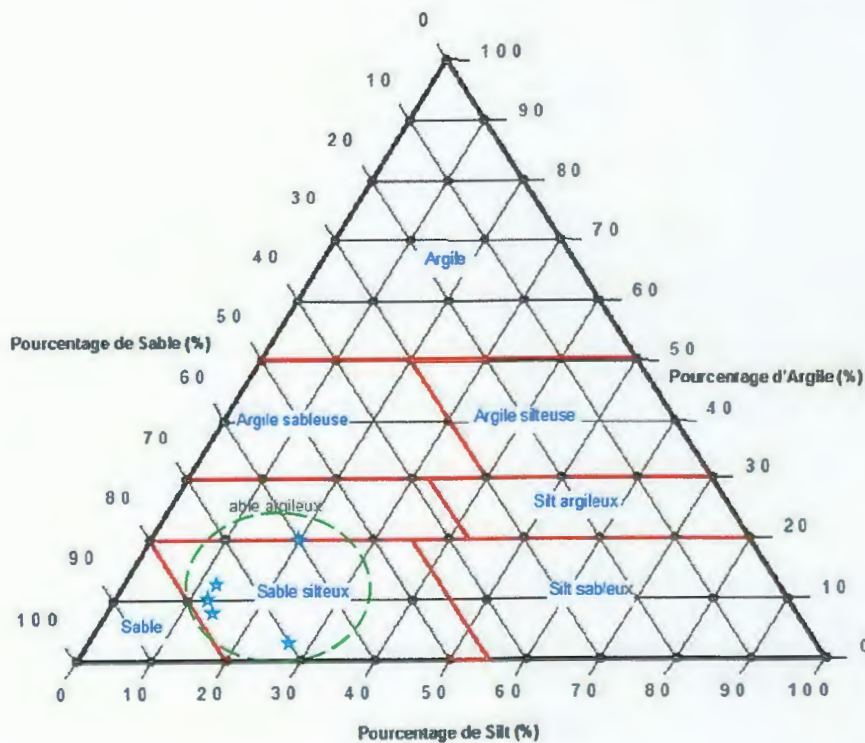
L'interprétation des courbes granulométriques, nous a permis de tirer le pourcentage de chaque fraction constituant les échantillons analysés (tableau. IV.12).

Tab. IV.12 : Pourcentage des fractions constituant les échantillons analysés.

Fraction en %	N° échantillon					Moyenne
	01	02	03	04	05	
Éléments < 0.008 mm	49	24	24	34	43	35
Graviers : 2 - 20 mm	7	8	14	8	10	9
Sable grossier : 0.2 - 2 mm	43	66	58	52	40	52
Sable fin: 0.02 - 0.2 mm	13	6	9	17	16	12
Limon : 0.002 - 0.02 mm	19	11	12	12	20	15
Argile : < 0.002 mm	18	9	7	11	14	12

On se basant sur les pourcentages des fractions constituant les échantillons analysés mentionnés dans le tableau IV.12, tirés directement des courbes granulométriques, on peut dire qu'on est présence d'un **sable limoneux à argileux légèrement graveleux**.

Une classification des sols fins mis au point par le « Public Road Administration » a été appliquée afin d'avoir une nomenclature des sols analysés (Peltier, 1969). Cette classification est basée sur la proportion de sable, limons et argiles contenu dans l'échantillon. On utilise alors le diagramme triangulaire (Fig. IV.19).

**Fig. IV.19 :** Classification triangulaire des sols fins (Peltier, 1969).

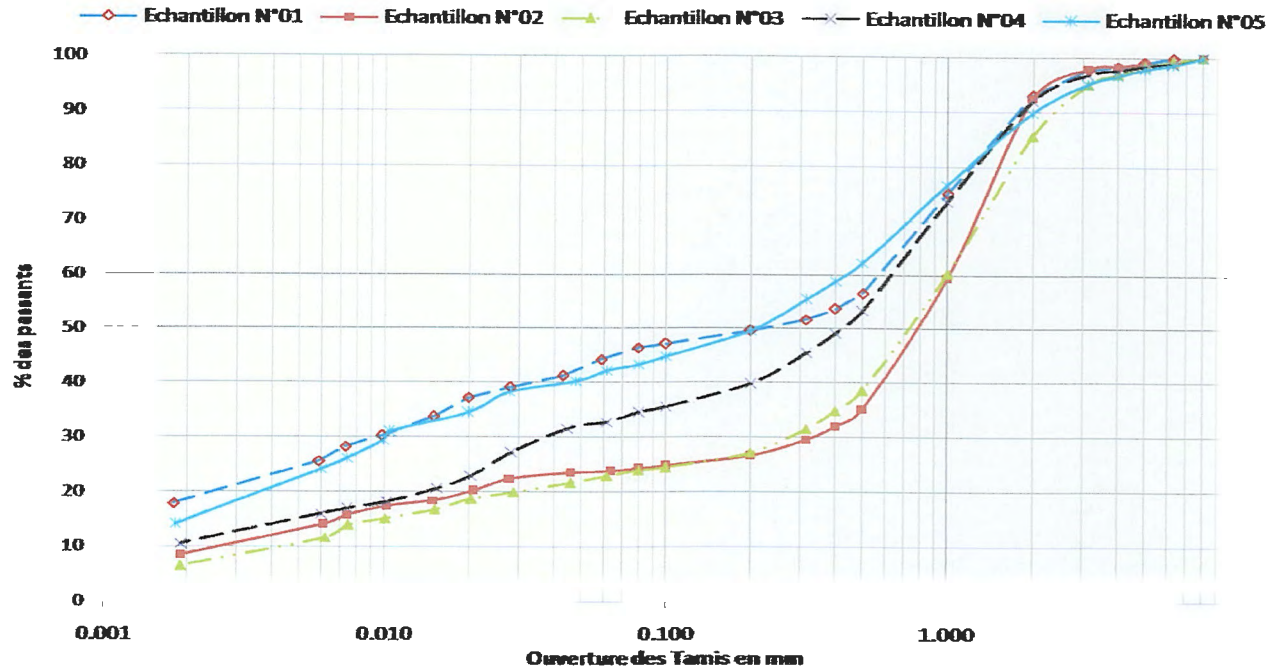


Fig. IV.20 : Représentation des courbes granulométriques pour les échantillons analysés

La projection des proportions des fractions concernées, nous a permis de constater que pour les cinq (05) échantillons analysés les points sont regroupés au pôle des sables, caractérisant des échantillons riches en sable. Alors la nomenclature des sols analysés d'après la classification triangulaire des sols fins est un *sable limoneux*.

IV.2.2.2. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols (Méthode du pycnomètre à eau) NF P94-054

La masse volumique des particules solides du sol (ρ_s) est le quotient de la masse de ces particules solides (m_s) par leur volume (V_s),

$$\rho_s = m_s / V_s$$

La masse des particules solides est obtenue par pesage. Le volume est mesuré au pycnomètre.

L'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé. Le volume des particules est déduit par pesée à l'aide d'un pycnomètre (Photo. IV.6) en substituant de l'eau de masse volumique connue aux particules solides. La masse volumique des particules solides est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\rho_s = \rho_w (m_2 - m_1) / (m_4 + m_2 - m_1 - m_3)$$

Avec :

- m_1 : masse du pycnomètre vide ;
- m_2 : masse du pycnomètre contenant la prise d'essai ;
- m_3 : masse du pycnomètre, du sol et de l'eau ;
- m_4 : masse du pycnomètre plein d'eau ;
- ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1 000 kg/m³ ;

La masse volumique des particules solides est la moyenne arithmétique de deux mesures effectuées sur deux prises d'essai provenant du même échantillon de sol.

Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 ou en gr/cm^3 .

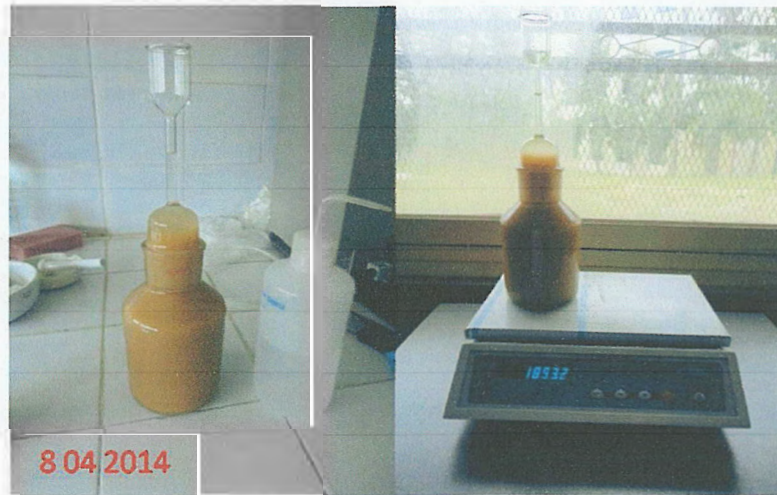


Photo. IV.6 : Mesure de la masse volumique des grains solides par la méthode du pycnomètre

L'ensemble des résultats de mesure de la masse volumique des grains solides des cinq échantillons prélevés sont récapitulés dans le tableau. IV.13, ci-dessous :

Tab. IV.13 : Tableau récapitulatif des résultats de mesure de la masse volumique des grains solides « γ_s » des échantillons

Nature de l'échantillon	Masse volumiques réelles des grains solides en t/m^3					Valeur moyenne
	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	
Argile	2.61	2.64	2.63	2.57	2.62	2.61

D'après les résultats de mesure de la masse volumique réelle des échantillons prélevés, on constate qu'ils présentent des valeurs comprises entre 2,57 et 2,64 t/m^3 avec une moyenne de 2,61 tm^3 .

IV.2.2.3. Détermination des limites d'Atterberg NF P 94-051 (limite de liquidité à la coupelle & limite de plasticité au rouleau)

Cet essai a pour but de déterminer la consistance d'un sol fin, qui varie de façon continue selon la teneur en eau lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique, puis à l'état liquide (Fig. IV.21). L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états (photo. IV.7).

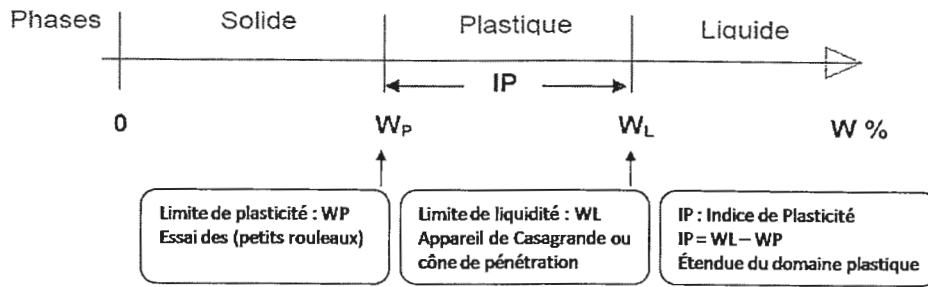


Fig. IV.21 : Représentation des limites d'Atterberg (Head, 1992).

IV.2.2.3.1. Limite de liquidité W_L

L'échantillon de sol est mis en place dans la coupelle et on trace un sillon avec l'outil de rainure voir (Fig. IV.22 et 23). La limite de liquidité est le teneur en eau du matériau qui correspond à une fermeture conventionnelle. Elle est donnée, en fonction du nombre de coups (N) pour obtenir cette fermeture par la formule :

$$a) W_L = W (N/25)^{0.121}$$

W : la teneur en eau de l'échantillon au moment de la fermeture de la lèvres.

N : nombre de coups correspondant à la fermeture de la lèvres.

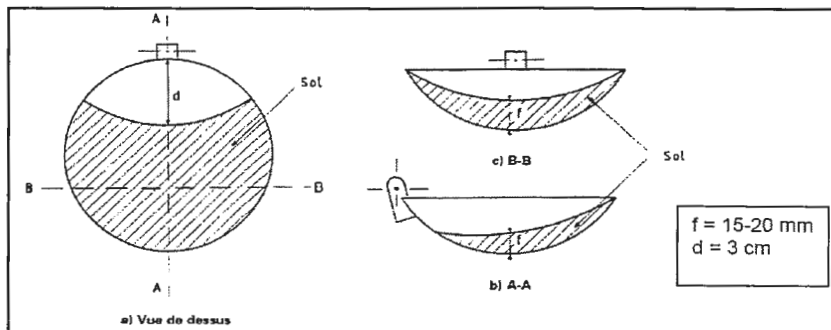


Fig. IV.22 : Mise en place de l'échantillon dans la coupelle (Habib, 1997).

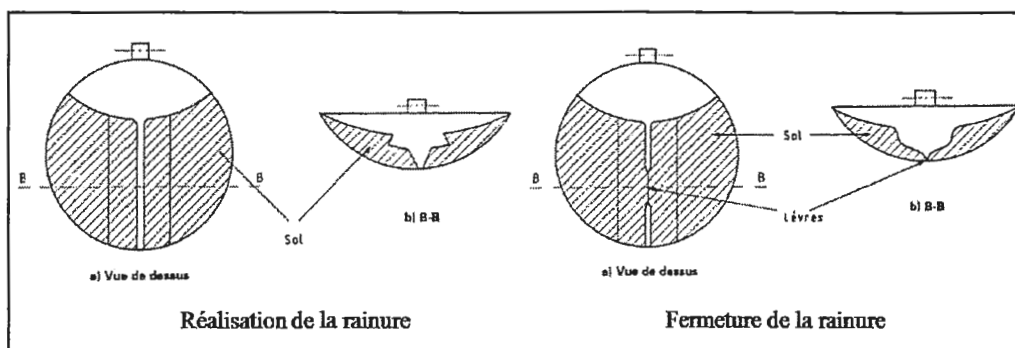


Fig. IV.23 : Vue globale au niveau de la rainure (Habib, 1997).

IV.2.2.3.2. Limite de plasticité W_p

A partir d'une boulette d'échantillon qu'on roule sur un marbre à la main, ou avec une plaque, on forme un rouleau aminci progressivement jusqu'à 3 mm de diamètre et sur une largeur de 10 à 15 cm (Voir. Fig. IV.24)

La limite de plasticité est atteinte lorsque le rouleau, soulevé par le milieu se fissure en parties de 1 à 2 cm qui se brise au moment, elle est exprimée en pourcentage. A partir des limites d'Atterberg (W_L , W_p), on définit des indices qui sont largement utilisés en pratique.

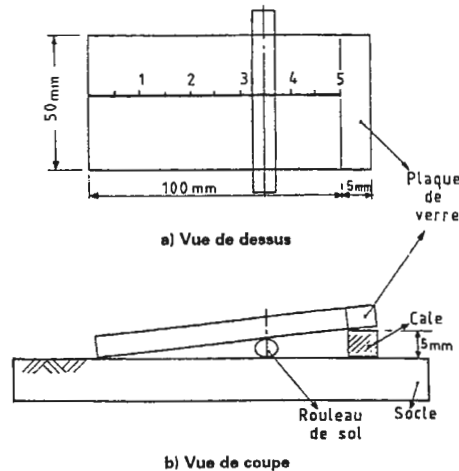


Fig. IV.24 : Système d'évaluation du diamètre du rouleau de sol (NF P-94-051)

a. Indice de plasticité

Rappelons que : $IP = W_L - W_p$

Il reflète l'étendue de la zone pour laquelle le matériau est plastique. Un sol, dont l'indice IP est grand, est très sensible aux conditions atmosphériques, car plus IP est grand plus le gonflement par humidification de la terre et son retrait par dessiccation seront importants.

On peut également connaître le type du sol et leur état de plasticité à partir de la valeur de cet indice, comme il est présenté dans les tableaux ci-dessous : (Tab. IV.14 et 15)

Tab. IV.14 : État du sol d'après l'indice de plasticité (Sanglerat, & Costet, 1983).

Indice de plasticité I_p	
$0 < I_p < 5$	Sol non plastique (sol peu sensible à l'eau)
$5 < I_p < 10$	Faiblement plastique
$10 < I_p < 20$	Moyennement plastique
$20 < I_p < 40$	plastique
$I_p > 40$	Très plastique

Tab. IV.15 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité (Sanglerat, & Costet, 1983).

Indice de plasticité IP	Type du sol
IP>30	argile
20<IP<30	Argile limoneuse
10<IP<20	Limon
5<IP<20	Sable argileux
5<IP<15	Sable limoneux

b. Indice de consistance

Rappelons que : $I_c = (W_L - W) / I_p$

Le tableau.IV.16 ; ci dessous, présente la variation de l'état de consistance du sol en fonction de l'indice de consistance :

Tab. IV.16 : État de consistance du sol en fonction de I_c (Sanglerat, & Costet, 1983).

Indice de consistance I_c	État du sol
$I_c \leq 0$	liquide
$0 < I_c < 1$	Plastique
$I_c = 0$	Solide plastique
$I_c > 1$	Solide ou semi solide



Photo. IV.7 : Outillages de détermination des limites d'Atterberg

Les résultats des essais de limites d'Atterberg réalisés sur les cinq (05) échantillons prélevés sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (Tab. IV.17) :

Tab. IV.17 : Résultats de l'essai des limites d'Atterberg.

