

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
جامعة مولود معمري  
+٠٧٠:٤٢٠ ٤٠٤٠٠٠٠٠  
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES



**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement**

**Par : IGUENANE Samira  
ET  
ZEHER Keltoum**

**Thème**

**Etude géologique et gîtologique de l'indice de kaolin de  
Sidi Ali Bounab, Socle de Grande Kabylie**

Soutenu publiquement le 19/09/2023, devant le Jury composé de :

M. SAMI. L	PROFESSEUR à l'UMMTO	Président
M. Hamis. A	M.C.B à l'UMMTO	Encadreur
M. ZEGHOUANE. H	M.C.B à l'UMMTO	Examineur

## REMERCIEMENTS

*Nous avons le grand plaisir de commencer ce mémoire de fin d'étude en adressant nos sincères remerciements et en exprimant notre gratitude à tous ceux qui nous ont aidé à réussir et à accomplir ce mémoire qui est le fruit de sacrifices, de volonté et de patience.*

*Nous tenons à adresser notre profonde gratitude à tous nos professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils ont prodigué au cours de ce parcours, ainsi que tout le personnel du département des sciences géologiques.*

*Nos vifs remerciements s'adressent en premier lieu à M. HAMIS Ahmed en sa qualité d'encadrant du mémoire. Il a proposé le sujet, nous a motivé et nous a guidé lors de l'élaboration de ce travail.*

*Nous sommes immensément reconnaissantes à l'égard des membres de Jury Mr. ZEGHOUANE.H et Mr. SAMI.L pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à l'examen de ce mémoire et pour toutes les remarques et suggestions qui en seront issues.*

*Nos remerciements vont enfin à tous nos camarades de 2<sup>ème</sup> année Master et tous les étudiants des sciences de la Terre, nous vous souhaitons à tous une bonne continuation.*

## DEDICACES

*Avec l'expression de ma reconnaissance, Je dédie ce mémoire à :*

*Mes chers parents qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*Ma chère sœur Dehbia, qui a été là pour moi, celle qui m'a encouragé et a partagé les moments d'émotions lors de la réalisation de ce travail.*

*Ma famille et mes proches, qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*Ma chère binôme Samira, pour son entente et sa sympathie.*

*Mes aimables amis, surtout Mounia, Katia et Pitou pour leurs aides et supports dans les moments difficiles ainsi que mes collègues d'études avec qui j'ai partagé des bons moments durant toutes les années d'étude.*

*Mes professeurs de l'UMMTO qui doivent avoir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.*

**Keltoum**

## DEDICACES

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents, ceci est ma profonde gratitude pour vos encouragements et vos conseils durant le chemin que j'ai parcouru jusqu'à ce jour.*

*Ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne ; son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*Mes précieuses sœurs (Naima, Nabila, Sonia, Dihia, Karima et Lilia), mon frère Sofiane, ainsi mes neveux et mes nièces.*

*Je dédie également ce mémoire à toutes mes adorables amies de l'université qui sont proches de moi : Lilia, Houria et Massilia qui m'ont soutenu tout au long de ma démarche.*

*Mon agréable binôme, Keltoum avec qui j'ai réalisé ce travail, je te souhaite bonne chance dans ta vie professionnelle.*

*A tous mes amis et à l'ensemble des étudiants de la promotion de l'année 2022-2023, ainsi que toute personne qui occupe une place dans ma vie.*

**Samira**

# SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

**INTRODUCTION GENERALE : ..... 1**

**CHAPITRE 1 : GENERALITES..... 2**

**1 Aperçu géographique :..... 2**

**2 Géomorphologie :..... 3**

**3 Climat et végétation :..... 4**

**4 But du travail :..... 4**

**5 Méthodologie : ..... 4**

5.1 Une synthèse bibliographique :..... 4

5.2 Les travaux de terrain :..... 5

5.3 Les travaux de laboratoire :..... 5

**6 Historique des travaux : ..... 5**

6.1 Les précurseurs :..... 5

6.2 Les travaux modernes :..... 6

6.3 Acquisitions récentes : ..... 6

**CHAPITRE 2 : APERCU GEOLOGIQUE REGIONAL ..... 8**

**1 Introduction : ..... 8**

**2 Cadre lithostratigraphique : ..... 8**

2.1 Domaine interne : ..... 9

2.1.1 Socle Kabyle : ..... 9

2.1.2 Dorsale Kabyle : ..... 9

2.2 Domaine des flyschs : ..... 10

2.2.1 Flyschs mauritaniens : ..... 10

2.2.2 Flyschs massiliens : ..... 11

2.2.3 Flyschs numidiens : ..... 11

2.3 Domaine externe (domaine tellien) : ..... 11

2.3.1 Les nappes ultra-telliennes : ..... 11

2.3.2 Les nappes telliennes (Sensu-Stricto) : ..... 11

2.3.3 Les nappes peni telliennes : ..... 11

**3 Evolution géodynamique des Maghrébides : ..... 12**

3.1 Tectonique : ..... 12

3.2 Magmatisme : ..... 12

**CHAPITRE 3 : GEOLOGIE DU SOCLE KABYLE ..... 14**

<b>1</b>	<b>Introduction :</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Les unités tectono- métamorphiques :</b> .....	<b>14</b>
2.1	Les paragneiss avec les marbres à minéraux à la base et les gneiss ocellés inférieurs sous-jacents formant la semelle ductile : .....	14
2.2	Les unités de Sidi Ali Bounab (SAB) : .....	14
2.3	Les micaschistes : .....	15
2.4	Les Schistes satinés : .....	15
2.5	Les intrusions alpo- pegmatitiques et granitiques : .....	15
<b>3</b>	<b>Le Paléozoïque :</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Le magmatisme :</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Tectonique :</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Métamorphisme :</b> .....	<b>16</b>
6.1	Métamorphisme générale : .....	16
6.2	Métamorphisme de contact : .....	16
6.3	Métamorphisme blasto-mylonitique : .....	16
6.4	L'âge du métamorphisme : .....	17

#### **CHAPITRE 4 : GEOLOGIE DU MASSIF DE SAB ..... 18**

<b>1</b>	<b>Introduction :</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>Lithologie du secteur d'étude :</b> .....	<b>19</b>
2.1	La couverture miocène post-nappe : .....	20
2.2	Les schistes à biotite : .....	22
2.3	Les calcaires cristallins (marbres) : .....	23
□	Marbres à minéraux : .....	23
□	Marbres rubanés : .....	25
2.4	Les gneiss fins : .....	26
2.5	Granite de SAB : .....	27
2.6	Pegmatite : .....	30
<b>3</b>	<b>La tectonique :</b> .....	<b>31</b>
3.1	La déformation ductile : .....	31
3.2	La déformation cassante : .....	33
<b>4</b>	<b>Métamorphisme :</b> .....	<b>34</b>
4.1	Age du métamorphisme : .....	35
<b>5</b>	<b>Magmatisme :</b> .....	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion :</b> .....	<b>35</b>

#### **CHAPITRE 5 : GITOLOGIE DES INDICES DU KAOLIN DE SAB ..... 36**

<b>1</b>	<b>Introduction :</b> .....	<b>36</b>
----------	-----------------------------	-----------

<b>2</b>	<b>Généralités sur les argiles :</b> .....	<b>36</b>
2.1	Définitions :.....	36
2.2	Origines des argiles .....	37
2.3	Les différents types d'argiles : .....	37
2.4	Utilisations des argiles : .....	39
<b>3</b>	<b>Généralités sur le kaolin :</b> .....	<b>39</b>
3.1	Définition : .....	39
3.2	Groupes de Kaolin :.....	39
3.3	Propriétés des kaolins industriels : .....	41
3.4	Couleur :.....	41
3.5	Forme et taille : .....	41
3.6	Dureté :.....	42
<b>4</b>	<b>Géologie du kaolin et des argiles kaoliniques :</b> .....	<b>42</b>
4.1	Le kaolin primaire :.....	42
4.2	Le kaolin secondaire ou sédimentaire (Les argiles kaoliniques) :.....	43
4.3	Typologie des gisements de kaolin et d'argiles kaoliniques :.....	44
4.4	Les facteurs contrôlant la nature des argiles formées :.....	44
<b>5</b>	<b>Analyse de kaolin :</b> .....	<b>45</b>
5.1	Les principaux usages industriels du kaolin :.....	46
5.2	Quelques exemples de gisements de kaolin dans le monde :.....	47
5.3	Le kaolin en Algérie :.....	49
<b>6</b>	<b>L'étude des indices du kaolin de SAB :</b> .....	<b>49</b>
6.1	Cadre géographique.....	49
6.2	Cadre historique du gisement :.....	49
6.3	Cadre géologique du gisement : .....	50
	<b>51</b>	
<b>7</b>	<b>Caractérisation des minéraux argileux (kaolinite) :</b> .....	<b>52</b>
7.1	L'analyse granulométrique :.....	52
7.2	La Diffraction des rayons X (DRX) :.....	54
7.2.1	Principe : .....	54
7.2.2	Résultats des analyses à la DRX : .....	54
7.2.3	Formation du kaolin : .....	59
7.3	Observations au microscopie électronique à balayage (MEB) : .....	60
7.3.1	Principe : .....	60
7.3.2	Les analyses de MEB sur le kaolin : .....	60
<b>8</b>	<b>Conclusion :</b> .....	<b>62</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE :</b> .....	<b>63</b>
	Bibliographie	

# LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation du massif de Sidi Ali Bounab (carte des régions naturelles de la Gde Kabylie D. Raymond 1976). .....	2
Figure 2: Localisation du massif de Sidi Ali Bounab (Google earth,2021). .....	3
Figure 3: Vue panoramique du massif de Sidi Ali Bounab (Google earth,2021, à une distance de 20km).....	3
Figure 4: Forêt de chêne-liège de Sidi Ali Bounab (Blogspot, 2015).....	4
Figure 5: Schéma structural de l'édifice alpin dans le cadre méditerranéen, d'après (Durand Delga, 1980), modifiée démontrant la position d'une coupe schématique du Nord de l'Algérie. ....	8
Figure 6: Carte schématique de la Grande Kabylie représentant les unités de la dorsale Kabyle (Bouillin, 1986). .....	10
Figure 7: Position des nappes de flyschs par rapport aux différentes unités de la chaîne des Maghrébides, (Bouillin, 1986). .....	11
Figure 8: Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides et position structurale des différentes unités telliennes (Durand-Delga, 1969). .....	12
Figure 9: Coupes tectoniques Dellys-Tizi-Ouzou (Raymond Daniel, 1972). .....	16
Figure 10: Coupes schématiques de la Grande Kabylie et indication des principaux âges isotopiques (d'après Saadallah et al, 1996 modifié par Michard et al, 2006).....	17
Figure 11: Localisation des massifs du socle kabyle de la région de Tizi Ouzou (Grande Kabylie), (D. Raymond 1976).....	18
Figure 12: Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin (M. Durand Delga et al. 1969 ; modifiée par Aite). .....	18
Figure 13: Schéma montrant la discordance de la couverture miocène post-nappes sur le socle de SAB. ....	19
Figure 14: Carte géologique du massif de Sidi Ali Bounab (Saadallah A.2015).....	20
Figure 15: Marnes gréseuses (à 272 m d'altitude). .....	21
Figure 16: Grès microconglomératiques fossilifères (a) et renfermant des éléments de gneiss (b). .....	21
Figure 17: Schistes plissés et broyés. ....	22
Figure 18: Schiste à biotite.....	22
Figure 19: Schiste au microscope Gr4*10 LPA .....	23
Figure 20: Schiste au microscope Gr4*10 LPNA .....	23
Figure 21: Marbre à minéraux.....	24
Figure 22: Marbre à minéraux au microscope Gr4*10 LPNA.....	25
Figure 23: Marbre à minéraux au microscope Gr4*10 LPA.....	25
Figure 24: Marbre rubané.....	25
Figure 25: Marbre rubané au microscope Gr4*10 LPA.....	26
Figure 26: Marbre rubané au microscope Gr4*10 LPNA.....	26
Figure 27: Gneiss quartzeux.....	26
Figure 29: Un gneiss fin au microscope Gr4*10 LPNA. ....	27
Figure 29: Un gneiss fin au microscope Gr4*10 LPA. ....	27
Figure 30: Enclave basique (magmatique) dans le granite.....	27
Figure 31: Schistes recoupés par des granito-gneiss broyés (à 727 m d'altitude) matérialisé par de la pyrophyllite (talc)(a).....	28
Figure 32: Enclave de micaschistes dans les formations granitiques (à 895 d'altitude). .....	28
Figure 33: Granite déformé à biotite. ....	29
Figure 34: Granite déformé à biotite au microscope, Gr : 4*10 LPNA. ....	29
Figure 35: Granite déformé à biotite au microscope, Gr : 4*10 LPA.....	29

Figure 36: Pegmatite a tourmaline. ....	30
Figure 37: Pegmatite a tourmaline au microscope Gr4*10 LPA. ....	31
Figure 38: Pegmatite à tourmaline au microscope Gr4*10 LPA. ....	31
Figure 39: Pegmatite à tourmaline au microscope Gr4*10 LPNA. ....	31
Figure 40: Pegmatite a tourmaline au microscope Gr4*10 LPNA. ....	31
Figure 41: Plis de type "b" boudinés et cisailés dans les faciès des schistes à biotite (A.Bettahar).....	32
Figure 42: Plis de type "b" cisailés dans les schistes à Biotite (A.Bettahar).....	32
Figure 43: Plis de type "a" (A.Bettahar).....	33
Figure 44: Plis en fourreau dans les schistes à biotite (A.Bettahar).....	33
Figure 45: Caractérisation statistiques des populations de fracture dans le massif de SAB, Gde Kabylie (Bettahar 1990). ....	34
Figure 46: Structure en feuillets des argiles observée au microscope électronique à balayage ( source: BRGM). ....	36
Figure 47: Structure cristallographique des minéraux argileux (Beauchamp, 2005).....	38
Figure 48: Structure cristalline de la kaolinite et de l'halloysite (Blanca Bauluz Lazaro, 2015). ....	39
Figure 49: Schéma des particules de kaolin,(les lignes pointillées représentent l'eau absorbée) ; (thèse, CHOUAFA Mohamed, 2016). ....	41
Figure 50: Coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire, (Bish, 1989). ....	43
Figure 51: Figure montrant les principaux facteurs qui déterminent la nature des argiles formées (Velde, 1992). ....	44
Figure 52: Influence de la nature de la roche-mère sur la composition des minéraux secondaires (Velde, 1992), Source : Cours "Géologie des argiles" - Université de Liège. ....	45
Figure 53: Méthodes d'étude des argiles à différentes échelles (B.Velde, 1992). ....	46
Figure 54: schiste à biotite (sombre) alternant avec des gneiss fins plagioclasiques (clair) [a] et gneiss fins avant et après altération [b]. ....	50
Figure 55: Alternance gneiss fins (clair) et schistes à biotite (sombre) présentant un fort pendage 70° vers le nord. Ce faciès clair est transformé en argile (illite-kaolinite). ....	51
Figure 56: Granite déformé de SAB, recoupant les schistes à biotite (a) ; même granite au niveau de l'indice Ouriacha transformé en kaolinite (b). [1- Kaolinite, 2- Granite déformé, 3- schistes à biotite]. ....	51
Figure 57: Granite déformé transformé par endroit (zone de faille) en kaolinite (blanche) recoupant les schistes à biotite à pendage de 25° vers le nord. ....	52
Figure 58: Illustration de la diffraction des rayons X (thèse, LARABA Mohammed, 2022)..	54
Figure 59: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon ( laboratoire minéralogique de l'ORGM). Appareillage utilisé : diffractogramme XPERT-PRO, Logiciel : data collector, high score. ....	55
Figure 60: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (Gneiss altéré), CETIM, 2023)...	56
Figure 61: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (Granite orienté kaolinisé), CETIM, 2023).....	57
Figure 62: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (Schiste altéré), CETIM. 2023) ...	58
Figure 63: Schéma d'un MEB équipé d'un détecteur de rayons X (J. Goldstein et al, 1992)..	60
Figure 65: Observation du kaolin de Tamazert par microscope électronique à balayage de différents grossissements.....	61
Figure 64: Observation du kaolin de SAB par microscope électronique à balayage de différents grossissements.....	61

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Les différentes types d'argiles et leurs caractéristiques (thèse, LARABA Mohammed, 2022). .....	38
Tableau 2 : Classification générale des kaolinites et des serpentines ( d'après G. Millot, 1964). .....	40
Tableau 3: Classification des principaux types de minéraux argileux(thèse, LARABA Mohammed, 2022). .....	40
Tableau 4: Utilisations industrielles du kaolin (Bundy 1993 et Murray 1999).....	47
Tableau 5: Production du kaolin 2001-2005 (Hetherington et al 2007).....	48
Tableau 6: Principaux utilisateurs de kaolin en Algérie (murray,1999). .....	49
Tableau 7 : Tableau comparatif avec les résultats d'analyses déterminées sur la fraction 0.04 mm et ceux informatifs calculés dans le rapport d'étape dans les mêmes zones de prélèvement ( rapport de l'ASGA).....	53

## **LISTE DES ABREVIATIONS :**

ORGM : Office National de la Recherche Géologique et Minière.

ASGA : Agence du Service Géologique de l'Algérie.

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

SONAREM : Société Nationale de Recherches et d'Exploitations Minières.

ENOF : Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles.

CETIM : Centre Technique des Industries Mécaniques.

UMMTO : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

USTHB : Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.

DRX : Diffraction par Rayons X.

XRD : X Ray Diffraction (abréviation anglaise de Diffraction par Rayons X).

DTA : Differential Thermal Analysis (abréviation anglaise de l'Analyse Thermique Différentielle).

TGA : Gravimetric Thermal Analysis (abréviation anglaise de l'Analyse Thermique Gravimétrique).

SEM : Scanning Electron Microscope (abréviation anglaise de Microscope Electronique à Balayage).

HRTEM: High Resolution Transmission Electron Microscope.

TEM : Transmission Electron Microscope (abréviation anglaise de Microscope Electronique à Transmission).

MEB : Microscope Electronique à Balayage.

SAB : Sidi Ali Bounab.

X : coordonnées horizontales Easting.

Y : coordonnées horizontales Northing.

LNI : L'Arbaa Nait Irathen.

E : Est, W : Ouest, N : Nord, S : Sud.

LPNA : Lumière Polarisé Non Analysée.

LPA : Lumière Polarisé Analysée.

FK : Feldspath potassique.

Q<sub>z</sub> : Quartz.

K : Potassium.

H : Hydrogène.

O : Oxygène.

Ca : Calcite.

Si : Silicium.

Al: Aluminium.

Fe: Fer.

Na: Sodium.

Cl : Chlore.

Gt : Grenat.

Ox : Oxyde.

C : Carbone.

S : Soufre.

Mn : Manganèse.

Cu : Cuivre.

Zn : Zinc.

Ti : Titane.

Sr: Strontium.

Phl: Phlogopite.

Li: Lithium.

Ba : Baryum.

Cs: Césium.

F: Fluor.

Mg : Magnésium.

Gr : Grossissement.

PH : Potentiel Hydrogène.

A° : Angstrom (unité de mesure en physique atomique).

C.P.S : Corps Principal Sud.

F.Z.N : Filons de la Zone Nord.

AFNOR : Association Française de Normalisation.

# RESUME

Le massif de Sidi Ali Bounab est situé entre les wilayas de Tizi-Ouzou et de Boumerdès au sein du socle de la Grande Kabylie.

Ce mémoire explore l'indice du kaolin de SAB ; le kaolin est une argile blanche, friable et réfractaire, naturellement riche en sels minéraux, c'est une matière première à une multitude d'utilisations.

La nature des formations géologiques du socle se compose de roches métamorphiques (marbres, schistes, micaschistes, gneiss) et roches magmatiques (granites), leur âge est rapporté au paléozoïque. Un contexte plus large montre des terrains grés-marneux du Miocène qui repose en discordance sur ce socle. Puis, il se concentre sur le massif de Sidi Ali Bouanb, avec une analyse de la lithologie en décrivant les formations rencontrées dans le secteur d'étude d'un point de vue macroscopique et microscopique, ainsi qu'une analyse des processus tectoniques, métamorphiques et magmatiques.

Le but de ce travail est d'étudier le kaolin en général dans un contexte géographique et géologique étendu, avec sa caractérisation en utilisant trois méthodes d'études (Analyse granulométrique, MEB et DRX) et le comparer avec les indices connus en Algérie et dans le monde.

# Introduction générale

### **Introduction générale :**

Le kaolin est une argile blanche, douce et plastique composée principalement de fines particules sous forme de plaquettes.

Le kaolin fait partie de notre environnement, ses utilisations sont multiples sa blancheur et sa plasticité le rendent particulièrement approprié pour un usage extensif comme charge, agent d'allongement, matière première pour la céramique et comme pigment. C'est également une matière première importante pour les réfractaires, et un catalyseur dans les industries du ciment et des fibres de verre.

Le massif de Sidi Ali Bounab fait partie de l'ensemble géologique de la Grande Kabylie, il est constitué d'un socle cristallophyllien (socle kabyle). Ce massif est marqué par la présence des indices du kaolin dans ce secteur.

Ce modeste mémoire est réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de master en science de la Terre et l'Univers, options Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnements sur l'indice de Kaolin de la région de Sidi Ali Bounab.

En dehors des travaux de prospection réalisés par Sonarem la Mission Roumaine (1974-1975), cet indice n'a jamais fait l'objet d'une étude scientifique.

Le mémoire s'articule en 5 chapitres :

- Le premier chapitre est réservé à des généralités sur la région d'étude comprenant l'aperçu géographique, la géomorphologie, le climat et la végétation, le but, la méthodologie du travail et l'historique des travaux.
- Le deuxième chapitre présente le contexte géologique régional.
- Le troisième chapitre est réservé à la géologie du socle kabyle.
- Le quatrième chapitre se concentre sur la géologie du massif de Sidi Ali Bounab.
- Le cinquième chapitre s'occupe de la géologie du kaolin de SAB.

# Chapitre 1 :

# Généralités



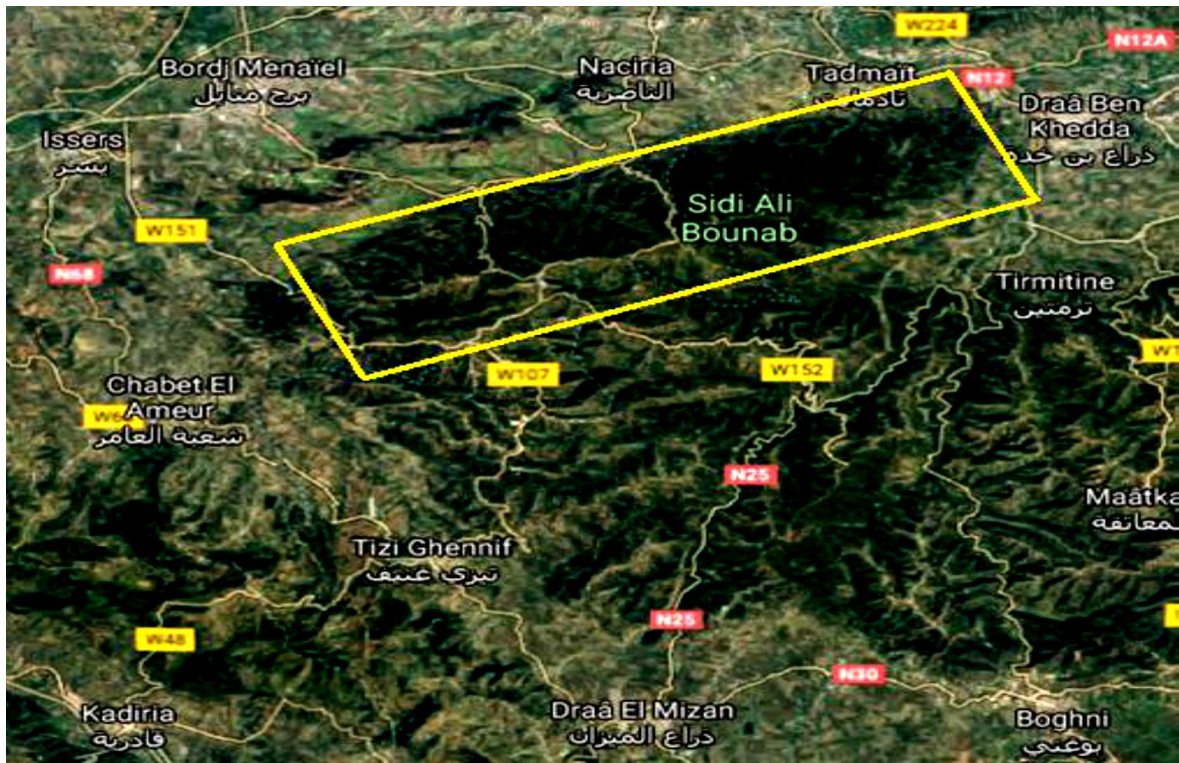


Figure 2: Localisation du massif de Sidi Ali Bounab (Google earth,2021).

## 2 Géomorphologie :

Le Tell oriental algérien présente une morphologie complexe due à la tectonique qui affecte la région. Notre zone intégrée dans cette région, se caractérise par une variété de morphologies.

La montagne de Sidi Ali Bounab a un fort relief avec des vallées considérables par lesquelles passent les cours d'eau, (des rivières traversant la région). Le versant nord du SAB est plus sensible à l'érosion hydrique que le versant sud en raison de l'influence méditerranéenne et du rôle que joue le versant dans le ruissellement (Figure 3).



Figure 3: Vue panoramique du massif de Sidi Ali Bounab (Google earth,2021,à une distance de 20km).

### 3 Climat et végétation :

En raison de sa proximité avec la mer méditerranéenne, les conditions climatiques nécessitent au développement d'une végétation typique de la région. Le versant nord du SAB est plus humide car il est plus fort que le versant sud en raison d'une limite topographique (crête) qui retient une grande partie des nuages.

Parmi la flore la plus développée dans le massif de SAB, on peut citer : le chêne-liège, le genêt, la bruyère, le dis, l'inule visqueuse, la ronce, le romarin (Figure 4).



Figure 4: Forêt de chêne-liège de Sidi Ali Bounab (Blogspot, 2015).

### 4 But du travail :

Ce présent mémoire a pour objectif de caractériser l'indice de Sidi Ali Bounab du point de vue géologique et gîtologique et de le comparer avec les indices connus en Algérie et dans le monde.

### 5 Méthodologie :

La réalisation de ce travail a nécessité l'utilisation des méthodes classiques qu'on peut subdiviser en 3 étapes :

#### 5.1 Une synthèse bibliographique :

Il s'agit des travaux préliminaires (des travaux antérieurs sur la région en général et la Grande Kabylie en particulier) :

- Thèses et mémoires de master relatifs à la géologie du Nord de l'Algérie ; plus spécifiquement la région de Sidi Ali Bounab.

- Les notions de géologie structurale et les différentes phases ayant affectées la région d'étude.
- La gitologie de la région et ses différents indices de minéralisation.

Et la consultation de plusieurs : documents ; cartes géologiques, gitologiques et topographiques ; des photos aériennes et des ouvrages qui ont été fournis par la bibliothèque des universités de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (UMMTO) et de Bab Ezzouar (USTHB), l'ORGM et de l'ASGA...

### 5.2 Les travaux de terrain :

La préparation de ce travail a nécessité des sorties sur terrain (on a effectué 2 sorties) :

- L'étude de diverses formations qui affleurent dans le secteur étudié.
- L'échantillonnage.
- La réalisation de coupes géologiques du secteur d'étude.
- L'illustration, photos et schémas.
- Prise des mesures des éléments structuraux (pendage et direction des failles, plis, filons ...etc.).

### 5.3 Les travaux de laboratoire :

- Description macroscopique des échantillons prélevés.
- Après la découpe des échantillons, on a confectionné des lames minces pour l'étude de l'encaissant de la minéralisation et leur relation mutuelle (description microscopique), (10 séances de préparations de lames minces au niveau du laboratoire de département sciences géologiques de l'UMMTO).
- Analyses DRX, MEB.

