

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

## Mémoire de Magister

Présenté par

**MOUZAIA El Abid**

Filière : Ressources Minérales et Energétiques

Option : Recherche et Prospection des Hydrocarbures et des Minéraux Utiles

---

**ETUDE GITOLOGIQUE DE LA MINERALISATION  
POLYMETALLIQUE DES SONDAGES MS2, MS3 ET MS11 DANS LA  
CALDEIRA DE CHOCHKHA, MASSIF DU M'SIRDA (TLEMSEN),  
NORD OUEST ALGERIEN**

---

**Devant le jury :**

|         |        |      |       |           |
|---------|--------|------|-------|-----------|
| KOLLI   | Omar   | Prof | USTHB | Président |
| BENALI  | Hanafi | Prof | USTHB | Examineur |
| LOUMI   | Khaled | MC/A | UMBB  | Examineur |
| BELHADI | Ahmed  | MC/A | UMBB  | Encadreur |

Année Universitaire : 2015/2016

## Remerciements

### Dieu merci

Ce travail ne serait accompli sans l'aide de ma famille qui m'a soutenue et encouragée pour poursuivre mes études de Post-Graduation, notamment **ma mère** qui a su me remonter le moral dans les moments de doute, je leur exprime mes amours et un **Grand Merci**.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Monsieur A.Belhadi tout d'abord pour avoir proposé ce thème et pour m'avoir accompagné tout au long de la réalisation de ce mémoire. Il a été d'un grand apport via ses conseils et ses critiques constructives, qu'il trouve ma reconnaissance ici ;

Je tiens à remercier Monsieur O. Kolli pour avoir accepté la présidence du jury ;

Mes remerciements vont aussi à Messieurs ;

H. Benali pour avoir accepté d'examiner mon travail ;

K. Loumi qui a accepté d'examiner mon travail, et pour aussi ses encouragements et sa disposition à m'aider avec ses propres moyens ;

R. Chaouchi pour sa précieuse aide notamment, la mise à ma disposition, du microscope du laboratoire;

M<sup>lle</sup> Mounira pour sa disposition innée à épauler les gens. Ce qu'elle a fait pour moi, me laisse à jamais reconnaissant, sans elle ça aurait été plus fastidieux ;

M<sup>me</sup> Wahiba pour la confection des lames minces et sections polies ;

Nabila pour m'avoir soutenu du début à la fin de ce mémoire merci merci ;

Mes collègues de la Post-Graduation ; Lamia, Kahina, Habiba et Miada ;

Nabil frère, Djamel, Youcef et Yasmine pour m'avoir aidé.

**Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.**

## ملخص

تنتهي كالديرا شوشخة الى الحد الشمال غربي من الضفة الجزائرية التابع للمجال الخارجي للمغربيد.

تعد شاهدة على النشاط المغماتي الذي عرفته المنطقة مند ميوسين الى بليو- الرابع و المتميزة بكثرة الحمم البركانية ذات الطبيعة القلوية.

عرفت شوشخة حركة تكتونية كثيفة خاصة في العصر الثالث و التي تعد أساس الهيئة البنيوية الحالية. الاتجاهات الأساسية للخطوط التي مستها هي شمال-شمال-غرب / جنوب-جنوب-شرق / شمال – غرب / جنوب-شرق , شرق-غرب.

تحتوي شوشخة على مؤشرات لمعادن متعددة موجودة في الأندزيت ذات العمر الميوسيني و بليو-الرابع.

هذه المعادن متكونة أساسا من البيريت , كالكوبيريت , سفاليريت , غالينة , مجنيتيت , هيماتيت

الدراسات المنجزة مكنت من تحديد مرحلتين للتمعدن:

- قبل التمدن: بترسب الشوائب على غرار الكوارتز , الكالسيت , سيريسيت , ابيدوت , و المعادن كالبيريت , I والمجنيتيت

- التمدن التي تميزت ايضا بمرحلتين:

مرحلة ترسيب البيريت II , هيماتيت I غالينة I , كالكوبيريت I , أرسنوبيريت I سفاليريت I

, أولا ثم مرحلة ترسيب البيريت III , مجنيتيت II , كالكوبيريت II , غالينة II , سفاليريت II ثانيا.