Paramètre	N° échantillon				
	01	02	03	04	05
Limite de liquidité « W_L » (%)	45,00	40,30	47,20	56,50	45,00
Limite de plasticité « W_P » (%)	22,54	21,37	23,82	26,48	22,97
Indice de plasticité « IP »	22,46	18,93	23,38	30,02	22,03
Teneur en eau naturelle « W » (%)	16,06	12,46	14,49	16,66	20,52
Indice de consistance « IC »	1,29	1,47	1,40	1,33	1,11

D'après les résultats trouvés, on constate que la teneur en eau naturelle moyenne des échantillons est de l'ordre de 15 % indiquant un sol légèrement humide, l'indice de plasticité varie entre 18% et 30% caractérisant un sol moyennement plastique à plastique (tableau IV.17) et indiquant qu'on est en présence d'une argile limoneuse (tableau IV.15). Un indice de consistance supérieur à 1 caractérisant un sol solide (tableau IV.16).

La classification des sols fins réalisée à partir du diagramme CASAGRANDE basée sur la limite de liquidité et l'indice de plasticité (Fig. IV.25), nous a permis de constater, que les points sont situés au-dessus de la droite A : $[I_p = 0.73 (W_L - 20)]$ caractérisant un sol argileux à moyennement argileux, et plastique (A_p) à très plastique (A_t) et présentant un potentiel de gonflement (Gombalet, 2004).

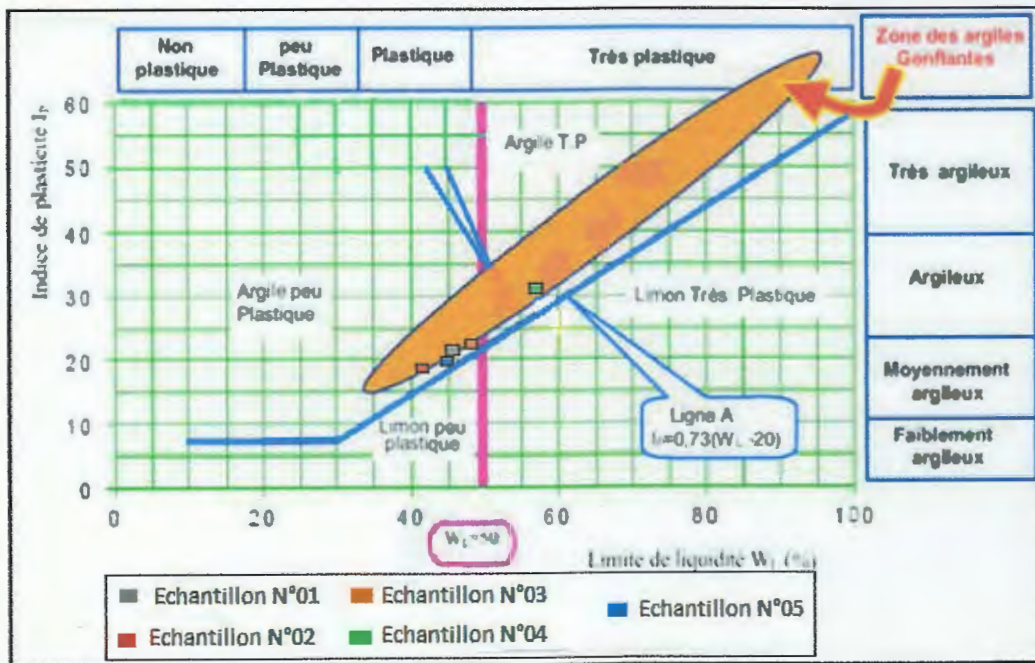


Fig. IV.25 : Diagramme de plasticité de Casagrande (Gombalet, 2004).

IV.2.2.3.3. Estimation du gonflement des sols

Selon les valeurs de l'indice de plasticité I_p , on peut évaluer le gonflement possible des sols. Souvent les sols gonflants ont un très grand indice de plasticité (Aoun, 2002) voir (Tab. IV.18).

Tab. IV.18 : Évaluation du potentiel de gonflement en fonction de I_p (Schlosser, 1989).

Gonflement potentiel	I_p (%)
Faible	0 - 15
Moyen	15 - 25
Elevé	25 - 55
Très élevé	>55

Nous avons reporté au tableau ci-dessous (Tab. IV.19) les valeurs de l'indice de plasticité « I_p » de chaque échantillon, avec estimation du gonflement potentiel du sol :

Tab. IV.19 : Estimation du potentiel de gonflement en fonction de I_p (Schlosser, 1989).

Échantillons	I_p	Gonflement potentiel	Degré de plasticité
1	22,46	Moyen	Plastique
2	18,93	Moyen	Plastique
3	23,38	Moyen	Plastique
4	30,02	Élevé	Très plastique
5	22,03	Moyen	Plastique

En fonction de l'indice de plasticité des cinq (05) échantillons prélevés, et d'après le tableau. IV.18 et 19, on constate ces échantillons présente un potentiel de gonflement moyen à élevé.

IV.2.2.4. Essai au bleu de méthylène d'un sol (Essai à la tache) (NF P94-068)

IV.2.2.4.1. But de l'essai

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (V_B) mesure la capacité d'adsorption d'un sol ou d'un matériau rocheux, cette dernière est fonction de la surface spécifiques des particules argileuses. A partir de cette définition, et des données classiques du tableau. V.11, on peut déduire qu'un sol en solution aqueuse adsorbera d'autant plus de bleu que sa teneur en argile est élevée et que ses argiles sont actives.

L'essai au bleu de méthylène, constitue donc un des paramètres d'identification de la classification des sols essentiellement argileux.

IV.3. Conclusion

La synthèse des résultats obtenue des essais d'identification au laboratoire, nous a permis de conclure que :

- L'analyse granulométrique a mis en évidence une granulométrie étalée et mal graduée, l'appellation réelle du matériau à partir des fractions trouvées, indique qu'on est en présence d'un *sable limoneux à argileux légèrement graveleux*.
- La classification triangulaire basée sur les fractions du sol, a indiqué que les échantillons sont riches en sable, d'où une l'appellation de : sable limoneux.
- La masse volumique réelle des particules solides présentent des valeurs comprises entre 2.57 et 2.64 t/m³ avec une moyenne de 2.61 tm³.
- L'analyse des résultats de limites d'aterberg a permet de caractériser une fraction argileuse moyennement plastique à plastique avec un IP qui varie entre 18-30%, indiquant qu'ont est en présence d'une argile limoneuse. Un indice de consistance supérieur à 1 caractérisant un sol solide.
- La classification des sols fins réalisée à partir du diagramme *CASAGRANDE*, nous a permet de constater, que les points sont situés au-dessus de la droite A caractérisant un sol argileux à moyennement argileux, plastique (Ap) à très plastique (At) et présentant un potentiel de gonflement.
- L'estimation du potentiel de gonflement en fonction de l'indice de plasticité, a permis de constater que les échantillons présente un potentiel de gonflement moyen à élevé.
- La caractérisation de la fraction argileuse par l'essai du bleu de méthylène a permet d'obtenir une valeur moyenne $V_B = 6.76$, caractérisant un sol argileux de plasticité moyenne.

Chapitre V

Analyse minéralogique par diffraction de rayons X

V.1. Introduction

Deux méthodes d'investigation minéralogique qualitative et quantitative par diffraction de rayons X (DRX) des matériaux et des minéraux argileux sont classiquement appliquées dans les laboratoires d'analyse. Il s'agit, d'une part, de l'analyse d'une poudre totale sèche et désorientée et, d'autre part, de la fraction argileuse (inférieure à deux microns) extraite du matériau et préparée sous forme d'agrégat orienté.

La première méthode, dite des poudres, fournit les éléments d'une qualification de tous les minéraux présents (quartz, feldspaths, oxydes et hydroxydes de Fe, carbonates), ainsi que de la fraction totale regroupant minéraux argileux et phyllosilicates, sans possibilité sous cette forme de différencier minéralogiquement les minéraux argileux (Atamnia, 2010).

Par contre, la fraction argileuse inférieure à 2 microns classiquement analysée n'est pas représentative non plus de toute la gamme de minéraux argileux présents dans le matériau global ceci tant au point de vue qualitatif que quantitatif. L'analyse DRX de cette fraction argileuse (réalisée sous la forme d'agrégats orientés après extraction du matériau global) fournit cependant une bonne estimation à la fois qualitative et semi-quantitative des divers composants argileux, qu'il s'agisse de minéraux simples et/ou interstratifiés présents grâce à l'application de trois tests diagnostiques classiques: séchage de l'agrégat orienté (passage au diffractomètre à l'état dit naturel ou normal, N), après solvataion aux polyalcools (avec l'éthylène glycol, EG, ou le glycérol, Gl) et enfin après chauffage (490°C).

V.2. Méthode d'Analyse par diffraction au rayon X

V.2.1. Introduction

La diffraction des rayons X (DRX) est une méthode d'analyse physico-chimique, permettant d'identifier les phases cristallines présentées dans les matériaux analysés et offre la possibilité d'établir leur composition chimique. Aussi elle permet d'évaluer leur degré de cristallinité et de mettre en évidence la morphologie des cristallites qui les constituent, également elle donne la possibilité d'estimer les dimensions de ces cristallites.

La diffraction des rayons X donne l'avantage d'être une méthode d'analyse non destructive et s'accommode avec des petits échantillons sous diverses formes monocristallines, couches minces polycristallines et poudres (Moore et Reynolds, 1989).

V.2.2. Principe de la diffraction des rayons X

Un faisceau des rayons X monochromatique pénètre dans un cristal (préparé sous forme monocristalline, polycristalline en poudre ou en couches minces), il en résulte de cette interaction rayon X- cristal des faisceaux diffracté (Fig. V.26) dans une direction donnée par chacune des familles des plans réticulaires à chaque fois que la condition de diffraction est satisfaite. Elle est exprimée par la loi de Bragg :

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

Où :

- n : l'ordre de la diffraction.
- λ : la longueur d'onde du faisceau de rayon X.
- d : la distance entre deux plans réticulaires.
- θ : l'angle d'incidence des rayons X.

Les faisceaux diffractés donnent un diffractogramme qui constitue une empreinte caractéristique de la structure des substances cristallines analysées. Le dépouillement des diffractogramme fournit une véritable carte d'identité des espèces analysées. Le signal de diffraction enregistré donne l'intensité du faisceau diffracté en fonction de θ . Le spectre est formé d'une série de raie correspondant aux réflexions des plans (hkl).

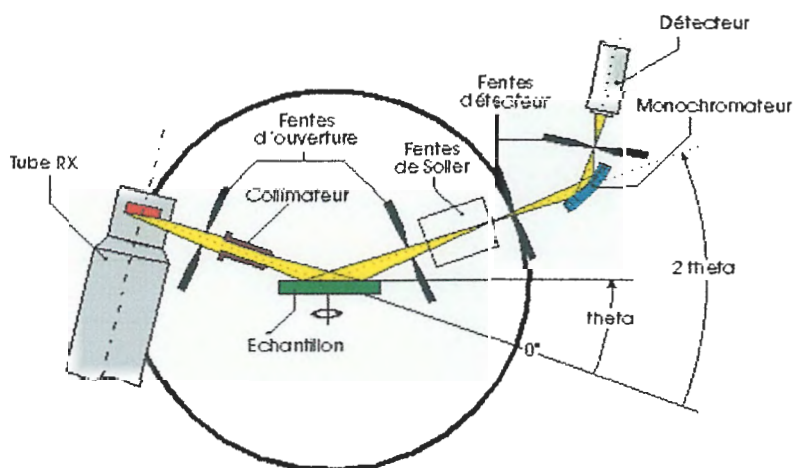


Fig. V.26 : Schéma d'un diffractomètre de rayon X

V.2.3. Principes d'identification des phases cristallines

L'idée d'utiliser la diffraction des rayons X pour identifier une phase fut développée au début du XX^{ème} siècle de manière indépendante par Albert Hull en 1919 d'une part, et par Peter Debye et Paul Scherrer d'autre part. C'est Hull qui publia le premier ses travaux, mais la méthode porte le nom de Debye et Scherrer.

Une poudre formée d'une phase cristalline donnée va toujours donner lieu à des pics de diffraction dans les mêmes directions, avec des hauteurs relatives à peu près constantes. Ce diagramme de diffraction forme ainsi une véritable signature de la phase cristalline. Il est donc possible de déterminer la nature de chaque phase cristalline au sein d'un mélange, à condition d'avoir auparavant déterminé la signature de chaque phase (Moore et Reynolds, 1989).

La détermination de cette signature peut se faire soit de manière expérimentale (mesure d'un produit pur dans des conditions idéales), soit par simulation numérique à partir de la structure cristallographique connue. Cette signature est consignée dans une fiche ou un fichier sous la forme d'une liste de pics ; la position en 2θ est convertie en distance inter réticulaire d par la loi de Bragg, afin d'avoir une valeur indépendante de la longueur d'onde des rayons X. L'intensité I de chaque pic est exprimée en pourcent %, parfois en pour mille, étant la hauteur du pic le plus intense.

L'identification des phases cristallisées est effectuée par comparaison avec un fichier de référence J.C.P.D.S (Joint Committee Powder Diffraction Standard) réactualisé annuellement et comportant actuellement les données de plus de 69500 composés.

V.3. Préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des Rayons X

Rare sont les roches sédimentaires, totalement dépourvues d'argile. Mais dans certaines roches la fraction argileuse est mineure et l'étude de celle-ci implique un enrichissement de l'échantillon dans cette fraction. Cet enrichissement se fait par divers traitements qui ont pour but de dissocier l'échantillon de façon à permettre la séparation des particules constituantes (Thiry et al, 2013).

Pour notre cas d'étude, Nous avons adopté pour une analyse qualitative et semi-quantitative des minéraux argileux par diffraction des rayons X, deux types d'analyses :

- Une première basée sur une poudre totale sèche désorientée.
- Une deuxième sur la fraction argileuse $< 2\mu\text{m}$ préparée sous forme d'agrégat orienté.

V.3.1. Préparation d'une poudre totale

- Prélever une aliquote de l'ordre de 19 de sédiment total et sécher à 40°C à l'étuve
- Broyer manuellement l'échantillon au mortier à agate
- Tamiser à sec à 250 microns (tamis métallique)
- Prélevé une quantité du matériau est la placé dans une logette adéquate (support), afin de préparer une poudre totale désorientée sur laquelle une analyse par DRX et prévue conformément au protocole expérimental (Voir fig. V.27).

V.3.2. Préparation d'un agrégat orienté « fraction argileuse < 2 microns »

V.3.2.1. Broyage préliminaire

Pour les échantillons durs, il faut procéder à un broyage énergétique qui réduit l'échantillon en fragments millimétriques. L'échantillon est broyé pendant quelques minutes dans un mortier en agate. Mais en même temps on s'efforce toujours de limiter les actions mécaniques de tout genre (concassage, broyage, mixage) de manière de ne pas réduire en taille (broyer) les éléments minéraux non argileux, que l'on essaye précisément à séparer par granulométrie des particules de minéraux argileux.

V.3.2.2. Mise à l'eau des échantillons

Les échantillons (10-15 g) sont mis sous eau distillée (50cm^3 dans bouteilles 125cm^3) dès le début des opérations de manière à leur permettre de "gonfler" et se réhydrater progressivement ce qui facilitera la séparation finale de minéraux argileux.

a) pour les échantillons non calcaires

Les échantillons (10-15 g selon leur teneur sable/argile = environ 50cm^3 d'eau distillée) sont mis dans des tubes (100cm^3) qui serviront à la préparation des échantillons puis à leur centrifugation finale.

b) pour les échantillons calcaires « Traitement HCl »

On verse 15-30 g d'échantillon broyé et 50-100 cm³ d'eau distillé dans un bécher polyuréthane de 1000-2000 cm³ que l'on place sur un agitateur magnétique. On ajoute par jet de l'acide chlorhydrique 10% tout en agitant pour que la concentration locale ne soit pas trop élevée.

Lorsqu'il n'y a plus d'effervescence, on contrôle au papier pH qu'il y a excès d'acide en solution ce qui indique que la réaction a été totale et que tout le carbonate a été éliminé.

La préparation débute par un mixage de l'échantillon qui a pour but de bien désagréger les particules argileuses de leur gangue et de les disperser dans l'eau. Pour cette opération il est avantageux d'utiliser un appareil pour lequel le mixage se fait par le haut. La suspension obtenue est versée dans un autre tube (100 cm³) pour subir les opérations de lavage.

V.3.2.3. Lavage des échantillons

Les sels empêchent, par effet flocculant, les particules argileuses de donner des suspensions stables dans l'eau. Il faut donc les éliminer par des opérations répétées de lavage jusqu'à obtention d'une suspension stable. Le lavage se fait en deux étapes.

a) Décantation par centrifugation

On débute l'opération de lavage par une centrifugation à 1000 tours/mn pendant 5 mn car au début l'argile tombe très rapidement. Par la suite, les centrifugations sont poussées à 1500 tours/mn pendant 10 mn. Il faut centrifuger de façon ménagée pour éviter que le culot ne soit trop compact et difficile à remettre en suspension (Photo. V.10).