## 6 Historique des travaux :

### 6.1 Les précurseurs :

Les études géologiques dans la Kabylie ont débuté au 19<sup>ème</sup> siècle :

Constitution géologiques de Kabylie, Apéron 1867.

Etudes géologiques réalisées dans la Kabylie, L. Ville, 1868.

Description géologiques dans la Kabylie du Djurdjura, E. Ficheur, 1890.

Cet auteur subdivise le complexe métamorphique de Grande Kabylie en gneiss, micaschistes, calcaires cristallins et schistes « X » qu'il attribue au précambrien. De plus, Ficheur reconnaît l'existence de roches intrusives : pegmatites, « granulites » et roches granitoïdes. Avec l'aide de son élève Savornin, Ficheur édite aussi la carte géologique de Larbaa-Naïth Irathen (ex.Fort National).

En 1900, Duparc, Pearce et Ritter publient une étude sur les roches éruptives du massif de Thénia (ex. Ménerville).

De 1925 à 1936, J. Flandrin s'occupa du levé géologique au 1/25000 sur le territoire du Djurdjura.

En 1937, Royer mène une étude sur les terrains cristallophylliens des massifs d'Alger et de Grande Kabylie et il s'attache essentiellement à l'observation des principaux types pétrographiques examinés dans les contacts entre les roches.

Durant la même période Glangeaud et Roubault décrivent le massif de Bouzaréah et la Kabylie de Collo.

En 1958, P. Murarour présente une étude stratigraphique et sédimentologique de la basse Kabylie.

Enfin, vers les années 90, de nouveaux résultats sur le socle ont été apportés.

Tout d'abord, par Thiebaut, qui reprend d'une manière détaillée, les grandes divisions de Ficheur en appliquant dans son travail les principes de la classification zonéographique de Jung et Roques.

Il affiche que la série métamorphique de Grande Kabylie va de haut en bas des schistes ordoviciens encore fossilifères à un substratum de migmatites, l'ensemble étant coupé par des granites tardifs.

Thiebaut observe que cette série est constituée et il y reconnaît trois zones :

- L'une à micaschistes supérieurs.
- L'autre à micaschistes inférieurs.
- La troisième, de transition.

### 6.2 Les travaux modernes :

C'est avec Bossière (1971, 1980) que l'étude géologique du socle de Grande Kabylie a connu des progrès certains, particulièrement de point de vue pétrologique.

Dans son étude sur la partie occidentale du socle cristallophyllien de Grande Kabylie (massif de Sidi Ali Bounab), Bossière considère que le complexe métamorphique est constitué d'une part, d'une série gneissique qui est interprétée comme un socle ancien et d'autre part, d'une série schisteuse, interprétée comme une couverture épimétamorphique du socle gneissique. Par conséquent, ce schéma modifie l'image classique d'un socle Kabyle constitué d'une série continue allant des gneiss aux schistes ordoviciens, métamorphisée au cours de la phase taconique (Durand-Delga, 1955). Cet âge fut accepté, tant en Grande Kabylie (Thiebaut, 1951) qu'en Petite Kabylie (Deleau, 1952).

Cette subdivision sera ultérieurement révisée par Caby (1982) où il propose une structuration de type himalayen d'âge alpin, dans le massif de Sidi Ali Bounab.

### 6.3 Acquisitions récentes :

Au cours de cette dernière décennie, les travaux sur le socle kabyle ont été élargis. A ce titre, des résultats probants ont été obtenus dans le massif d'Alger où Saadallah met en évidence une structure en écailles probablement d'âge alpin. Ce même massif semble avoir subi un écaillage contemporain d'une mylonitisation épizonale (Mahdjoub, 1981) et un charriage à vergence nord (Saadallah, 1981). Parallèlement, des travaux en cours d'achèvement sont menés en Grande Kabylie par Saadallah et ses élèves (<sup>1</sup>) et en Petite Kabylie par Mahdjoub et ceux achevés par Djellid (1987).

---

(<sup>1</sup>) Sous la direction de Saadallah :  
N. Benkerrou : massif de l'Oued Ksari.  
A. Bettahar : massif de Sidi Ali Bounab.  
K. Loumi : massif de Béni Douala.

# **Chapitre 2 :**

## **Aperçu géologique régional**

### Quelques définitions :

**L'orogène alpin :** a construit les chaînes des Alpes autour de la mer méditerranéenne et l'Himalaya de -60 à -20 Ma.

**Mer méditerranéenne :** s'est formée il y a près de 20 Ma.

**Avant pays :** est une zone bordière peu ou non déformée, recevant les parties fortement plissées de l'orogène et faisant partie du continent.

**Zone interne de l'orogène :** est la zone profonde de la zone de déformation avec souvent une partie métamorphisée, elle a été plus éloignée avant le charriage vers/sur le continent.

**Zone externe :** est une zone plus proche du continent qui n'a pas subi de forts déplacements. Ils sont déracinés.

**Terrains autochtones :** ce sont des terrains qui n'ont subi aucun déplacement tectonique.

**Schiste satiné :** roche de basse température (roche épi métamorphique) contient de quartz, petit mica blanc (séricite et parfois chlorite).

**Roche épi métamorphique :** une roche qui a subi un métamorphisme de faible degré.

**Pile Tectono-métamorphique :** formation métamorphique empilée au cours d'un événement tectonique.

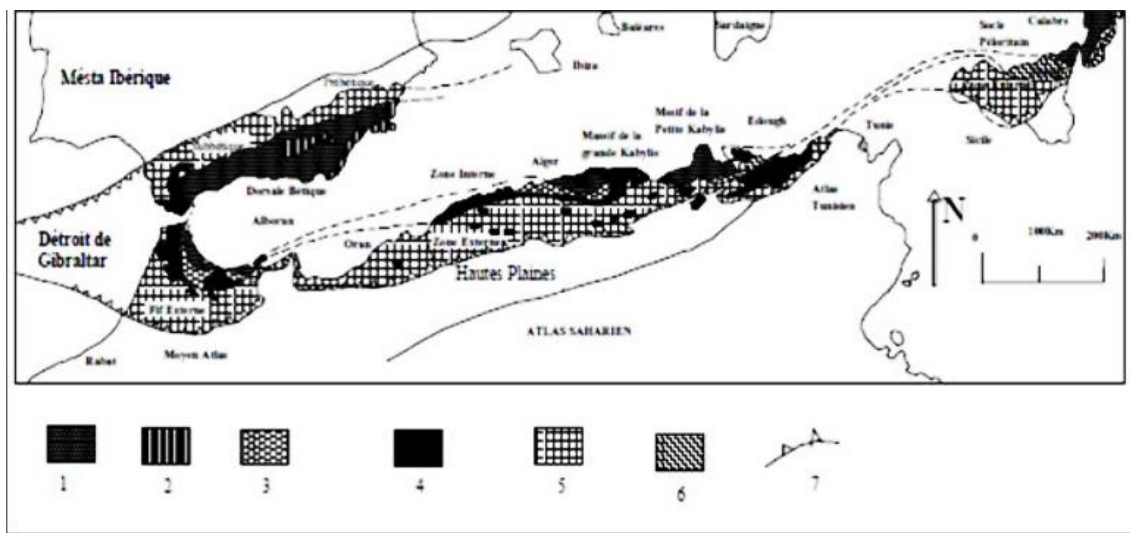
### 1 Introduction :

Notre zone d'étude correspond à la chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides de l'Algérie qui fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen (Durand-Delga, 1969) d'âge Tertiaire, qui est limité :

- A l'Ouest, par l'arc de Gibraltar,
- A l'est, par l'arc Siculo-Calabrais (arc Calabro Sicilien).

Cette chaîne périméditerranéenne comprend deux branches en Méditerranée occidentale (Figure 5).

- Les cordillères bétiques (Europe occidental),
- Les chaînes littorales des Maghrébides.



**Figure 5: Schéma structural de l'édifice alpin dans le cadre méditerranéen, d'après (Durand Delga, 1980), modifiée démontrant la position d'une coupe schématique du Nord de l'Algérie.**

#### Légende :

1. massifs Anciens bético\_ rifain, Kabylie, Péloritain et Calabrais.
2. Nevado- filabrides (Andalousie) : Paléozoïque et Permo-Trias soumis au métamorphisme alpin.
3. Dorsale calcaire (bétique, rifaine Kabyle à matériel mésozoïque, écaillé.
4. Flyschs (Crétacé et Paléocène) allochtones.
5. Rif externe, Tell algérien (Mésozoïque et Tertiaire).
6. Massif ancien externe (Edough).
7. Front des ensembles charriés.

### 2 Cadre lithostratigraphique :

Le domaine alpin est divisé en deux ensembles :

- **L'avant pays** : (hautes plaines et Atlas saharien) contient des terrains mésozoïques.
- **Le tell** : est un ensemble alpin charrié sur l'avant pays durant le miocène ce qu'on appelle [miocène de l'avant fosse].

Le nord Algérien est caractérisé par deux chaînes orogéniques : Chaîne Tellienne et Chaîne Atlasique qui font partie des Alpes, et des Hauts Plateaux (Wildi, 1983).

Cette chaîne alpine comprend du nord au sud les domaines suivants : domaine interne, domaine des flyschs et domaine externe.

### 2.1 Domaine interne :

Il est constitué d'une série métamorphique appelée « socle Kabyle ».

Ce dernier est bordé au sud par la chaîne montagneuse étroite de Djurdjura, qui a été qualifié de « Chaîne Calcaire » d'âge (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique à cause de l'importance du jurassique inférieur calcaire par L. Glangeaud (1932) ou de « Dorsale Kabyle » par M. Durand Delga (1969).

#### 2.1.1 Socle Kabyle :

Le cristallin kabyle ou socle kabyle est limité au nord par le bassin post-nappe du Sébaou et au sud par la chaîne calcaire du Djurdjura, avec les affleurements des formations paléozoïques.

Le socle de la Grande Kabylie (d'après Bossière 1970\_1980) est composé de trois ensembles, de bas en haut :

- **Série gneissique** : fortement métamorphique, elle est considérée comme étant un socle ancien (anté paléozoïque). Elle contient à la base des gneiss fins surmontés de gneiss ocellée et de quartzite.
- **Série schisteuse (schiste satinée)** : est d'âge anté paléozoïque, elle s'agit de séricitoshistes et chloritoschistes plus au moins quartzite comportant des intercalations de porphyroïdes.
- **Schiste argileux** : est d'âge paléozoïque, considérée comme la couverture de socle ancien, elle est peu ou pas métamorphique.

**Bossière (1980)** : considère le socle comme étant un socle gneissique ancien très métamorphique d'âge ante paléozoïque à la base, recouvert en discordance par une épaisse série schisteuse peu métamorphique au sommet.

**Saadallah (1992)** : propose une structure en écaillés du socle kabyle qu'il subdivise en une succession d'unités tectono- métamorphiques avec des contacts ductiles synmétamorphiques soulignés par des granites orientés et des mylonites et d'autres contacts de nature magmatique et cataclastiques.

#### 2.1.2 Dorsale Kabyle :

Elle a été étudiée en détail dans sa partie orientale par (J.F.Raoult 1974) et (J.M.Vila 1980). Elle se présente sous forme d'écaillés d'âge Permo- triasiques à Eocène moyen (Figure 6).

Du point de vue lithologique, ces formations comprennent :

- Des calcaires du Lias et de l'Eocène.
- Des dolomies du Trias au Lias inférieur.
- Des grés du Permo-Trias.

Elle a été subdivisée du Nord au Sud en trois unités qui se différencient par le faciès et l'épaisseur des calcaires ; on distingue :

➤ **La dorsale interne :**

Occupe une place importante dans l'évolution tectono-sédimentaire, ces formations sont des dépôts littoraux ou épicontinentaux.

➤ **La dorsale médiane :**

C'est la plus développée de la dorsale kabyle (Flandrin. J, 1952) et occupe une position centrale dans le dispositif structural du Djurdjura. Elle est caractérisée par les dépôts marneux et plus profonds du Crétacé à l'Eocène.

➤ **La dorsale externe :**

Est définie par une série conglomératique du Dogger-Malm et des radiolarites du Crétacé supérieur et de l'Eocène inférieur ; (Bouillin, 1986).

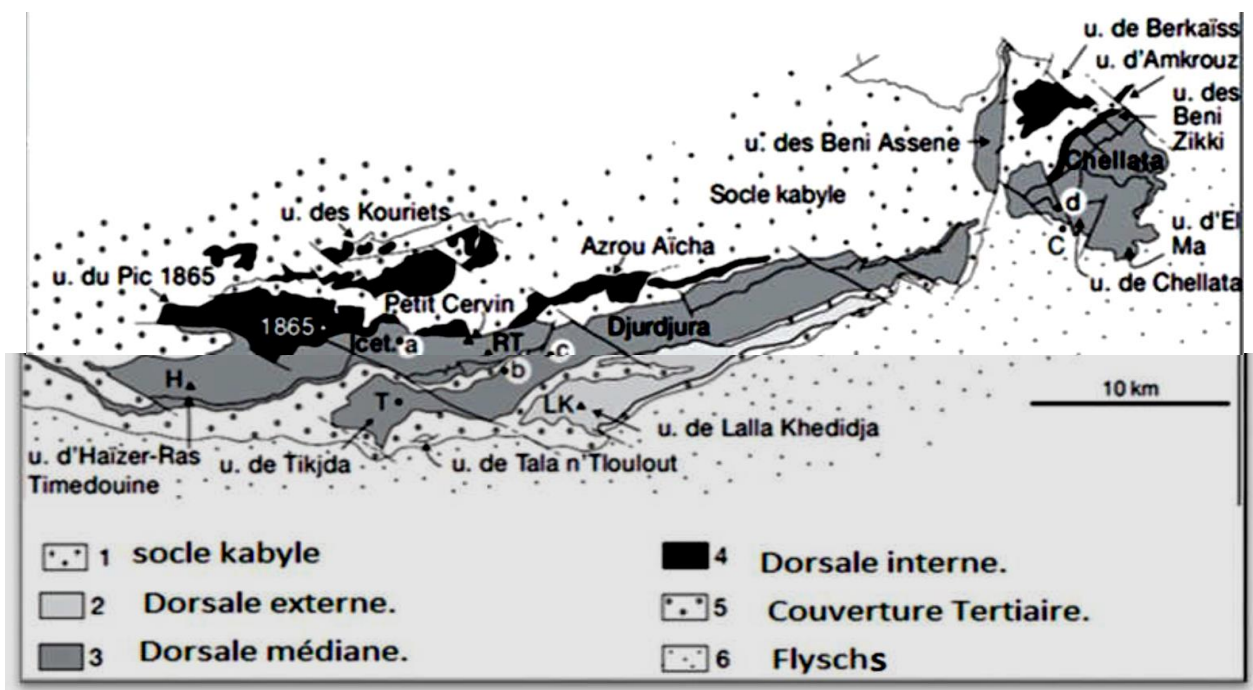


Figure 6: Carte schématique de la Grande Kabylie représentant les unités de la dorsale Kabyle (Bouillin, 1986).

## 2.2 Domaine des flyschs :

Les flyschs sont des séquences marines épaisses, présentes dans les chaînes de montagnes, finement stratifiés, qui s'intercalent tectoniquement entre les zones internes et externes. Les dépôts de ce domaine sont d'âge Jurassique au Burdigalien (Wildi, 1983) ; on distingue 3 grands groupes (Figure 7) :

### 2.2.1 Flyschs mauritaniens :

Ils occupent la position interne dans le domaine des flyschs et comportent de bas en haut d'un :

- Flysch calcaire à radiolarite rouge du Dogger-Malm.
- Flysch d'argile gréseuse.
- Flysch du calcaire micro conglomératique.
- Flysch conglomératique d'âge Paléocène.

### 2.2.2 Flyschs massiliens :

Ils occupent la position externe du domaine des flyschs. Ils sont caractérisés par des sédiments allant du Néocomien au Lutétien représentés de bas en haut par :

- Des argiles.
- Des quartzites.
- Des pelites micro brèchiques.
- Des micros brèches.

### 2.2.3 Flyschs numidiens :

Ils sont plus récents, se sont formés durant l'Aquitaniens et le Burdigalien. Ils occupent la position structurale la plus élevée de l'édifice et sont constitués :

- Des argiles versicolores dites argiles sous-numidiennes.
- Des bancs de grès épais à grains hétérogènes.
- Des argiles, marnes et silexites dites supra-numidiennes.

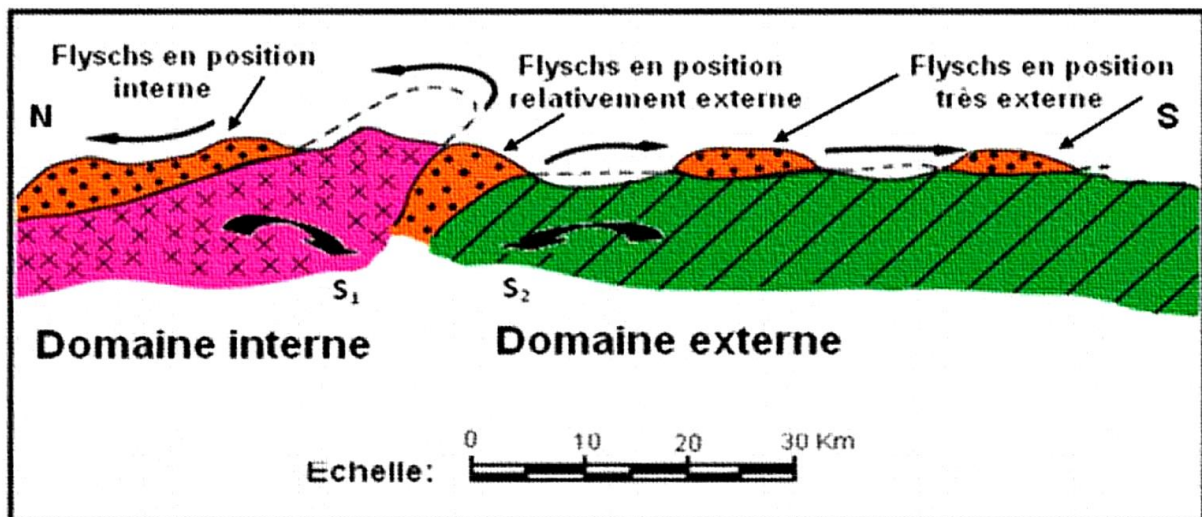


Figure 7: Position des nappes de flyschs par rapport aux différentes unités de la chaîne des Maghrebides, (Bouillin, 1986).

### 2.3 Domaine externe (domaine tellien) :

Le domaine externe ou domaine tellien (Durand-Delga, 1969 ; Vila, 1980 ; Bouillin, 1986) constitué par un ensemble de nappes allochtones pelliculaires du Crétacé-moyen. La zone contient des couches de marne et de carbonate qui ont été charriées sur une centaine de Km vers le Sud ; on distingue du Nord au Sud (Figure 8) :

#### 2.3.1 Les nappes ultra-telliennes :

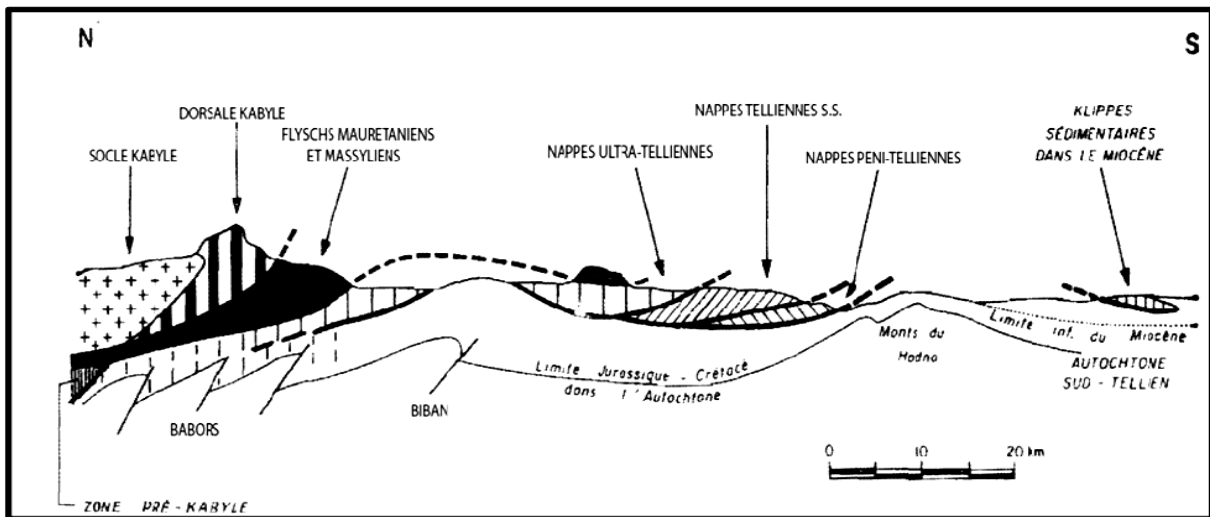
Elles sont caractérisées par des marnes et quelques bancs de calcaire au Crétacé, des calcaires à silex et des marnes sombres à l'Eocène.

#### 2.3.2 Les nappes telliennes (Sensu-Stricto) :

Elles sont constituées de formations marno-calcaires et marneuses d'âge Paléogène et Crétacé.

#### 2.3.3 Les nappes peni telliennes :

Elles comportent des formations marneuses et carbonatées riche en faune du Crétacé à l'Oligocène.



**Figure 8: Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides et position structurale des différentes unités telliennes (Durand-Delga, 1969).**

### 3 Evolution géodynamique des Maghrébides :

#### 3.1 Tectonique :

Le tell septentrional est limité au sud par l'Accident Sud Kabyle (A.S.K) qui est structuré par deux séries d'évènements :

- Alpines (crétacé supérieur au miocène inférieur).
- La distension méditerranéenne (Miocène-inf-Pliocène).

La distension s'est effectuée suivant une direction moyenne NW-SE suite à la formation des maghrébides et à l'origine de la mer méditerranéenne.

Quant aux évènements alpins, ils présentent une alternance des bassins néogènes appelée « bassins post-nappe » et de massifs plus anciens plis de fonds (Glangeaud 1932, Durand Delga, 1969-1980).

#### 3.2 Magmatisme :

La rive nord du Maghreb comporte une chaîne magmatique qui s'étend sur plus de 1200Km des Mogods (Tunisie) à Ras Tarf (Maroc).

Elle est composée d'un magmatisme essentiellement calco-alcalin d'âge Néogène caractérisé par des granitoïdes meta alumineux et per alumineux (dacite et andésite associées) d'âge Langhien.

**Pendant le Serravallien :** ce magmatisme se déplace vers l'Est (Tunisie) et l'Ouest (Oranie et Maroc).

**Tortonien -Paléo- Pléistocène :** le volcanisme se développe aux extrémités de la chaîne magmatique Néogène qui borde la marge méditerranéenne du Maghreb et devient alcalin.

L'activité volcanique se manifeste dans les régions de Grande Kabylie.

Ce volcanisme est caractérisé par des basaltes alumineux et des andésites basiques dans la région de Cap Djinet et Dellys et par des granitoïdes et rhyolites à Zemmouri et Thénia.

# **Chapitre 3 :**

## **Géologie du socle kabyle**

## Quelques définitions :

**Granite orienté** : est un granite qui diffère d'un gneiss, a subi une déformation en présentant une orientation des minéraux par endroit. Il peut être confondu avec orthogneiss, ou gneiss oeilé.

**Micaschistes** : roche métamorphique composée de quartz et de micas d'aspect schisteux.

**Blastomylonite** : mylonite avec blastèse de minéraux.

**Mylonite** : est produite par des contacts chauds profonds ; granite a subi une altération.

**Gneiss** : roche métamorphique à quartz, feldspath potassique essentiellement contenant parfois des micas et d'autres minéraux. Ils ont la composition d'un granite mais se différencient par la présence de foliation (schistosité).

**Orthogneiss** : des anciens granites comme les gneiss oeilés (granite qui va être cisailé).

**Paragneiss** : se sont d'anciennes roches sédimentaires, peuvent être anatectiques ou migmatitiques.

**Nappe de type crocodile** : chevauchement de la semelle de la nappe accompagnée de failles distensives à vergence en sens contraire, au toit de la nappe.

### 1 Introduction :

Le socle kabyle ou Kabyllide affleure dans la partie centrale de la Grande Kabylie au Sud de Tizi-Ouzou où se forme un massif montagneux bien caractérisé. Il est composé de formations métamorphiques et d'une couverture paléozoïque, ainsi qu'un miocène détritique dans des bassins post-tectoniques (Saadallah et al 1996 et Cheilletz et al 1999).

### 2 Les unités tectono- métamorphiques :

D'après Saadallah, 1992 : Le cristallin de la Grande Kabylie est composé d'un ensemble d'unités litho-tectono-métamorphiques, séparées par des accidents ductiles et cataclastiques. De la base au sommet, il distingue 05 unités :

#### 2.1 Les paragneiss avec les marbres à minéraux à la base et les gneiss oillés inférieurs sous-jacents formant la semelle ductile :

Il s'agit d'une formation homogène comportant des mobilisât quartzo-feldspathiques, reposent de façons concordante sur les gneiss oillés inférieurs, passent progressivement aux marbres à minéraux sous- jacents.

Les paragneiss recouverts par les gneiss oillés supérieurs, les micaschistes et les schistes satinés.

##### ➤ Les gneiss oillés inférieurs :

Localisés dans deux zones (les orthogneiss d'Oued Ksari à l'Ouest et les orthogneiss inférieurs de Djamaa Saharidj à l'Est) qui sont séparées par l'accident d'Oued Aissi.

Ces orthogneiss sont surmontés par :

- Les marbres à minéraux au Nord de LNI et à Djamaa Saaridj dans la Grande Kabyle de l'Est.
- Les paragneiss à sillimanite dans la Grande Kabylie occidentale.
- Les schistes satinés.

##### ➤ Les gneiss oillés supérieurs :

Sont recouverts par des schistes et des micaschistes, qui se reposent sur les paragneiss.

Le contact gneiss oillés supérieur et schiste satiné est de nature magmatique.

Une zone d'alternance a été marquée par le passage paragneiss/gneiss oillé supérieur.

##### ➤ Les marbres à minéraux :

Les marbres se présentent en gros ou en petits bancs, constitués de calcite avec quelques cristaux de micas, graphite et pyrite.

La limite gneiss oillés inférieurs /marbre se présente sous trois aspects :

- Contact marbre sur gneiss avec une concordance à foliation bien visible.
- Passage marqué par une bande mylonitique au nord de LNI.
- Une bande cataclasique à plusieurs endroits au nord de LNI.

#### 2.2 Les unités de Sidi Ali Bounab (SAB) :

Elles sont de types « crocodiles » prise en sandwich par les paragneiss le long du contact cataclastique.

Les nappes de SAB sont constituées de :

Le granite de SAB.

Les schistes à biotites qui constituent l'encaissant du granite.

Les cornéennes provenant de la transformation des schistes au contact du granite.

Les blastomylonites.

Les micaschistes à biotite et grenat avec des marbres.

### 2.3 Les micaschistes :

Cette formation est caractérisée par des micaschistes alumineux à andalousites avec intercalation de marbres, d'amphibolites et de quartzites.

Au contact des gneiss ocellés supérieurs se développent des cornéennes schisteuses.

### 2.4 Les Schistes satinés :

C'est l'unité supérieure de la pile tectono- métamorphique, elle marque un passage concordant aux micaschistes sous-jacents.

Les schistes satinés couvrent toute la partie Sud de la Grande Kabylie où sont toujours en contact cataclasique avec presque toutes les autres formations qu'on a citées précédemment.

### 2.5 Les intrusions alpo- pegmatitiques et granitiques :

Elles sont non déformées, postérieures à la tectonique ductile, subdivisées par :

- Les granites de Naciria, de Sidi Maaroufeet et de Taboudrist.
- Les leuco granites de Tizi N'Terga.
- Les pegmatites formant deux générations.