مكنت تقنية انحراف الأشعة السينية من تحديد التجمعات المعدنية الأولية والطينية لمنطقة الدراسة و ذلك من أجل تشخيص التغيرات التي مستها.

التغيرات الحرمائية التي مست التركيبة الأندزيتية للمنطقة هي سيريسية , و كربوناتية.

فيما يخص نوع الممكن فانه حراري سطحي منخفض الكبريتيدات و ذلك لتوفر الأدولير بكثرة لكن هذه الخلاصة تحتاج الى الدعم بدراسات اخرى.

**كلمات دلالية:** شوشخة , الأندزيت , التمدن , انحراف الاشعة , التغيرات الحرمائية , تكتونية , حراري سطحي.

**Abstract:**

The Chouchkha caldeira (M'Sirda, Tlemcen) is part of the North Western Algerian margin belonging to the external domain of Maghrebides. It is characterized by Miocene to Plio-Quaternary magmatic activity that resulted in the deposition of alkaline and calc-alkaline andesitic and basaltic volcanic rocks.

The actual structural architecture is the result of intense tertiary tectonic movements. The main directions of lineaments are NNW-SSE, NW-SE, E-W.

Chouchkha has got evidences of polymetallic mineralization hosted in Miocene andesite. This mineralization consists mainly in Pyrite-Chalcopyrite-Sphalerite-Galena-Magnetite and Hematite.

This study highlights two main stages of mineralization:

- i) An early mineralization stage characterized by the deposit of gangue minerals such as Quartz, Calcite, Sericite, and metallic minerals including Pyrite I, Magnetite I.
- ii) A main mineralization stage, which can be separated into two phases. The first phase is characterized by the deposition of Pyrite II, Hematite I, Galena I, Sphalerite I, Chalcopyrite I, Arsenopyrite I, and the second one by Pyrite III, Magnetite II, Chalcopyrite II, II Galena, sphalerite II.

The X-Ray Diffractometry (XRD) helped to identify primary and clay minerals which helped to characterize the hydrothermal alteration.

The main hydrothermal alterations which affected the andesitic formations are sericitic, , Adulara and carbonatic alterations.

The detection of Adularia within several levels of boreholes indicates that the deposit is of low sulphidation epithermal type. However these results require to be supported by further studies.

**Key words:** Chouchkha, andesite, polymetallic mineralization, XRD, hydrothermal alterations, epithermal deposit.

## **Résumé:**

La caldeira de Chouchkha (M'Sirda, Tlemcen) fait partie de la marge algérienne nord occidentale appartenant au domaine externe des Maghrébides. Elle témoigne de l'activité magmatique qu'a connue la région depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire et caractérisée par l'abondance des épanchements volcaniques basaltiques et andésitiques de nature alcaline et calco-alcaline.

Elle a connu d'intenses mouvements tectoniques principalement tertiaires, qui sont à l'origine de la configuration structurale de nos jours. Les principales directions de linéaments qui l'ont affecté sont NNW-SSE, NW-SE, E-W.

Chouchkha recèle des indices de minéralisation polymétallique encaissée dans des andésites d'âge Miocène. Cette minéralisation est constituée principalement de Pyrite-Chalcopryrite-Sphalérite-Galène-Magnétite et Hématite.

Les études réalisées mettent en exergue deux principaux stades de mise en place, il s'agit de ;

**i)** une phase pré-minéralisation caractérisée par le dépôt de minéraux de gangue à l'instar du Quartz, Calcite, Séricite, Epidote et de minéraux métalliques notamment la Pyrite I, la Magnétite I,;

**ii)** une phase minéralisatrice qui a connu à son tour deux stades de minéralisation illustrés par le dépôt de la Pyrite II, Hématite I, Galène I, Chalcopryrite I, Sphalérite I, Arsénopyrite I en premier lieu, puis le dépôt de Pyrite III, Magnétite II, Chalcopryrite II, Galène II, Sphalérite II en second lieu.

La Diffraction aux Rayons X (DRX) a contribué dans l'identification des assemblages de minéraux primaires et argileux du secteur d'étude, en guise de caractériser les altérations l'ayant affecté.

Les principales altérations hydrothermales affectant les formations andésitiques du secteur sont les altérations séricitique, adulaire, argilique et carbonatique.