Photo. V.10 : Opération de lavage des échantillons par centrifugation

b) Agitation à l'eau distillée

On vide doucement l'eau des tubes de centrifugation en évitant d'entraîner une partie du culot. On rajoute de l'eau distillée au culot jusqu'à mi-hauteur du tube. Le culot est remis en suspension par mixage pendant 1 mn, puis l'appoint d'eau distillée est fait (Photo. V.11)



Photo. V.11 : Procédures de lavage des échantillons en vue de mise en suspension.

c) Récupération échantillon lavé

Les opérations centrifugation/mixage sont répétées plusieurs fois (généralement 3 à 5 fois) jusqu'à obtention d'une suspension trouble après centrifugations à 1500 tours/mn pendant 10 mn. Arrivé à ce stade, on centrifuge à 3000 tours/mn pendant 40 mn pour sédimenter les particules fines en suspension. Puis on élimine l'eau de lavage, on rajoute de l'eau jusqu'à mi-hauteur, dernier mixage, puis transvasement dans les récipients de suspension.

V.3.2.4. Extraction de la fraction argileuse

a. Mise en suspension

A la fin de l'opération de lavage, on récupère le culot de centrifugation par remise en suspension au mixer dans 50cc d'eau distillée. Après 30 secondes d'attente, cette suspension est versée dans des bouteilles de 125cc. On complète la bouteille d'eau distillée jusqu'au col.

b. Séparation de la fraction argileuse

b.1. Principe « la loi de Stokes »

L'extraction de la fraction argileuse à partir d'une suspension dans l'eau est basée sur la loi de Stokes. La vitesse de décantation est donnée par la formule :

$$V = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot g}{(18 \cdot \mu)}$$

Avec :

- d : rayon de la sphère
- ρ_s : densité de la sphère
- ρ_l : densité du liquide
- g : accélération de la pesanteur
- μ : viscosité du liquide

Cette loi est une approximation dans son application aux minéraux argileux car les particules argileuses ne sont pas sphériques mais de forme aplatie ce qui retarde leur chute. La séparation est d'autant meilleure que la suspension est plus diluée.

b.2. Extraction de la fraction < 2 µm

On homogénéise les suspensions par agitation des bouteilles à la main. On laisse reposer les bouteilles sur table stable pendant 100 mn (1h40') ce qui correspond à la sédimentation des particules < 2 µm sur 2 cm. Après quoi on prélève les 2 cm supérieurs de la suspension (mesuré à partir de la surface du liquide) par pipetage.

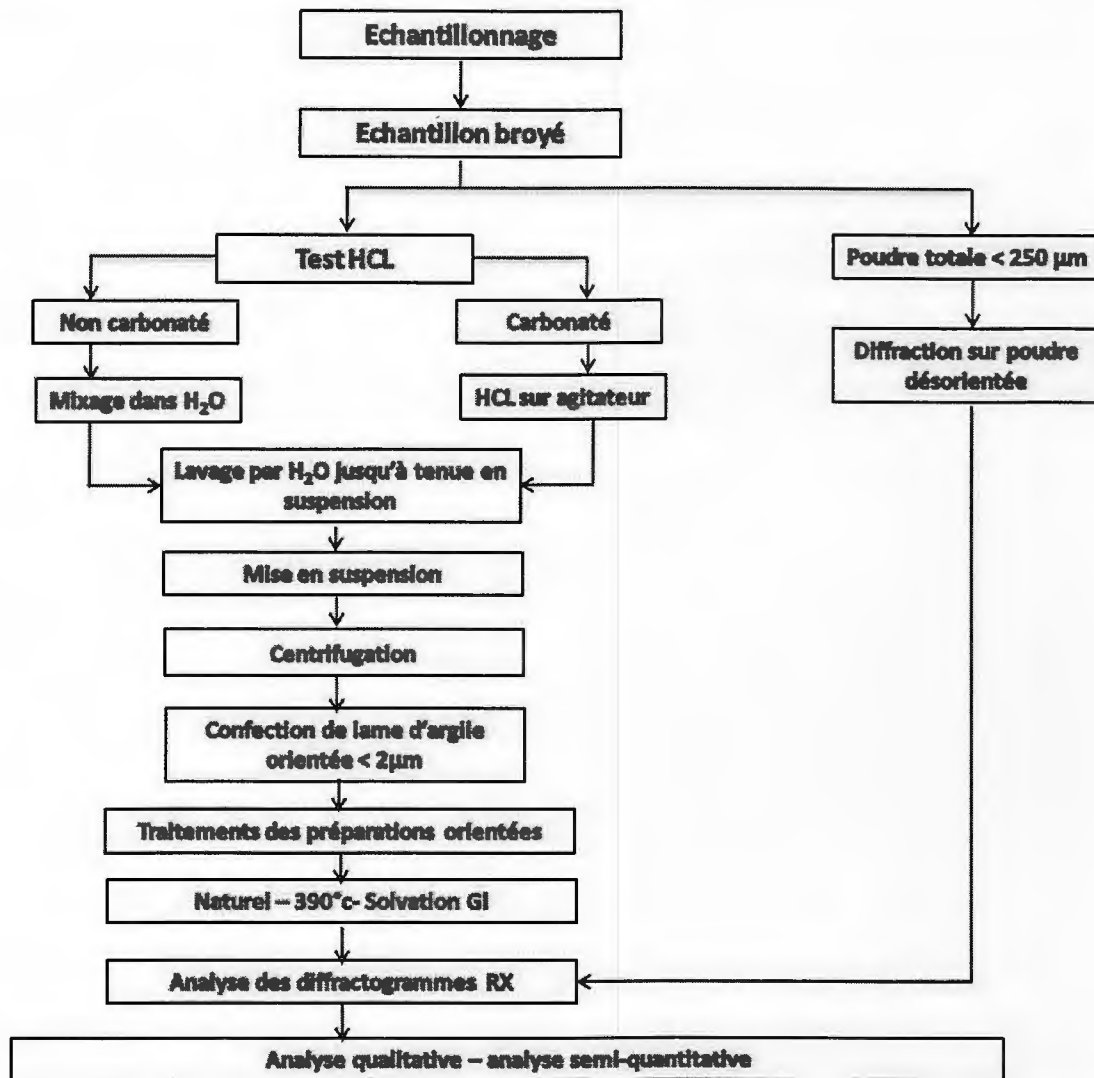


Fig. V.27 : Canevas de préparation de minéraux argileux en vue d'analyse par DRX (Lorenzi et al, 1992).

V.3.2.5. Confection des lames orientées

Après extraction de la fraction < 2 µm, elle est mélangée à 3 à 5 cm³ d'eau distillée afin d'obtenir une suspension assez chargée. Puis 2 à 3 gouttes de cette suspension sont déposées à l'aide d'une pipette dans la rainure de la lame de verre, ou mieux entre deux traits de feutre tracés sur une lame. Pour chaque bouteilles (échantillon), trois lames sont a préparées afin de pouvoir appliqué les trois tests diagnostiques classiques : lame agrégat orienté séché (passage au diffractomètre à l'état dit naturel ou normal, *N*), après solvataion au glycérol, *EG*) et enfin après chauffage *C* (490°C), (Voir. Photo. V.12).



Photo. V.12 : Bouteilles de mise en suspension, et confection de lames orientées.

V.4. Enregistrement des diffractogrammes de rayons X

La détermination des minéraux argileux est basée sur la connaissance de la distance réticulaire des plans (001) ou de leurs harmoniques (002), (003), etc.... qui sont des fractions entières de la distance basale (001) (Voir (Tab. V.23).

Pour certains minéraux ces distances réticulaires basales se déplacent d'une manière caractéristique après certains traitements spécifiques appliqués aux lames (Robert, 1975 et Brindley & Brown, 1980).

V.4.1. Normal (N)

Un diagramme de DRX est enregistré à partir de la lame séchée à l'air. C'est le diagramme de référence auquel on se reporte pour juger des déplacements de raies occasionnés par les autres traitements.

V.4.2. Éthylène-Glycol (EG)

Ce traitement a pour effet de faire "gonfler" les smectites.

Les lames sont placées une nuit en atmosphère d'éthylène-glycol. Pour assurer la saturation et donc la réaction correcte au test il faut passer les lames à la diffraction dans moins de temps après saturation car l'éthylène-glycol est volatile et les argiles se désaturent progressivement.

V.4.3. Chauffage 490°C (C)

Ce traitement est le chauffage standard appliqué systématiquement dans la plus part des laboratoires. La limite de 490°C a été choisie pour détruire la kaolinite (déhydroxylation) mais être sans effet sur les chlorites.

Les minéraux de la famille des vermiculites et smectites sont déhydratés de façon irréversible à cette température, ils sont « fermés » à 10Å. Cette fermeture des minéraux est une caractéristique pour leur identification et surtout pour l'identification des interstratifiés contenant des feuillets smectitiques et vermiculitiques.

Tab. V.23 : Valeurs de la réflexion basale (001) des principaux minéraux argileux, obtenues après les traitements de routine (Pedro, 1967).

Minéral	Symbole	d(001)N(Å)	d(001)EG(Å)	d(001)C(Å)
Kaolinite	K	7	7	-
Illite	I			
Muscovite	Mu	10	10	10
Biotite	Bi			
Chlorite	C	14	14	14(13.6)
Chlorite gonflante	CSw	14	16	14
Vermiculite	V	14	14	9.6-10
Smectites	Sm			
Montmorillonite	M			
Beidellite	Bei	12-14	17	9.7-10
Nontronite	Non			
Saponite	Sap			
Pyrophyllite	Pyr	9.1	9.1	9.1

Avec :

- d(001) N(Å), distance réticulaire du plan (001) en angström lors du test « normal »
- d(001)EG(Å), distance réticulaire du plan (001) en angström lors du test à l'éthylène glycol
- d(001) C(Å), distance réticulaire du plan (001) en angström lors du test « chauffé »

V.5. Analyse et interprétation des diffractogrammes de rayons X

Le diffractomètre aux rayons X a été utilisé pour déterminer les différents minéraux constituant les échantillons prélevés. L'appareil utilisé est un diffractomètre du laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés de l'université de Bejaia couplé à un système informatique, permettant le traitement des résultats obtenus ainsi que le tracé des spectres.

V.5.1. Dépouillement des diffractogrammes de rayons X

Pour le cas de notre étude, le traitement et le dépouillement des diffractogrammes de rayons X a été réalisé par le programme *X'Pert HighScore Plus*, qui est un outil d'identification de phase, d'analyse semi quantitative, de traitement de modèle et graphiques en XRD. Il contient une grande quantité de fonctions de support pour manœuvrer des données XRD. Des formats XRDML, UDF, ASCII et formats de dossier binaire sont soutenus. L'algorithme de recherche-match combine des données de profil dans une recherche simple. Il est possible d'employer des pics ou des données de profil de points, des candidats existants proposés à partir des Bases de données de référence X'Pert d'ICDD, PDF2/PDF4. Ses applications sont nombreuses. Exemple (Holtzapfel, 1985) :

- Analyse qualitative et semi quantitative de phase en utilisant des valeurs de RIR.
- Détermination de cristallinité.

- Possibilités de traitement de modèle : détermination/soustraction du bruit de fond par des fonctions algorithmes : - Profil-ajustage de précision avec un Pseudo-Voigt profil, - $K\alpha_2$, d'après LADELL ou RACHINGER, - Transformée de Fourier ou lissage polynôme,
- Fonctions de correction des données : correction d'intensité de fente de divergence, correction de déplacement d'échantillon.

V.5.2. Minéraux argileux identifiés dans les argiles sous numidiennes de la région de Djimla

En fonction des résultats des trois tests, on peut généralement identifier les différents minéraux, argileux et non argileux. Comme signalé plus haut, on quantifie leur participation respective dans le mélange mais de manière relative et non absolue en se référant l'espace interfoliaire (Brindley & Brown, 1980) et les valeurs des intensités des réflexions principales (001), caractéristique de chaque minéral, comme suite :

- a) Le quartz est quantifié à partir de la mesure de l'intensité (i) de la réflexion (100) à 4,26Å, de préférence à la réflexion (101) à 3,3Å ; celle-ci est commune et donc difficilement discriminable de la réflexion (003) de l'illite-mica en cas de mélange de quartz et d'illite-mica. L'intensité de la réflexion à 4,26Å est considérée comme étant équivalente à 35% de la réflexion à 3,3Å.
- b) L'albite-oligoclase et l'orthose ou l'un des deux minéraux, sont identifiées à partir des réflexions à 3,18-3,19Å (plagioclases) et à 3,25Å (orthose).
- c) L'illite (mica) est quantifiée par l'intensité de sa réflexion principale à 10Å.
- d) La chlorite est théoriquement détectée par sa réflexion à 14Å si elle est présente dans le diffractogramme N et/ou EG et surtout pas sa réflexion (004) à 4,7Å (diffractogramme EG). En aucune manière l'intensité de cette réflexion ne peut être mesurée sur le diffractogramme 500 car soit la chlorite est dégradée (vermiculitisée) et l'intensité de la réflexion à 14Å est alors fortement diminuée tout en développant parallèlement et éventuellement une bande de diffraction entre 14 et 10Å, soit la réflexion à 14Å correspond à une vermiculite dont la réflexion (001) se tasse complètement à 10Å au chauffage.
- e) La différenciation entre kaolinite et chlorite est basée sur l'occurrence dans le diffractogramme d'une double réflexion à 3,5Å (3,56Å = réflexion (002) de la kaolinite et 3,53Å = réflexion (004) de la chlorite) ; l'occurrence de chlorite peut être en outre confirmée par la réflexion (003) à 4,7Å dans le diffractogramme EG.

Dans le cas de cette étude, nous avons réalisé, sur agrégats orientés (fraction $< 2\mu\text{m}$), les traitements dits de routine sur cinq (05) échantillons d'argiles. Les échantillons se répartissent selon différents niveaux de dépôts dans la Stampe stratigraphique étudiée. Au total, nous avons dépouillé douze (12) diffractogrammes de rayons X.

Les résultats de dépouillement des diffractogrammes de l'échantillon N°03 (lame orientée témoin et poudre totale) sont récapitulés dans les tableaux (Tab. V.24 et Tab. V.25):

Tab. V.24 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°01 « Poudre totale »

Échantillon N°01					
N°	d-spacing Å Trouvé	d-spacing Å Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S « Référence code »	Intensité i (%)	Nom du minérale
1	14.12510	14.1500	00-052-1044	32	Chlorite
2	10.08159	10.02170	01-070-3754	61	Illite
3	7.137830	7.13314	01-083-0977	100	Kaolinite
4	7.039840	7.04000	00-052-1044	100	Chlorite
5	4.972830	5.00000	00-029-1496	30.0	Illite
6	4.45051	4.45298	01-072-2300	12.6	Kaolinite
7	4.24604	4.24352	01-085-0865	30.6	Quartz
8	3.57019	3.57308	01-080-0886	55.9	Kaolinite
9	3.52213	3.52500	00-052-1044	70	Chlorite
10	3.34004	3.34077	01-085-0794	100	Quartz
11	3.19169	3.19185	01-071-1152	73.3	Albite

Tab. V.25 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°02 « Poudre totale »

N°	d-spacing (Å) trouvé	d-spacing Å Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S « Référence code »	Intensité i (%)	Nom du minérale
1	10.00425	10.0000	00-026-0911	90.0	Illite
2	7.18103	7.15854	01-089-6538	100	Kaolinite
3	4.99124	5.00000	00-029-1496	30.0	Illite
4	4.48556	4.47862	01-087-2497	1.2	Kaolinite
5	4.25220	4.25218	01-085-0794	17.2	Quartz
6	3.57924	3.57927	01-089-6538	56.5	Kaolinite
7	3.34318	3.34343	01-089-8934	100	Quartz
8	3.19995	3.19926	01-083-1658	100	Albite

Tab. V.26 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°03 « Poudre totale »

Échantillon N°03					
N°	d-spacing (Å°) trouvé	d-spacing Å Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S « Référence code »	Intensité i (%)	Nom du minéral
3	14.46853	14.40180	01-074-1732	100	Vermiculite
4	12.65833	12.60000	00-035-0652	70.0	Illite- montmorillonite
5	7.14108	7.14616	01-080-0886	100	Kaolinite
6	4.95698	4.80060	01-074-1732	0.5	Vermiculite
7	4.49050	4.49000	00-043-0685	67	Illite
8	4.25440	4.25452	01-087-2096	21.6	Quartz
9	3.57905	3.57900	00-014-0164	80	Kaolinite
10	3.51446	3.51338	01-074-1732	0.2	Vermiculite
11	3.34345	3.34343	01-089-8934	100	Quartz

Tab. V.27 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°03 « lame orientée témoin »

Échantillon N°03					
N°	d-spacing (Å°) trouvé	d-spacing Å Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S « Référence code »	Intensité i (%)	Nom du minéral
1	14.04677	14.20000	00-016-0613	100	Vermiculite
2	10.10932	10.02170	01-070-3754	61	Illite
3	7.13074	7.13149	01-074-1784	100	Kaolinite
4	4.94160	4.80060	01-074-1732	0.5	Vermiculite
5	3.56615	3.56657	01-083-0971	43.6	Kaolinite
6	3.30548	3.31000	00-029-1496	35	Illite

Tab. V.28 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°04 » poudre totale

Échantillon N°04					
N°	d-spacing (Å°) trouvé	d-spacing Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S "Référence code"	Intensité i (%)	Nom du minéral
2	9.97429	10.00000	00-026-0911	90	Illite
3	7.14752	7.14616	00-080-0886	90	Kaolinite
4	4.99927	5.00000	00-029-1496	30.0	Illite
5	4.49746	4.47862	01-087-2497	1.2	Kaolinite
6	4.26001	4.26015	01-078-1252	22	Quartz
7	3.57465	3.57308	01-080-0886	37.0	Kaolinite
8	3.52026	3.52000	00-043-0685	37	Illite
9	3.34768	3.34750	01-089-8935	100	Quartz
10	3.19977	3.19926	01-083-2215 01-083-1658	100	Albite