## 3 Le Paléozoïque :

Il débute au Cambrien supérieur et se termine au Carbonifère. Ce paléozoïque est à faible degré de métamorphisme, il est composé de deux parties :

- Une partie inférieure contenant des schistes gréseux détritiques.
- Une partie supérieure volcano- sédimentaire carbonatée à la base et détritique au sommet.

## 4 Le magmatisme :

Il est témoigné par la présence de roches volcaniques et plutoniques comme les pegmatites, les alpo-pegmatites et les granites qu'on a trouvés dans quelques régions de la Kabylie.

Le granite de SAB est le plus important témoin de cette activité magmatite, qui est de type monzonitique (Bossière, 1986).

L'origine de ce granite est le résultat d'une fusion se produisant à des profondeurs de 15 à 25 km et cristallisant à des profondeurs de 13 à 15 km (Bossière 1980).

L'encaissant du granite de SAB est constitué des schistes à biotite, des cornéennes provenant de la transformation des schistes au contact du granite (Saadallah, 1992).

## 5 Tectonique :

La tectonique du socle kabyle est structurée par des événements géologiques allant du Crétacé au Miocène inférieur. Ces derniers sont caractérisés par une déformation visible et un métamorphisme dans la série schisteuse au Carbonifère supérieur (Saadallah, 1992).

Des événements géologiques liés à l'extension méditerranéenne sont ajoutés par la suite (de 20 à 10 Ma) (Saadallah, 1992).

Les grands ensembles structuraux de la Grande Kabylie sont séparés par les accidents majeurs :

- La Grande Kabylie orientale : l'accident de Souama à l'est et Oued Aissi à l'ouest.
- La Grande Kabylie centrale et occidentale : se situe entre l'accident d'Oued Aissi et le chevauchement sud de SAB (Saadallah 1992).
- L'accident de Tizi Ghennif constitue la limite occidentale (Saadallah 1992).

### 6 Métamorphisme :

Le socle kabyle comporte trois types de métamorphismes :

#### 6.1 Métamorphisme générale :

Est présent dans tout le socle, selon leur profondeur on peut distinguer :

- Un métamorphisme catazonal : se produit à haute pression et température permettant la formation des granulites et amphibolites.
- Métamorphisme mesozonal : caractérise les zones à haute température et basse pression donnant naissance aux formations des gneiss, paragneiss, micaschistes et calcaires cristallines.
- Métamorphisme épizonal : se produit à une faible température et pression.

#### 6.2 Métamorphisme de contact :

Généré par la mise en place du granite de SAB.

#### 6.3 Métamorphisme blasto-mylonitique :

Il est caractérisé par un faciès de haute pression et température (Bossière, 1980).

Ait Si Slimane, 1987 a effectué des analyses dans la zone à disthène, sillimanite et a obtenu des résultats de température de l'ordre 700° C (Figure 9).

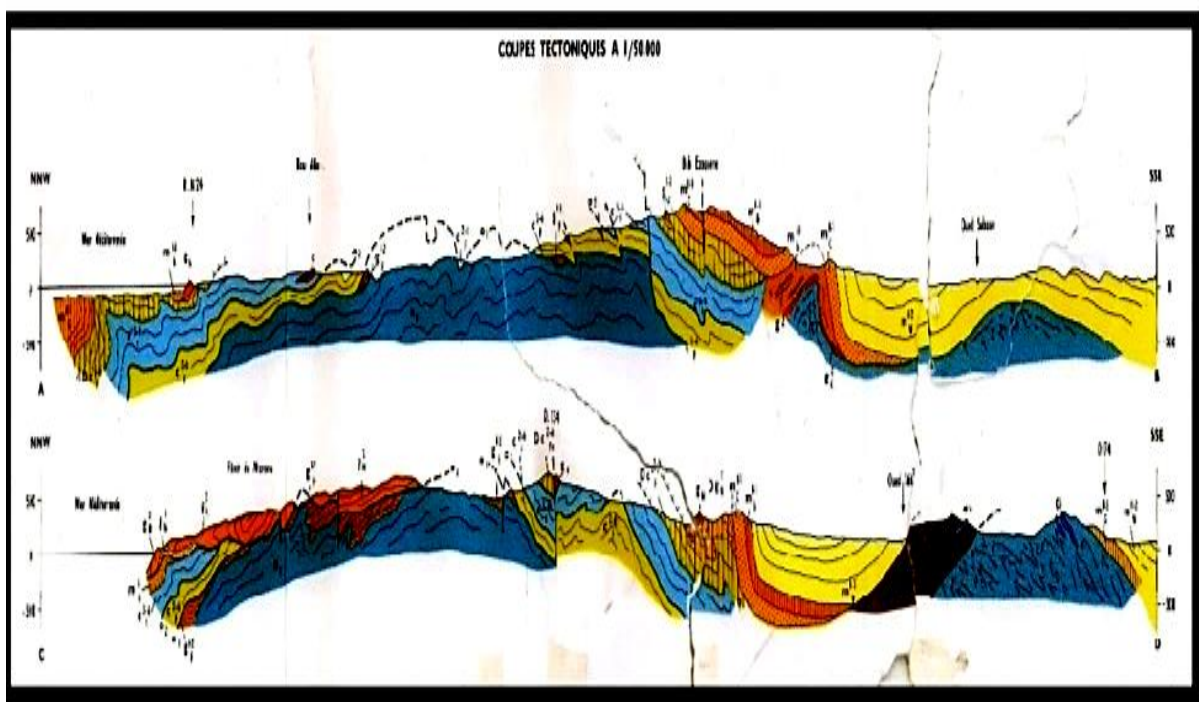


Figure 9: Coupes tectoniques Dellys-Tizi-Ouzou (Raymond Daniel, 1972).

#### 6.4 L'âge du métamorphisme :

D'après de nombreux auteurs (Durand Delga 1995, Bossière et Raymond 1972, Baudelot et Gery 1979, Peucat 1983, Bouilin et al 1984) l'âge du métamorphisme dans le socle kabyle peut être daté Hercynien et même plus ancien.

- **L'unité gneissique** : l'âge de la mise en place des granites-gneiss est à 510+4Ma en se basant sur une étude radiométrique sur le zircon.
- **L'unité schisteuse** : en effectuant une étude radiométrique sur la série schisteuse, ils ont déduit que son âge est 314Ma à 295Ma (Monié et al 1984) ; (Figure 10).

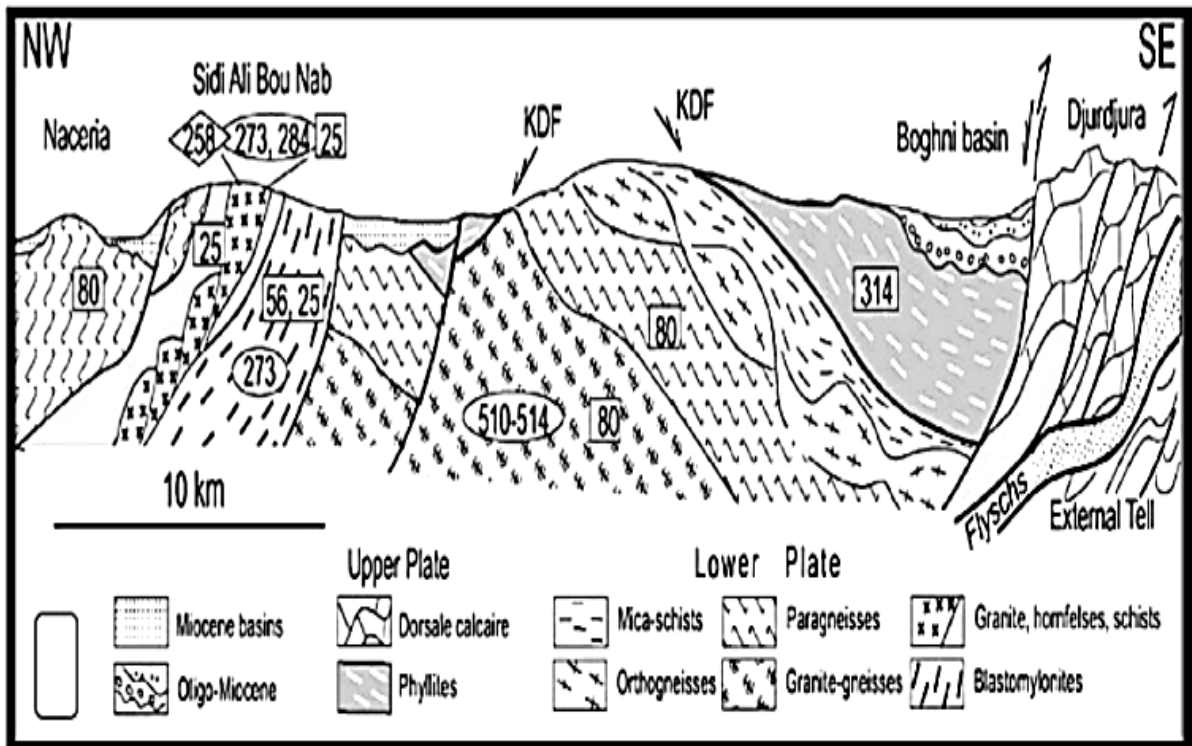


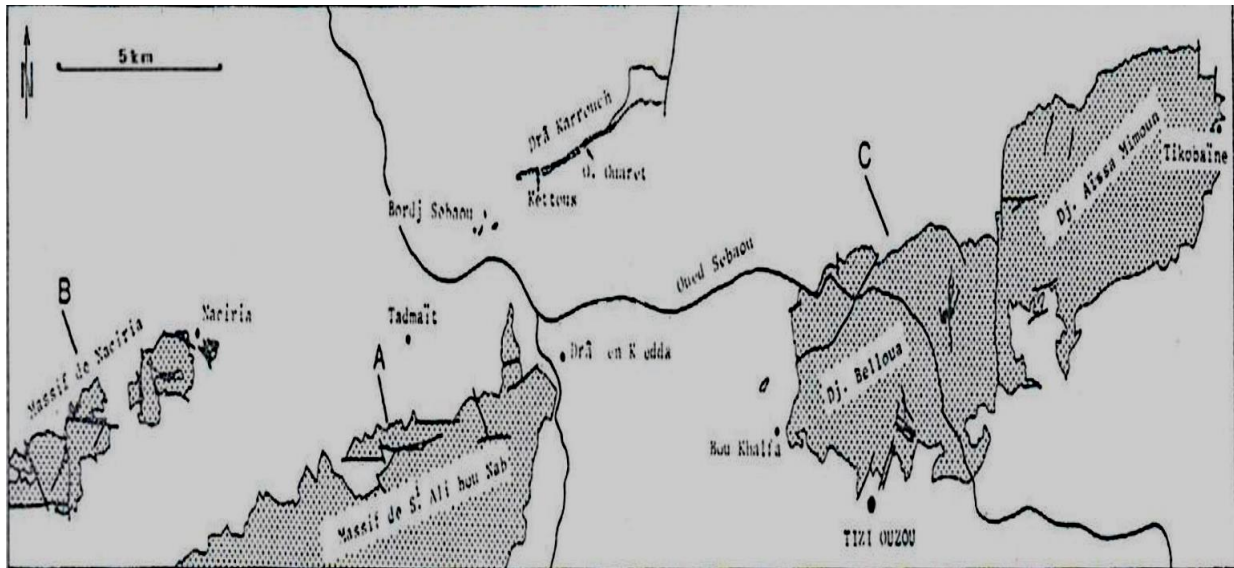
Figure 10: Coupes schématiques de la Grande Kabylie et indication des principaux âges isotopiques (d'après Saadallah et al, 1996 modifié par Michard et al, 2006).

# **Chapitre 4 :**

## **Géologie du massif de SAB**

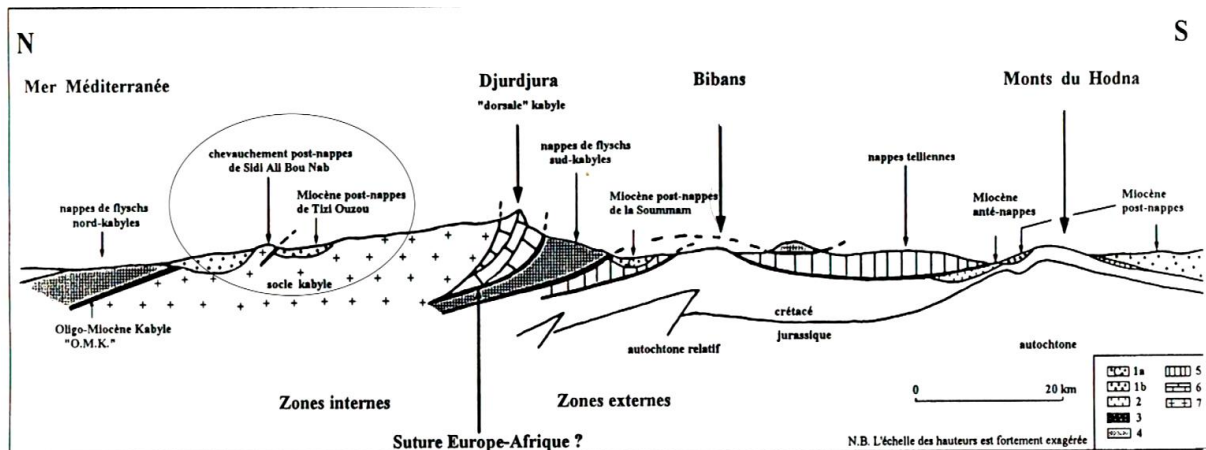
## 1 Introduction :

Du point de vue morphologique, le socle Kabyle est constitué d'un ensemble homogène et d'une série métamorphique affleurant en quatre massifs cristallins (Massif de Naciria, Massif de Sidi Ali Bounab, massif de Djebel Belloua et Aissa Mimoun), (Figure 11).



**Figure 11: Localisation des massifs du socle kabyle de la région de Tizi Ouzou (Grande Kabylie), (D. Raymond 1976).**

Géologiquement, le massif de Sidi Ali Bounab fait partie des zones internes, avec un matériel essentiellement cristallophyllien. C'est le noyau de la série métamorphique du socle, fortement métamorphisé (Saadallah.A.2015), (Figure 12).



**Figure 12: Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin (M. Durand Delga et al. 1969 ; modifiée par Aite).**

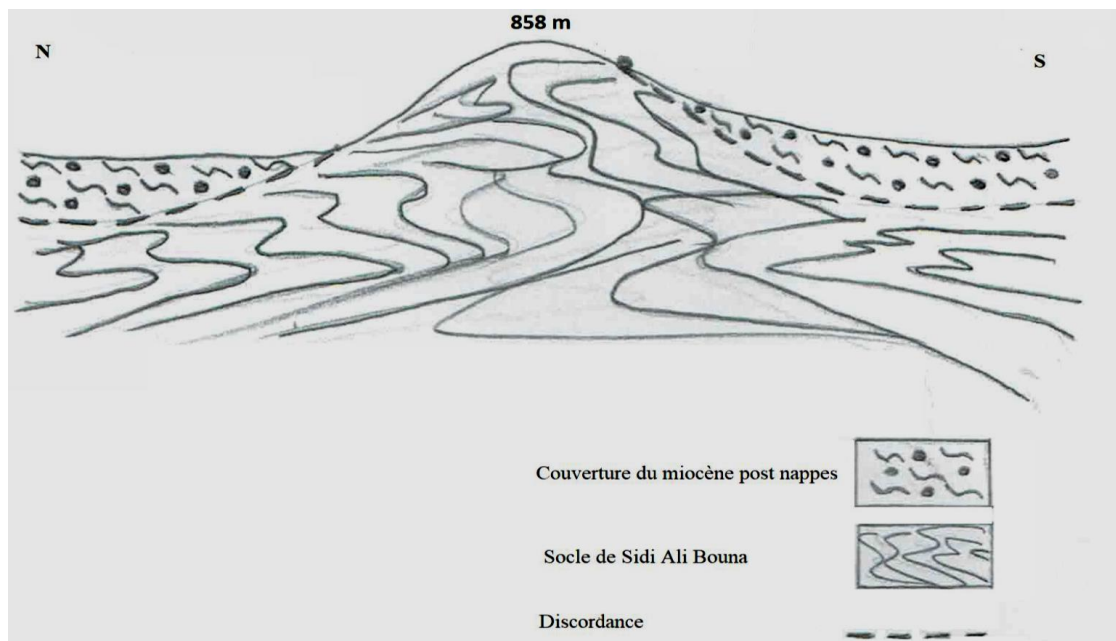
Le massif de Sidi Ali Bounab (SAB) fait partie du socle kabyle, et correspond à un ensemble d'unités tectono-métamorphiques pentées vers le Nord. Cette pile tectono-métamorphique (Bettahar. A, 1990) est constituée par les unités suivantes :

1. L'unité des paragneiss nord.
2. L'unité de l'ensemble granite orienté/encaissant.

3. L'unité des micaschistes à biotite et grenat.
4. L'unité des paragneiss sud.
5. L'unité des schistes satinés reposant sur l'unité des paragneiss sud.

Un ensemble essentiellement sédimentaire (Bassin miocène post - nappes) constituant une couverture discordante sur le socle cristallin paléozoïque (Bouillin, 1977), (Figure 13) ; il affleure au Nord et au Sud et il est composé de trois cycles :

1. Cycle inférieur : contient des conglomérats (100 à 250 m) à débris du socle et un ensemble des grès et marnes (grès-marneux) à 250 m qui sont injectés par des basaltes en filon-couches. L'âge de cet ensemble est Burdigalien-Langhien.
2. Cycle supérieur : comporte des marnes avec de gros blocs de conglomérats appelés olistostrome d'âge Langhien-Serravalien qu'on trouve à 500m.
3. Pliocène : la présence des marnes à 600 m avec des intercalations de calcaires à lamellibranches qui reposent en discordance sur le Miocène.



**Figure 13: Schéma montrant la discordance de la couverture miocène post-nappes sur le socle de SAB.**

## 2 Lithologie du secteur d'étude :

Dans le secteur d'étude affleure l'unité de l'ensemble granite orienté/encaissant. Selon (Saadallah A.2015 et Bettahar A.1990), elle est limitée au mur et au toit par des contacts cataclastiques avec les paragneiss. Cette unité est subdivisée en :

1. Le granite de SAB qui affleure le long de la ligne de crête et sur les hauteurs des flancs Nord et Sud du massif,
2. Les schistes à biotite qui constituent l'encaissant du granite, affleurant en auréole discontinue autour du granite,
3. Les cornéennes provenant du métamorphisme de contact des schistes encaissants à proximités avec le granite,
4. Les blastomylonites en continuité avec les schistes à biotite, affleurant sur le versant Sud en position inférieur,
5. Les micaschistes à biotite et grenat avec des marbres affleurants sur le versant Sud du massif de SAB. Ils constituent la base de la nappe de SAB.

Cette unité de SAB est prise en « sandwich » par les paragneiss affleurant sur le versant Nord de ce massif avec une continuité cartographique qui le referme à l'extrémité Est du massif de SAB, (Figure 14).

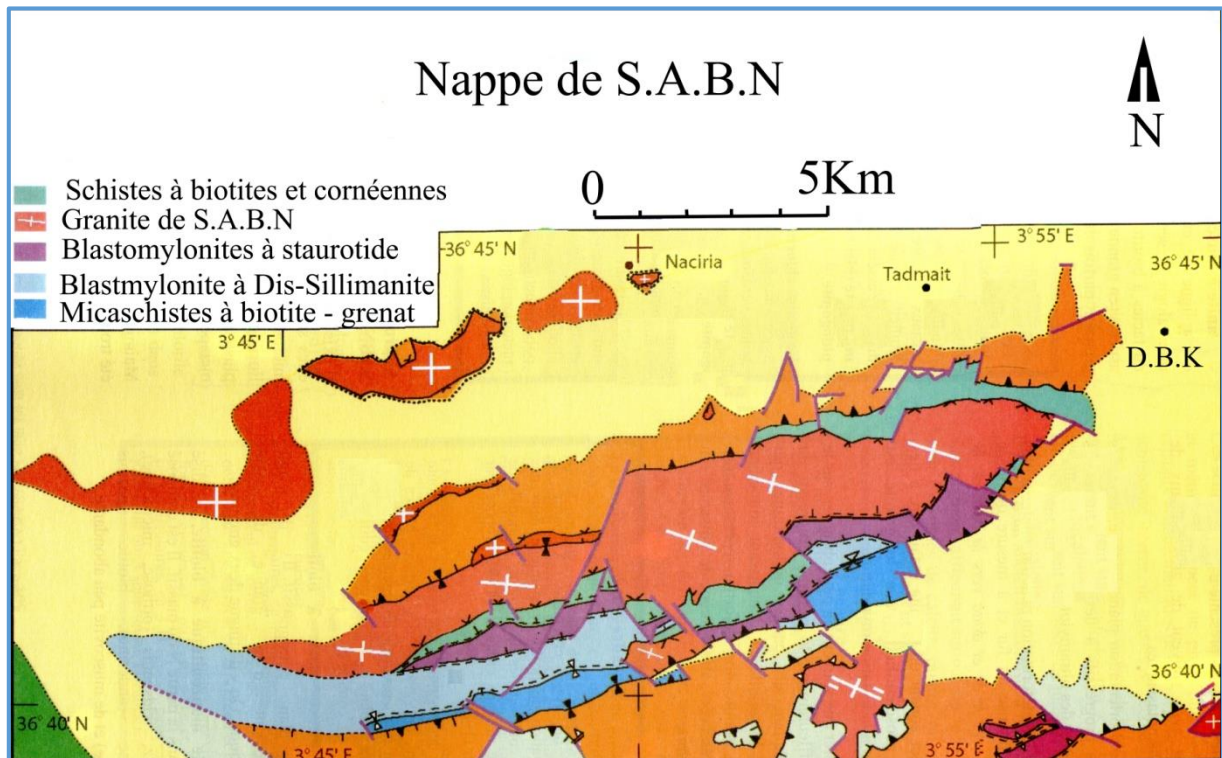


Figure 14: Carte géologique du massif de Sidi Ali Bounab (Saadallah A.2015).

Les formations rencontrées dans le secteur d'étude sont :

- Les schistes à biotite.
- Les calcaires cristallins (marbres à minéraux et marbres rubanés).
- Les gneiss fins.
- Le granite de SAB intrusif (non à peu déformé à enclaves et déformé).
- La pegmatite à tourmaline.
- Le miocène post-nappes.

### 2.1 La couverture miocène post-nappe :

Elle est formée par des bancs de marnes, des grès micro conglomératiques fossilifères, à ciment argileux, des grès micacés à matrice légèrement carbonatée et des conglomérats remaniant les éléments du socle (granite, schistes, marbres, gneiss). Le miocène est discordant, il recouvre toutes les formations métamorphiques du SAB, (Figure 15,16).



Figure 15: Marnes gréseuses (à 272 m d'altitude).



Figure 16: Grès microconglomératiques fossilifères (a) et renfermant des éléments de gneiss (b).

### 2.2 Les schistes à biotite :

Cette formation a été observée au sommet du massif SAB, elle est constituée par de schistes à biotites avec des passées de calcaires cristallins (marbres) et de quartzites. Ces schistes à biotites sont intrudés par les granites du SAB provoquant un métamorphisme de contact caractérisé par la présence de minéraux de talc.

Les schistes à biotite à première vue ressemblent à des schistes satinés type Ain El Hammam, si ce n'est la présence remarquable de minéraux de biotite, (Figure 17,18).



**Figure 17: Schistes plissés et broyés.**

Du point de vue macroscopique, ils sont massifs, de couleur sombre, constitués par des lits en feuillets renfermant des lentilles de quartz d'exsudation et recoupés par des filons de quartz. Sur le plan minéralogique, ils sont composés des minéraux essentiels de biotite, de la muscovite (de très petites dimensions), du quartz et des minéraux accessoires, tels que : le chlorite, le graphite, le grenat, minéraux opaques.



**Figure 18: Schiste à biotite.**

Les observations au microscope montrent que ces schistes sont constitués essentiellement de quartz très abondants, de biotites souvent altérées en chlorite et de minéraux opaques.

**Quartz** : il se présente en petites plages à couleur blanche à extinction roulante. Il est étiré dans le plan de foliation.

**Biotite** : se présente sous forme de grandes plages, ou elle apparaît en petites paillettes montrant une extinction ondulante en LPNA, la biotite est d'une couleur brun foncé à presque incolore, en LPA, elle polarise dans les teintes du 2<sup>ème</sup> au 3<sup>ème</sup> ordre.

**Chlorite** : est sous forme de plages fantômes, elle polarise dans les teintes du 2<sup>ème</sup> au 3<sup>ème</sup> ordre.

**Séricite** : elle se présente en petits grains associés au quartz ; elle est de couleur bleu clair en LPA par fois elle remplit les fractures (Figure 19, 20).

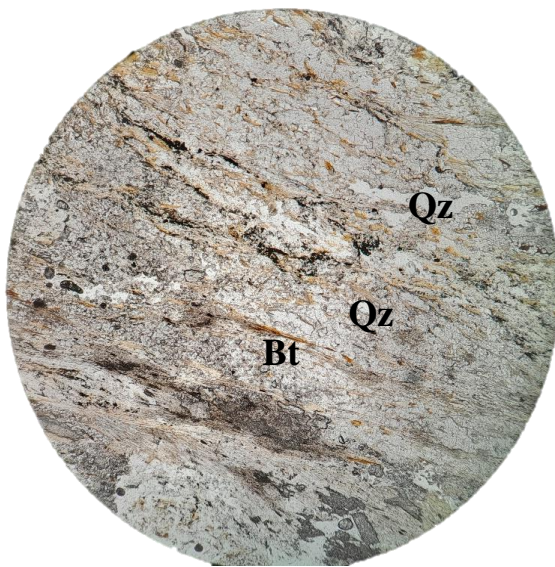


Figure 20: Schiste au microscope Gr4\*10  
LPNA



Figure 19: Schiste au microscope Gr4\*10  
LPA

### 2.3 Les calcaires cristallins (marbres) :

Les calcaires cristallins affleurent dans plusieurs endroits, généralement en intercalation dans les schistes à biotite et dans les gneiss. On distingue deux types de marbres : les marbres à minéraux et les marbres rubanés.

- **Marbres à minéraux :**

Ils affleurent sous forme de grands bancs métriques en intercalation dans les gneiss oillés près de la source Ifri. Ces calcaires cristallins sont riches en minéraux (micas, graphite et pyrite, (Figure 21).



**Figure 21:Marbre à minéraux**

L'étude microscopique montre qu'ils sont constitués essentiellement de calcite en cristaux équi-granulaires, de quelques cristaux de quartz, de la phlogopite ainsi que des oxydes (Figure 22,23).

**Calcite** : Elle est le minéral le plus abondant, se présente en cristaux automorphes bien cristallisée, présentant des macles polysynthétiques caractéristiques et des formes rhomboédriques. On observe une deuxième génération de calcite tardive incolore limpide en grande taille dans les fractures. En LPNA : la calcite est incolore, en LPA : elle polarise dans les teintes du 1<sup>er</sup> ordre (gris clair).

**Quartz** : il est moins abondant, automorphe en petits grains de tailles variables, il appartient souvent à la phase détritique, mais on note une deuxième génération de quartz tardif dans les fissures.

**Phlogopite** : Elle a un aspect allongé de couleur claire (ocre-jaunâtre) avec des clivages parallèles ; avec un habitus de la biotite. En : LPNA : incolore, en LPA : verte.

**Oxydes** : sont presque dominants, ils sont de couleur noir.

On remarque une foliation de calcite et phlogopite.