Quant au type de gisement il est épithermal à basse sulfuration vu la présence en abondance de l'Adulaire. Cependant il reste à être appuyé par davantage études.

**Mots clés :** Chouchkha, minéralisation polymétallique, andésite, DRX, altérations hydrothermales, gîte épithermal



## Tables des matières

Remerciements

ملخص

Abstract

Résumé

### Introduction générale

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Introduction-----             | 01. |
| Objectif du travail-----      | 01  |
| Organisation du travail ----- | 02  |

### Chapitre I : Géologie régionale

|  |    |
|--|----|
| I.1. Historique des travaux antérieurs-----    | 03 |
| I.2. Cadre géologique-----                     | 06 |
| A. Le domaine atlasique -----                  | 06 |
| B. Le domaine tellien -----                    | 06 |
| 1. L'autochtone et para-autochtone -----       | 06 |
| 2. L'allochtone à affinité tellienne -----     | 07 |
| 3. L'autochtone à affinité rifaine -----       | 07 |
| 4. L'unité numédienne-----                     | 07 |
| I.2.1. Stratigraphie -----                     | 11 |
| I.2.1.A. Le Paléozoïque -----                  | 11 |
| a. Le Cambro-ordovicien -----                  | 11 |
| b. Le Silurien -----                           | 11 |
| d. Le Dévonien -----                           | 11 |
| e. Le Carbonifère -----                        | 12 |
| f. Le Permo-trias-----                         | 12 |
| I.2.1.B. Le mésozoïque-----                    | 12 |
| a. Le Jurassique-----                          | 12 |
| a. 1. Le Jurassique inférieur-----             | 12 |
| a. 2. Le Jurassique moyen et supérieur-----    | 12 |
| b. Le Crétacé-----                             | 12 |
| I.2.1.C. Le Cénozoïque-----                    | 12 |
| a. Le Paléocène -----                          | 12 |
| b. L'Eocène -----                              | 12 |
| c. L'Oligocène -----                           | 12 |
| d. Le Miocène -----                            | 12 |
| d.1. Le Miocène post nappe premier cycle ----- | 12 |
| d.2. Le Miocène post nappe second cycle -----  | 13 |
| e. Le Plio-Quaternaire -----                   | 13 |
| I.3. Cadre structural-----                     | 15 |
| a. La tectogenèse varisque -----               | 15 |
| a. 1. La tectonique souple -----               | 15 |
| a. 2. La tectonique cassante -----             | 15 |
| b. La tectogenèse atlasique -----              | 15 |
| I.4. Le magmatisme tertiaire-----              | 18 |

## **Chapitre II : géologie locale**

|   |    |
|---|----|
| II.1. Introduction                                      | 21 |
| II.2. Situation géographique                            | 22 |
| II.3. Cadre géologique                                  | 24 |
| II.3.1. Stratigraphie                                   | 25 |
| II.3.1.A. Formations sédimentaires                      | 25 |
| a. Le Trais   | 25 |
| b. Le Jurassique  | 25 |
| c. Le Crétacé   | 25 |
| d. Le Miocène   | 25 |
| e. Le Pliocène  | 26 |
| f. Le Quaternaire                                       | 26 |
| II.3.1.B. Les formations volcaniques                    | 26 |
| a. Les andésites miocènes                               | 26 |
| b. Les basaltes miocènes                                | 27 |
| c. Les basaltes alcalins                                | 27 |
| II.3.1.C. La géochimie des roches volcanique de M'Sirda | 27 |
| II.4. Cadre structural                                  | 29 |
| II.5. Volet prospection                                 | 32 |
| A. Zone de Chouchkha                                    | 33 |
| B. La minéralisation auro-argentifère                   | 38 |

## **Chapitre III : étude géologique**

|   |    |
|---|----|
| III.1. Introduction                                 | 41 |
| III.2. Historique de secteur de M'Sirda             | 43 |
| III.3. L'encaissant de la minéralisation            | 44 |
| III.3.a. Les laves andésitiques                     | 44 |
| III.4. Gîtologie                                    | 51 |
| III.4.1. Les textures de la minéralisation          | 51 |
| III.4.2. Etude minéralogique                        | 54 |
| III.4.3. Discussion sur la succession paragénétique | 72 |