Tab. V.29 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°04 « lame orientée témoin »

N°	d-spacing (Å°) trouvé	d-spacing Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S "Référence code"	Intensité i (%)	Nom du minéral
1	13.06265	13.6000	00-029-1498	100	montmorillonite
2	9.90692	10.0000	00-026-0911	90	illite
3	7.14782	7.14616	01-080-0886	100	kaolinite
4	3.56998	3.56657	01-083-0971	43.6	Kaolinite
5	3.34378	3.34057	01-070-3754	68	illite

Tab. V.30 : Résultats de dépouillement du Diffractogramme RX de l'échantillon N°05 « Poudre totale »

N°	d-spacing (A°) trouvé	d-spacing Fiche J.C.P.D.S	Fiche J.C.P.D.S « Référence code »	Intensité i (%)	Nom du minérale
1	14.52719	14.40180	01-074-1732	100	Vermiculite
2	10.08159	10.02170	01-070-3754	61	Illite
3	7.148700	7.14616	01-080-0886	100	Kaolinite
4	5.089480	5.06000	00-043-0685	47.0	Illite
5	4.471690	4.47038	01-078-1996	15.6	Kaolinite
6	4.251810	4.25218	01-085-0794	17.2	Quartz
7	3.575530	3.57632	01-075-0938	46.6	Kaolinite
8	3.343530	3.34353	01-085-1054	100	Quartz
9	3.073270	3.06600	00-043-0685	44	Illite
		3.06680	01-076-0847	0.1	Vermiculite

Le dépouillement des diffractogrammes a permis de tirer les renseignements suivants :

- Trois minéraux argileux ont été identifiés dans le diffractogramme de l'échantillon N°01 « poudre totale », la chlorite ($d=14.12\text{A}^\circ$), l'illite ($d=10.08\text{A}^\circ$) et la kaolinite ($d=7.13\text{A}^\circ$) (Voir fig. V.28).
- L'analyse du diffractogramme « poudre totale » pour l'échantillon N°02 a mis en évidence la présence de deux minéraux argileux à savoir l'illite ($d=10.00\text{A}^\circ$) et la kaolinite ($d=7.18\text{A}^\circ$) (Voir fig. V.29).
- L'analyse de la lame témoin pour l'échantillon N°03 a permis de faire sortir le pic de kaolinite ($d=7.13\text{A}^\circ$), de l'illite ($d=10.10\text{A}^\circ$) et la vermiculite ($d=14.468\text{A}^\circ$), comme trois minéraux argileux essentiels (Fig. V.30 et 31).
- Pour l'échantillon N°04 en plus de la présence de la kaolinite ($d=7.14\text{A}^\circ$) et de l'illite ($d=9.90\text{A}^\circ$), on note l'existence d'un pic à $d=13.06\text{A}^\circ$ (Voir fig. V.32) caractéristique de la montmorillonite.
- L'échantillon N°05 « poudre totale », a permis l'identification de trois minéraux argileux, à savoir : la vermiculite ($d=14.57\text{A}^\circ$), l'illite ($d=10.08\text{A}^\circ$) et la kaolinite ($d=7.14\text{A}^\circ$) (Voir fig. V.34).

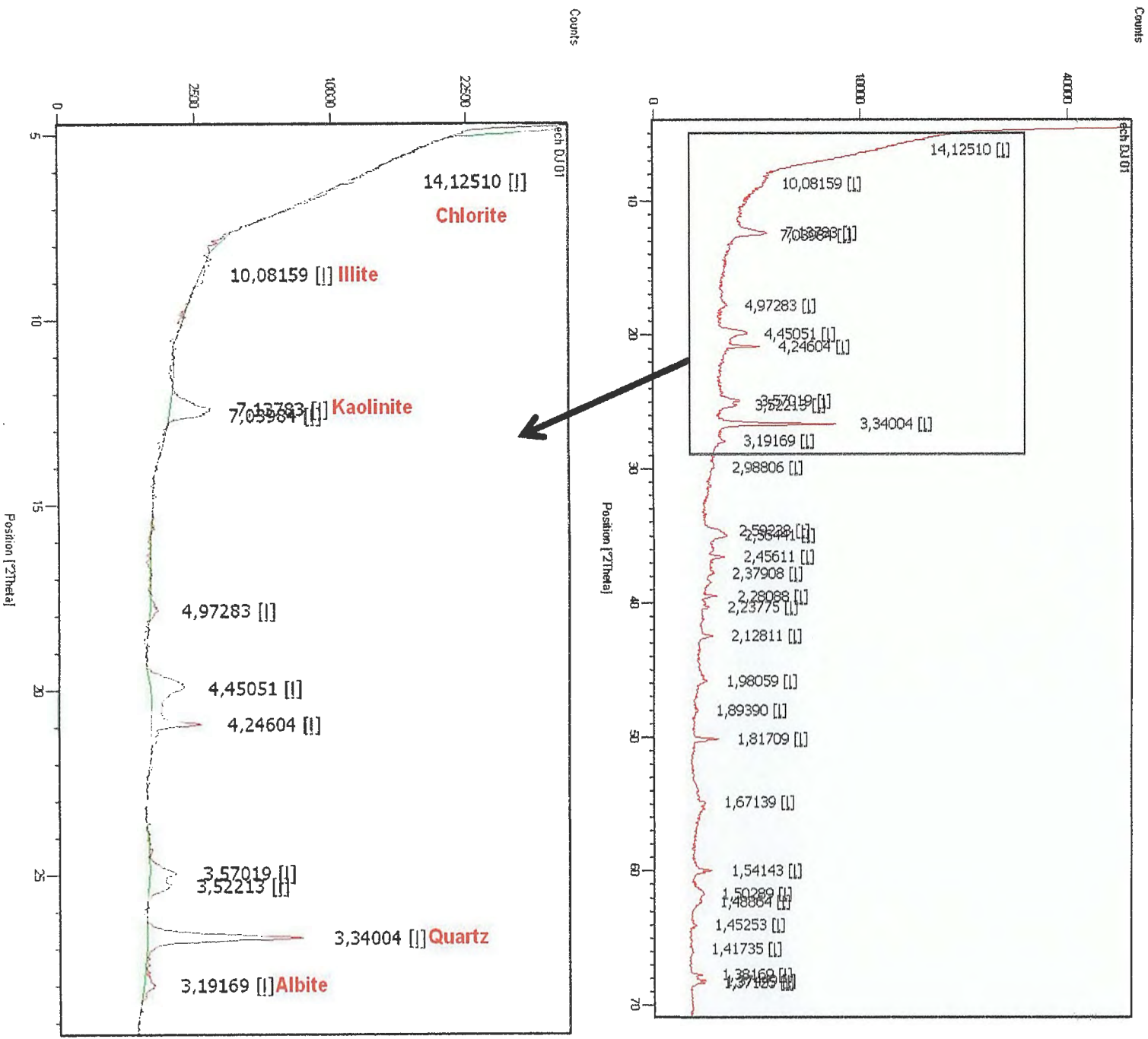


Fig. V.28 : Diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°01 « Poudre totale »

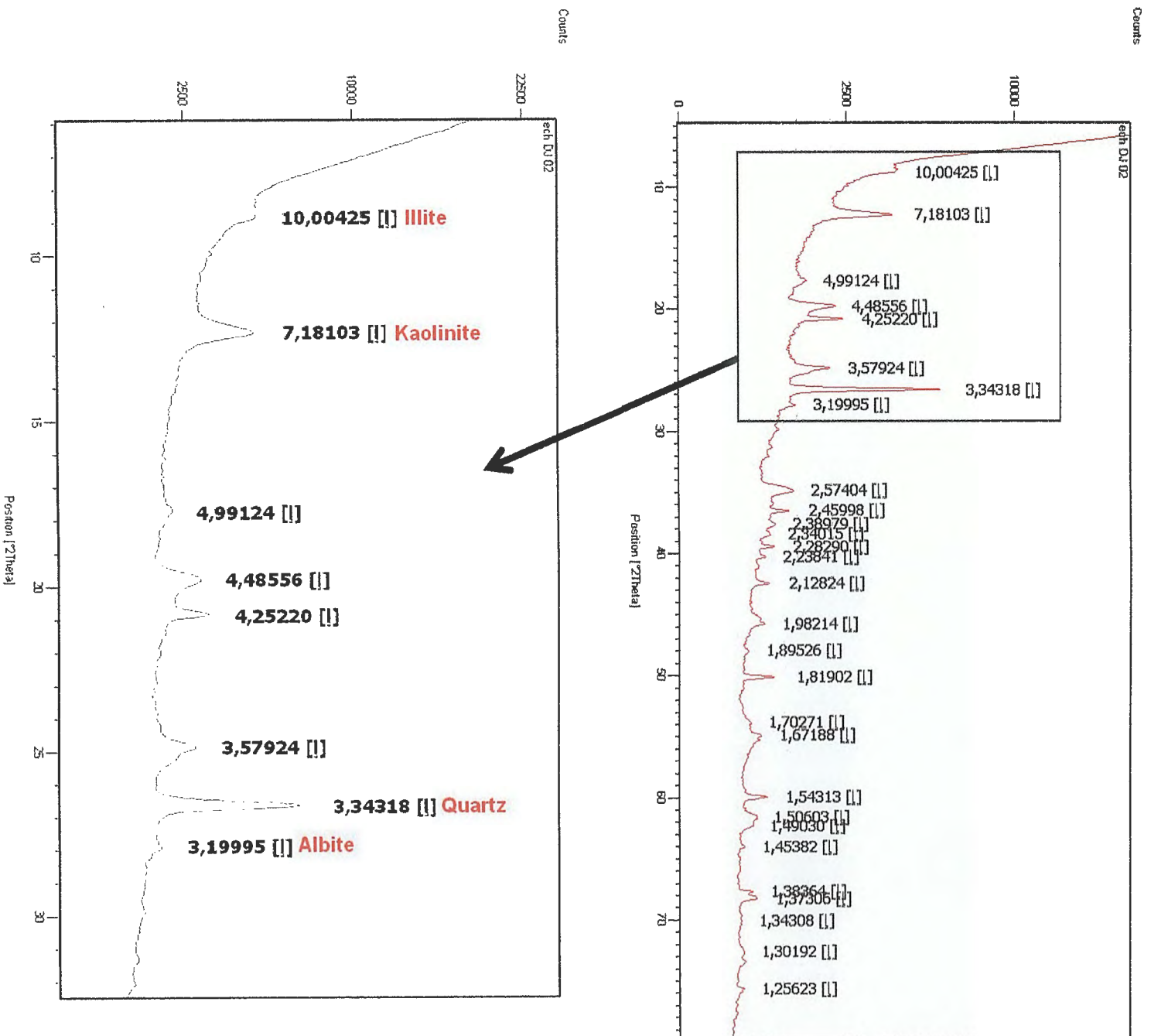


Fig. V.29 : Diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°02 « Poudre totale »

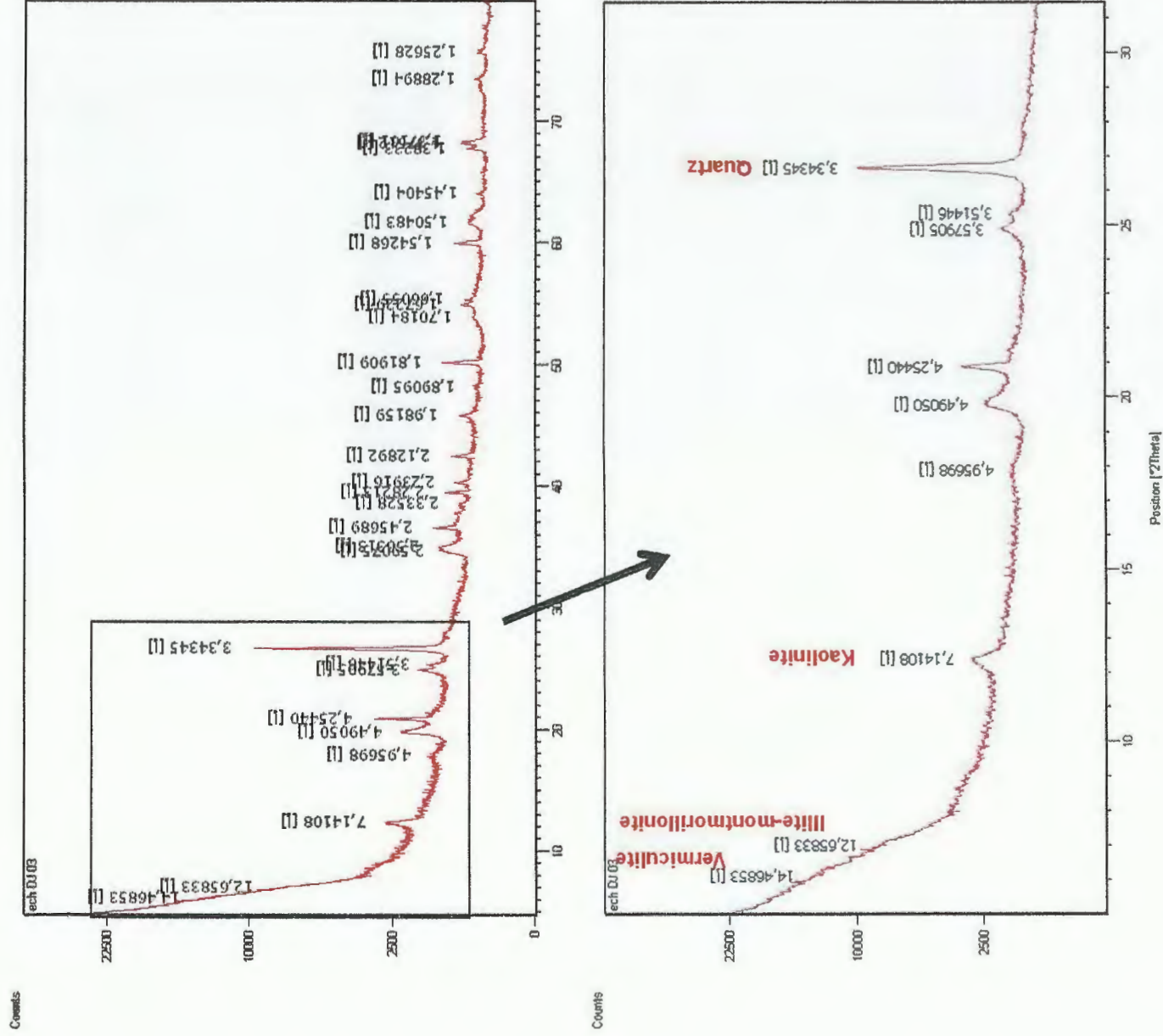


Fig. V.30 : Diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°03 « Poudre totale »

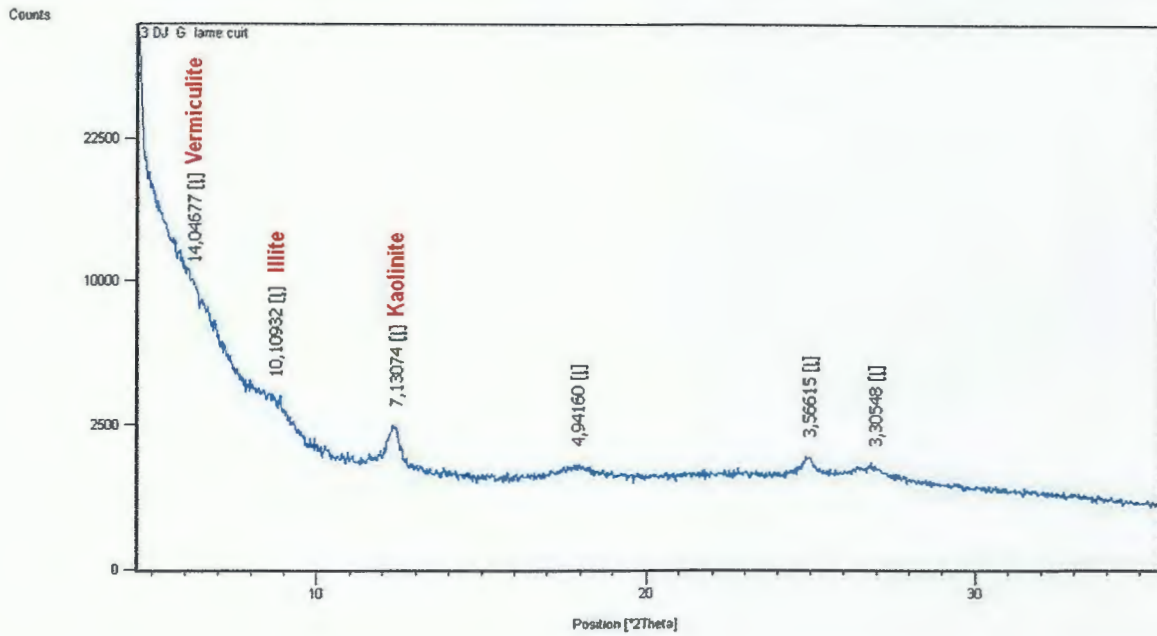


Fig. V.31 : Diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°03 « *Lame orientée Normale* »