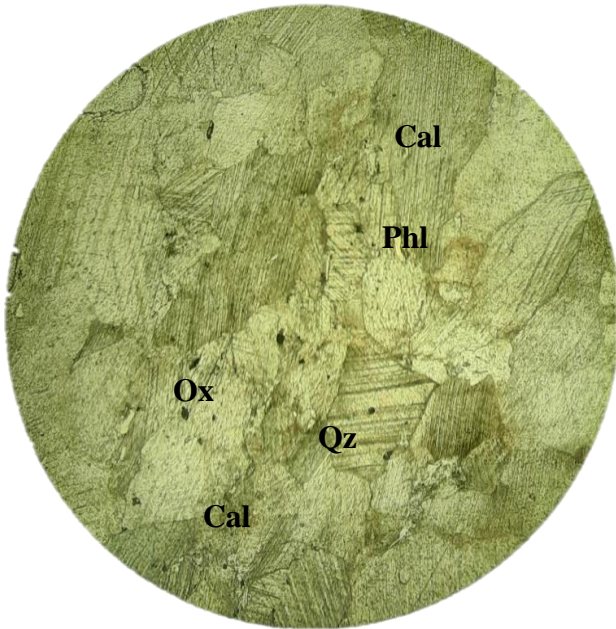


Figure 22:Marbre a minéraux au microscope Gr4\*10 LPNA.

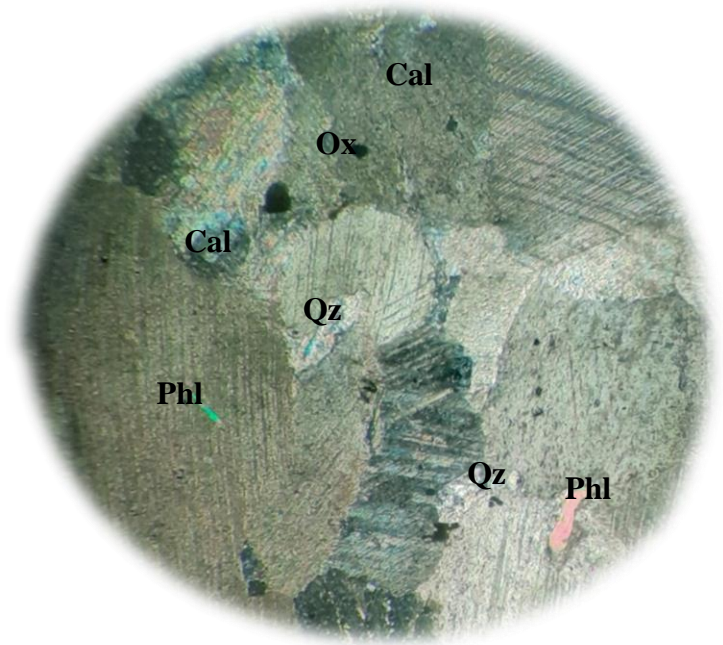


Figure 23:Marbre a minéraux au microscopeGr4\*10 LPA.

- **Marbres rubanés :**

Ils se présentent en petits bancs centimétrique à décimétriques, bien cristallisés avec des niveaux clairs et des niveaux sombres (riche en minéraux opaques), (Figure 24).

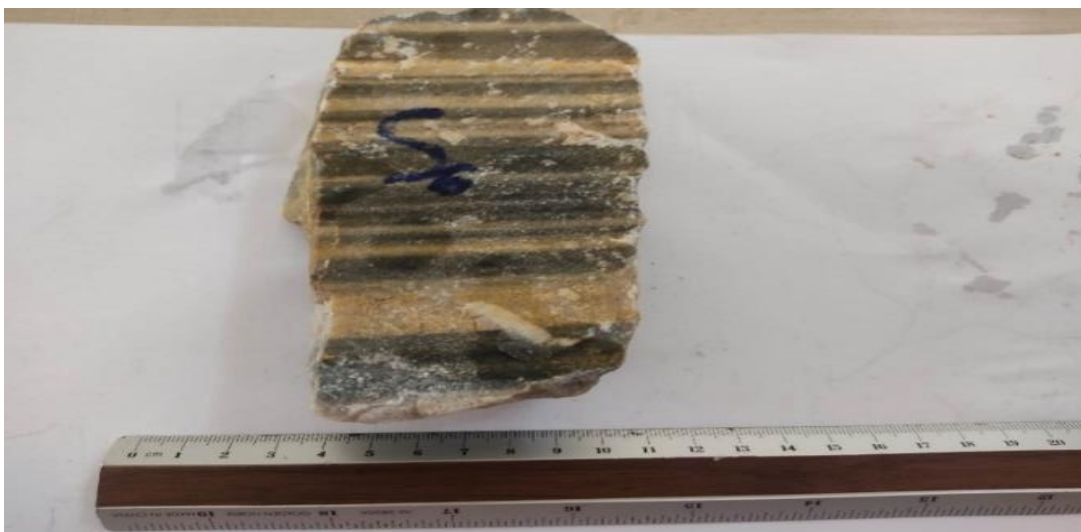
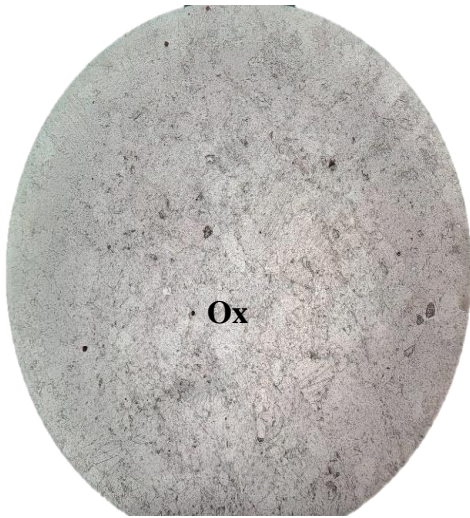
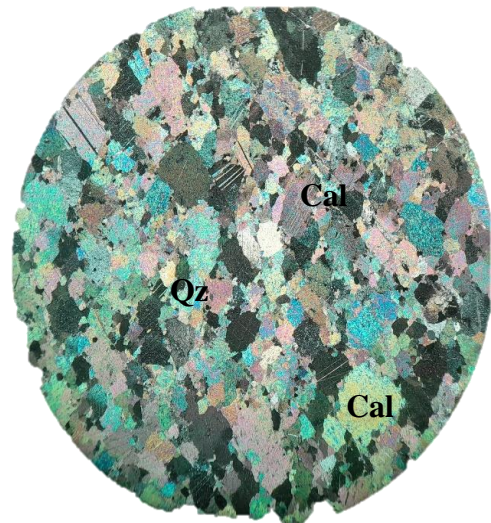


Figure 24:Marbre rubané.

Ils sont constitués de gros cristaux de calcite, de quelques grains de quartz et des oxydes (Figure 25,26).



**Figure 26:Marbre rubané au microscope Gr4\*10 LPNA.**



**Figure 25:Marbre rubané au microscope Gr4\*10 LPA.**

### 2.4 Les gneiss fins :

Ils affleurent dans plusieurs endroits, se présentent en gneiss quartzo-micacés, fins et sont souvent sous forme d'intercalation dans les schistes à biotite.

Ils se présentent en bancs massifs de 20 à 30 centimètres, finement lités, de teinte gris sombre (micas noir) à gris clair (quartz et FK), (Figure 27).



**Figure 27: Gneiss quartzeux.**

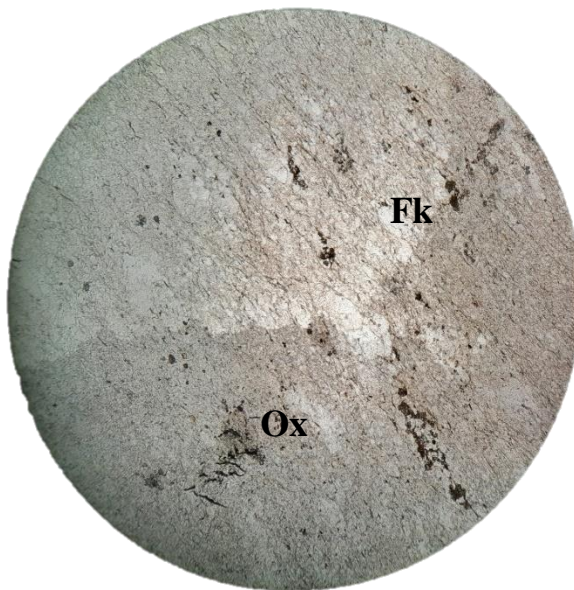
L'étude des lames minces nous a permis de distinguer la composition minéralogique suivante : le quartz, feldspath, la biotite, la muscovite et la présence d'oxydes, (Figure 28,29).

**Quartz** : ils se présentent en cristaux xénomorphes de tailles variables étirés dans le plan de foliation et forme avec les feldspaths les yeux de gneiss.

**Feldspath** : Ces derniers se présentent sous forme de cristaux automorphes maclés.

**Biotite** : elle se présente en cristaux automorphes de tailles moins que celle de la muscovite, elle cristallise soit dans le plan de foliation, soit elle ne présente aucune direction préférentielle.

**Muscovite** : elle est très abondante, se présente en paillettes de tailles variables et souligne le plan de foliation.



**Figure 29: Un gneiss fin au microscope Gr4\*10 LPNA.**



**Figure 29: Un gneiss fin au microscope Gr4\*10 LPA.**

### 2.5 Granite de SAB :

Les granites de SAB affleurent dans de nombreux endroits, ils sont souvent très déformés et altérés au contact des accidents et parfois moins déformés renfermant des enclaves basiques observé dans la grotte près de la source Ifri (Figure 30).

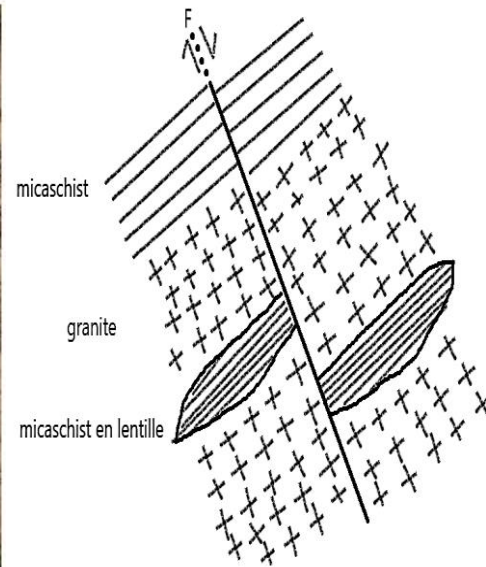


**Figure 30: Enclave basique (magmatique) dans le granite.**

Ce granite est intrusif et recoupe les micaschistes, entraînant un métamorphisme de contact, matérialisé par de la pyrrophyllite (talc) (Figure 31). De nombreuses enclaves de micaschistes à biotite sont également observées dans ce granite déformé (Figure 32).



**Figure 31: Schistes recoupés par des granito-gneiss broyés (à 727 m d'altitude) matérialisé par de la pyrrophyllite (talc)(a).**



**Figure 32: Enclave de micaschistes dans les formations granitiques (à 895 d'altitude).**

Ce granite déformée à biotite montre généralement trois minéraux cardinaux qui se présentent comme suit (Figure 33) :

- Minéral noir brillant (Micas) : La biotite.
- Minéral blanc transparent vitreux : Le quartz.
- Minéral beige : Le feldspath.

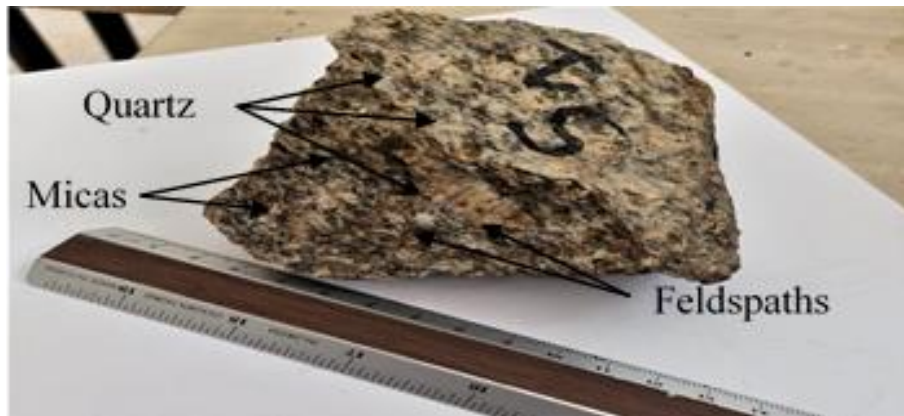


Figure 33: Granite déformé à biotite.

L'observation microscopique, révèle les constituants suivants : feldspath (microcline), quartz, muscovite, et biotite, (Figure 34, 35).

Ces minéraux sont bien agencés ce qui constitue une texture équante, (Bouhadad 1989).

**Quartz** : se présente en cristaux xénomorphe montrant une extinction ondulante due à la tectonique. En LPNA : le quartz est incolore, se présente sous forme de plage, en LPA : il polarise dans les gris clairs et blancs du 1<sup>er</sup> ordre.

**Biotite (Micas noir)** : Elle est relativement rare dans la roche ou elle apparaît en petites paillettes montrant une extinction ondulante et se présente en LPNA : la biotite est d'une couleur brun foncé à presque incolore, en LPA : elle polarise dans les teintes du 2<sup>eme</sup> au 3<sup>eme</sup> ordre.

**Muscovite (Micas blanc)** : la muscovite se présente soit en grandes paillettes soit en filets associés au quartz. En LPNA : la muscovite est incolore, en LPA : les teintes de polarisations sont très vives (jaunâtre au verdâtre).

**Microcline (Feldspath)** : apparaît en grandes plages automorphes, se présente en deux clivages, en LPNA : Elle est incolore, en LPA : elle polarise dans le gris clair du 1<sup>er</sup> ordre.

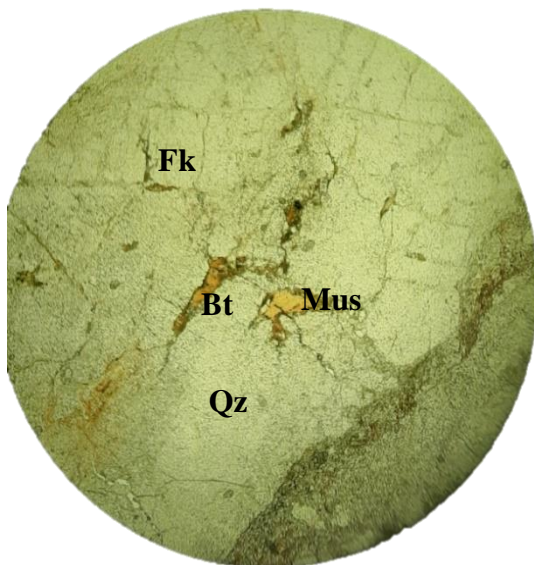


Figure 34: Granite déformé à biotite au microscope, Gr : 4\*10 LPNA.

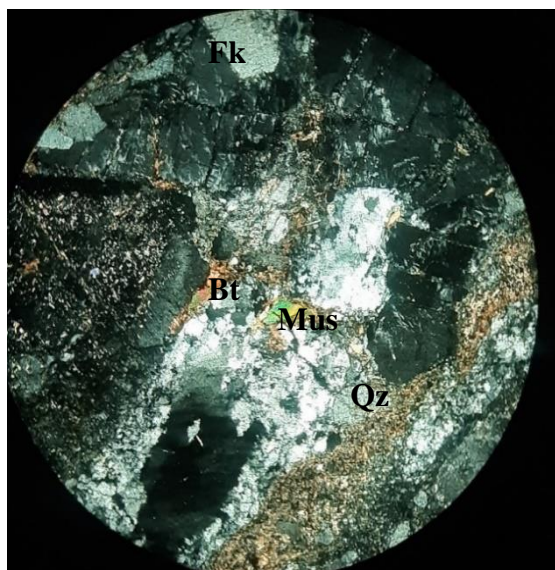
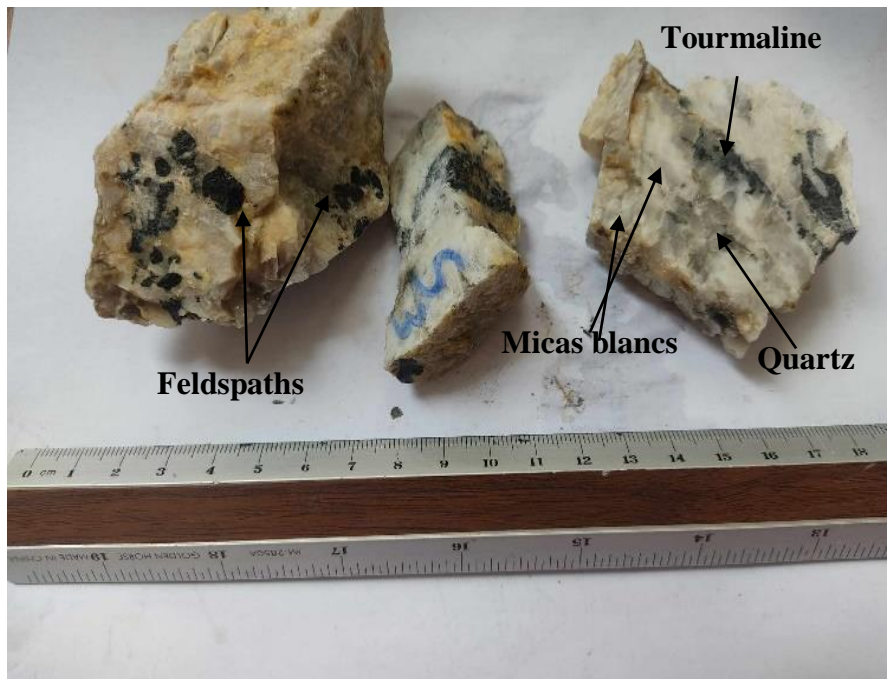


Figure 35: Granite déformé à biotite au microscope, Gr : 4\*10 LPA.

### 2.6 Pegmatite :

La pegmatite accompagnant le granite de SAB est souvent déformée et présente des minéraux en grands cristaux centimétriques de quartz, muscovite, feldspaths potassiques et tourmaline noires (Figure 36).



**Figure 36: Pegmatite a tourmaline.**

Les pegmatites au microscope présentent une texture pegmatitique à grands cristaux de quartz, muscovite, biotite, feldspath potassique, tourmaline (Figure 37,38,39,40).

**Quartz** : Il est présent et il est de forme xénomorphe à extinction roulante. Il se trouve souvent fracturé.

**Micas** : sont fortement présents, présentant un fort relief.

**Muscovite** : Elle est très abondante, elle se présente en baguettes allongées avec des clivages parallèles, teintes de polarisation de deuxième ordre elle est souvent déformée (plissés).

**Tourmaline** : elle se présente sous forme de prisme allongée avec un fort relief, elles sont de couleur brun, un pléochroïsme inverse net, elle est présente au niveau des zones fracturées, la teinte de polarisation est du deuxième à troisième ordre.



Figure 39: Pegmatite à tourmaline au microscope Gr4\*10 LPNA.

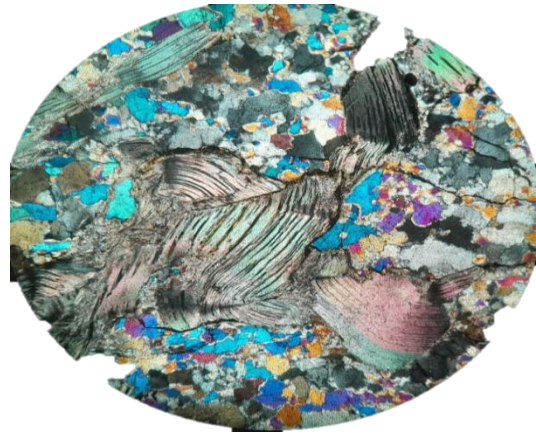


Figure 38: Pegmatite à tourmaline au microscope Gr4\*10 LPA.

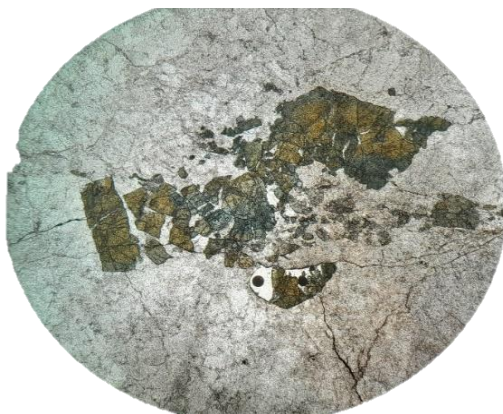


Figure 40: Pegmatite à tourmaline au microscope Gr4\*10 LPNA.

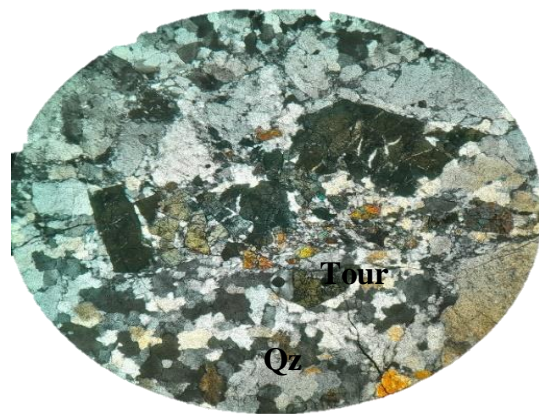


Figure 37: Pegmatite à tourmaline au microscope Gr4\*10 LPA.

### 3 La tectonique :

Le massif de Sidi Ali Bounab a connu deux types de déformations : ductile et cassante, (Bettahar. A, 1990).

#### 3.1 La déformation ductile :

Elle est marquée par la schistosité et foliation, les linéations minérales et d'allongement, les plissements et les plans de cisaillement.

D'après Bettahar (1990), on remarque trois directions moyennes de la schistosité dans les formations des différentes unités du massif de SAB.

- La direction N 050 :

Elle est mise en évidence dans une partie de l'encaissant du granite orienté (schistes à biotite sud et cornéenne) et plonge de 20 à 30° vers le NW. Elle représente le plan de cisaillement majeur souligné par le plan de la bande blastomylonitique.

- La direction N 070 :

Elle est donnée par tout l'encaissant et elle correspond également à l'orientation morphologique du massif de SAB.

- La direction N 090 :

Elle est matérialisée dans le granite orienté, dans les coréennes, dans l'unité des micaschistes et dans l'unité des paragneiss nord. Elle plonge de 40 à 50° vers le N.

L'unité des paragneiss sud présente une foliation de direction N 050 plongeant vers le SE.

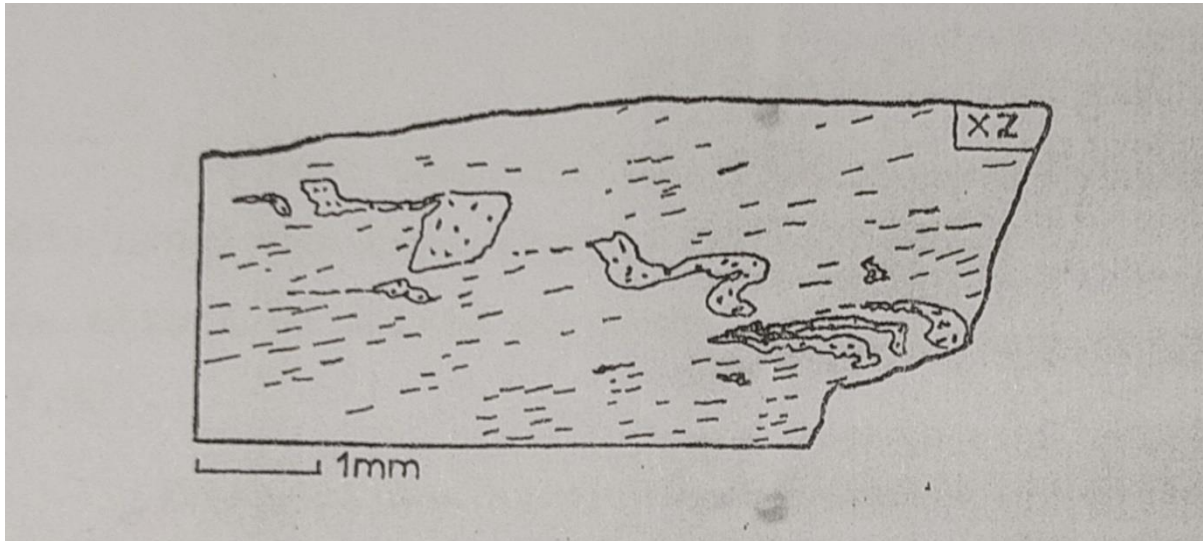
### La linéation :

Est présente dans l'ouest et le Nord - Nord-Ouest. Le granite orienté et la bande blastomylonitique donnent une bonne représentation de linéation d'étirement et minérale.

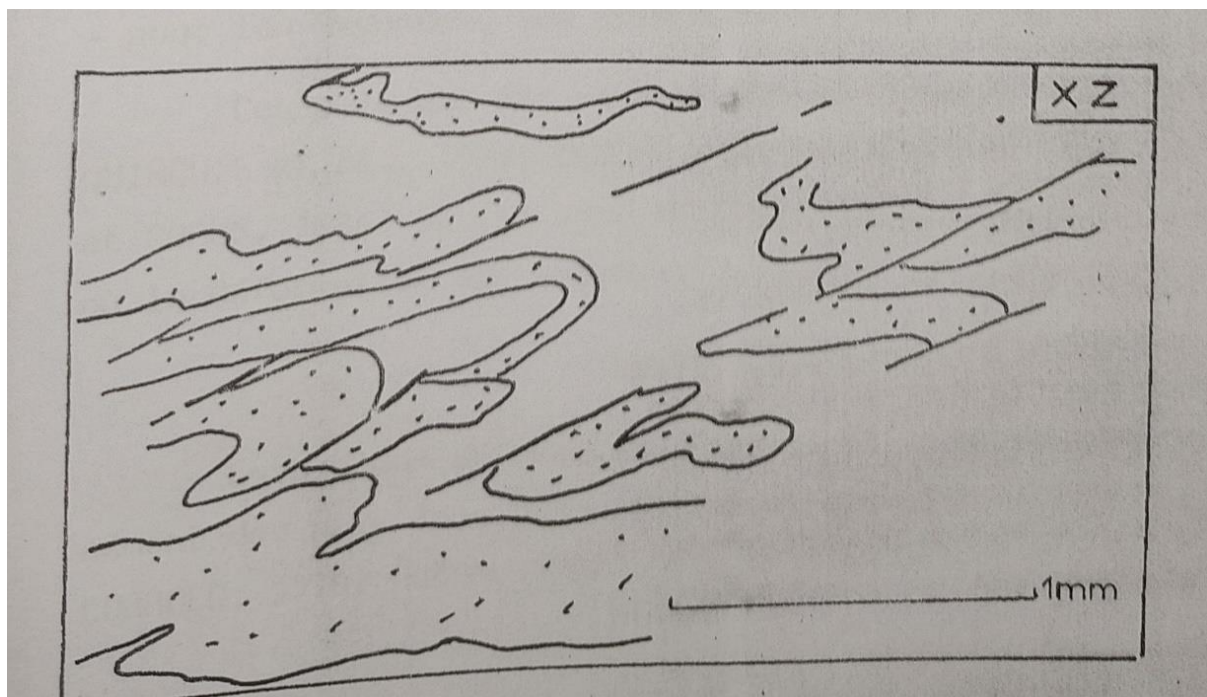
### Les plis :

Rencontrés dans toutes les formations sont de trois types :

- Des plis ont axe oblique à perpendiculaire à la linéation (plis de types « b »), (Figure 41 et 42).



**Figure 41: Plis de type "b" boudinés et cisailés dans les faciès des schistes à biotite (A.Bettahar)**



**Figure 42: Plis de type "b" cisailés dans les schistes à Biotite (A.Bettahar).**

- Des plis à axe parallèle à subparallèle à la linéation (plis de type « a »), (Figure 43).