## **Chapitre IV : altérations hydrothermales**

|   |    |
|---|----|
| IV.1. Introduction                                | 74 |
| IV.2. Analyse DRX                                 | 78 |
| IV.2.1. Méthodologie                              | 78 |
| IV.2.2. Intensités des altérations hydrothermales | 81 |
| IV.2.3. Résultats de l'analyse par XRD            | 88 |
| IV.2.4. Les zones d'altération                    | 95 |
| IV.3. Interprétation des résultats et discussions | 99 |

## **Conclusion générale**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Conclusion générale          | 101 |
| Références bibliographiques. |     |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Fig.1.</b> Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (Wildi, 1983, modifié par Boutaleb, 2002) ---   | 08 |
| <b>Fig.2.</b> Essai de reconstitution des séries stratigraphiques des nappes de type rifain, (Guardia, 1975)-----  | 09 |
| <b>Fig.3.</b> Localisation et âge du volcanisme Moi-plio-quadernaire de l'Algérie Nord-occidentale, (Megartsi, 1985, modifiée par Belhadi) -----   | 10 |
| <b>Fig.4.</b> Esquisse géologique de l'Oranie Nord-occidentale. (D'après Fenet, 1975 ; Guardia, 1975 et Megartsi, 1985) -----  | 14 |
| <b>Fig.5.</b> Carte schématique structurale de l'ouest de l'Algérie, (d'après Wildi 1983, modifiée par Boutaleb 2003)-----   | 17 |
| <b>Fig.6.</b> Localisation et âge du volcanisme néogène d'Oranie (Coulon et al, 2002, modifiée par Medini, 2010) -----   | 20 |
| <b>Fig.7.</b> Situation géographique de la région de M'sirda, (Boukhdimi, 2009)-----   | 23 |
| <b>Fig.8.</b> Carte géologique du massif des M'sirda, (Guardia, 1975) -----  | 24 |
| <b>Fig.9.</b> Carte structurale du massif de M'Sirda, (ORGM, 1995) -----   | 30 |
| <b>Fig.10.</b> Carte linéamentaire du massif de M'sirda, (Bouzakaria et Hadj Larbi, 1996) -----  | 31 |
| <b>Fig.11.</b> Rosace des linéaments de M'Sirda, (Bouzakaria et Hadj Larbi, 1996)-----   | 31 |
| <b>Fig.12.</b> Carte de position des sondages réalisés dans le Chouchkha, (Ouibrahim, 2014) -----  | 32 |
| <b>Fig.13 a et b.</b> Vues panoramiques du dôme de Chouchkha-----  | 34 |
| <b>Fig.14.</b> Carte thématique de la distribution du zinc dans M'Sirda, Ouibrahim (2014) -----  | 36 |
| <b>Fig.15.</b> Carte thématique de la distribution du cuivre dans M'Sirda, Ouibrahim (2014)-----   | 37 |
| <b>Fig.16.</b> Carte thématique de distribution de l'Or dans M'Sirda, (Ouibrahim, 2014) -----  | 39 |
| <b>Fig.17.</b> Carte thématique de distribution d'Argent dans M'Sirda, (Ouibrahim, 2014) -----   | 40 |
| <b>Fig.18.</b> Carte géologique de la zone de Chouchkha avec positions des sondages implantés, (ORGM,2000). -----  | 42 |
| <b>Fig.19a</b> .Reliques de plagioclases et d'orthoses, b). Reliques de feldspaths (calcitisation) dans une mésostase complètement ferruginisée, LPA, Gr (x05). -----  | 45 |
| <b>Fig.20.a</b> .Biotite altérée dans une mésostase ferruginisée et <b>b.</b> Biotite entourée des oxydes de fer LPA Gr (x05) -----  | 46 |
| <b>Fig.21.a.</b> Amphiboles altérées en présence de plagioclases dans une mésostase entièrement ferrugineuse,b.Relique de sections basales d'amphiboles altérée (calcitisation) dans une mésostase ferrugineuse. LPA Gr (x05). ----- | 47 |
| <b>Fig.22.a.</b> Relique d'hornblende brune, b. Hornblende associée à de la calcitisation LPA Gr (x05). -----  | 47 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Fig.23.a.</b> Phénocristal de clinopyroxène en relique dans une mésostase séricitisée et b. Reliquats des clinopyroxènes et amphiboles. LPA (Grx05).----- | 48 |
| <b>Fig.24.</b> Minéraux opaques dans une amphibole altérée et dans la mésostase LPA (Grx05).-----  | 48 |
| <b>Fig. 25.</b> Log synthétique du sondage MS11 de M’Sirda, Benali (2007), modifié. -----  | 50 |
| <b>Fig.26.</b> La texture disséminée représentée par de la pyrite dans un encaissant andésitique-----  | 51 |
| <b>Fig.27.</b> La texture veinulée à remplissage de sulfures et oxydes de Fer-----   | 52 |
| <b>Fig.28.</b> La texture massive pyriteuse -----  | 52 |
| <b>Fig.29.</b> La texture tachetée représentée par des sulfures -----  | 53 |
| <b>Fig.30.</b> La texture zébrée dans une andésite -----   | 53 |
| <b>Fig.31.</b> La texture de remplissage par minéralisation polymétallique. -----  | 54 |
| <b>Fig.32.</b> Photographie de pyrite I disséminée dans un encaissant andésitique (Grx5). -----  | 55 |
| <b>Fig.33</b> .Photographie de pyrite II en plages xénomorphes dans l’andésite (Grx05). -----  | 55 |