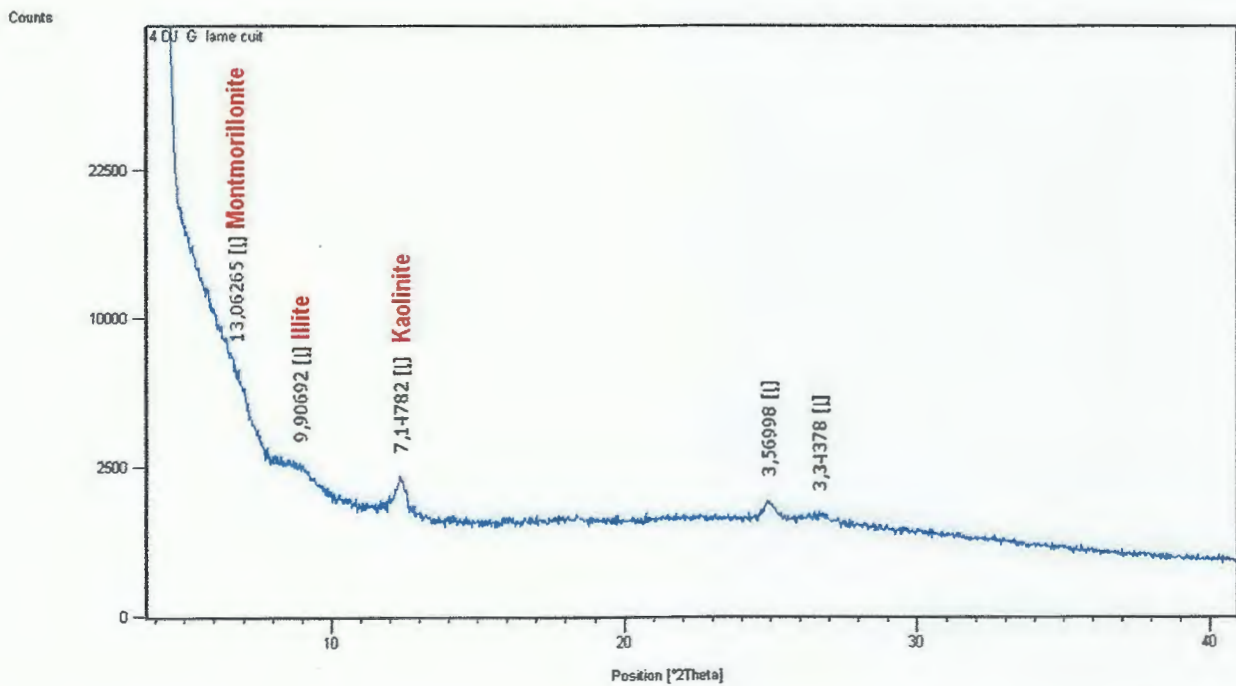


Fig. V.32 : Diffractogramme des rayons X de l'échantillon N°04 « *Lame orientée Normale* »

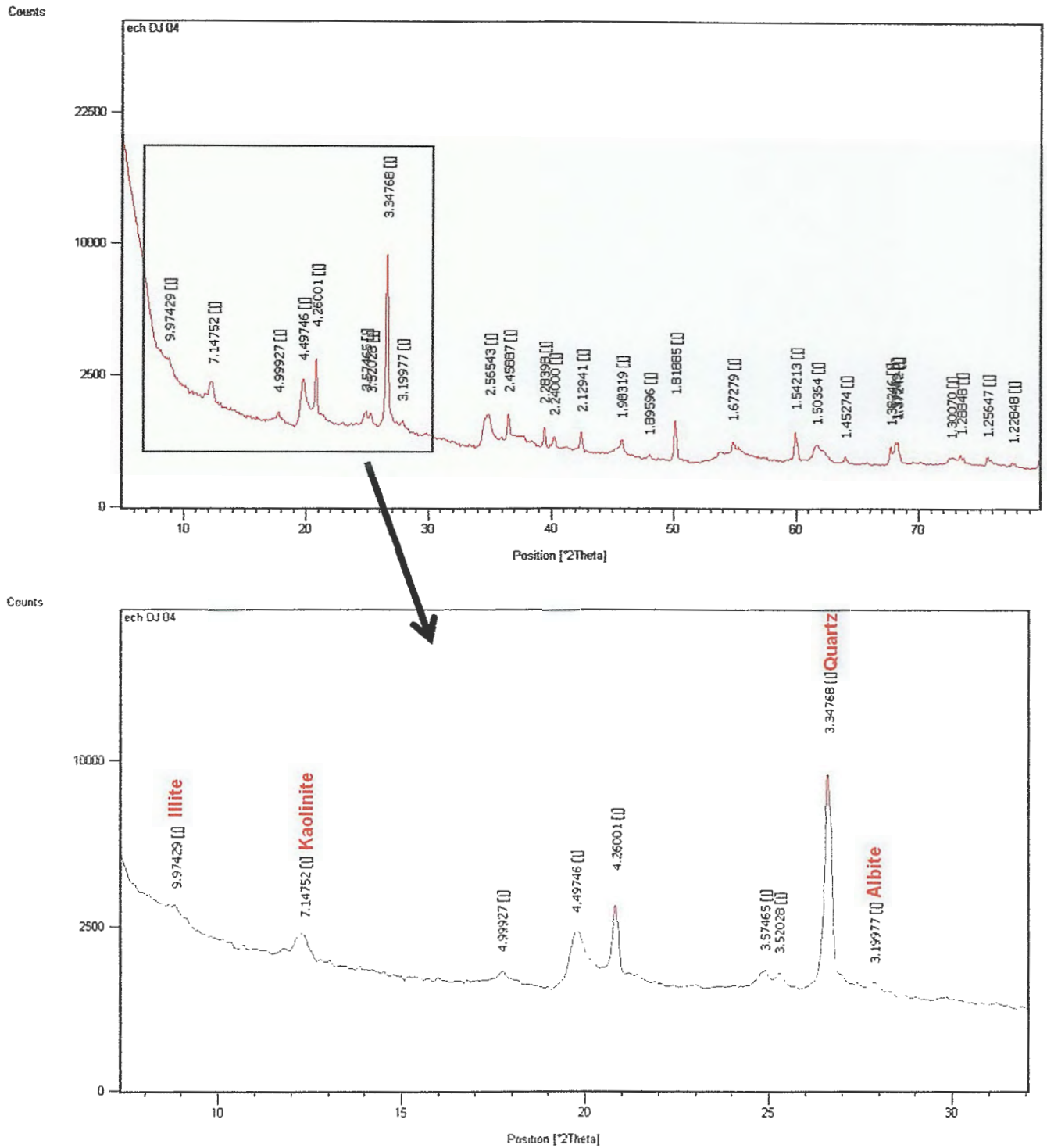


Fig. V.33 : Diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°04 « Poudre totale »

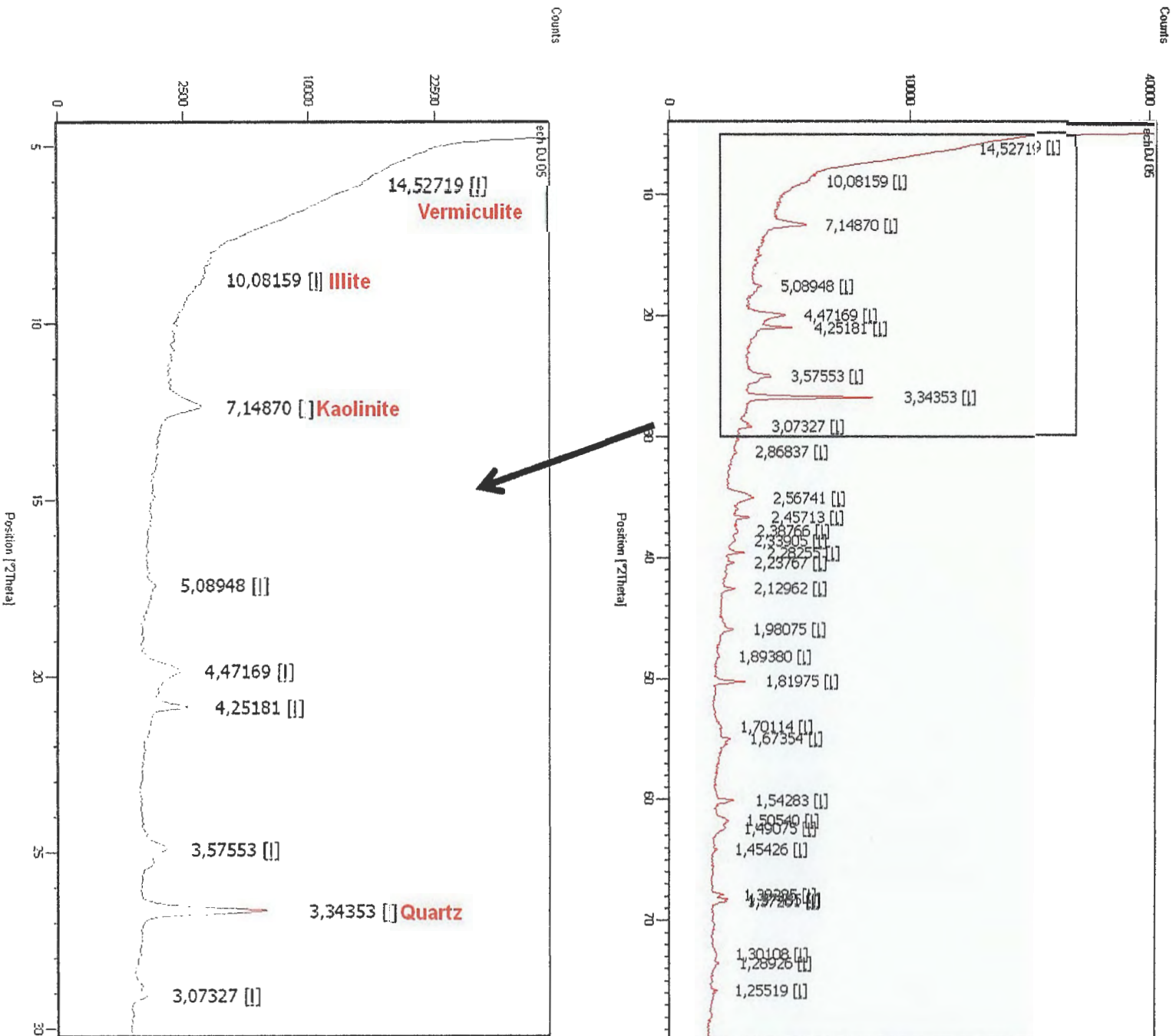


Fig. V.34 : Diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°05 « Poudre totale »

La présence des minéraux argileux, kaolinite, vermiculite et l'illite dans l'échantillon N°03 « poudre totale » a été confirmé par la lame cuite et témoin. La figure .V.30 présente clairement la destruction de la kaolinite par la cuisson à 490°, suite à la disparition du pic ($d=7.1307\text{\AA}$) ainsi que le pic de la réflexion secondaire ($d=3.579\text{\AA}$). La vermiculite a été déshydratée de façon irréversible, est fermés à 10\AA avec l'illite, d'où une amplification de la réflexion équivalent à $d=10.00\text{\AA}$.

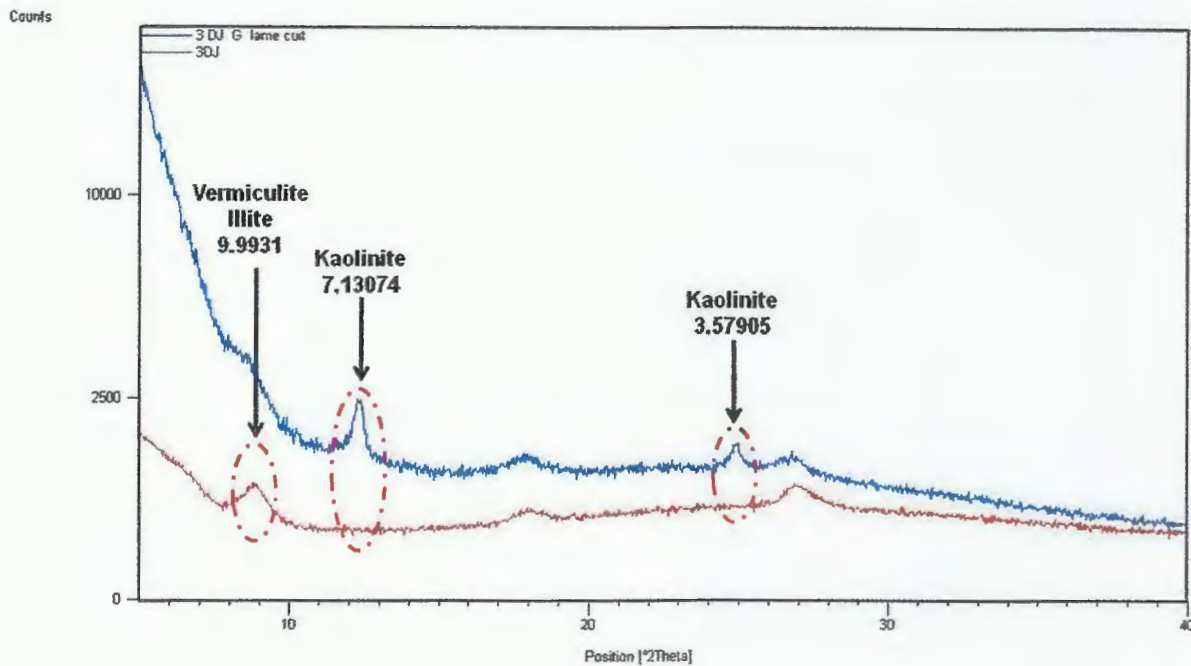


Fig. V.35 : Comparaison diffractogramme de rayons X de l'échantillon N°03 « Lame orientée témoin en bleu » et « Lame orienté cuite en rouge »

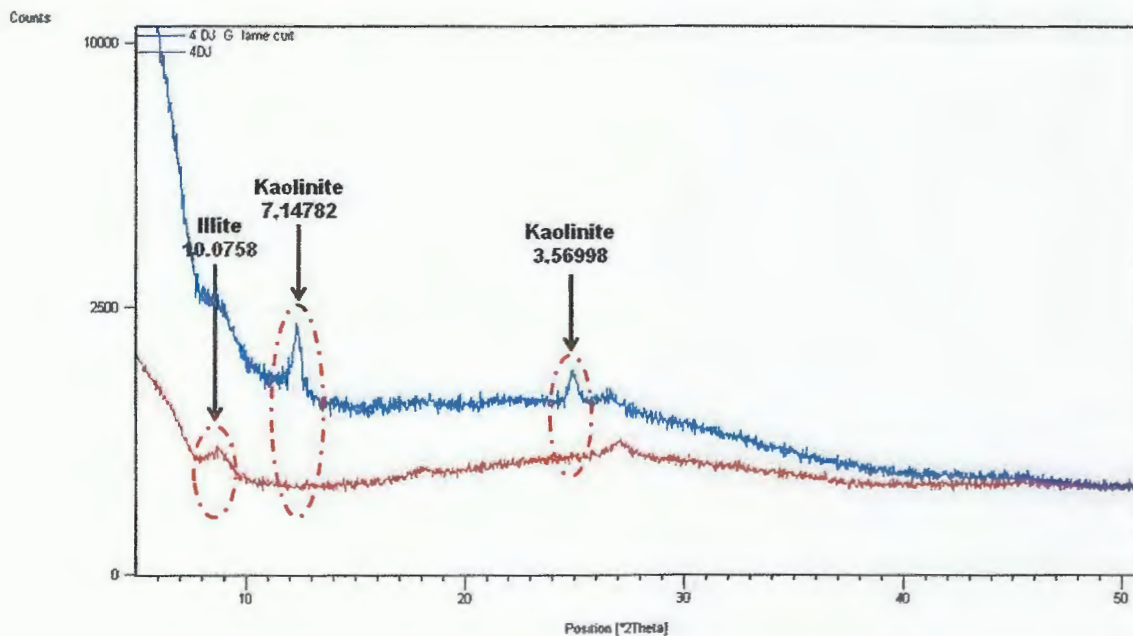


Fig. V.36 : Comparaison diffractogramme des rayons X de l'échantillon N°04 « Lame orientée Normale en bleu » et « Lame orienté cuite en rouge »

De la même façon, la confirmation de la présence de la kaolinite de l'illite et la montmorillonite dans l'échantillon N°04, a été prouvée par les tests de routine (lame témoin et cuite), en se basant sur le déplacement caractéristique de certains pics de minéraux. Dans le diffractogramme de la lame témoin (Fig. V.31), on note clairement la présence de la kaolinite ($d=7.14\text{\AA}$) confirmé par la disparition du même pic ainsi que le pic secondaire (002) après cuisson à 490° , La réflexion de la montmorillonite équivalent à $d=13.06\text{\AA}$ à tassé à $d=10.0\text{\AA}$ avec l'illite suite à la déshydratée causé par la cuisson, d'ou une amplification de la réflexion équivalent à $d=10.0\text{\AA}$.