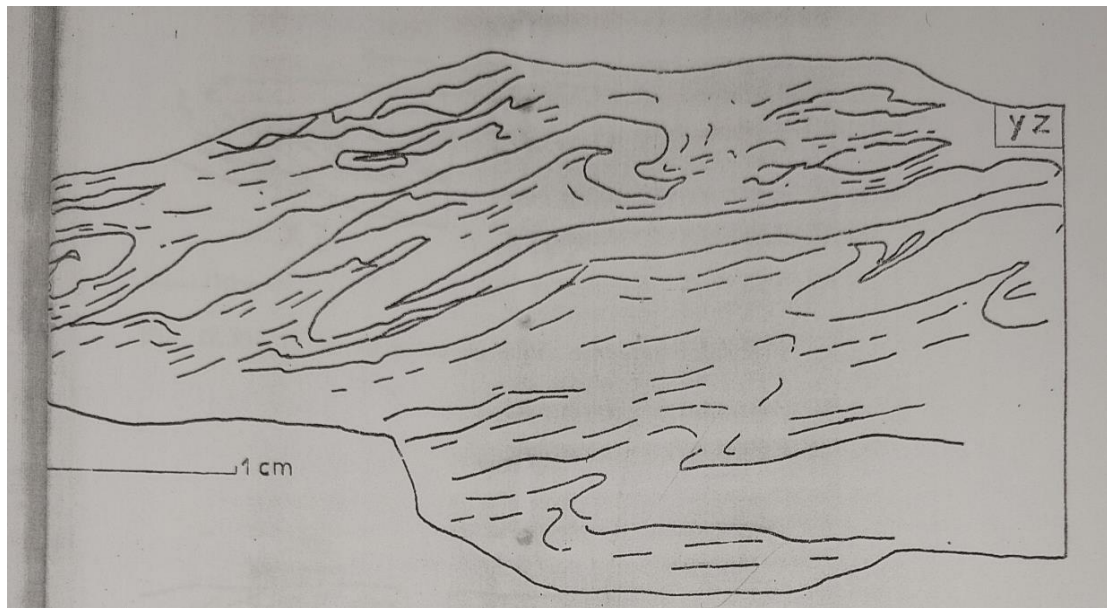


Figure 43: Plis de type "a" (A.Bettahar).

- Des plis en fourreau ou d'écoulement, (Figure 44).

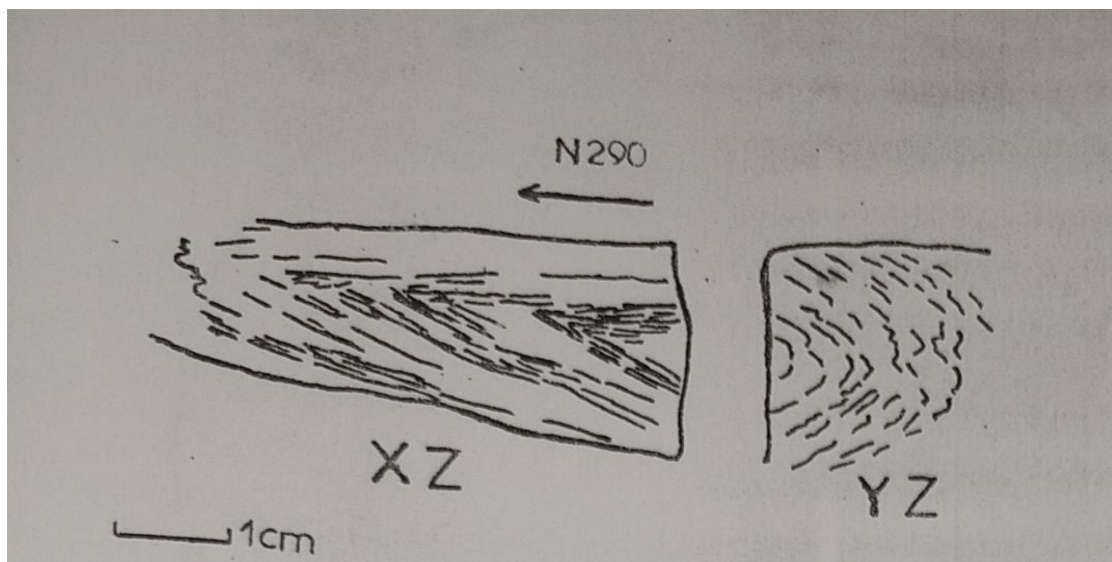


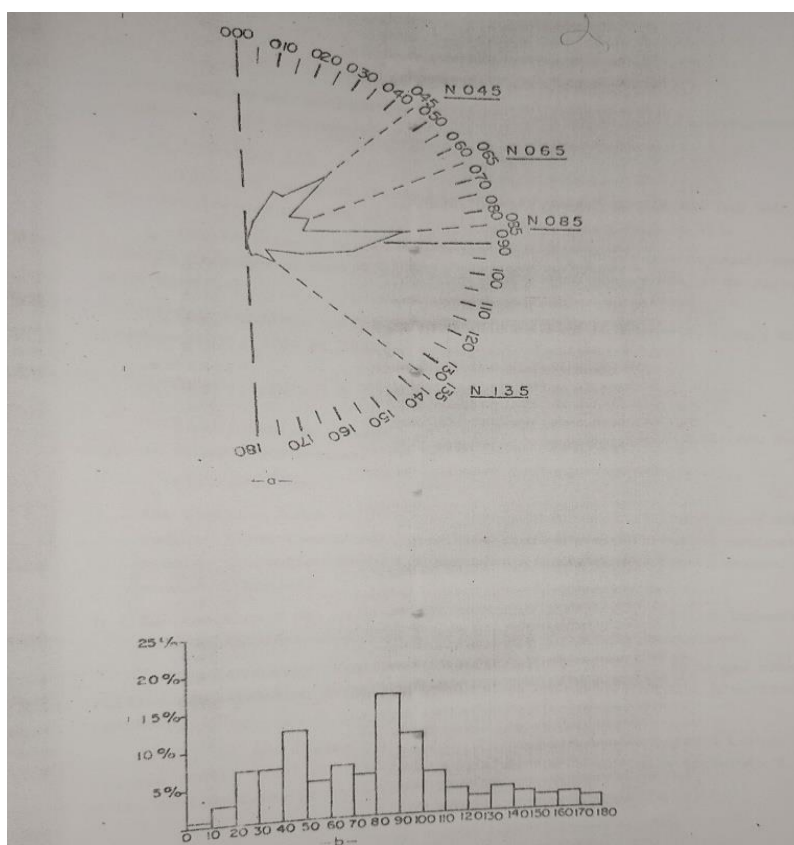
Figure 44: Plis en fourreau dans les schistes à biotite (A.Bettahar).

### 3.2 La déformation cassante :

Elle est représentée par des décrochements et des failles, affectant tout le massif de SAB ainsi que le miocène post-nappe.

Elle a été décrite par (Saadallah 1984, Caby et al 1986, Gani 1985-1988, Loumi 1989 et Benkerrou 1989).

D'après Bettahar (1990), l'analyse du diagramme en rose et de l'histogramme de la caractérisation statistique des populations de fractures dans le massif de SAB donne quatre familles de direction : N045, N065, N085, N135 (Figure 45)



**Figure 45: Caractérisation statistiques des populations de fracture dans le massif de SAB, Gde Kabylie (Bettahar 1990).**

La déformation cassante se résume :

- Aux familles N065 et N085 qui représentent soit la trace d'une déformation ductile (synmétamorphique), soit la trace d'une déformation cassante synmiocène (formation du bassin miocène) à post-miocène (chevauchement du miocène post-nappe).
- Aux familles N045 et N135 qui représentent une déformation cassante et qui sont postérieures à la mise en place du Miocène post-nappe.

La compression tardive est responsable de la création de ces réseaux de failles conjuguées ou de la réactivation de certains familles d'accidents (Raymond, 1976).

### 4 Métamorphisme :

D'après (Bossiere 1980 et 1985, Caby 1982, Saadallah 1984, Gani 1988, Loumi 1987, Benkerrou 1989 en Grande Kabylie et Bouillin 1982, Djellit 1987, Mahdjoub 1989 en Petite Kabylie) ont révélé l'existence de trois types de métamorphisme :

- Un métamorphisme général qui affecte tout le massif de Sidi Ali Bounab, caractérisé par une basse pression et une moyenne à haute température du faciès d'amphibolite.
- Un métamorphisme de contact représenté par la cornéenne localisée soit au contact du granite orienté encaissant soit en enclaves dans le granite orienté.
- Un métamorphisme blastomylonitique localisé dans la bande blastomylonitique caractérisée par une haute pression et une température moyenne.

### 4.1 Age du métamorphisme :

Certains auteurs (Termier 1903, Ehrman 1928, Durand Delga 1955, Bossiere et Raymond 1972, Baudelot et Gery 1979, Peucat 1983, Bouillin 1984, Bouillin et al 1984) ont considéré que les âges des différents métamorphismes sont hercyniens et plus anciens.

### 5 Magmatisme :

Les analyses de l'origine des granites font conclure qu'il s'agit d'un granite de type S qui résulterait d'une fusion de matériel crustal qui a eu lieu à 15-25 km de profondeur et qui a cristallisé à 13-15 km de profondeur.

L'étude microscopique fait ressortir deux paragenèses (Saadallah.A, 2015) :

- Une magmatique comprenant quartz, feldspath potassique, plagioclase, biotite+/- muscovite.
- Une seconde soulignant la foliation avec quartz, muscovite 2 et biotite 2.

### 6 Conclusion :

Le massif de Sidi Ali Bounab est constitué essentiellement de formations métamorphiques (gneiss, schistes) et magmatiques (granites), qui sont en discordance avec la couverture miocène post nappes (grès et marnes).

Les différentes paragenèses montrent un métamorphisme prograde allant des faciès schiste vert à l'amphibolite faciès. Cette évolution a été également observée :

- Continuité entre les paragneiss et les micaschistes dans la région de Beni-Douala (Louni, 1989),
- Continuité ente les micaschistes et les schistes satinés dans les régions de Beni-Douala et Oued Ksari (Louni, 1989 ; Benkerrou, 1989).

Cette région se caractérise par une tectonique développée et représentée par des déformations cassantes et parfois ductiles.

L'analyse microscopique des échantillons a révélé la présence de minéraux spécifiques dans chaque faciès, offrant des informations cruciales sur les conditions métamorphiques auxquelles ces roches ont été soumises. Chaque faciès, du granite à biotite déformée au marbre en passant par le gneiss, la pegmatite et les schistes, présente des caractéristiques uniques qui reflètent les processus géologiques complexes ayant façonné cette région au fil du temps.

Ces résultats fournissent un aperçu précieux de l'évolution géologique du massif de SAB et contribuent à une meilleure compréhension de la géologie de cette région.

**Chapitre 5 :**  
**Gitologie des indices du**  
**kaolin de SAB**

### 1 Introduction :

Parmi les substances naturelles solides, les plus abondantes, on trouve la matière argileuse, souvent disponible à ciel ouvert et peu onéreuse. Elle a fait l'objet de nombreuses études, fondamentales et appliquées, pour son intérêt scientifique (paléogéographie, paléoclimat) et pour ses propriétés spécifiques.

L'abondance naturelle et la disponibilité immédiate des argiles expliquent leurs grandes utilisations à travers les temps. Au début du 18<sup>ème</sup> siècle, le concept d'argile a été évalué à partir des premières analyses chimiques réalisées sur le Kaolin ; c'est juste au 20<sup>ème</sup> siècle et grâce aux travaux effectués en diffraction de rayons X et en granulométrie que les chercheurs ont pu donner la définition correcte de l'argile.

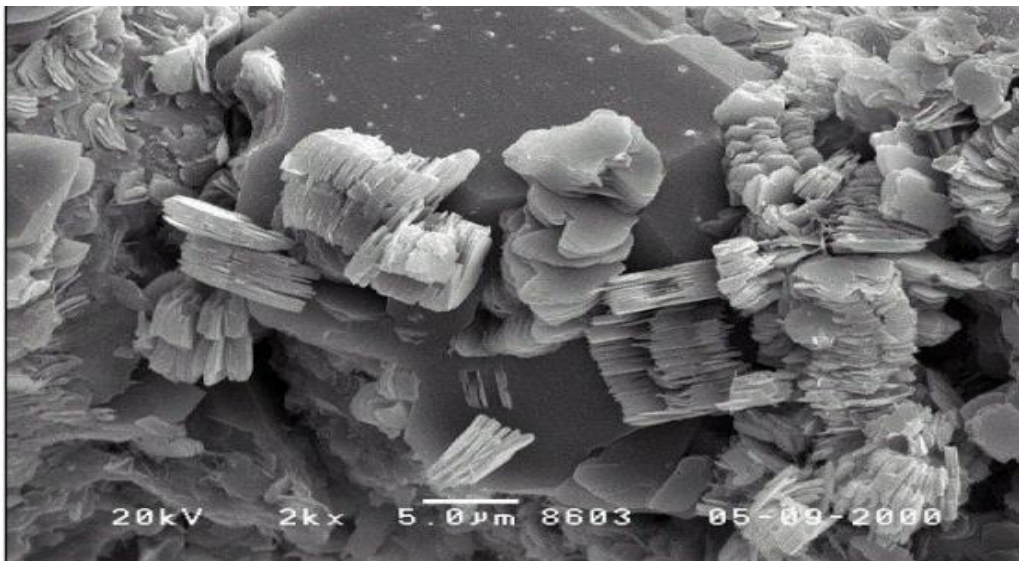
### 2 Généralités sur les argiles :

#### 2.1 Définitions :

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

Les argiles sont des matières premières naturelles utilisées depuis l'antiquité dans de nombreux domaines. Ces matériaux argileux constituent souvent des mélanges naturels complexes des minéraux dont la granulométrie et les propriétés physico-chimiques sont très variables (Belamri, 2008).

Les argiles sont des minéraux se présentant sous forme de feuillets à l'échelle microscopique, d'où leur nom « phyllites » (Figure 46). Ils appartiennent donc, comme les micas au groupe des phyllosilicates. Chaque cristal est composé de quelques centaines de feuillets empilés, de taille nanométrique. C'est la structure du feuillet élémentaire qui caractérise l'espèce minérale. Chaque feuillet est composé de deux, trois ou quatre couches.



**Figure 46: Structure en feuillets des argiles observée au microscope électronique à balayage ( source: BRGM).**

Le terme « argiles » ne reflète pas totalement la nature cristallographique très particulière de ces minéraux. Dans les conditions normales de température et de pression, les argiles contiennent de l'eau dans leur structure, entre les feuillets. C'est la raison pour laquelle les minéralogistes ont développé le terme de « phyllosilicates hydratés » représentant mieux la nature de ces minéraux (Rastureau, 2011).

On a pour habitude de nommer « argiles » des minéraux qui ont certaines capacités comme le gonflement, la sorption de l'eau, ou encore le passage à l'état de boue. En réalité, de nombreux gisements sont constitués par des mélanges de minéraux dont les argiles que les spécialistes nomment « minéraux argileux » pour les distinguer de la roche. C'est par exemple le cas pour la distinction entre le kaolin (roche) et la kaolinite (minéral). Les roches argileuses sont donc constituées par une prédominance en minéraux argileux mais souvent en association avec plusieurs types d'argiles et d'autres minéraux.

### 2.2 Origines des argiles

Les minéraux argileux ne se forment pas dans les roches magmatiques ou métamorphiques associées à la géodynamique interne du globe. Ils sont associés à la géodynamique externe du globe et notamment aux roches sédimentaires, mais également aux altérites issues de l'altération. Donc, ils se forment à la surface de la croûte terrestre.

Les argiles sont des minéraux d'altération et détritiques issus de la réaction suivante :

Silicates parentaux (quartz, feldspath, pyroxène, amphiboles, etc.) + eau de percolation → silicates stables (quartz) ou incomplètement altérés (feldspath) + minéraux secondaires (minéraux argileux et hydroxydes de Fe et Al) + solutions enrichies en ions (Kornmann, 2005).

Suivant la roche-mère initiale (basique ou acide), les conditions climatiques (chaud et humide), et la topographie (cuvette ou sommet) qui commandent le drainage, différents types d'argiles vont se former (Kornmann, 2005).

Autrement dit ; l'argile est une roche sédimentaire meuble, imperméable, grasse au toucher, imbibée d'eau et qui peut être façonnée. Du point de vue géologique, l'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, aluminosilicates plus ou moins hydratés, eux-mêmes nommés argiles.

### 2.3 Les différents types d'argiles :

Les six premiers groupes sont constitués par des minéraux en feuillets (Tableau 1 et Figure 47) :

- **La kaolinite** : (kaolinite, halloysite, dickite et nacrite) sont des minéraux à deux couches. Une couche tétraédrique à cœur de silicium et une couche octaédrique à cœur d'aluminium. La formule chimique structurale est  $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{H}_2\text{O})_2$ .
- **Les illites** : (du nom de l'état américain de l'Illinois), sont des minéraux à trois couches constituées de trois couches d'octaèdres à cœur d'aluminium positionnées entre deux couches tétraédriques à cœur de silicium. La formule chimique structurale des illites est  $\text{KA}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3(\text{O}, \text{OH})_{10})$ .
- **Les smectites** : sont structurées du même schéma que les illites, soit trois couches. La formule chimique des smectites est  $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{22}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_n$ . Dans ce groupe, les feuillets sont minces et peu reliés entre eux, ce qui permet une association avec l'eau et la matière organique dans l'espace interfoliaire, qu'on appelle argile gonflante.
- **La bentonite** : est une argile colloïdale dont le nom vient de Fort Benton dans le Wyoming aux États-Unis. Connue aussi sous le terme de « terre à foulon », elle peut être considérée comme une smectite, essentiellement constituée de montmorillonite (Na, Ca

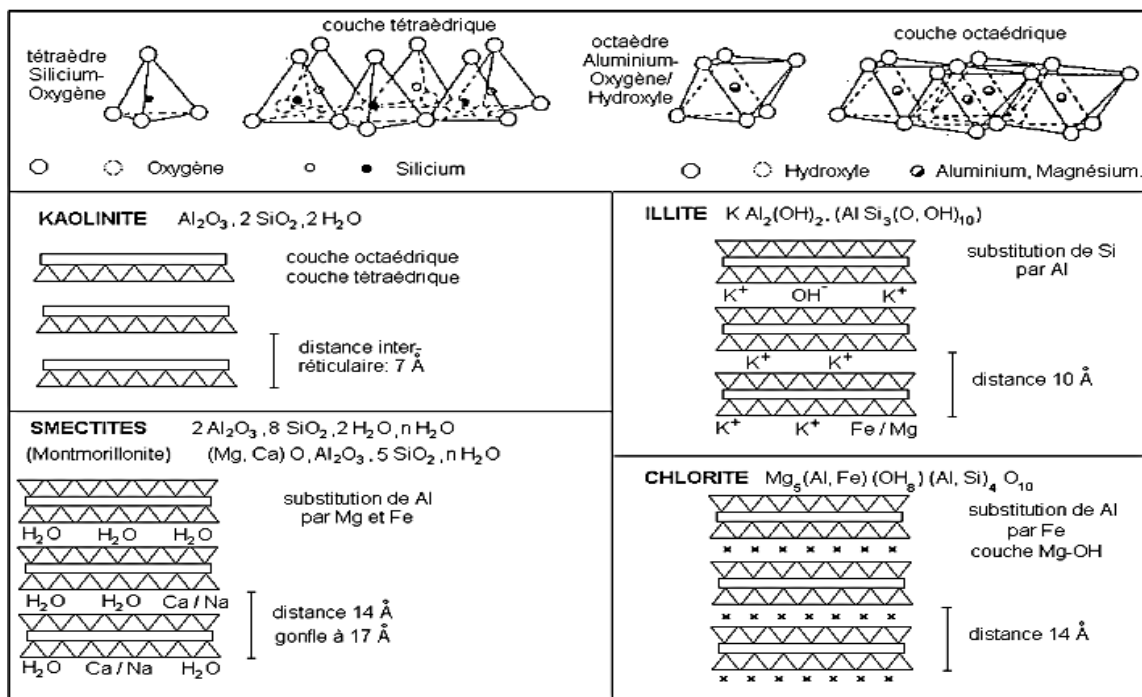
## Chapitre 5 : Géologie des indices du kaolin de SAB

) $0.33(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_n$  (80%), ce qui explique sa capacité de rétention d'eau.

- **Les chlorites** : (du grec chloros « vert-jaune pâle ou jaune clair », couleur du chlore à l'état gazeux). Ce sont les argiles vertes pour des emplois médicaux divers. Les feuillets sont étroitement reliés les uns aux autres par des groupements hydratés de magnésium et d'aluminium et de fer.
- **Les vermiculites** : tirent leur nom de leur aspect de petits vers, après chauffage (vermiculus, « petit vers » en latin). L'eau contenue entre leurs feuillets peut être éliminée par chauffage à plus de 300°C. Ce sont les argiles utilisées dans le bâtiment comme isolants.

Espèce minérale	Formule chimique	Nombres de couches	Taille de l'espace interfoliaire	Type
Kaolinite	$\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{H}_2\text{O})_2$	Minéraux à 2 couches	7 Å	non gonflante
Illite	$\text{KAl}_2(\text{OH})_2 \cdot (\text{AlSi}_3(\text{O}, \text{OH})_{10})$	Minéraux à 3 couches	10 Å	non gonflante
Smectite ou montmorillonite	$\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{22}(\text{H}_2\text{O})_2 (\text{H}_2\text{O})_n$	Minéraux à 3 couches	10 et 17,5 Å	gonflante
Bentonite	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_n$	Minéraux à 3 couches		gonflante
Chlorite	$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Minéraux à 3 couches	14 Å	gonflante
Vermiculite	$(\text{Mg}, \text{Ca})_{0.7}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Minéraux à 2 couches	14 à 10 Å	gonflante

**Tableau 1: Les différents types d'argiles et leurs caractéristiques (thèse, LARABA Mohammed, 2022).**



**Figure 47: Structure cristallographique des minéraux argileux (Beauchamp, 2005).**

### 2.4 Utilisations des argiles :

Aujourd'hui, l'argile reste un des premiers matériaux terrestres faisant partie de nombreuses compositions : briques et tuiles ; carrelages et céramiques industrielles en porcelaine, faïence et terre cuite. On réalise aussi des adsorbants, des filtres, des boues de forage, des ciments et des charges de nombreux produits de l'industrie, la cosmétique ou la médecine, de la droguerie et de la pharmacie. Simultanément, l'argile est un composant essentiel des terres agricoles et est donc un composant indispensable à la vie.

## 3 Généralités sur le kaolin :

### 3.1 Définition :

Le kaolin est une corruption du mot chinois "kauling" qui signifie haute crête. Ce type d'argile a été exploité à l'origine dans un terrain granitique altéré à proximité d'un village appelé Kauling (Chen et al. 1997).

Le kaolin est une roche qui est composée en grande partie de minéraux du groupe du kaolin qui sont la Kaolinite, l'Halloysite, la Dickite et la Nacrite ( $d = 7 \text{ \AA}$ ). Le minéral le plus commun des kaolins est la kaolinite, résultant de la décomposition des granites et des feldspaths par hydrolyse sous un climat chaud et humide, ou par une action hydrothermale. Les autres membres du groupe du kaolin sont relativement rares, bien que quelques occurrences à Halloysite (Murray et al. 1977), à Dickite (Choo, 2004), et à Nacrite (Hanson et al. 1981) soient, ou aient été, exploités.

### 3.2 Groupes de Kaolin :

- **La kaolinite** : La kaolinite est un phyllosilicate, qui est composée d'un empilement de feuillets, chaque feuillet est composé de l'association de deux couches différentes, nommée couche tétraédrique siliceuse et couche octaédrique alumineuse. La kaolinite a pour formule chimique :  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ .
- **L'Halloysite** : L'halloysite est formée de feuillets de kaolinite séparés par des couches d'eau. La formule chimique de l'halloysite est la suivante :  $(\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ . La distance de grand espacement réticulaire devient  $10 \text{ \AA}$  (Figure 48), mais par chauffage, l'eau peut être chassée, et on retrouvera celle de la kaolinite  $7.2 \text{ \AA}$ . Cette hallowysite déshydratée s'appelle la métahalloysite. L'hallowysite est liée aux gisements hydrothermaux et parfois sédimentaires.

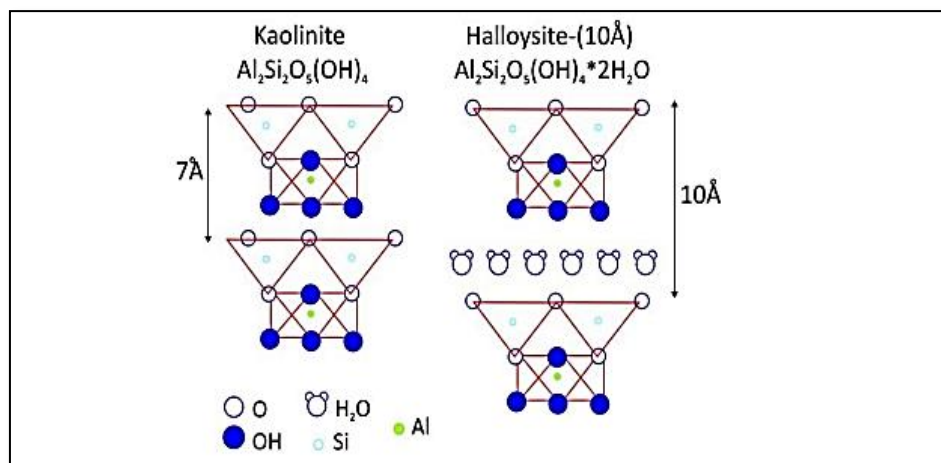
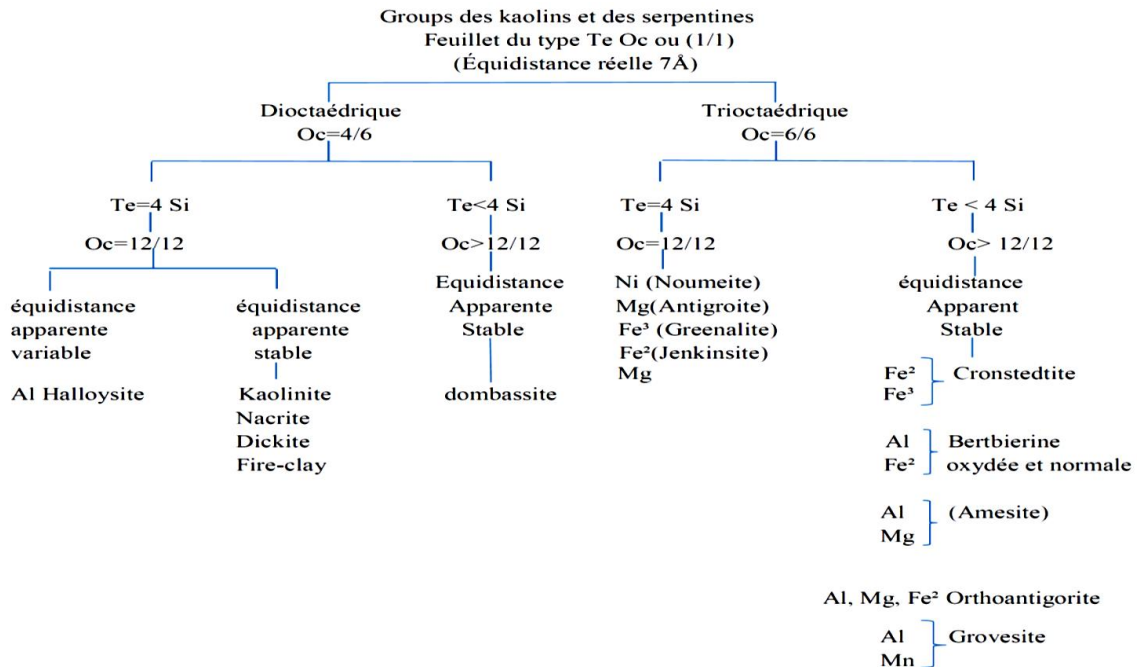


Figure 48: Structure cristalline de la kaolinite et de l'hallowysite (Blanca Bauluz Lazaro, 2015).