| <b>Fig.34.</b> Photographie de pyrite II automorphe dans une veinule avec hématite I -magnétite (LNA et LPA, Grx05).-----                                    | 56 |
| <b>Fig.35.</b> Photographies de pyrite II au contact de magnétite-oligiste (a) et de l’hématite (b), LN, (Grx05).-----                                       | 56 |
| <b>Fig.36.</b> Pyrite II remplacée par la chalcopyrite I, (Grx05). -----   | 56 |
| <b>Fig.37.</b> Photographie de Pyrite III envahissant tout l’encaissant andésitique (Grx05).-----  | 57 |
| <b>Fig.38.</b> Photographie montrant pyrite II recuites (Grx05) -----  | 57 |
| <b>Fig.39.</b> Photographie de Chalcopyrite I en inclusions (a), et (b) en disséminations (Grx05) -----  | 58 |
| <b>Fig.40.</b> Photographie montrant la Chalcopyrite I en inclusions dans la galène (Grx05).-----  | 58 |
| <b>Fig.41.</b> Chalcopyrite II remplaçant la pyrite II, (Grx05) -----  | 59 |
| <b>Fig.42.</b> Chalcopyrite II corrodant la pyrite II (Grx05). -----   | 59 |
| <b>Fig.43.</b> Galène I en disséminations (a), et au contact de la sphalérite I (Grx05).-----  | 60 |
| <b>Fig.44.</b> Galène I remplissant les pores de pyrite II (Grx05).-----   | 60 |
| <b>Fig.45.</b> Galène II dans les veinules avec pyrite II (Grx05).-----  | 61 |
| <b>Fig.46.</b> Ggalène II corrodée par la pyrite III, (Grx05).-----  | 61 |
| <b>Fig.47</b> .Photographies de sphalérite remplissant les pores de pyrite II(a) et dans la galène II (b), Grx5. -----                                       | 62 |
| <b>Fig.48</b> .Photographies de sphalérite II remplaçant la pyrite I, et envahie par pyrite III (Grx10a, x05b).-----   | 62 |
| <b>Fig.49.</b> Photographie de magnétite I (a) en disséminations avec la pyrite I et oligiste et (b) recoupée par l’hématite. (Grx05).-----                  | 63 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Fig.50</b> .Photographie de magnétite II automorphe dans une fissure avec oligiste Grx05-----   | 63 |
| <b>Fig.51</b> . Photographie de magnétite II pseudomorphosée par l'hématite. (Grx05)-----  | 64 |
| <b>Fig.52</b> . Photographie de l'hématite I en lamelles et en plages (Grx05). -----   | 64 |
| <b>Fig. 53</b> . Photographie en LNA et LPA montrant de l'hématite I en association avec pyrite II (Grx05).-----                                   | 64 |
| <b>Fig.54</b> . Photographies d'hématite I en gerbes LPA,(Grx05). -----  | 65 |
| <b>Fig.55</b> . Photographies de l'hématite II sous deux formes (a) en plages, remplaçant la magnétite et ayant forme squelettique).GRx5, LNA----- | 65 |
| <b>Fig. 56</b> .Photographie de marcassite pseudomorphosant la pyrite II, (Grx05) -----  | 66 |
| <b>Fig.57</b> .Photographie de l'arsénopyrite losangique en gros cristaux (a) et en disséminations (b), (Grx05) -----                              | 67 |
| <b>Fig.58</b> .Photographie de l'arsénopyrite envahie par la Chalcopyrite II, (Grx05 -----   | 67 |
| <b>Fig.59</b> . Photographie (LNA et LPA) de la goethite pseudomorphosée par l'hématite (Grx05). -----   | 68 |
| <b>Fig.60</b> . Photographie de la bornite remplaçant la chalcopyrite II. -----  | 68 |
| <b>Fig.61</b> . Photographie de la Digénite remplaçant la chalcopyrite II (GRx5). -----  | 69 |
| <b>Fig.62</b> . Photographie de la limonite en association avec l'hématite I (LPA et LNA, GrX5). -----   | 69 |
| <b>Fig.63</b> .Photo de Quartz I LPA GrX05 -----   | 71 |
| <b>Fig.64</b> . Photo de Quartz II dans une veinule LPA GrX05-----   | 71 |
| <b>Fig.65</b> .Photo de calcite I LPA Gr X05 -----   | 71 |
| <b>Fig.66</b> .Photo de calcite II LPA GrX05 -----   | 71 |
| <b>Fig.67</b> .Carte d'altération dans la zone de Chouchkha, ORGM (1999). -----  | 77 |
| <b>Fig. 68</b> .Exemple de Charte de la fraction argileuse avant et après traitement(MSII) -----   | 80 |
| <b>Fig.69</b> .Chartes montrant l'intensité des pics des plagioclases (MS11, MS3 -----   | 83 |
| <b>Fig.70</b> .Photos montrant les reliques de plagioclases altérés dans la lame mince. (LPA, X05), confirmée par le DRX. -----                    | 84 |
| <b>Fig. 71</b> .Charte des intensités des minéraux de la roche andésitique analysée par DRX.-----  | 88 |
| <b>Fig.72</b> .Chartes de Diffractogrammes montrant en a) l'Orthose et en b) l'Adulaire. -----   | 93 |
| <b>Fig.73</b> .Charte de l'Adulaire. -----   | 94 |
| <b>Fig. 74</b> .Photo montrant l'altération des minéraux (Quartz+smectite), confirmé par DRX. LM : LPA (X05).-----                                 | 96 |
| <b>Fig.75</b> .Photo de lame mince montrant au microscope l'altération à dominance séricite-illite-pyrophyllite. LPA (X05). -----                  | 96 |