V.5.3. Semi quantification de minéraux argileux et non argileux

Bien qu'une véritable standardisation fasse encore défaut pour quantifier les divers composants argileux présents au sein de mélanges, un essai a été tenté en utilisant la méthode de l'air (surface) des pics principaux équivalents à la réflexion (001) (Yakoubi, 2006). Cette méthode de semi-quantification des minéraux argileux et non argileux a été appliquée pour une estimation quantitative des minéraux pour les échantillons prélevés :

- Le dépouillement du diffractogramme de l'échantillon N°01 poudre totale, a mis en évidence que le quartz est largement dominant avec 80% (Fig. V. 37), avec présence de la chlorite (5%), illite (2%), kaolinite (8%) et feldspath (5%).

Tab. V.31 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°01 « poudre totale »

No.	d-spacing [Å]	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	14.12510	29.19	Chlorite
2	10.08159	9.83	Illite
3	7.13783	48.14	Kaolinite
4	3.34004	463.22	Quartz
5	3.19169	28.27	Feldspath
Total		578.65	

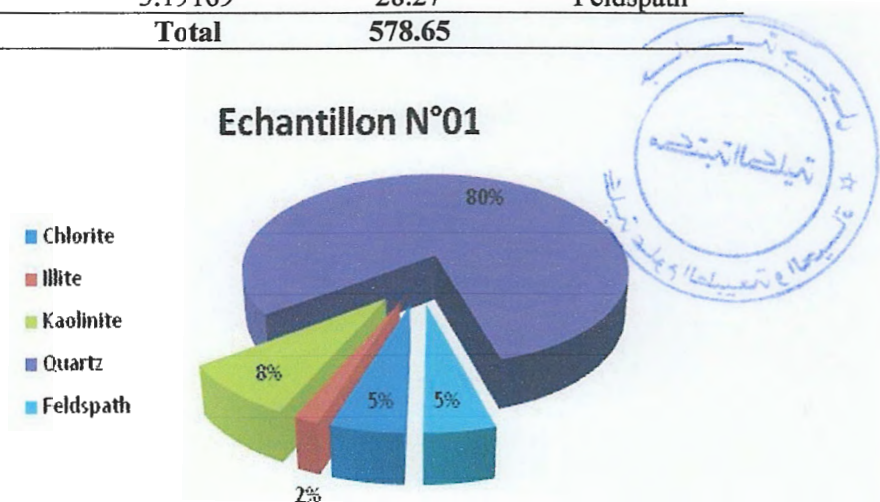


Fig. V.37 : Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°01, « poudre totale »

- Pour l'échantillon N°02, le quartz est le minéral le plus dominant dans l'assemblage minéral en poudre totale avec 70% (Tab. V.32), avec présence de l'illite (5%), kaolinite (22%) et le feldspath (3%) (Fig. V.38).

Tab. V.32 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°02 « poudre totale »

No.	d-spacing [Å]	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	10.00425	37.68	Illite
2	7.18103	148.8	Kaolinite
3	3.34318	480.04	Quartz
4	3.19995	22.84	Feldspath
Total		689.36	

Echantillon N°02

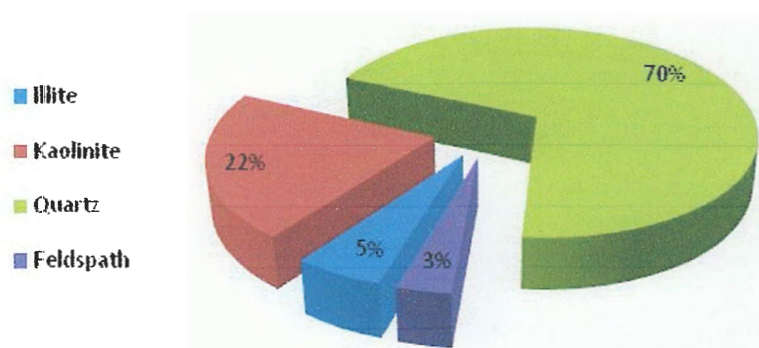


Fig. V.38 : Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°02, « poudre totale »

- Pour l'échantillon N°03 le quartz est largement dominant dans l'assemblage minéral avec 80% en poudre totale (Tab. V.26), avec présence de la vermiculite, l'illite-montmorillonite et kaolinite comme minéraux argileux. La kaolinite est le minéral argileux le plus représenté avec plus de 50% suivi de l'illite avec 40% ; voir (Tab. V.26) et (Fig. V.32).

Tab. V.33 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°03 « poudre totale »

N°	d-spacing	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	14.46853	66.75	Vermiculite
2	12.65833	25.84	Illite-montmorillonite
3	7.14108	48.08	Kaolinite
4	3.34345	555.66	Quartz
Total		696.33	

Tab. V.34 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°03 « lame témoin »

N°	d-spacing [Å]	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	14.04677	12.02	Vermiculite
2	10.10932	54.41	Illite-montmorillonite
3	7.13074	70.11	Kaolinite
Total		136.54	

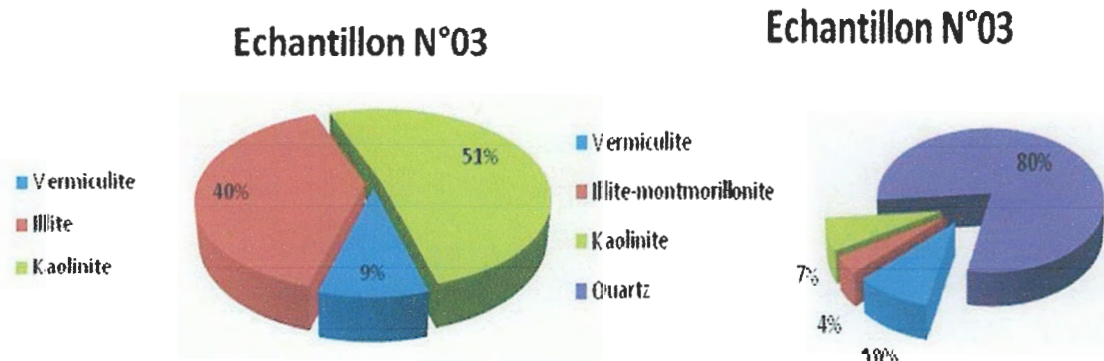


Fig. V.39 : Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°03, « poudre totale à droite, lame témoin à gauche »

- La poudre totale, a montrée qu'il s'agit du quartz en très forte proportion pour l'échantillon N°04 avec 90%, d'où on signale la présence du feldspath en faible proportion (3%). La montmorillonite avec 44%, l'illite 30% et la kaolinite 27% représente le pourcentage respectif des minéraux argileux présent dans la lame témoin. Voir (Tab. V.28 et 29) et (Fig. V.33).

Tab. V.35 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°04 « poudre totale »

No.	d-spacing [Å]	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	9.97429	14.87	Illite
2	7.14752	43.59	Kaolinite
3	334768	783.31	Quartz
4	3.19977	30.49	Feldspath
Total		872.26	

Tab. V.36 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°04 « lame témoin »

N°	d-spacing [Å]	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	13.06265	49.39	Montmorillonite
2	9.90692	33.6	Illite
3	7.14782	29.97	Kaolinite
Total		112.96	

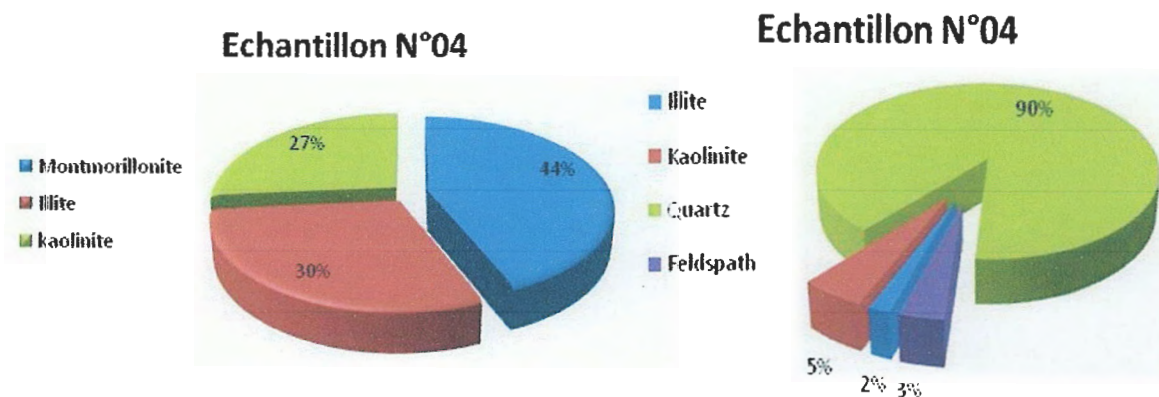


Fig. V.40 : Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°04, « poudre totale à droite, lame témoin à gauche »

- L'échantillon N°05, poudre totale a montré qu'il s'agit du quartz en très forte proportion avec 67%, d'où on signale la présence la vermiculite 13%, illite 2% et la kaolinite 18% représente le pourcentage respectif des minéraux présent dans la poudre totale. (Voir. Tab. V.37 et Fig. V.41).

Tab. V.37 : Résultats de calcul de l'air des pics principaux équivalent à la réflexion (001), pour l'échantillon N°05 « Poudre totale »

No.	d-spacing [Å]	Area [cts*°2Th.]	Nom
1	14.52719	76.97	Vermiculite
2	10.08159	9.99	Illite
3	7.14870	103.07	Kaolinite
4	3.34353	384.28	Quartz
Total		574.31	

Echantillon N°05

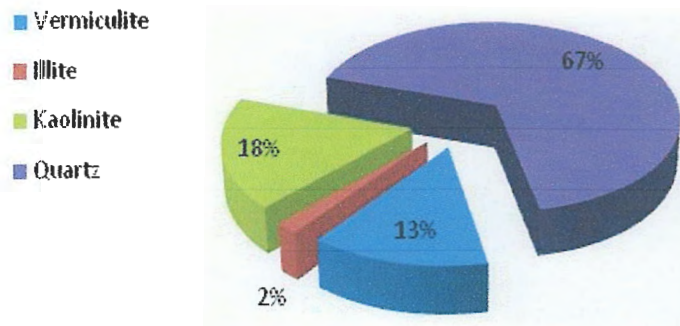


Fig. V.41 : Semi-quantification des minéraux argileux et non argileux de l'échantillon N°05, « poudre totale »

V.6. Conclusion

L'analyse par diffraction de rayons X des cinq échantillons prélevés, et après le traitement et le dépouillement des diffractogrammes ont à constater que les principaux minéraux argileux identifiés sont les suivants :

Illites, kaolinites, chlorites, vermiculite et montmorillonite. Deux minéraux majeurs se détachent de l'assemblage : kaolinite et illite.

L'analyse de l'échantillon N°04 en lame témoin à mis en évidence la présence de la montmorillonite (minéral argileux gonflant) avec 44 % comme minéral dominant, l'identification géotechnique du même échantillon par l'essai de limite d'Atterberg a caractérisé une fraction argileuse très plastique avec un indice de plasticité de 30, ce qui confirme les résultats de l'analyse par diffraction de rayons X.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude est de procéder à une caractérisation géologique et géotechnique, ainsi qu'une identification minéralogique des différents minéraux argileux rentrant dans la constitution des argiles sous numidiennes de la région de Djimla.

De point de vue géologique, les argiles sous numidiennes font partie de la nappe numidienne, souvent de couleur verdâtre, parfois rougeâtre, fort épais et riche en Tubotomaculum dites « argiles à Tubotomaculum », marquant la base du flysch numidien. Dans la région d'étude cette nappe repose en discordance sur les formations tellienne.

La caractérisation géotechnique est faite sur la base d'une série d'essais de labo (masse volumique réelle, limite d'Atterberg, analyse granulométrique.etc.), qui a permis d'obtenir les caractéristiques suivantes :

- une granulométrie étalée et mal graduée, avec une appellation du matériau : **sable limoneux à argileux légèrement graveleux**. La classification triangulaire a indiqué que les échantillons sont riches en sable, d'où une appellation de : sable limoneux.
- une masse volumique réelle des particules solides comprises entre 2,57 et 2,64 t/m³ avec une moyenne de 2,61 t/m³.
- une fraction argileuse moyennement plastique à plastique avec un indice de plasticité 18 - 30%, indiquant qu'ont est en présence d'une argile limoneuse, et un indice de consistance supérieur à 1 caractérisant un sol solide.
- La classification des sols fins réalisée à partir du diagramme *CASAGRANDE*, à caractérisée un sol argileux à moyennement argileux, plastique (Ap) à très plastique (At) et présentant un potentiel de gonflement.
- La valeur moyenne du bleu de méthylène de 6.76, caractérisant un sol argileux de plasticité moyenne.

L'analyse minéralogique par diffraction de rayons X, de la fraction argileuse réalisée en adoptant deux types d'analyses, à savoir une première basée sur une poudre totale sèche désorientée < 250µm et une deuxième sur la fraction argileuse < 2µm préparée sous forme d'agrégat orienté.

L'estimation à la fois qualitative et semi-quantitative des divers composants argileux, présents grâce à l'application des trois tests diagnostiques classiques, a permis de déduire que les argiles sous numidiennes de la région de Djimla sont constituées essentiellement par les minéraux argileux suivant : kaolinite, illite, chlorite, vermiculite et montmorillonite, avec deux minéraux majeurs se détachent de l'assemblage : la kaolinite en premier degré et l'illite, d'où en signale l'absence total des carbonates.

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Aperçu bibliographique sur les argiles

I.1.Introduction.....	2
I.2.Définition des argiles.....	2
I.3. Origine des minéraux argileux.....	2
a. Héritage.....	2
b. Transformation par dégradation et aggradation.....	2
c. Néogènes ou néoformation.....	2
I.4. Les structures cristallines fondamentales des minéraux argileux.....	3
I.4.1.les différents types de minéraux argileux.....	3
a)la kaolinite (1/1, $d=7A^{\circ}$).....	4
b) les illites (2/1, $d=10A^{\circ}$).....	4
c)les smectites (2/1, $d=14A^{\circ}$).....	5
d) les chlorites (2/1, $d=14A^{\circ}$).....	5
I.4.2.la famille des minéraux interstratifiés.....	6
I.4.3. Les minéraux à pseudo-feuillets et à faciès fibreux.....	7
I.5. Propriétés des argiles.....	7
a) Plasticité.....	7
b) Propriétés colloïdales.....	7
c) La capacité d'échange.....	7
d) Absorption d'eau.....	7
I.6. Les méthodes d'étude des minéraux argileux.....	8
I.6.1. Diffractométrie des rayons X (DRX).....	8
I.6.2. Analyse thermique.....	8
I.6.3. Spectroscopie infrarouge (IR).....	8
I.6.4. Microscopie Électronique à Balayage (MEB).....	9
I.6.5.Analyse chimique.....	9
I.6.6. Mesure de la capacité d'échange cationique (CEC).....	9
I.6.7.Analyse granulométrique.....	9

Chapitre II : Situation géographique et caractéristiques hydro climatologiques

II.1. Situation géographique.....	10
II.2.le relief.....	10
II.2.1.Les zones de plaines.....	10
II.2.2. Les zone de montagnes.....	10
II.3.Végétation.....	11
II.4.Réseau hydrographique.....	11

II.5. Caractéristiques hydro climatiques	12
II.5.1. Aperçu climatique	13
II.5.2. Analyse des paramètres hydro climatiques	13
II.5.2.1. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières	14
II.5.2.2. Température moyenne mensuelle	15
II.5.2.3. Graphe ombro-thermique	16
II.5.2.4. Bilan hydrologique	17
II.5.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration	17
II.5.2.4.2. Évapotranspiration potentielle (E.T.P)	18
II.5.2.4.3. Évapotranspiration réelle (E.T.R)	18
II.6. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	20
II.6.1. Calcul de l'infiltration	21
II.7. Conclusion	21

Chapitre III : Cadre géologique

III.1. Introduction	22
III.2. Les grands ensembles géologiques de la région d'étude	24
III.2.1. Litho stratigraphie des formations géologiques de la région d'étude	24
III.2.1.1. Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle	26
III.2.1.2. Le Trias	27
III.2.1.3. Les formations telliennes	28
a) Lias basal, dolomitique (infra Lias)	28
b) Dogger et Malm	28
c) Le crétacé inférieur et moyen à faciès marneux	29
d) Le crétacé supérieur	30
e) L'Éocène	31
III.2.1.4. Les formations de type flysch	31
a) Le Flysch Massylien	32
b) Le Flysch Numidien	32
III.2.1.5. Les formations quaternaires	34
III.3. Aspect Morpho structural de la région de Djimla	34
III.3.1. Le secteur entre Dj. Tamesguida et de Tamentout	35
III.3.1.1. Entre le Sud-est du col de Selma et le Sud de Texenna	35
III.3.1.2. Au Sud de Texenna	35
III.3.1.3. Au Sud est de la cluse de l'oued Boukerma	35
III.4. Conclusion	37