## Chapitre 5 : Géologie des indices du kaolin de SAB

- **Dickite et Nacrite** : Ces deux minéraux ont une composition chimique identique à celle de la kaolinite. Ils n'en diffèrent que par la structure de leur réseau. Alors que la kaolinite est reconnue comme triclinique, la dickite est monoclinique et la nacrite est monoclinique presque orthorhombique. Ces minéraux sont rares et généralement liés aux gîtes hydrothermaux.
- **Les serpentines** : Le minéral des serpentines est un hydrosilicate de magnésie, dont la structure est voisine de celle de la kaolinite. Sa formule chimique se déduit de celle de la kaolinite, par remplacement de 2Al par 3Mg dans la couche octaédrique. C'est l'homéotype trioctaédrique magnésien de la kaolinite.

Le (Tableau 2) représente la classification générale des kaolinites et des serpentines.



**Tableau 2 : Classification générale des kaolinites et des serpentines ( d'après G. Millot, 1964).**

Type	Groupe	Sous-groupe	Espèces	Formules
1 :1	Kaolinite	Kaolinites	Dickite, Nacrite, Kaolinite Métalhalloysite, Halloysite	$Al_2 Si_2 O_5(OH)_4$ $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 4H_2O$
2 :1	Smectites	Smectites dioctaédriques Smectites trioctaédriques	Montmorillonite Saponite	$(Al_{1,67}Mg_{0,33}) Si_4O_{10}$ $(OH)_2$ $Mg_3(Si_3,67Al_{0,33}) O_{10}$ $(OH)_2$
2 :1	Micas	Micas dioctaédriques Micas trioctaédriques	Muscovite Phlogopite	$K Al_2 (Si_3Al) O_{10} (OH)_2$ $K Mg_3 (Si_3Al) O_{10} (OH)_2$
2 :2 :1	Chlorite	Chlorite dioctaédriques Chlorite trioctaédriques	Sudoite Espèces différentes	$Al_4 (Si,Al)_4 O_{10} (OH)_8$ $(Mg,fe...)_6 (Si,Al)_4 O_{10}$ $(OH)_2$

**Tableau 3: Classification des principaux types de minéraux argileux(thèse, LARABA Mohammed, 2022).**

### 3.3 Propriétés des kaolins industriels :

Les utilisations du kaolin sont régies par plusieurs facteurs comprenant la composition minéralogique et les propriétés physiques et chimiques de l'ensemble, celles-ci étant déterminées par les conditions géologiques dans lesquelles le kaolin a été formé ;

Les caractéristiques importantes concernant les applications des minéraux argileux sont les suivantes :

La nature et les dimensions des particules, leurs formes, la cristallinité, la chimie globale et celle de la surface des cristaux, la surface spécifique, la charge de la surface et de la bordure. Et d'autres propriétés qui en découlent, spécifiques aux applications particulières, telles que la viscosité, la plasticité, la résistance mécanique en vert, la résistance mécanique d'échantillon sec et cuit, l'absorption et l'adsorption, l'abrasivité et le pH.

### 3.4 Couleur :

Le kaolin a habituellement une couleur blanche ou proche du blanc. Cependant la plupart du temps, le kaolin est associé à une quantité mineure de minéraux auxiliaires contenant des éléments de transition tels que le fer et le titane dans des oxydes, hydroxydes, sulfures et carbonates, on parle alors de fer libre (Lima de Sousa 2005, Delineau 1994). Le fer peut être présent dans le réseau de la kaolinite, on parle alors de fer structural.

La couleur donnée au kaolin blanc par le couple fer-titane compromet son application dans des industries de la peinture et du papier. Une connaissance de l'état du fer et du titane est très importante pour choisir la méthode de traitement (Chandrasekhar et al. 2006).

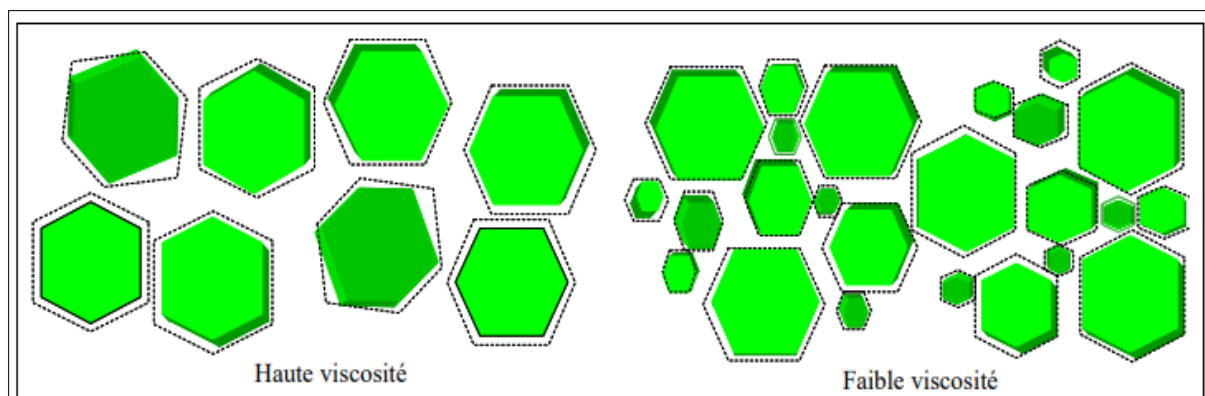
Le broyage peut changer les propriétés optiques du kaolin (Breen et al. 2007, Reynolds et Bish 2002, Kalmeneau et al. 1999, Kristof et al. 1993).

### 3.5 Forme et taille :

Les cristaux de kaolinite sont plats en forme de minces feuillets de  $\sim 2\mu$  d'épaisseur et quelques microns de diamètre, pseudo-hexagonaux, quelques fois en forme de livres ou de piliers vermiculés.

Différentes mesures peuvent être utilisées. Le paramètre utilisé pour quantifier la morphologie d'un kaolin a varié au fil du temps (Wilson l. 2006) : en 1980 il s'agissait de l'épaisseur des cristaux, mais dès 1990 l'aspect ratio (rapport du diamètre à l'épaisseur) est devenu plus important.

La distribution granulométrique des particules joue un rôle important sur la viscosité des kaolins en suspension (Figure 49). Aujourd'hui, le rapport de  $d_{75}/d_{25}$  est utilisé comme caractère industriel de la morphologie des kaolins traités.



**Figure 49: Schéma des particules de kaolin, (les lignes pointillées représentent l'eau absorbée) ; (thèse, CHOUAFA Mohamed, 2016).**

### 3.6 Dureté :

La kaolinite est tendre avec une dureté entre 1 et 2 (de ~1.5) sur l'échelle de Mohs ce qui signifie que les kaolins relativement purs ne sont pas abrasifs. Cette propriété est très importante dans beaucoup d'applications industrielles. Puisque le kaolin est plus tendre que presque tous les matériaux avec lesquels il entre en contact, l'usure et l'abrasion de l'équipement sont minimal (Murray 1999). La présence de quartz résiduel dans un kaolin industriel modifie bien évidemment ce paramètre.

## 4 Géologie du kaolin et des argiles kaoliniques :

La kaolinite comme tout minéral argileux se forme aux dépens des roches de la croûte terrestre, au cours d'un processus d'altération physico-chimique qui est l'hydrolyse des cristaux de feldspath et de certains minéraux silicatés ferromagnésiens comme la biotite ; de formule chimique  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ .

Le kaolin résulte essentiellement de l'altération de roches riches en feldspaths, principalement des roches acides (granite, granodiorite, pegmatite). Les produits de cette altération restent sur place : c'est le « kaolin résiduel », aussi appelé « kaolin primaire ». Dans le cas où les produits d'altération subissent un transport puis un dépôt, on parle de « kaolin sédimentaire » ou « kaolin secondaire ». Ces derniers sont généralement plus riches en kaolinite (jusqu'à 85-95 %) que les gisements primaires, et représentent plus des deux tiers de la production mondiale et environ trois quarts des réserves mondiales.

Le kaolin et les argiles kaoliniques sont souvent cités dans la littérature comme des « argiles nobles », par opposition aux « argiles communes » regroupant les autres types d'argiles.

### 4.1 Le kaolin primaire :

Les gisements primaires sont les dépôts résiduels provenant de l'altération en place, de roches silico-alumineuses, essentiellement les roches quartzo-feldspathiques acides (ex : granites, leucogranites, granodiorites, rhyolites, dacites, trachytes, migmatites, gneiss). L'altération se fait par les fluides météoriques et/ou hydrothermaux ; les fluides hydrothermaux de haute température (>150 °C), circulant à des pressions élevées et chargés en éléments volatils (F, Cl, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) permettent l'altération des roches préexistantes mais ne permettent pas la formation de masses importantes de kaolin.

Certaines substances, une fois dissoutes dans l'eau, augmentent le caractère acide de celle-ci, accélérant ainsi la décomposition des minéraux primaires. (Helgeson et al. 1969) ont montré que la dissolution du gaz carbonique atmosphérique peut, lors de l'hydrolyse tripler les vitesses de décomposition des feldspaths potassiques et engendre la formation de la kaolinite. Si le drainage de ces roches par l'eau est abondant, ce processus géochimique naturel conduit directement à la formation de la kaolinite (Konta, 1979).

Les kaolins résiduels sont généralement situés à la surface de la roche mère. Ils sont relativement purs, avec peu d'intrusion en leur sein (Kuzvart, 1968), (Figure 50).

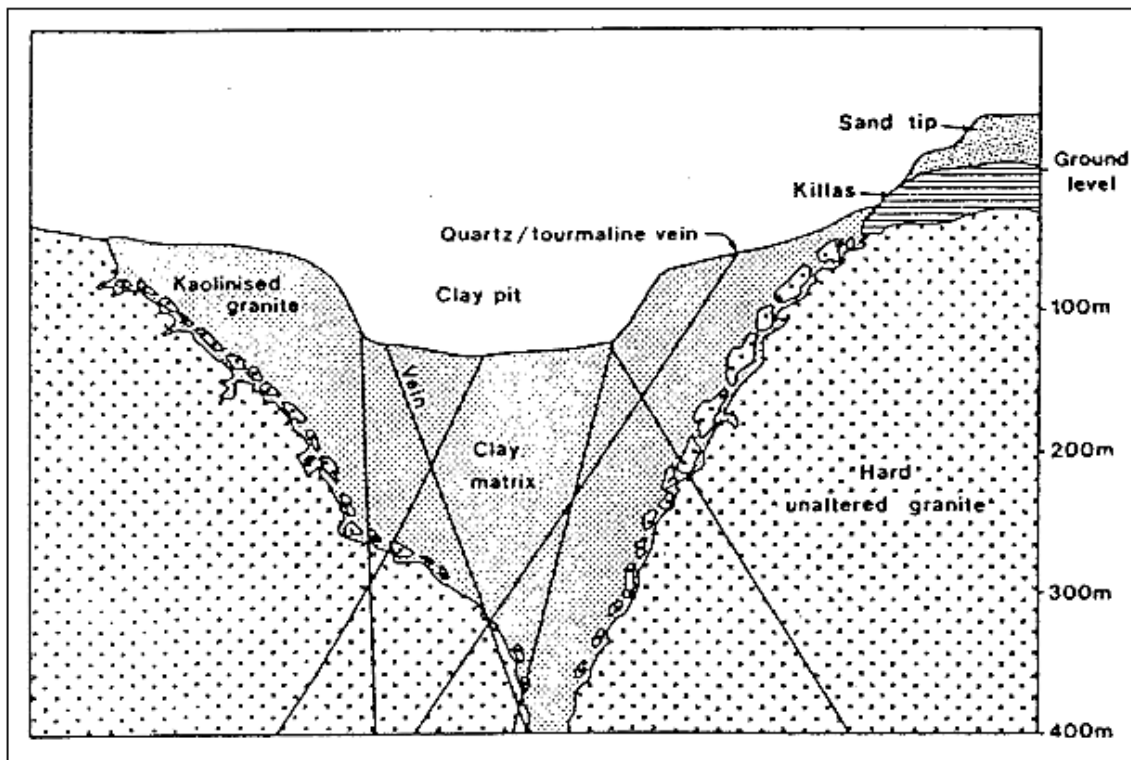


Figure 50: Coupe schématique d'un gisement de kaolin primaire, (Bish, 1989).

### 4.2 Le kaolin secondaire ou sédimentaire (Les argiles kaoliniques) :

Les kaolins primaires peuvent être entraînés par les eaux de ruissellement. Ils se mélangent alors au sable et se déposent dans des fosses. Ils constituent alors des kaolins dits secondaires ou sédimentaires.

Il existe deux zones possibles pour la formation de ces dépôts :

- **en eau douce :**

Si les argiles, généralement chargées négativement dans l'eau, ne rencontrent pas de cations susceptibles de favoriser leur floculation, elles restent longtemps en suspension. Il s'ensuit un tri sélectif des éléments indésirables en fonction de leur aptitude à sédimenter. Les particules les plus lourdes, qui se déposent en premier, sont ainsi recouvertes par un kaolin riche en kaolinite. Les micas, formés de feuillets qui flottent également longtemps sur l'eau, se retrouvent alors généralement mélangés à la kaolinite.

- **en eau de mer :**

Au contact de l'eau de mer, riche en cations, près de 90 % des argiles chargées négativement floculent. Ces dépôts, qui forment alors des bouchons constitués de kaolinite impure, sont communément appelés argiles kaoliniques (mélange avec d'autres éléments tels que les micas, le quartz, la pyrite, etc.)

Tout comme pour les gisements primaires, la température est un facteur-clé qui agit sur la végétation et la pluviométrie, et donc sur l'érosion, le transport et le dépôt. La végétation de par son rôle de filtration et de rétention des minéraux alcalins et de la silice peut conduire à la formation d'argiles kaoliniques très fines et indurées, nommées « flint clays ».

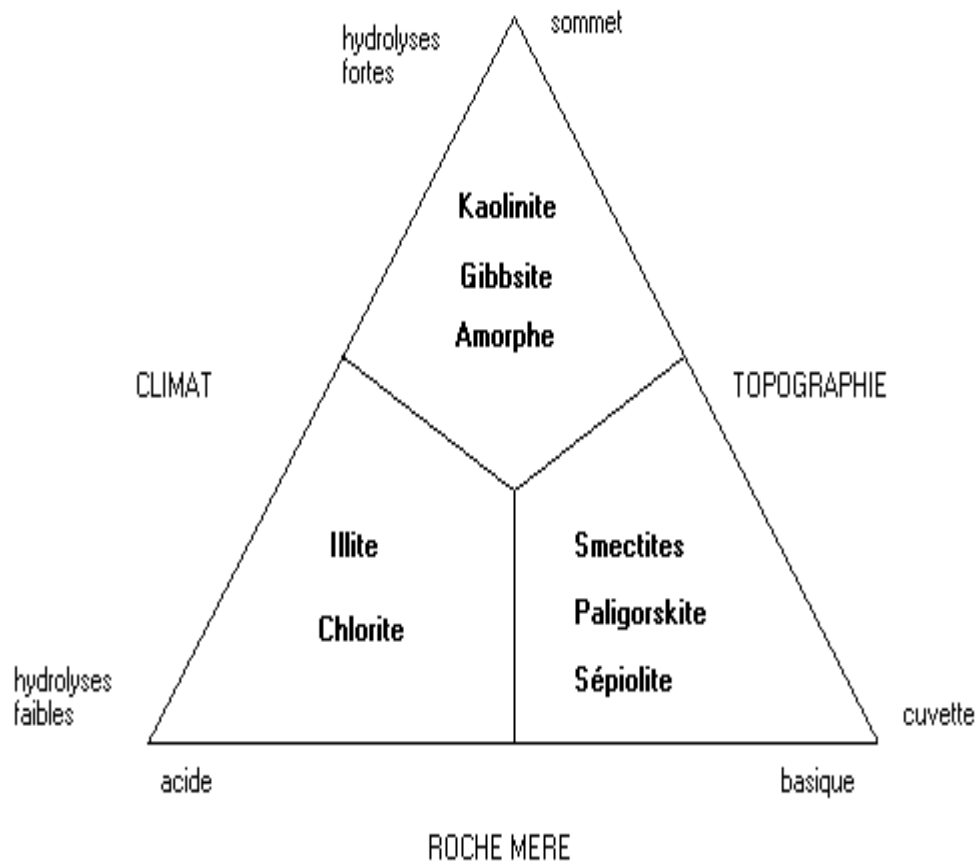
### 4.3 Typologie des gisements de kaolin et d'argiles kaoliniques :

Les gisements de kaolin et d'argiles kaoliniques sont présents sur toute la surface du globe, sur tous les continents, et sous quasi toutes les latitudes. La compréhension de la paléogéographie (et notamment de la période Crétacé supérieur-Paléocène) est capitale pour mieux expliquer la répartition des grands gisements de kaolin et d'argiles kaoliniques à travers le monde.

Plusieurs centaines de gisements sont aujourd'hui exploités dans plusieurs dizaines de pays, dont les principaux producteurs sont : États-Unis, Inde, Chine, Allemagne, République Tchèque, Brésil, Iran, Royaume-Uni, Turquie, Corée du Sud, Ukraine, Espagne, France, Mexique, Bulgarie.

### 4.4 Les facteurs contrôlant la nature des argiles formées :

Trois facteurs principaux déterminent la nature des argiles formées. Il s'agit de (Figure 51,52) :



**Figure 51: Figure montrant les principaux facteurs qui déterminent la nature des argiles formées (Velde, 1992).**

**La nature de la roche-mère :** l'altération d'une roche acide (ex : granite) donne plutôt de l'illite ou de la kaolinite, celle d'une roche basique (ex : basalte) donne plutôt des smectites.

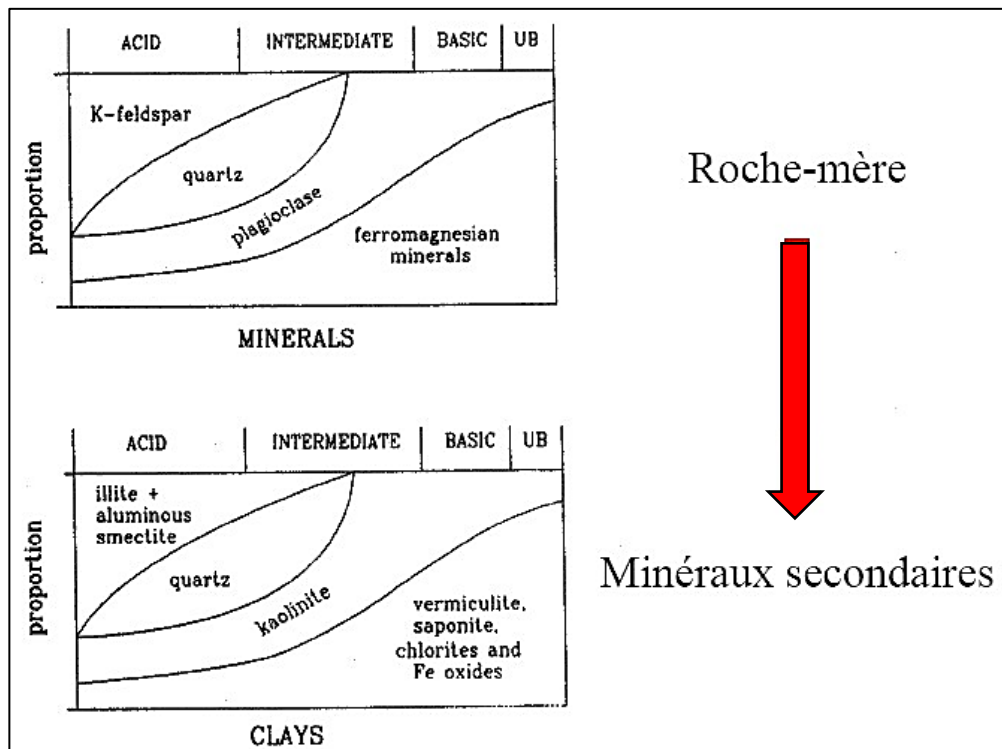


Figure 52: Influence de la nature de la roche-mère sur la composition des minéraux secondaires (Velde, 1992),\_Source : Cours "Géologie des argiles" - Université de Liège.

**Le climat** qui conditionne bien entendu la présence plus ou moins abondante de l'eau ainsi que la température.

**La topographie** commande le drainage : sur une pente (drainage et lessivage bons), la formation de la kaolinite est favorisée ; dans une cuvette (milieu confiné où se concentrent les solutions), se forment plutôt des smectites.

## 5 Analyse de kaolin :

L'analyse des aluminosilicates comme les argiles nécessite l'association de plusieurs techniques. Les rapports centésimaux des constituants majeurs (concentration supérieure à 0,1%) tels que SiO<sub>2</sub> ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; TiO<sub>2</sub> ; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; K<sub>2</sub>O ; Na<sub>2</sub>O peuvent varier dans des proportions considérables ; aussi toute méthode générale d'analyse est difficilement applicable à la grande diversité de produits aluminosilicatés issus du sol.

Les traces ou les faibles quantités inférieures à 0,1% présentes dans ces minéraux (Mn, Cu, Zn, les sulfates et les chlorures), nécessitent des techniques analytiques appropriées, suffisamment spécifiques et directes pour qu'il y ait le minimum d'interférences dues au nombre important d'oxydes présents dans ces matières (I. Voinovitch et al., 1962).

Les kaolins sont caractérisés grâce à plusieurs techniques (Figure 53), comprenant la diffraction des rayons X (DRX), l'analyse thermique différentielle et gravimétrique (ATD/ATG), la spectroscopie infrarouge ou spectroscopie Raman. La microscopie électronique à balayage ou à transmission (MEB et TEM) est aussi utilisée pour observer la morphologie et la structure cristalline de l'argile (B. Singh, et al, 1992, I.D.M. Robertson et al., 1991). Ces différentes techniques d'analyses permettent de différencier la kaolinite des autres minéraux appartenant à cette même famille. Cependant, la distinction entre l'halloysite-7Å° (méthalloysite) et la kaolinite désordonnée reste très difficile à déterminer, spécialement s'ils se trouvent dans la même argile.

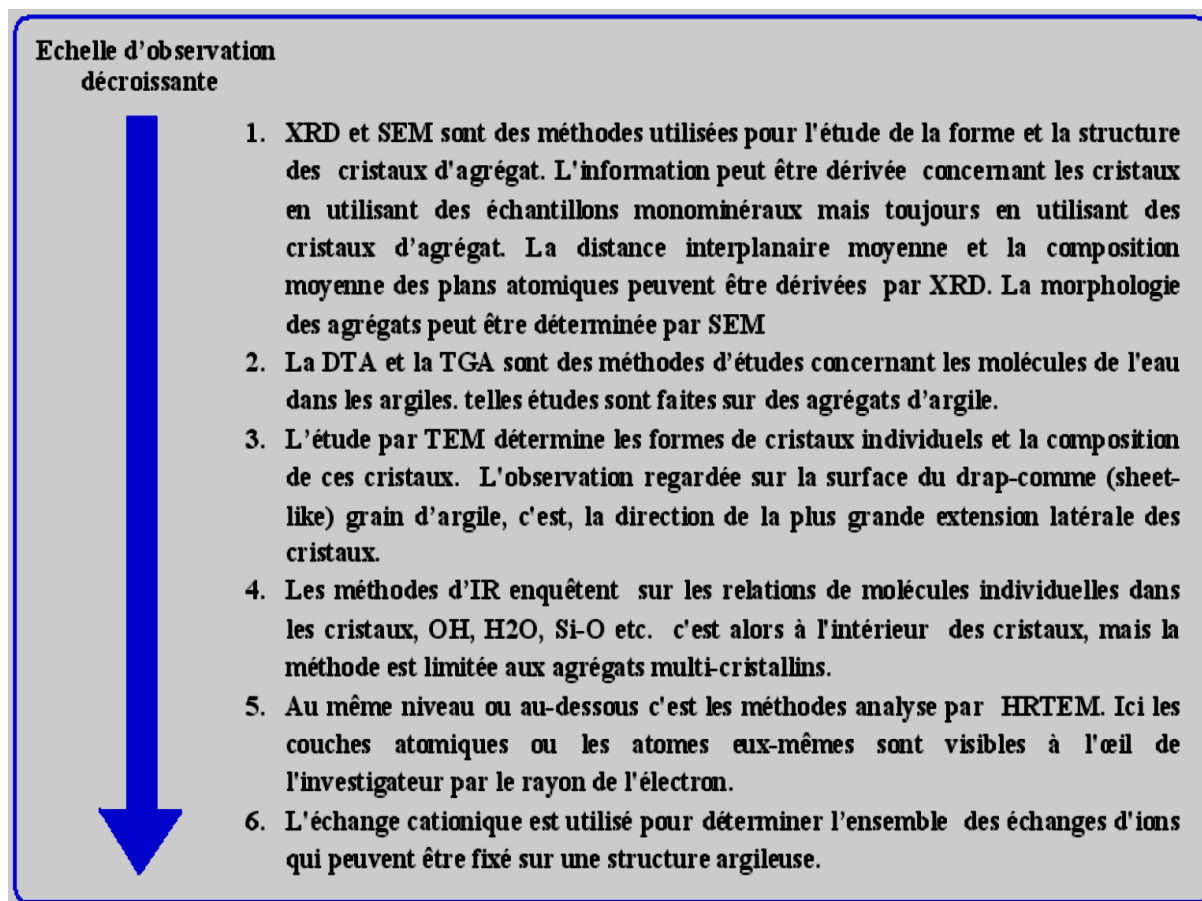


Figure 53: Méthodes d'étude des argiles à différentes échelles (B.Velde, 1992).

### 5.1 Les principaux usages industriels du kaolin :

Dans les diverses utilisations du kaolin, chaque utilisateur se concentre sur certaines propriétés. Les propriétés souhaitées et les niveaux d'exigence varient d'une industrie à une autre ; le comportement rhéologique est très important pour l'industrie de céramique, mais cela n'est pas le cas pour la fabrication des réfractaires. Le quartz n'est pas bienvenu dans le kaolin destiné à l'industrie du papier, tandis que sa présence empêche la déformation de la céramique pendant la cuisson (Rahimi et Matin 1989).

Une bonne connaissance de la relation entre les propriétés, et les rôles des composants du kaolin industriel est indispensable pour la commercialisation du produit. La prise de décision appelle une méthode avancée de gestion de risque de décision comme les outils de logique de flou (Taboada et al, 2006).

Parce qu'il est chimiquement inerte avec une gamme de pH de 4 à 9, que sa couleur est blanche ou proche, qu'il a un bon pouvoir couvrant qu'il est doux et non-abrasif, que ses particules sont très fines, il est plastique avec l'eau, réfractaire, et de couleur blanche ou proche après cuisson, qu'il a une faible conductivité thermique et électrique, qu'il est hydrophile et se disperse aisément dans l'eau, que son coût est faible, le kaolin a de très nombreux usages. Quelques utilisations du kaolin sont présentées dans le (Tableau 4) :

Rôle	Utilisation
Couchage	Couchage de papier, peinture, encre
charge	Charge minérale de papier, caoutchouc, plastiques, polymères, adhésifs, textiles, linoléum
matière première	Catalyseur, fibre de verre, ciment, l'industrie du bâtiment, céramiques, plâtre, filtre, émaux, fonderies, production des composés chimiques d'aluminium, production de zéolite
Diluant, adsorbant ou transporteur	Polissage, vecteur de médicament, engrais, insecticide, détergents, produits pharmaceutiques, produits de beauté, tannerie des cuirs

**Tableau 4: Utilisations industrielles du kaolin (Bundy 1993 et Murray 1999).**

### 5.2 Quelques exemples de gisements de kaolin dans le monde :

Les réserves mondiales du kaolin sont de 12 milliards de tonnes et les plus grandes réserves sont situées aux USA et en Grande Bretagne.

Les principaux pays producteurs des kaolins dans le monde, pour la période 2001 – 2005, sont représentés dans le (Tableau 5).