Chapitre IV : Étude géotechnique des argiles sous numidiennes

IV.1. Introduction	39
IV.2. Méthodologie d'étude	39
IV.2.1. Prélèvement des échantillons	39
IV.2.2. Les essais de laboratoires	40
IV.2.2.1. Essai d'analyse granulométrique (NF P 18-560 et NF P 94 057)	40

a) Le tamisage (NF P 18-560) pour les grains d'un diamètre supérieur à 80µm.....	40
b) La sédimentation (NF P 94-057) pour les grains de diamètre inférieur à 80µm.....	41
IV.2.2.1.1. Caractéristiques granulométriques.....	41
a. La courbe granulométrique.....	41
b. Interprétation des courbes.....	41
b.1. Le coefficient de Hazen (ou coefficient d'uniformité) : $C_U = D_{60}/D_{10}$	41
b.2. Le coefficient de courbure : $C_C = (D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$	41
IV.2.2.1.2. Présentation et interprétation des résultats.....	42
IV.2.2.2. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols (Méthode du pycnomètre à eau) NF P94.....	44
IV.2.2.3. Détermination des limites d'Atterberg NF P 94-051 (limite de liquidité à la coupelle & limite de plasticité au rouleau).....	45
IV.2.2.3.1. Limite de liquidité W_L	46
IV.2.2.3.2. Limite de plasticité W_P	47
a. Indice de plasticité.....	47
b. Indice de consistance.....	48
IV.2.2.3.3. Estimation du gonflement des sols.....	50
IV.2.2.4. Essai au bleu de méthylène d'un sol (Essai à la tache) (NF P94-068).....	50
IV.2.2.4.1. But de l'essai.....	50
IV.2.2.4.2. Principe de l'essai.....	51
IV.3. Conclusion.....	53

Chapitre V : Analyse minéralogique par diffraction de rayons X

V.1. Introduction.....	54
V.2. Méthode d'Analyse par diffraction au rayon X.....	54
V.2.1. Introduction.....	54
V.2.2. Principe de la diffraction des rayons X.....	54
V.2.3. Principes d'identification des phases cristallines.....	55
V.3. Préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des Rayons X.....	56
V.3.1. Préparation d'une poudre totale.....	56
V.3.2. Préparation d'un agrégat orienté « fraction argileuse < 2 microns ».....	56
V.3.2.1. Broyage préliminaire.....	56
V.3.2.2. Mise à l'eau des échantillons.....	56
a) pour les échantillons non calcaires.....	56
b) pour les échantillons calcaires « Traitement HCl ».....	57
V.3.2.3. Lavage des échantillons.....	57
a) Décantation par centrifugation.....	57
b) Agitation à l'eau distillée.....	57
c) Récupération échantillon lavé.....	58
V.3.2.4. Extraction de la fraction argileuse.....	58
a. Mise en suspension.....	58
b. Séparation de la fraction argileuse.....	58
b.1. Principe « la loi de Stokes ».....	58
b.2. Extraction de la fraction < 2 µm.....	59

V.3.2.5. Confection des lames orientées	59
V.4. Enregistrement des diffractogrammes de rayons X.....	60
V.4.1. Normal (N).....	60
V.4.2. Éthylène-Glycol (EG).....	60
V.4.3. Chauffage 490°C (C).....	60
V.5. Analyse et interprétation des diffractogrammes de rayons X.....	61
V.5.1. Dépouillement des diffractogrammes de rayons X.....	61
V.5.2. Minéraux argileux identifiés dans les argiles sous numidiennes de la région de Djimla.....	62
V.5.3. Semi quantification de minéraux argileux et non argileux.....	74
V.6. Conclusion.....	78
 Conclusion générale	 79

Références Bibliographiques

Bibliographie

- **Amirouche L., (2011)**, *Etude du pouvoir de sorption du Cuivre (II), du Zinc (II) et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes*. Mémoire de magistère, Université mouloud mammeri de Tizi-ouzou.
- **Andrieux J., Djellit H., (1989)**, *Structure de la Petite Kabylie occidentale (Algérie) : flyschs ultra et flyschs externes*. C.R. Acad. Sc. Paris, pp 1191-1196.
- **Aoun M., (2002)**, *Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila : leur impact sur les ouvrages d'art*. Mémoire. magi. Univ. Tébessa, 156 p.
- **Atamnia D., (2010)**, *Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (nord constantinois)*, Thèse. Doct. Université Mentouri-Constantine, Algérie.
- **Bouillin J.P., (1977)**, *Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-milia (Algérie)*. Thèse Doctorat. Univ. P. et M. Curie, 511p.
- **Brindley G.W., (1996)**, *Discussion and recommandations concerning the nomenclature of clay minerals and related phyllosilicates*. Clay and Clay Minerals. 14, 27-34.
- **Brindley G.W. & Brown G., (1980)**, *Crystal Structures of Clay minerals and their X-ray Identification*. Mineral Soc. G. B., Monograph. 5, London, 495 p.
- **Chailers, S., Hennin S, & Rautuream M., (1982)**, *Minéralogie des argiles : structure et propriétés Physico-chimique*, T1 " P.184. Edition Masson et INRA, Paris.
- **Cyril L., (2005)**, *Les argiles, genèse et utilisations*, site internet.
- **Djellit H., (1987)**, *Evolution tectono-métamorphique du socle kabyle et polarité de mise en place des nappes flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie)*. Thèse Doct.Univ. Paris, 206 p.
- **Dejou J., (1987)**, *La surface spécifique des argiles, sa mesure, relation avec la CEC et son importance agronomique*. In : *La capacité d'échange cationique et la fertilisation des sols*. Amyet Y. ed., pp.72-83.
- **Deribere M., Esme A., (1941)**, *La Bentonite - Les argiles colloïdales et leurs emplois*. Ed. Dunod.
- **Duchaufour P., (2001)**, *Introduction à la science du sol-sol, végétation, environnement*, Ed. DUNOD, Paris, 19P.
- **Durand-Delga M., (1955)**, *Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique* (Thèse Paris). Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2^{ème} Série, stratigr., descriptions régionales, N°24, 533 p. Alger.
- **Ehrmann M.F., (1956)**, *Carte géologique à 1/50.000^{ème} de la feuille de Tamesguida, feuille N° 49*.
- **Eslinger E., & Peaver D., (1988)**, *Clay minerals for petroleum geologists and engineers*, SEPM Short course 22. Soc. Economic paleontologists and mineralogists, Tulsa, USA.

- **Gombalet J., (2004)**, *Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage*. Thèse de doctorat d'état, école polytechnique – France, 297p.
- **Grim, R.E., (1962)**, *Applied Clay Mineralogy* : McGraw-Hill, New York, 98-101.
- **Habib P., 1997**. *Génie géotechnique - Applications de la mécanique des sols et des roches*, ELLIPSES, 222 p.
- **Head, (1992)**, *Manuel of Soil Laboratory Testing*, Vol. 1, 2 et 3 ; Second Edition ; Pentech Press.
- **Holtz, W. G & Gibbs H.J., (1991)**, *Introduction à la géotechnique*. Traduit par Lafleur, J, édition de l'école de polytechnique de Montréal, Canada, 794p.
- **Holtzapfel L., (1985)**, *Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination*. Soc. Géol. Nord, 12p.
- **Institut national de cartographie**, Carte topographique à 1/25000ème, Texenna NJ-31-VI-44 Ouest.
- **Lorenzi G., Bossiroy D., Dreesen R., (1992)**, *Les minéraux argileux au service des corrélations stratigraphiques des formations houillères du carbonifère*. Commission des Communautés européennes, recherche technique charbon, Rapport EUR 14024 FR, Liège, 206 p.
- **McKenzie R. C., (1975)**, *The classification of soil silicates and oxydes*. In : *Soil components* vol. 2 ; Inorganic components. Gieseking J. E. eds. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1-25.
- **Millot G., (1964)**, *Géologie des argiles*. Masson édit., paris, paris, 499 p.
- **Moore D.M., and Reynolds R.C., (1989)**, *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, Oxford University Press, Oxford.
- **Musy et Al., (1998)**, *Cours d'hydrologie appliquée*. Edition HGA, Bucarest, 1998.
- **Obert, D. (1981)** : *Etude géologique des Babors orientaux (Domaine Tellien, Algérie)*. Thèse de Doc. Univ de Paris. 635 p.
- **ONM, Station Aéroport Farhat Abbas**, données climatologique série 1971-2011.
- **Philipponnat G., & Bertrand H., (2003)**, *Fondations et ouvrages en terre*. Ed. Eyrolles. Paris, 548P
- **Pedro G., (1967)**, *Commentaires sur la classification et la nomenclature des minéraux argileux (A propos de la deuxième conférence internationale sur les argiles – Jérusalem, 1966)*. Bull. Groupe fr. Argiles, 19, 69-86.
- **Peltier R., (1969)**, *Manuel du Laboratoire Routier*, LCPC, Dunod éditeur.
- **Rautureau M., (2011)**, *Conférence "Les plantes de la racine à la fleur, le rôle des argiles"*. Société Internationale de Médecine Endobiogénique et de Physiologie Intégrative, France.

- **Roche M., (1963)**, Hydrologie de surface. Gautier - Villars Paris. 430page
- **Raoult, J.F., (1969)** : *Relation entre la dorsale kabyle et les flyschs sur la transversale du Djebel Rheidir; Phase tangentielle éocène, Paléogéographie (Nord du Constantinois, Algérie)*. Bull.. Sol. géol. France, pp 523-543.
- **Robert M., (1975)**, *Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des rayons X. Problèmes posés par les minéraux argileux les plus fréquents dans les sols des régions tempérées*. Ann. Agron., 26 (4), 363-399.
- **Robitaille V., & Tremblay D., (1997)**, *Mécanique des sols-théorie et pratique*, Edition Modulo, Canada, 79P.
- **Sanglerat, G. & Costet J., (1981)**, *Cours pratique de mécanique des sols*, Tome I- Plasticité et calcul des tassements. 3e Ed. Dunod, Paris, 277 P.
- **Sanglerat, G. & Costet, J. (1983)**, *Cours pratique de mécanique des sols*, Tome II- calcul des ouvrages. 3e Ed. Dunod, Paris, 447 P.
- **Schlosser F., (1989)**, *Eléments de mécanique des sols*, Presses de l'ENPC, 280 p.
- **Thiry M., Carrillo N., Franke C., Martineau N., (2013)**, *Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des Rayons X et introduction à l'interprétation des diagrammes*. Rapport Technique N° RT131010MTHI, Centre de Géosciences, Ecole des Mines de Paris.
- **Yakoubi N., (2006)**, *Potentialités d'utilisation des argiles marocaines dans l'industrie céramique : cas des gisements de Jbel Kharrou et de Benhmed (Meseta marocaine occidentale)*. Thèse Doct.Univ. Mohamed V-Agdal, Maroc, 195 p.
- **Wildi W., (1983)**, *La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène*. Rev . Géol. dyn. Géogr. Phys., vol.24, fasc. 3, pp. 201-297.

Les Normalisations Françaises

- **Norme française NF P94-054** : *Détermination de la masse volumique des particules solides des sols : Méthode du pycnomètre*, AFNOR, Oct, 1991.
- **Norme française NFP94-051** : *Détermination des limites d'Atterberg, Limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau*, AFNOR, Mars 1993.
- **Norme française NFP94-068** : *Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache*, AFNOR, Oct, 1998.
- **Norme française NF P94-057** : *Analyse granulométrique des sols : Méthode par sédimentation*, AFNOR, Mai, 1992.
- **Norme française NF P18-560** : *Analyse granulométrique par tamisage*, AFNOR, Sept, 1990.

Annexes

Analyse sédimentométrique.

Tamis	Retenus (grs)	Retenus (%)	Passants (%)	Tamis	Retenus (grs)	Retenus (%)	Passants (%)	Tamis	Retenus (grs)	Retenus (%)	Passants (%)
	Echan1	Echan1	Echan1		Echan2	Echan2	Echan2		Echan3	Echan3	Echan3
8				8	0	0,00	100,00	8	0	0,00	100,00
6,3	0	0,00	100,00	6,3	4,78	0,91	99,1	6,3	3,81	0,71	99,29
5	4,88	0,93	99,07	5	6,42	1,22	98,8	5	8,17	1,53	98,47
4	9,04	1,73	98,27	4	8,22	1,56	98,4	4	16,64	3,11	96,89
3.15	12,24	2,34	97,66	3.15	10,98	2,08	97,9	3.15	27,09	5,06	94,94
2	36,42	6,95	93,05	2	39,54	7,50	92,5	2	77,32	14,44	85,56
1	130,51	24,92	75,08	1	214,07	40,63	59,4	1	212,62	39,72	60,28
0.5	227,63	43,46	56,54	0.5	342,18	64,94	35,1	0.5	329,18	61,49	38,51
0.4	242,38	46,27	53,73	0.4	358,30	68,00	32,0	0.4	349,15	65,22	34,78
0.315	253,15	48,33	51,67	0.315	371,42	70,49	29,5	0.315	366,62	68,48	31,52
0.2	264,07	50,41	49,59	0.2	387,33	73,51	26,5	0.2	390,27	72,90	27,10
0.1	268,02	51,17	48,83	0.1	396,85	75,31	24,7	0.1	404,74	75,61	24,39
0.08	268,68	51,29	48,71	0.08	399,27	75,77	24,2	0.08	407,46	76,11	23,89
0.05900			44,89	0,0640			23,7	0,0620			22,82
0.04300			41,02	0,0460			23,4	0,0460			21,58
0.02800			39,09	0,0280			22,3	0,0290			19,84
0.02000			37,15	0,0208			20,1	0,0205			18,60
0.01500			33,67	0,0150			18,4	0,0152			16,62
0.00980			30,19	0,0102			17,3	0,0101			15,13
0.00730			28,64	0,0074			15,7	0,0075			13,89
0.00590			25,54	0,0061			14,0	0,0062			11,66
0.00180			17,80	0,0019			8,5	0,0019			6,45
PT	523,82			PT	526,94			PT	535,33		

Analyse sédimentométrique

Tamis	Retenus (grs)	Retenus (%)	Passants (%)	Tamis	Retenus (grs)	Retenus (%)	Passants (%)
	Echan 4	Echan 4	Echan 4		Echan 5	Echan 5	Echan 5
8	0	0,00	100,00	8	0	0,00	100,00
6.3	5,98	1,14	98,9	6.3	6,45	1,28	98,72
5	8,61	1,64	98,4	5	10,97	2,18	97,82
4	12,65	2,42	97,6	4	17,00	3,38	96,62
3.15	17,52	3,35	96,7	3.15	24,64	4,90	95,10
2	42,44	8,10	91,9	2	51,20	10,18	89,82
1	138,43	26,43	73,6	1	117,44	23,34	76,66
0.5	244,49	46,69	53,3	0.5	189,79	37,72	62,28
0.4	266,42	50,87	49,1	0.4	207,11	41,16	58,84
0.315	286,06	54,62	45,4	0.315	224,25	44,57	55,43
0.2	315,90	60,32	39,7	0.2	253,78	50,44	49,56
0.1	338,22	64,59	35,4	0.1	277,71	55,19	44,81
0.08	343,39	65,57	34,4	0.08	284,91	56,62	43,38
0,0620			32,7	0,0620			42,21
0,0450			31,5	0,0480			40,20
0,0285			27,0	0,0280			38,19
0,0205			22,8	0,0200			34,43
0,0155			20,4	0,0105			30,95
0,0102			18,0	0,0100			29,35
0,0074			16,8	0,0074			26,13
0,0060			15,9	0,0060			24,12
0,0019			10,5	0,0018			13,99
PT	523,68			PT	503,18		

Name and formula

Reference code: 01-071-1152
 Mineral name: Albite high
 Common name: sodium alumotrisilicate
 ICSD name: Sodium Aluminum Silicate
 Empirical formula: $\text{AlNaO}_8\text{Si}_3$
 Chemical formula: $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

Crystallographic parameters

Crystal system: Anorthic
 Space group: C-1
 a (?): 8,2096
 b (?): 12,9182
 c (?): 7,1284
 Alpha (°): 92,4820
 Beta (°): 116,2820
 Gamma (°): 90,1280

Calculated density (g/cm³): 2,57
 Volume of cell (10⁶ pm³): 338,51
 Z: 4,00
 RIR: 0,65

status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature
 Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Corrosion
 ICSD Pattern
 Quality: Calculated (C)

Comments

Temperature: REM TEM 600 C.
 ICSD collection code: 009831
 Bond distance: REM M Mean T-O = 1.646, 1.641, 1.639, 1.638.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++* (1997)
 Structure: Prewitt, C.T., Sueno, S., Papike, J.J., *Am. Mineral.* **61**, 1213, (1976)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	-1	1	0	6,45120	13,715	21,1
2	0	0	1	6,38370	13,861	8,8
3	1	1	0	6,32749	13,985	3,0
4	-1	-1	1	5,82788	15,191	6,1