Continent	Pays	2001	2002	2003	2004	2005
Europe	Albanie				300000	310000
	Autriche	20047	21212	15034	16345	55508
	Belgique	+300000	+300000	+300000	+300000	+300000
	Bosnie et la Herzégovine	13000	6500			
	Bulgarie	+140000	+150000	+120000	+190000	+200000
	République Tchèque (h)	561600	562300	582100	639100	639300
	France	377000	339000	335000	316000	293000
	Allemagne (G)	696832	740821	738123	+740000	+750000
	Grèce	60075	57885	59680	53438	49912
	Hongrie				3300	1300
	Italie	295263	174990	224755	246608	
	Pologne (k)	103220	89372	106761	130596	159207
	Portugal	148706	147448	169669	+170000	
	Roumanie	21867	22517	25741	22338	26772
	Russie	+45000	+45000	+45000	+45000	+45000
	Serbie et le Monténégro	60900	95622	99460	14122	
	Slovaquie	34730	24600	24800	89424	34830
Espagne (k)	+400000	419483	427193	437990	450000	
Turquie	505773	372344	370455	536008	615271	

## Chapitre 5 : Géologie des indices du kaolin de SAB

	Ukraine (h)	+170000	+170000	169900	202300	216600
	Royaume-Uni (a) (l)	2204156	2162815	2097137	1944955	1908000
Afrique	Algérie	13356	9505	19258	27700	34386
	Egypte	260000	260000	+260000	249761	+250000
	Ethiopie (b)	1790	3534	3088	4251	3726
	Kenya	700	+700	+700	+700	+700
	Nigeria	32090	52352	57587		
	Afrique du Sud	83500	91456	86365	81901	60072
Amérique	Mexique	681709	745498	798407	654711	877147
	Etats-Unis (e)	8110000	8010000	7680000	7760000	+7720000
	Argentine	13584	13865	19219	39072	54705
	Brésil (h)	1817419	1757488	2081000	2381000	2410000
	Chili	5300	6164	9000	7133	15183
	Equateur	8818	8483	11884	5646	5928
	Paraguay	+66500	+66700			
	Pérou	5478	1934	2653	2720	2567
	Venezuela	+10000	+10000	+10000	+10000	+10000
Asie	Bangladesh (d)	+8000	+8000	9630	13113	13738
	Chine	+1500000	+1500000	+1600000	+1800000	+1800000
	Inde (c) (l)	187232	204694	209920	220262	238759
	Indonésie	15000	+15000	+15000	+15000	+15000
	Iran (j)	760615	592803	556003	596886	+600000
	Japon	17240	11602	12223	11553	+12000
	Jordanie	24124	39745	36528	51836	62947
	Kazakhstan	20000	+20000	+20000		
	République de la Corée	850360	1054543	1042018	936537	702295
	Malaisie	364458	323916	425942	326928	494511
	Pakistan (d)	12980	55584	39575	25204	37732
	Philippines	5111	+5000	1860	3240	6927
	Arabie Saoudite	7740	7920	8100	+8000	+8000
	Sri Lanka	9403	8613	9073	16233	9914
	Taiwan	28921	18403	22448	35001	9423
	Thaïlande (h)	181583	130282	185512	200671	165884
	Ouzbékistan (l)	+150000	+150000	+150000	+150000	+150000
	Vietnam	+600000	+600000	+650000	+650000	+650000
	Océanique	Australie (d) (f)	232000	228000	280000	285543
Nouvelle Zélande		15620	17250	14770	15250	15750
Total du monde		22600000	22200000	22600000	23100000	23300000

**Tableau 5: Production du kaolin 2001-2005 (Hetherington et al 2007).**

Les pays importateurs du kaolin sont : Japon, Allemagne, Italie, France, Finlande, Pays-Bas, Suède, Norvège. La consommation du kaolin est variable d'un domaine industriel à l'autre. Citons les données de consommation pour les Etats-Unis.

- Papeterie : 50 % du kaolin.
- Industrie des réfracteurs : 13 %.

- Fabrication du caoutchouc : 8 %.
- Fabrication des plastiques, des peintures et des céramiques : 29 %.

### 5.3 Le kaolin en Algérie :

En Algérie, il existe quelques gisements de kaolin mais jusqu'à présent le pays en importe une partie. La consommation de kaolin en Algérie intéresse les branches industrielles suivantes

(Tableau 6). L'évolution de la production et de la consommation du kaolin en Algérie (données de 1979) sont présentées dans le Tableau 6.

Parmi les gisements de kaolin on peut citer le gisement de Djebel Debagh et de Tamazert. Toute fois des recherches sont engagées par l'ENOF en vue d'explorer et de prospecter de nouveau gisement de kaolin.

Consommateurs	1980	1990
Porcelaine de Guelma	25000 t/an	+
Céramique sanitaire (El-Milia, Cherchell et Maghnia)		
Carreaux de faïence (Alger et Tlemcen)		
Unité de Skikda	16000 t/an	+
Papeterie et caoutchouc	15000 t/an	+

Tableau 6: Principaux utilisateurs de kaolin en Algérie (murray,1999).

## 6 L'étude des indices du kaolin de SAB :

### 6.1 Cadre géographique

Du point de vue morphologique, la Grande Kabylie en générale et la zone de SAB en particulier représente une région collinaire montagneuse dont les côtes atteignent 887 m d'altitudes dans le périmètre d'étude et 200 - 250m à Naciria.

Dans le massif de SAB affleurent deux indices de kaolin éloignés à environ 2.5Km l'un de l'autre :

**1- Indice de Timezrit :** situé dans le versant nord de SAB, de coordonnées X : 36° 40' 46,5'' et Y : 3° 48' 15,7'' ; d'altitude de 858m.

**2- Indice d'Ouriacha :** est situé dans une zone de transition à quelques centaines de mètres au Sud de la grande masse magmatique, sur les côtes les plus élevées de la colline de Sid Ali Bounab, Iril-El Had, Timezrit. Les coordonnées sont X : 36° 41' 33'' et Y : 3° 50' 27,8'' et d'altitude de 859m.

### 6.2 Cadre historique du gisement :

Le rapport des travaux de prospection et d'exploration exécutés de 1974 à 1975 dans le gisement de roches feldspatho-kaolineuses du périmètre de Sidi Ali Bounab-Ouriacha comprend les résultats de cette activité de recherche géologique en Grande Kabylie (zone Sidi Ali Bounab).

Les éléments de fondement géologique du programme ont été obtenue durant la courte période de pré reconnaissance de l'an 1973 et d'informations sommaires en provenance du matériel documentaire consulté.

Les travaux ont été exécutés dans la période 1974-1975 en différentes phases de recherche. Conformément à la terminologie précisée par les instructions émises par la SO.NA.R.E.M. le programme exécuté en 1974 s'intègre dans une deuxième phase de recherche, c'est-à-dire la reconnaissance générale pour faire l'inventaire dans une large unité structurale de tous indices de roches feldspatho-kaolinitiques-céramiques et dans une troisième phase, le contrôle ou leur vérification qualitative à l'aide des travaux légers de prospection.

En 1975, les propositions de poursuite des recherches par des travaux d'exploration préliminaire (forage de reconnaissance et tests de valorification) appartenant à la quatrième phase n'ont pas été avisées en disposant au passage direct à la cinquième phase d'exploration de détail avec l'évaluation des réserves. Cette dernière constitue l'objet de l'activité et pour 1976.

### 6.3 Cadre géologique du gisement :

Les formations géologiques affleurant dans le périmètre de l'indice de Timezrit sont essentiellement des schistes à biotite et des gneiss fins clairs présentant des pendages sub verticaux 70° à 80° (Figure 54). Quelques blocs de pegmatites à tourmaline sont remontés en surface lors des travaux de terrassement et ne sont pas en place. Ces formations ont été décrites dans le chapitre Géologie locale de SAB.



**Figure 54: schiste à biotite (sombre) alternant avec des gneiss fins plagioclasiques (clair) [a] et gneiss fins avant et après altération [b].**

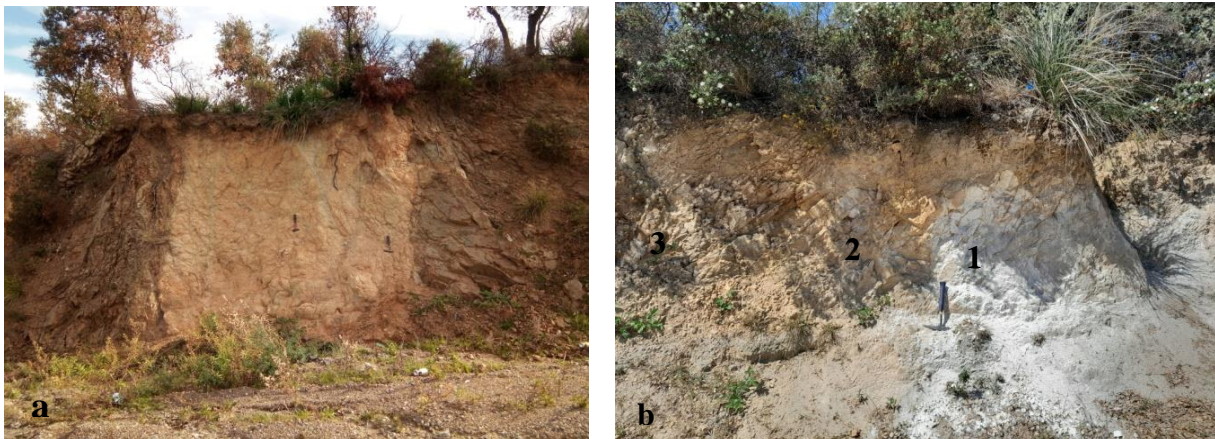
L'altération avancée de ces formations « schistes à biotite et gneiss fins clairs », a transformé ces dernières en argiles friables de couleur blanche à verte. L'analyse de ces argiles au DRX montre qu'il s'agit de l'Illite et kaolinite riches en quartz et micas (muscovite), (Figure 55).



**Figure 55: Alternance gneiss fins (clair) et schistes à biotite (sombre) présentant un fort pendage 70° vers le nord. Ce faciès clair est transformé en argile (illite-kaolinite).**

Dans le périmètre de l'indice d'Ouriacha, les formations magmatiques sont très abondantes, il s'agit du granite déformé de SAB avec son cortège pegmatitique recoupant les schistes à biotite. Ces dernières sont très plissées et montrent des pendages allant de 25° à 80° vers le Nord (Figure 56,57).

Dans les zones d'accidents les granites déformés de SAB subissent une altération hydrothermale très avancée les transformant en kaolinite (Figure 56,57).



**Figure 56: Granite déformé de SAB, recoupant les schistes à biotite (a) ; même granite au niveau de l'indice Ouriacha transformé en kaolinite (b). [1- Kaolinite, 2- Granite déformé, 3-schistes à biotite].**



**Figure 57: Granite déformé transformé par endroit (zone de faille) en kaolinite (blanche) recoupant les schistes à biotite à pendage de 25° vers le nord.**

### 7 Caractérisation des minéraux argileux (kaolinite) :

Afin de caractériser ces minéraux argileux nous avons procédé à une étude granulométrique, en utilisant les rapports ASGA de juillet 1976 ; des analyses au diffractométrie des rayons X (DRX) réalisés à l'ORGM et CETIM et à une étude au microscope électronique à balayage (MEB) réalisée à l'UMMTO.

#### 7.1 L'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres des grains qui constituent un échantillon de minerai. Pour cela, l'analyse consiste à séparer et à classer les grains selon leur diamètre et ce, à l'aide des tamis.

Les résultats du laboratoire sur des échantillons moyens ont apporté les premières précisions concernant l'intervalle granulométrique dans laquelle les roches de Sidi Ali Bounab ont montré des caractéristiques qualitatives plus favorables. Ces résultats expriment les caractéristiques qualitatives pour 2 échantillons moyens représentant le corps principal Sud (1. C.P.S) et les filons de la zone Nord (2. F.Z.N).

Le matériel brut original a été lavé et broyé, la fraction kaolineuse étant classée sur les intervalles **AFNOR** : 1- 0.5 mm ; 0.5 - 0.2 mm ; 0.2 - 0.1 mm ; 0.1 - 0.08 mm ; 0.08 - 0.063 mm ; 0.063 - 0.04 mm et < 0.04 mm, le matériel récupéré sur chaque classe a été analysé chimiquement pour SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et PAF.

Une première conclusion qui se révèle dans l'interprétation de ces résultats est l'approchement jusqu'à l'identité entre les valeurs moyennes informatives calculées et présentées dans le rapport géologique des travaux de prospection et d'exploration exécutés de 1974 à 1975 dans les gisements de roches feldspatho-kaolineuses du périmètre de Sidi Ali Bounab- Ouriacha) avec ceux de la classe < à 0.04 mm déterminés direct sur les échantillons moyens 1.C.P.S et 2.F.Z.N.

Nous présentons plus bas le tableau (Tableau 7) comparatif avec les résultats d'analyses déterminées sur la fraction 0.04 mm et ceux informatifs calculés dans le rapport d'étape dans les mêmes zones de prélèvement.

ECHANTILLONS, LIEU DE PRELEVEMENT		FRACTION KAOLINEUSE	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O+NA <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O+NA <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	PAF
1 C.P.S Tr1-20	Déterminé Fraction <0.04 mm	23.07	62.29	20.94	2.48	3.00	3.28	6.28	1.00	<0.10	<0.05	<0.05	<0.04	1.19	4.98
	Moyenne dans le rapport géologique	24.71	61.10	22.38	2.70	4.05	3.37	7.43	1.24	0.06	0.67	0.42	0.03	-	4.79
2 F.Z. N Tr1+2 Plateau	Déterminé Fraction <0.04 mm	39.18	64.90	20.68	2.48	2.72	2.44	5.16	1.10	<0.10	<0.05	<0.05	<0.04	1.26	5.43
	Moyenne dans le rapport géologique	46.85	64.33	21.28	2.14	3.18	2.94	6.11	1.10	0.20	0.56	0.35	0.01	-	4.87

**Tableau 7 : Tableau comparatif avec les résultats d'analyses déterminées sur la fraction 0.04 mm et ceux informatifs calculés dans le rapport d'étape dans les mêmes zones de prélèvement ( rapport de l'ASGA).**

(Rapport des travaux de prospection et d'exploration exécutés de 1974 à 1975 dans les gisements de roches feldspatho-kaolineuses du périmètre de Sidi Ali Bounab- Ouriacha).

### 7.2 La Diffraction des rayons X (DRX) :

#### 7.2.1 Principe :

La méthode générale consiste à bombarder l'échantillon avec des rayons X (Figure 58), et à regarder l'intensité de rayons X qui est diffusée selon l'orientation dans l'espace. Les rayons X diffusés interfèrent entre eux, l'intensité présente donc des maxima dans certaines directions, on parle de phénomène de « diffraction ». On enregistre l'intensité détectée en fonction de l'angle de déviation  $2\theta$  (deux-thêta) du faisceau ; la courbe obtenue s'appelle le diffractogramme.

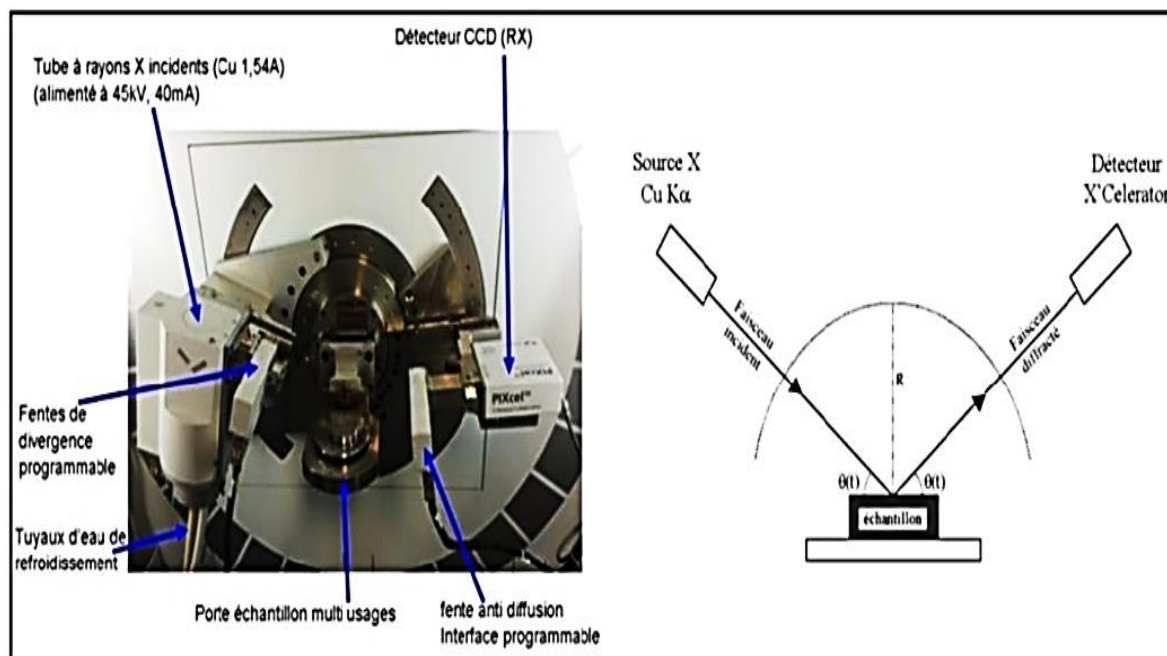
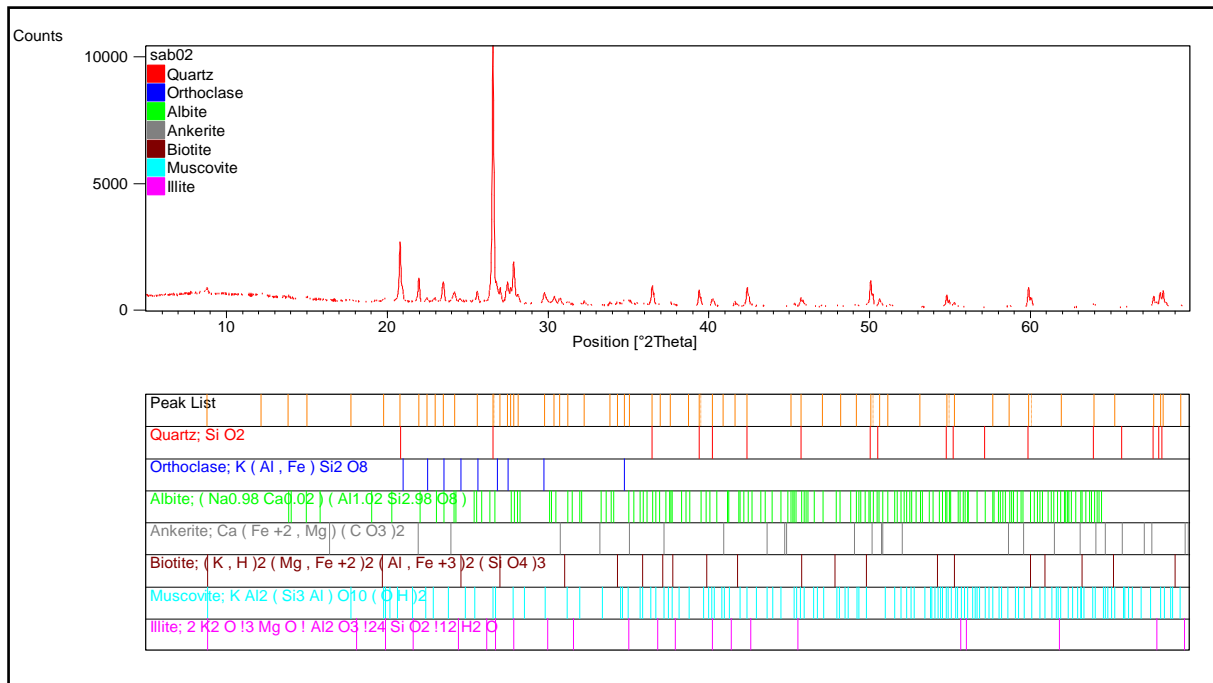


Figure 58: Illustration de la diffraction des rayons X (thèse, LARABA Mohammed, 2022).

#### 7.2.2 Résultats des analyses à la DRX :

Afin de caractériser les minéraux argileux issus de l'altération des formations citées plus haut, nous avons analysé quatre (04) échantillons dont un (01) échantillon dans les schistes à biotite altérés "analyse (ORGM)" et trois (03) échantillons : 1- gneiss fins plagioclasiques altérés alternant avec les schistes à biotite, 2- gneiss fins altérés, 3- granite déformé altéré "analyses (CETIM)".

L'analyse de l'échantillon N°1 (S5) par l'ORGM, montre que l'argile analysée est constituée par la composition minéralogique suivante : Quartz, orthoclase, albite, ankérite, biotite, muscovite et illite (Figure 59). On constate que la roche altérée est constituée de minéraux quartzo-feldspathiques riche en micas (biotite-muscovite), il s'agit donc d'une composition gneissique.



**Figure 59: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (laboratoire minéralogique de l'ORGM). Appareillage utilisé : diffractogramme XPERT-PRO, Logiciel : data collector, high score.**

La présence des minéraux d'orthose (orthoclase), d'albite et de la biotite montre que la roche n'a pas subi une forte altération avancée, car dans les roches fortement altérées, il ne subsiste dans l'argile illitique que le quartz et rare muscovite.

Les résultats d'analyses effectuée par CETIM sur trois échantillons [Gneiss altéré (S7), schiste altéré (S8) et Granite déformé kaolinisé (S9)], ont donné presque la même composition minéralogique à (Kaolinite, albite, muscovite, quartz, orthoclase et +/- calcite), (Figure 60,61,62).

On remarque la disparition de la biotite et de l'illite au profit de la kaolinite et de la calcite. Nous pouvons dire que l'altération complète de la biotite et importante du feldspath conduit à la formation de la kaolinite. Généralement ces altérations sont de type hydrothermales.

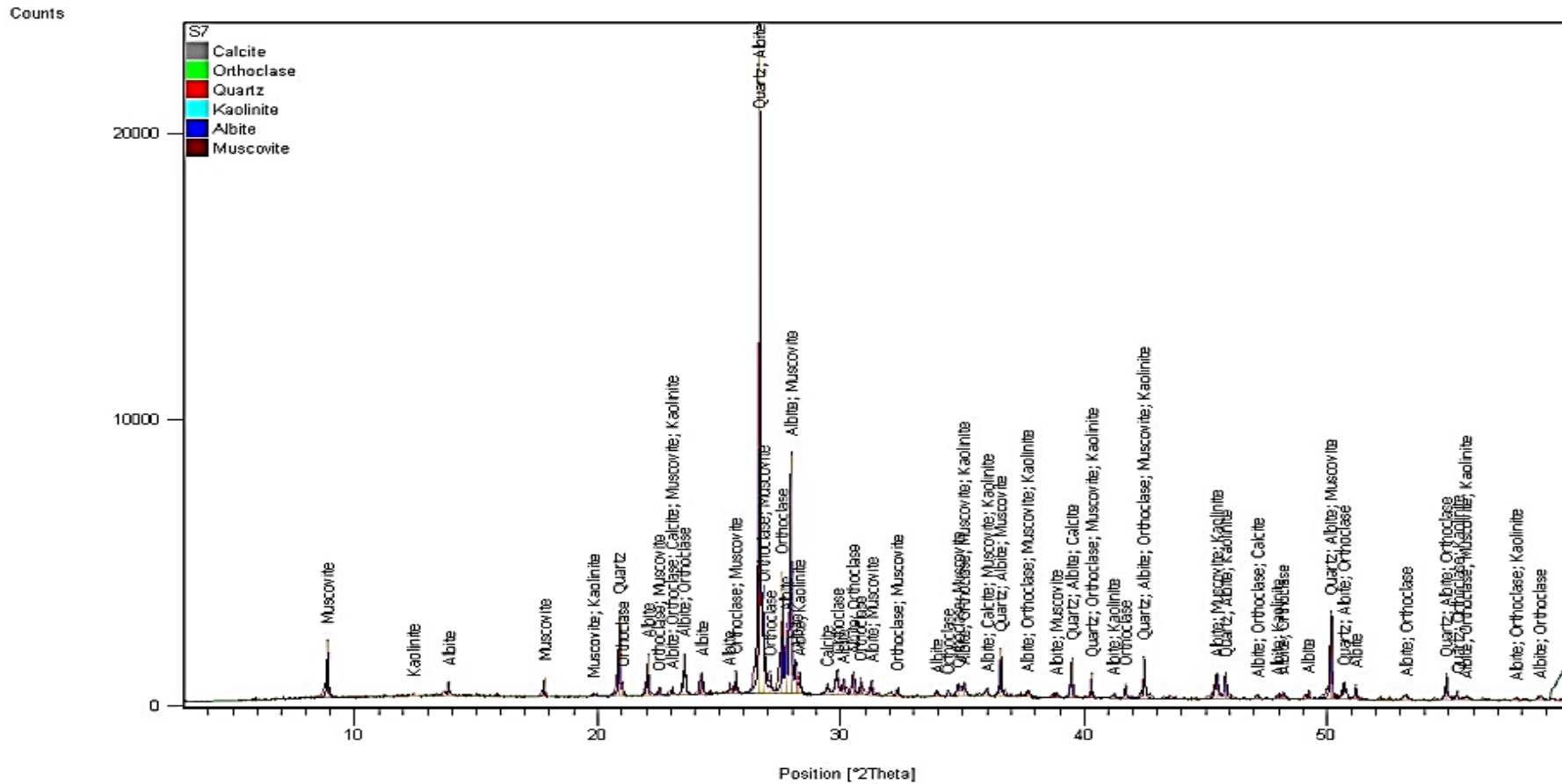


Figure 60: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (Gneiss altéré), CETIM, 2023).