5	-1	1	1	5,69479	15,548	7,2
6	0	-2	1	4,65404	19,054	0,6
7	0	2	1	4,42954	20,029	1,0
8	-2	0	1	4,06029	21,872	81,3
9	1	-1	1	3,88712	22,860	18,6
10	1	1	1	3,79080	23,449	25,1
11	-1	3	0	3,75242	23,692	35,0
12	2	0	0	3,67508	24,198	26,2
13	-1	-3	1	3,62484	24,538	6,5
14	-1	3	1	3,52928	25,214	0,6
15	-1	-1	2	3,47133	25,642	8,7
16	-2	-2	1	3,44417	25,847	1,9
17	-1	1	2	3,39465	26,231	11,5
18	0	4	0	3,21865	27,693	100,0
19	0	0	2	3,19185	27,931	73,3
20	2	2	0	3,16374	28,184	26,3
21	1	-3	1	3,00376	29,718	13,9
22	0	-4	1	2,93796	30,400	12,5
23	0	-2	2	2,91872	30,605	11,6
24	-2	-2	2	2,91394	30,657	11,9
25	1	3	1	2,87419	31,091	14,2
26	-2	2	2	2,84739	31,391	2,0
27	0	4	1	2,82335	31,666	1,3
28	0	2	2	2,80330	31,898	5,6
29	2	0	1	2,71012	33,026	0,2
30	-1	3	2	2,68583	33,333	5,4
31	-2	-4	1	2,53185	35,425	16,3
32	-2	4	1	2,51944	35,606	13,1
33	1	1	2	2,47478	36,270	0,5
34	2	2	1	2,46488	36,421	1,5
35	-2	4	0	2,45477	36,576	3,4
36	-1	-5	1	2,41948	37,129	4,8
37	3	1	0	2,39728	37,486	5,7
38	-1	5	1	2,37164	37,906	2,2
39	-2	0	3	2,34742	38,313	0,5
40	-1	-1	3	2,32114	38,764	0,5
41	-2	-4	2	2,31096	38,941	3,0
42	-3	-3	1	2,29954	39,143	4,3
43	-1	1	3	2,28338	39,431	1,1
44	-2	4	2	2,24615	40,112	0,9
45	1	-3	2	2,23761	40,272	1,2
46	1	-5	1	2,21654	40,672	2,5
47	-3	3	2	2,19348	41,119	0,1
48	-2	2	3	2,17862	41,412	0,6
49	-3	3	0	2,15040	41,981	8,0
50	1	3	2	2,14600	42,071	4,5
51	1	5	1	2,12925	42,418	3,5
52	2	-4	1	2,11554	42,706	5,4
53	3	3	0	2,10916	42,842	3,8
54	0	-6	1	2,06904	43,715	0,1
55	2	4	1	2,03662	44,448	1,0
56	-4	0	2	2,03014	44,597	2,0
57	-4	0	1	2,02234	44,778	1,2
58	-1	3	3	2,01601	44,927	0,9
59	2	0	2	2,00809	45,114	2,9
60	3	-1	1	1,99739	45,369	0,4
61	0	2	3	1,99175	45,504	0,9
62	3	1	1	1,97614	45,884	0,2
63	2	-2	2	1,94356	46,698	2,9
64	-4	-2	2	1,93932	46,807	3,8

Name and formula

Reference code: 01-070-3754
Mineral name: Illite
ICSD name: Potassium Aluminum Silicate Hydroxide
Empirical formula: $\text{Al}_4\text{H}_3\text{K}\text{O}_{12}\text{Si}_2$
Chemical formula: $\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_9(\text{OH})_3)$

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic
Space group: $C2/c$
Space group number: 15

a (?): 5,2230
b (?): 9,0180
c (?): 20,1430
Alpha (°): 90,0000
Beta (°): 95,7000
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 2,92
Volume of cell (10⁶ pm³): 944,06
Z: 4,00

RIR: 0,44

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral
Corrosion
ICSD Pattern
Quality: Calculated (C)

Comments

Sample source: Specimen from Napoli, Italy.
ICSD collection code: 090144
Test from ICSD: REF Journal of Applied Crystallography.
CLAS 2/m (Hermann-Mauguin) - C2h (Schoenflies).
PRS mC88.
ANX A2BC4X12.
WYCK f9 e.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Gualtieri, A.F., *J. Appl. Crystallogr.* **33**, 267, (2000)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	10,02170	8,817	61,0

2	0	0	4	5,01085	17,686	34,8
3	0	2	0	4,50291	19,700	39,4
4	-1	1	1	4,47656	19,817	100,0
5	0	2	1	4,39906	20,170	23,4
6	1	1	1	4,31472	20,568	11,3
7	-1	1	2	4,24622	20,904	3,4
8	0	2	2	4,11197	21,594	12,4
9	1	1	2	3,98127	22,312	13,1
10	-1	1	3	3,89247	22,828	29,4
11	0	2	3	3,73748	23,788	36,1
12	1	1	3	3,59345	24,756	9,7
13	-1	1	4	3,50245	25,410	60,3
14	0	2	4	3,35177	26,573	50,6
15	0	0	6	3,34057	26,664	68,0
16	1	1	4	3,21456	27,729	63,9
17	-1	1	5	3,13091	28,486	29,8
18	0	2	5	2,99590	29,798	48,0
19	1	1	5	2,87381	31,096	28,6
20	-1	1	6	2,80069	31,929	21,5
21	0	2	6	2,68418	33,354	0,6
22	2	0	0	2,59698	34,509	46,5
23	1	1	6	2,57839	34,765	53,4
24	1	3	1	2,56422	34,964	52,6
25	-1	1	7	2,51625	35,652	5,6
26	0	0	8	2,50543	35,812	8,8
27	1	3	2	2,48866	36,061	1,3
28	-1	3	3	2,46652	36,396	9,0
29	2	0	2	2,45682	36,545	9,1
30	0	2	7	2,41715	37,166	5,4
31	-2	0	4	2,40659	37,335	20,9
32	1	3	3	2,38492	37,687	26,0
33	-1	3	4	2,35774	38,139	2,8
34	1	1	7	2,32724	38,658	1,5
35	-1	1	8	2,27407	39,599	0,3
36	-2	2	1	2,25905	39,874	6,4
37	0	4	0	2,25450	39,958	7,6
38	0	4	1	2,24037	40,220	3,5
39	-1	3	5	2,23392	40,342	5,1
40	2	0	4	2,21854	40,634	3,8
41	0	4	2	2,19953	41,000	1,7
42	-2	2	3	2,19140	41,159	12,0
43	-2	0	6	2,15757	41,835	11,5
44	0	4	3	2,13466	42,305	20,0
45	1	1	8	2,11344	42,751	2,1
46	2	2	3	2,08009	43,471	6,6
47	-1	1	9	2,06821	43,733	1,2
48	0	4	4	2,05599	44,007	4,2
49	-2	2	5	2,03939	44,384	0,3
50	1	3	6	2,00434	45,203	20,7
51	0	2	9	1,99677	45,383	11,8
52	-1	3	7	1,97522	45,907	11,0
53	0	4	5	1,96505	46,158	2,4
54	2	0	6	1,95897	46,310	5,1
55	-2	2	6	1,94623	46,631	4,1
56	1	1	9	1,93129	47,013	0,4
57	2	2	5	1,89263	48,033	2,9
58	1	3	7	1,87975	48,383	2,0
59	0	4	6	1,86874	48,687	3,7
60	-1	3	8	1,85140	49,173	1,1
61	-2	2	7	1,84885	49,245	0,9

Name and formula

Reference code: 01-074-1784
 Mineral name: Kaolinite 1.4
 ICSD name: Aluminum Hydroxide Silicate
 Empirical formula: $\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$
 Chemical formula: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Crystallographic parameters

Crystal system: Anorthic
 Space group: C1
 a (?): 5,1400
 b (?): 8,9300
 c (?): 7,3700
 Alpha (°): 91,8000
 Beta (°): 104,5000
 Gamma (°): 90,0000
 Calculated density (g/cm³): 2,62
 Volume of cell (10⁶ pm³): 163,67
 Z: 2,00
 RIR: 1,07

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Corrosion
 ICSD Pattern
 Quality: Calculated (C)

Comments

Sample source: Specimen from Turbovskii mine, USSR.
 Additional pattern: See PDF 00-014-0164 and PDF 01-074-1786.
 ICSD collection code: 027713
 Test from ICSD: At least one TF missing.
 Calc. density unusual but tolerable.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)
 Structure: Drits, V.A., Kashaev, A.A., *Kristallografiya* 5, 224, (1960)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	7,13149	12,402	100,0
2	0	2	0	4,46265	19,879	15,9
3	-1	1	0	4,36136	20,346	41,6
4	-1	-1	1	4,15840	21,350	38,4

5	-1	1	1	4,11219	21,593	21,3
6	0	-2	1	3,83945	23,147	26,4
7	0	2	1	3,72900	23,843	10,5
8	0	0	2	3,56575	24,952	51,0
9	1	-1	1	3,42327	26,008	1,3
10	1	1	1	3,36901	26,434	15,2
11	-1	-1	2	3,13606	28,438	3,4
12	-1	1	2	3,08570	28,912	2,7
13	0	-2	2	2,83086	31,580	0,6
14	0	2	2	2,74265	32,623	7,4
15	-1	3	0	2,56271	34,985	7,8
16	-2	0	1	2,55683	35,068	10,1
17	1	3	0	2,54442	35,245	7,3
18	-1	-3	1	2,52419	35,536	10,8
19	-1	3	1	2,49324	35,993	11,7
20	2	0	0	2,48806	36,070	16,0
21	0	0	3	2,37716	37,815	6,1
22	1	-3	1	2,33770	38,478	18,2
23	-2	0	2	2,33305	38,558	23,1
24	-1	-1	3	2,32587	38,682	11,2
25	1	3	1	2,28635	39,378	19,3
26	-1	-3	2	2,24304	40,170	2,2
27	-2	-2	1	2,22165	40,574	0,6
28	-2	2	1	2,21537	40,694	0,5
29	-1	3	2	2,18846	41,217	3,1
30	2	0	1	2,18510	41,284	3,5
31	2	2	0	2,16566	41,671	0,3
32	0	-4	1	2,14949	42,000	0,2
33	0	-2	3	2,12689	42,467	2,1
34	0	4	1	2,11010	42,822	0,6
35	-2	-2	2	2,07920	43,490	0,1
36	0	2	3	2,07038	43,685	0,2
37	-2	2	2	2,05610	44,004	0,6
38	1	-3	2	1,98797	45,596	8,3
39	-2	0	3	1,98499	45,668	10,3
40	2	2	1	1,94937	46,551	2,3
41	1	3	2	1,93360	46,953	5,6
42	1	-1	3	1,92868	47,080	3,3
43	0	-4	2	1,91972	47,313	1,8
44	1	1	3	1,90457	47,713	0,4
45	-1	-3	3	1,89018	48,099	2,4
46	0	4	2	1,86450	48,805	1,0
47	-1	3	3	1,83788	49,559	3,8
48	-2	-2	3	1,82771	49,853	2,3
49	-1	-1	4	1,80377	50,561	0,7
50	-2	2	3	1,79995	50,676	1,0
51	0	0	4	1,78287	51,196	2,2
52	2	-2	2	1,71163	53,492	2,4
53	-2	-4	1	1,68390	54,445	1,9
54	-2	4	1	1,67844	54,637	1,7
55	1	5	0	1,67590	54,727	2,1
56	-2	4	0	1,66791	55,011	1,9
57	1	-3	3	1,66112	55,255	7,4
58	-1	5	1	1,65932	55,320	7,4
59	2	4	0	1,65449	55,496	4,4
60	-3	-1	2	1,64617	55,801	1,5
61	-3	1	2	1,64199	55,955	2,4
62	0	2	4	1,63743	56,125	1,8
63	-3	1	0	1,63317	56,284	1,3
64	3	1	0	1,62841	56,463	1,3

Name and formula

Reference code: 01-089-8934
 Mineral name: Quartz a
 Common name: Silicon oxide - alpha
 ICSD name: Silicon Oxide
 Empirical formula: O₂Si
 Chemical formula: SiO₂

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
 Space group: P3221
 Space group number: 154

a (?): 4,9137
 b (?): 4,9137
 c (?): 5,4047
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 90,0000
 Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm³): 2,65
 Volume of cell (10⁶ pm³): 113,01
 Z: 3,00
 RIR: 3,03

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Alloy, metal or intermetallic
 Pharmaceutical
 ICSD Pattern
 Quality: Calculated (C)

Comments

Temperature: REM TEM 25 C.
 ICSD collection code: 089276

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
 Structure: Kihara, K., *Eur. J. Mineral.* **2**, 63, (1990)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4,25539	20,858	21,2
2	0	1	1	3,34343	26,640	100,0
3	1	1	0	2,45685	36,544	6,6
4	1	0	2	2,28123	39,470	6,7

Name and formula

Reference code: 00-035-0652
Mineral name: Illite-montmorillonite
PDF index name: Potassium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate
Empirical formula: $Al_4H_2KO_{18}Si_8$
Chemical formula: $KAl_4(Si, Al)_8O_{10}(OH)_4 \cdot 4H_2O$

Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown
a (?): 5,1500
c (?): 12,0000
RIR: 0,40

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral
Corrosion
Quality: Doubtful (0)

Comments

Sample source: Specimen from Central Alberta, Canada.
Sample preparation: Glycol treated.
Unit cell: Pseudohexagonal, $a=5.15$, $c \sim 12$, $Z=1$.

References

Primary reference: Bayliss, P., Dept. of Geology and Geophysics, University of Calgary, Alberta, Canada.,
Private Communication (1984)
Unit cell: Bayliss, P., *Powder Diffraction* **4**, 19, (1989)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	12,60000	7,010	70,0
2	0	0	2	9,50000	9,302	90,0
3	0	0	3	5,17000	17,137	40,0
4	0	2	0	4,46000	19,891	30,0
5	0	0	5	3,33000	26,750	100,0

Stick Pattern

Name and formula

Reference code: 00-016-0613
Mineral name: Vermiculite-2M
PDF index name: Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate
Chemical formula: $Mg_x(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic
Space group: C2/c
Space group number: 15

a (?): 5,2400
b (?): 9,1700
c (?): 28,6000
Alpha (°): 90,0000
Beta (°): 94,6000
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 2,26
Measured density (g/cm³): 2,28
Volume of cell (10⁶ pm³): 1369,83
Z: 4,00

RIR: -

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral
Corrosion
Common Phase
Forensic
Quality: Indexed (!)

Comments

Color: Brown, green
Sample source: Specimen from Ajmer-Marwar, India (Indian Museum 8247).
Analysis: Analysis (wt.%): SiO₂ 34.92, Al₂O₃ 13.97, Fe₂O₃ 6.25, FeO 0.52, MgO 20.37, CaO 2.15, Na₂O 0.32, H₂O 21.00.
Optical data: A=1.525, B=1.545, Q=1.545, Sign=, 2V=0°
Additional pattern: To replace 10-418 and validated by calculated pattern 00-034-0166.
See ICSD 37442 (PDF 01-077-0022) and ICSD 34812 (PDF 01-076-0847).

References

Primary reference: Mukherjee., *Clay Miner. Bull.* **5**, 194, (1963)
Structure: Shirozu, H., Bailey, S., *Am. Mineral.* **51**, 1124, (1966)
Optical data: Winchell, H., *Elements of Optical Mineralogy*, **2**, 396, (1951)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	14,20000	6,219	100,0
2	0	0	4	7,14000	12,387	15,0
3	0	0	6	4,76000	18,626	10,0
4	0	2	0	4,57000	19,408	60,0
5	-1	1	2	4,41000	20,119	10,0
6	0	2	2	4,35000	20,400	10,0
7	1	1	2	4,25000	20,885	10,0
8	0	0	8	3,56000	24,993	25,0
9	0	0	10	2,85000	31,362	30,0
10	-1	3	2	2,61500	34,263	50,0
11	-1	3	3	2,57000	34,882	50,0
12	-2	0	4	2,52500	35,525	45,0
13	-1	3	5	2,43000	36,963	5,0
14	0	0	12	2,38000	37,768	35,0
15	-2	0	6	2,36500	38,017	35,0
16	-2	2	2	2,26500	39,765	5,0
17	-2	2	4	2,20000	40,991	5,0
18	-1	1	12	2,17000	41,584	5,0
19	1	3	8	2,08000	43,473	5,0
20	0	0	14	2,04000	44,370	10,0
21	-2	0	10	2,01000	45,068	10,0
22	-1	3	10	1,97500	45,912	5,0
23	1	3	11	1,82000	50,079	5,0
24	2	2	9	1,79000	50,978	5,0
25	-2	4	1	1,72500	53,045	10,0
26	-3	1	1	1,71500	53,379	10,0
27	-2	4	4	1,69500	54,060	5,0
28	-1	5	5	1,66500	55,116	15,0
29	1	5	8	1,54300	59,897	10,0
30	0	6	0	1,52800	60,546	70,0
31	1	3	15	1,51400	61,166	25,0
32	1	5	9	1,50200	61,708	15,0

Stick Pattern

Name and formula

Reference code: 00-052-1044
 Mineral name: Chlorite-serpentine
 PDF index name: Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide
 Empirical formula: $H_8Mg_6O_{18}Si_4$
 Chemical formula: $(Mg, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
 Space group: P 6
 a (?): 5,3400
 b (?): 5,3400
 c (?): 14,1090
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 90,0000
 Gamma (°): 120,0000
 Volume of cell (10^6 pm^3): 348,43
 Z: 1,00
 RIR: -

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Corrosion
 Quality: Indexed (I)

Comments

General comments: Only 00l reflections are recorded.
 Sample source: Specimen from Tuscaloosa Formation, Louisiana, USA.

References

Primary reference: Reynolds, Jr., R., DiStefano, M., Lahann, R., *Clays Clay Miner.* **40**, 262, (1992)
 Unit cell: Bayliss, P., *Private Communication* (2000)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	14,15000	6,241	32,0
2	0	0	2	7,04000	12,563	100,0
3	0	0	3	4,70000	18,866	20,0
4	0	0	4	3,52500	25,245	70,0
5	0	0	5	2,82500	31,647	6,0
6	0	0	6	2,35300	38,218	1,0
7	0	0	8	1,76300	51,816	1,0
8	0	0	9	1,56800	58,847	1,0
9	0	0	10	1,41200	66,123	2,0