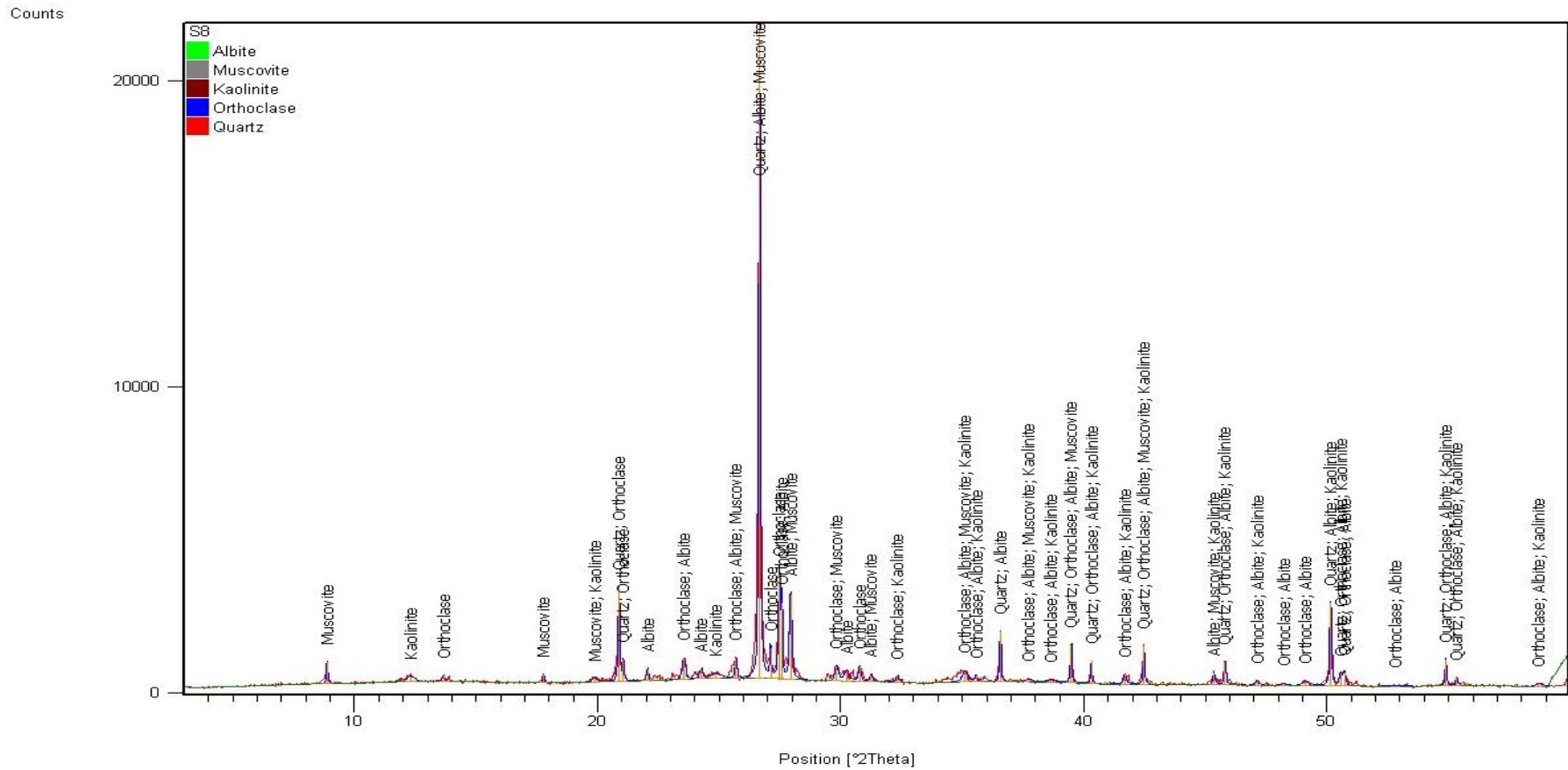


Figure 61: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (Granite orienté kaolinisé), CETIM, 2023)

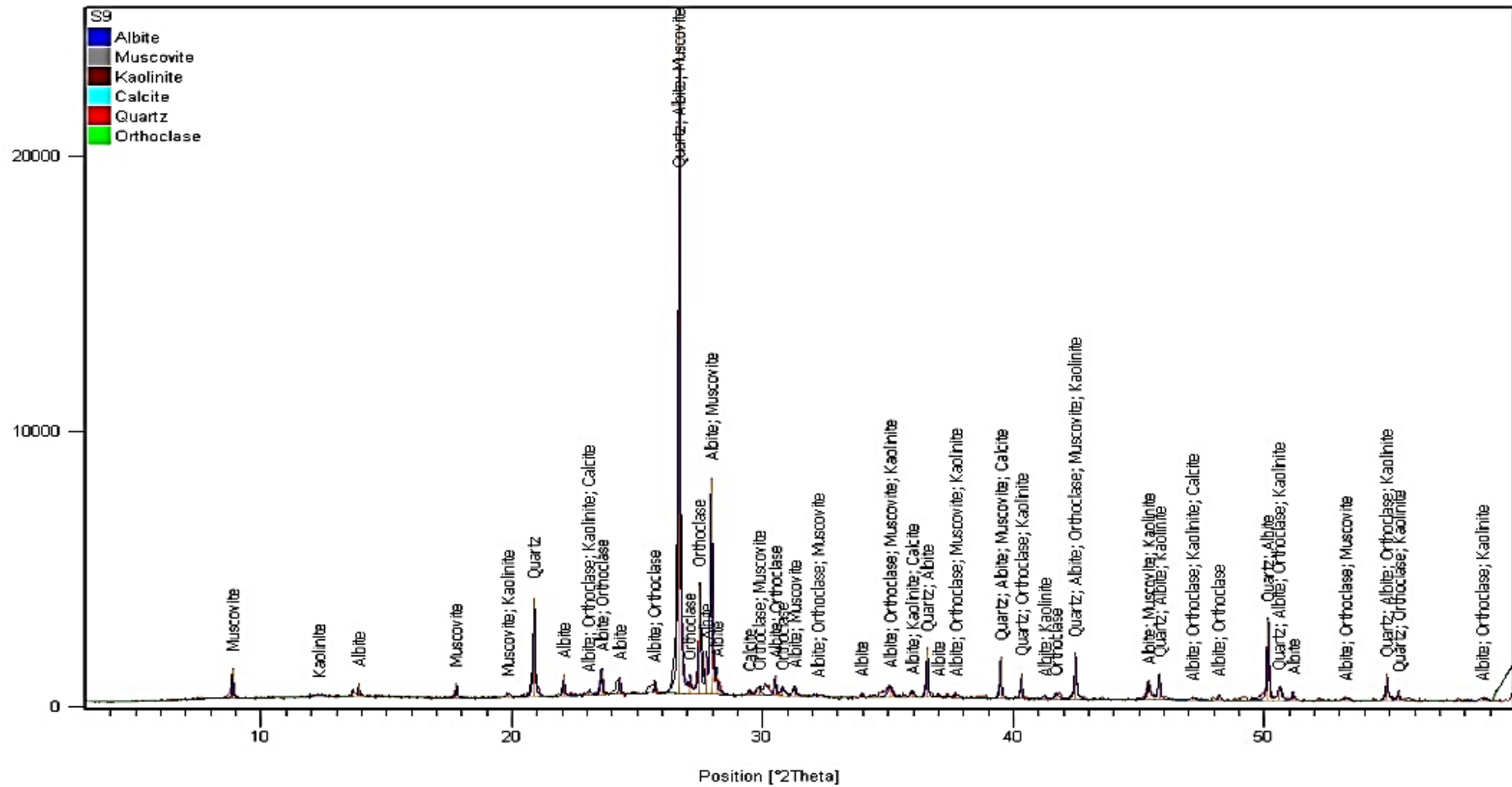


Figure 62: Diffractogramme aux rayons X de l'échantillon (Schiste altéré), CETIM. 2023)

### 7.2.3 Formation du kaolin :

Dans le gisement de notre secteur d'étude, la kaolinite peut se former suite à l'altération des roches suivantes : le gneiss à biotite, le schiste à biotite et le granite déformé.

- Dans le cas des schistes à biotite :

La biotite est un minéral des silicates, de la famille des micas, forme une série de phlogopite. Elle est d'une formule chimique  $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2$  avec des traces de : Mn ; Ti ; Li ; Ba ; Na ; Sr ; Cs ; Fe ; Cl.

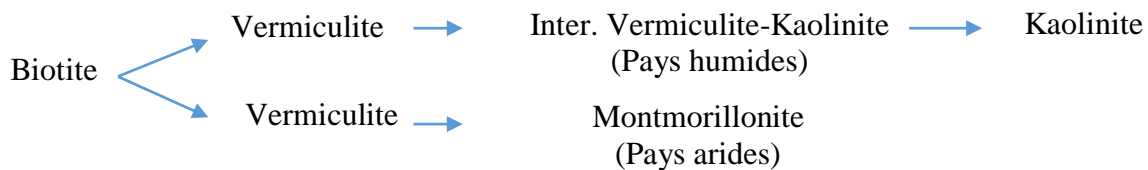
Plusieurs hypothèses ont été données pour la transformation de la biotite en kaolinite qui sont comme suite :

**Hypothèse 1 :** La transformation directe de la biotite en kaolinite sans formation de minéral intermédiaire à 14 Å par la diffraction des rayons X.

**Hypothèse 2 :** Kerr (1930) observe la kaolinisation de la biotite par l'intermédiaire de deux stades possibles, soit amorphe, soit constitué de vermiculite.

**Hypothèse 3 :** Caillere et Henin (1951) décrivent la transformation d'une phlogopite en montmorillonite et kaolinite à Madagascar.

**Hypothèse 4 :** Wilson (1966) note que l'altération de la biotite en kaolinite se fait par l'intermédiaire d'un intergrade Al, vermiculite, chlorite.

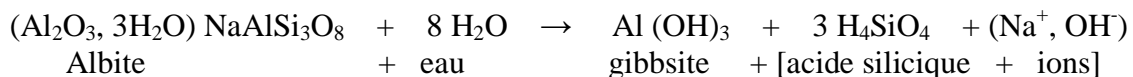


- Dans le cas du granite déformé :

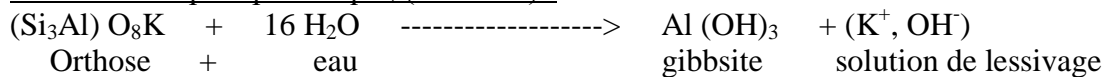
La kaolinite peut se former aussi par l'hydrolyse de cristaux de feldspaths. Les hydrolyses peuvent être totales ou partielles.

**Les hydrolyses totales :** le minéral est détruit en plus petits composés possibles (hydroxydes, ions)

Cas d'un feldspath sodique, (l'albite) :

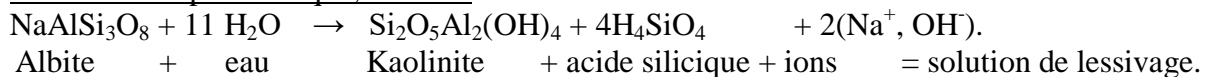


Cas d'un feldspath potassique, (l'orthose) :

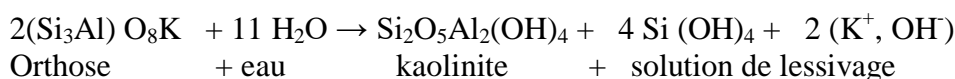
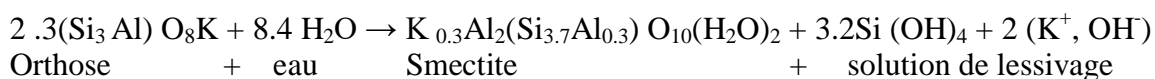


**Les hydrolyses partielles :** la dégradation est partielle et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions de milieu (abondance de l'eau).

Cas d'un feldspath sodique, l'albite :



Cas d'un feldspath potassique, (l'orthose)



On constate facilement qu'en fonction de la quantité d'eau disponible, l'hydrolyse de l'orthose, par exemple, peut conduire à la forme d'argiles de nature différente.

- Dans le cas des gneiss à biotite :

La présence de la biotite et du feldspath potassique dans le gneiss peut suivre les deux schémas présentés pour le schiste à biotite et le granite.

### 7.3 Observations au microscopie électronique à balayage (MEB) :

#### 7.3.1 Principe :

Le MEB est une technique de microscopie utilisant les diverses interactions électrons-matière. Un faisceau d'électrons balaie la surface de l'échantillon à analyser et il se passe certaines interactions. Un détecteur capte des paramètres liés à ces interactions et fait correspondre à chaque pixel d'un écran le signal qu'il obtient pour un point donné de l'échantillon. Sur l'écran apparaît donc une « carte » d'informations sur un paramètre de l'échantillon.

Un microscope électronique à balayage est essentiellement composé d'un canon à électrons et d'une colonne électronique (Figure 63), dont la fonction est de produire une sonde électronique fine sur l'échantillon, d'une platine porte-objet permettant de déplacer l'échantillon dans les trois directions et de détecteurs permettant de capter et d'analyser les rayonnements émis par l'échantillon. En outre l'appareil doit nécessairement être équipé d'un système de pompes à vide (J. Goldstein et al., 1992).

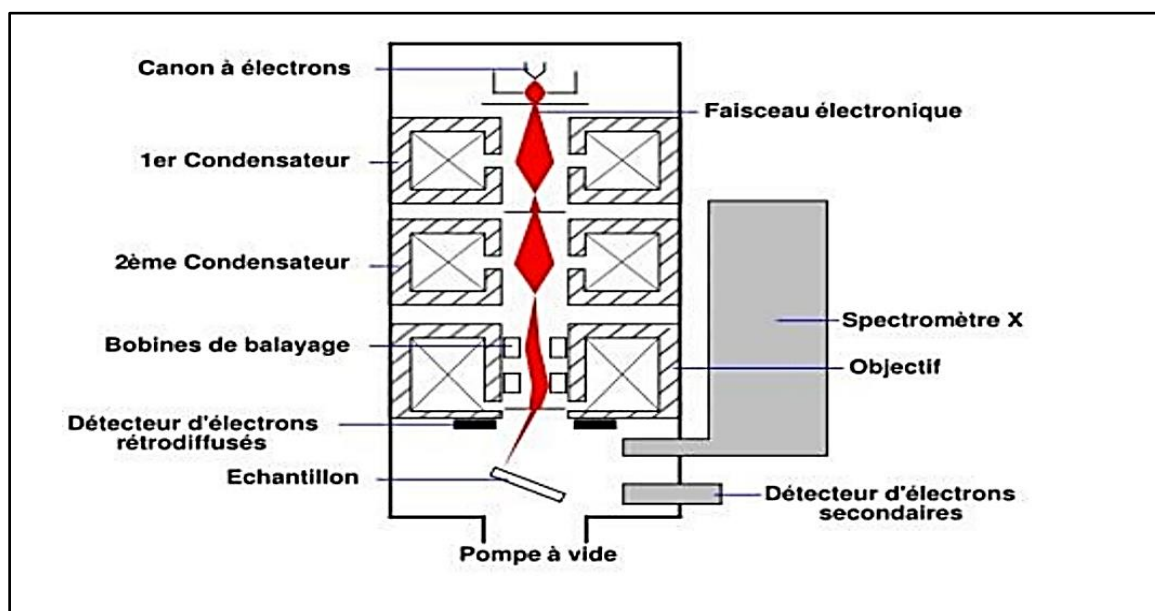


Figure 63: Schéma d'un MEB équipé d'un détecteur de rayons X (J. Goldstein et al, 1992).

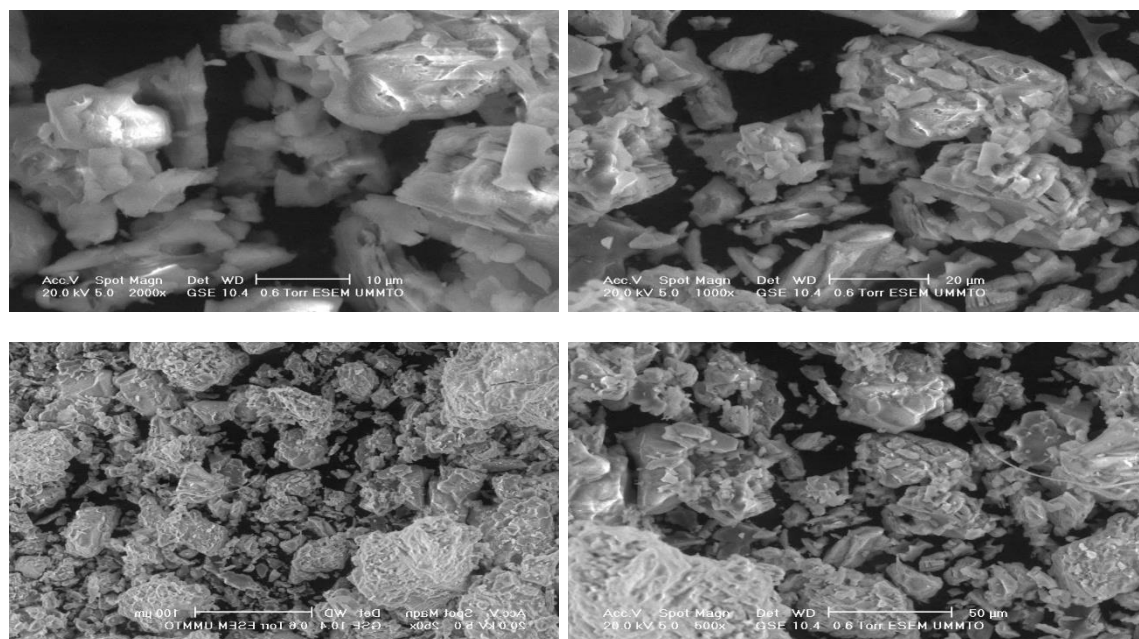
#### 7.3.2 Les analyses de MEB sur le kaolin :

Afin de compléter la caractérisation minéralogique de l'échantillon du kaolin de SAB, un échantillon de la kaolinite (S62) a été analysé au microscope électronique à balayage (MEB) avec différents grossissements au niveau du laboratoire d'analyse chimique de l'UMMTO (voir Figure 64). On note cependant l'absence d'analyses spectrales par ce MEB. On se contente donc uniquement de l'imagerie qui reste difficile à exploiter.

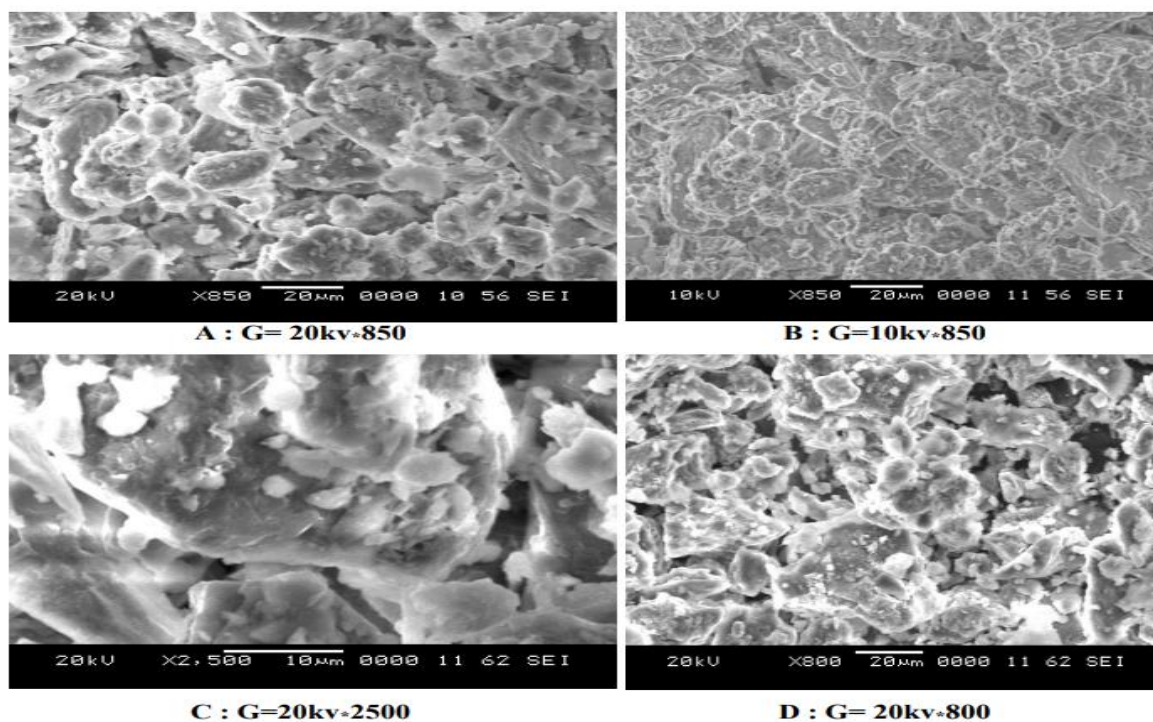
## Chapitre 5 : Géologie des indices du kaolin de SAB

La comparaison entre les résultats d'observation du kaolin de SAB et le kaolin de Tamazert (Figure 65) au MEB : La plupart des minéraux argileux sont monocliniques, la kaolinite est toutefois triclinique. Ces minéraux se présentent sous forme de tablettes hexagonales. Mais ces caractères sont très rarement observables en lame mince des micas.

La kaolinite se présente parfois en empiement de paillettes en forme d'accorions ou de vert incolore en lame mince.



**Figure 65: Observation du kaolin de SAB par microscope électronique à balayage de différents grossissements.**



**Figure 64: Observation du kaolin de Tamazert par microscope électronique à balayage de différents grossissements.**

### 8 Conclusion :

L'argile est une matière rocheuse naturelle à base de silicates ou d'aluminosilicates hydratés, se présente sous forme de feuillets à l'échelle microscopique.

Le kaolin est une argile blanche du groupe de la kaolinite résultant de l'altération principalement de roches acides (granite, granodiorite et pegmatite).

Ce chapitre étudie le kaolin des indices Timezrit et Ouriacha dans le massif de Sidi Ali Bounab, dont les principales roches sont des schistes à biotite, des granites déformés et des gneiss quartzifères feldspathiques.

Malgré le peu d'analyses (04) réalisées aux D.R.X, nous avons constaté deux altérations argiliques : Illitique et kaolinitique au niveau de l'indice de Timezrit et kaolinitique au niveau de l'indice de Ouriacha. Ces derniers indices présentent des caractéristiques minéralogiques et géochimiques presque identiques, notamment les minéraux suivants : kaolinite, muscovite, quartz, dolomite, albite et orthose.

Des études sur le kaolin au microscope électronique à balayage ont montré que la kaolinite est toutefois triclinique.

# Conclusion générale

### Conclusion générale :

Le terrain d'étude « massif de Sidi Ali Bounab » fait partie du socle cristallophyllien de Grande Kabylie, ce dernier fait partie du domaine interne de la chaîne alpine nord-africaine, structuré essentiellement par des événements géologiques du Crétacé au Miocène inférieur durant les deux phases hercyniennes et alpines.

Les formations métamorphiques qui constituent la région de la Grande Kabylie sont essentiellement des orthogneiss, gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes.

La tectonique du socle kabyle est structurée par des événements géologiques allant du Crétacé au Miocène inférieur.

Le massif de Sidi Ali Bounab est constitué essentiellement de formations métamorphiques (gneiss, schistes) et magmatiques (granites), qui sont en discordance avec la couverture miocène post-nappe (grès et marnes).

Cette région se caractérise par une tectonique développée et représentée par des déformations cassantes et parfois ductiles.

Les différentes paragenèses montrent un métamorphisme prograde allant des faciès schiste vert à l'amphibolite faciès.

L'étude des lames minces confirment les caractères observés macroscopiquement, l'analyse des échantillons a relevé la présence des minéraux spécifiques dans chaque faciès, offrant des informations sur les conditions métamorphiques auxquelles ces roches ont été soumises. Chaque faciès rencontré dans le secteur d'étude présente des caractéristiques qui reflètent les processus géologiques complexes.

Le kaolin est une argile blanche du groupe de la kaolinite résultant de l'altération principalement de roches acides (granite, granodiorite et pegmatite).

L'étude du kaolin des indices Timezrit et Ouriacha dans le massif de Sidi Ali Bounab permet de distinguer ces principales roches qui sont des schistes à biotite, des granites déformés et des gneiss quartzifères feldspathiques.

Les analyses réalisées aux D.R.X, permet de constater deux altérations argiliques : Illitique et kaolinitique au niveau de l'indice de Timezrit et kaolinitique au niveau de l'indice de Ouriacha. Ces derniers indices présentent des caractéristiques minéralogiques et géochimiques presque identiques, notamment les minéraux suivants : kaolinite, muscovite, quartz, dolomite, albite et orthose.

Les observations réalisées au microscope électronique à balayage de kaolin montrent que la plupart des minéraux argileux sont monocliniques, la kaolinite est toutefois triclinique.

# REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Azzouni.A, Vitel.G, Coutelle.J, Dautria.J.M., Détermination des minéraux au microscope polarisant, Institut des sciences de la terre, département de géologie, 123p.
- Bendif Drifa et Beldjilali Hassina, 2018, contribution à l'étude géologique et géochimique des albitophyres associées au socle kabyle de la série de Djebel Aissa Mimoun (Tizi-Ouzou), mémoire de Master, UMMTO, 104p.
- Benkarou, N, 1989, Etude pétro-métamorphique et structurale du massif cristallin d'Oued Ksari (Grande Kabylie, Algérie), Thèse de Magister, Univ. USTHB Alger, 145 p.
- Ben Ali Ismal et Bekkouvhe Yahia, 12/06/2014, Etude géologique, minéralogique et géochimique des Argile Kaoliniques du gisement de Djebel Debbagh (Guelma), thèse pour l'obtention Du Diplôme D'ingénieur d'Etat en Géologie, Ouargla, 47p.
- Bettahar.A,1990, Massif de Sidi Ali Bounab (Grande Kabyle), mise en place d'un granite au cours d'un cisaillement tangentiel a vergence NW a W, thèse de Magister, USTHB,144p.
- Bossière. G, 1980, Un complexe métamorphique polycyclique et sa blastomylonitisation.
- Etude pétrologique de la partie occidentale du massif de Grande-Kabylie (Algérie), Unpubl.Doc, Etat Thesis, Nantes Univ., 302 pp.
- Bouillin, J. P, 1986, Le bassin Maghrébin : Une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes, Bulletin De La Société Géologique De France.
- Bouillin, J. P, Durand Delga, M. Gélard, J.P. Leikine, M. Raoult, J. F Raymond, D.Tefiani, M. et Vila, J.M, (1973), Les Olistostromes d'âge Miocène inférieure liées aux Flyschs allochtones Kabyle de l'orogène alpin d'Algérie.
- Chouafa Mohamed,2016, Comportement du kaolin à l'enrichissement par flottation cas de la mine de Tamazert, Jijel, thèse pour l'obtention de diplôme de Doctorat LMD en Mines, université Annaba,98p.
- Damou Messada et Samah silya, 2015, Etude géologique et géochimique des minéralisations à Ba-Pb-Zn-(Cu-Fe) de la région de Bou Mahni (Draa El Mizan), mémoire de Master, UMMTO, 136p.

- Dermoum Nawel, Latreche Sonia, 2016, Contribution à l'étude géologique et géochimique de l'indice de cu,pb/zn de Djebel Aissa Mimoun, mémoire de Master, UMMTO, 80p.
- Durand-Delga, M, 1969, Mise au point sur la structure de l'Algérie septentrionale, *Bull.Serv. Carte Géol. Algérie*, 89–131.
- FICHEUR M. (1890), Les terrains éocènes de la Kabylie du Djurdjura.
- Gani, R, 1988, Etude pétro-structurale des massifs cristallins de Larbaa Naith-Irathen et de Djemaa Saharidj (Grande Kabylie, Algérie), Thèse de Magister, Univ.USTHB Alger, 147 p.
- GANI R. (1988), Etude pétro-structurale des massifs cristallins de Larbaa Nath Irathen et de Djemaa Saharidj (Grand Kabylie), Thèse Magister, Alger.
- Gélard, J.P, 1979, Géologie du Nord-Est de Grande Kabylie (un segment des zones internes de l'orogène littoral maghrébin), Thèse d'Etat, Univ. Dijon, 335 p.
- Laraba Mohammed, 2002, Caractérisation physico-chimique et valorisation du minerai de kaolin de Djebel Debbagh- Guelma en vue de son utilisation industrielle, Thèse de doctorat, université Jijel, 141p.
- Mohammad Koneshloo, 2007, Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d'argiles kaoliniques du bassin des Charentes, thèse, Paris, 243p.
- Mohamed Ouramdane Aite, 21/01/1994, Analyse de la microfracturation et paléo-contraintes dans le néogène post-nappes de Grande Kabylie (Algérie), thèse pour l'obtention du diplôme, l'université de MAINE, 166p.
- Rachid Gant, 11/06/88, Etude petro-structurale des massifs cristallins de Larbaa Nait Irathen et de Djemaa Saharidj (Grande kabylie, Algérie), thèse de Magister, USTHB, 147p.
- Raymond, D, 1976, Evolution sédimentaire et tectonique du nord-ouest de la Grande Kabylie (Algérie) au cours du cycle alpin, Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Pierre et Marie, Cury –Paris 6-.
- Saadallah.A, 1980, la Grande Kabylie dans le contexte Algérien vue par les géosciences, ouvrage.
- Saadallaah.A (1984), les terrains cristallophylliens de massifs d'Alger et de la grand Kabylie.
- Saadallah, A. (1992), Le Cristallin de la Grande Kabylie (Algérie) place dans la chaîne des Maghrebides, Thèse d'état. Alger.

- Sabrina BENCHEKCHOUK et Lynda BOUHADDAD, 2020, Contribution à l'étude d'un aquifère de socle par le biais de l'interventaire des sources et leur caractérisation, cas du massif de Sidi Ali Bounab, partie orientale (Grande Kabylie), mémoire de Master, UMMTO, 104p.
- Teldja Yasmine, 2015/2016, SIG appliqué à la géologie et la géologie de Tizi-Ouzou (Région de la Grande Kabylie), mémoire de Master, UMMTO, 81p.
- Thiebault, J. (1951), Etude géologique des terrains métamorphiques de Grande Kabylie. Bull. Ser. Geol. Algérie, (Faculté des sciences de Toulouse), 172P.
- THIEBAUT. J, 1951 Etude géologique des terrains métamorphiques de la grande Kabylie.
- Rapport des travaux de prospection et d'exploration exécutés de 1974 à 1975 dans les gisements de roches feldspatho-kaolineuses du périmètre de Sidi Ali Bounab-Ouriacha) de l'ASGA, N°02.75.011, 71p.