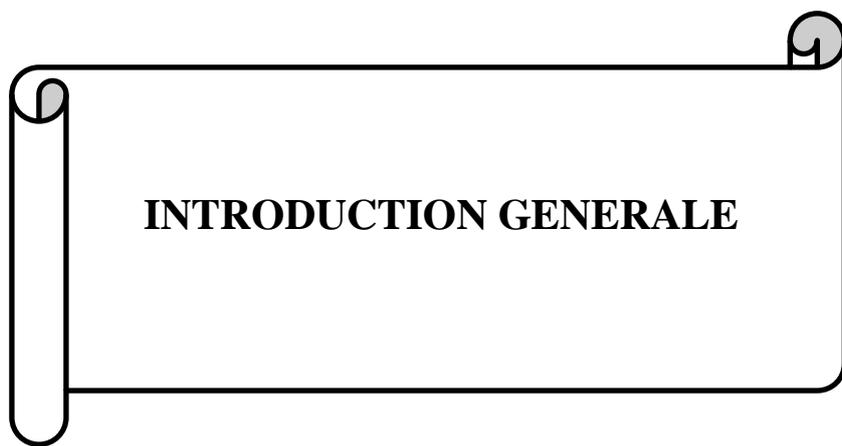
|  |    |
|--|----|
| <b>Fig. 76</b> .Photo de lame mince montrant l'altération séricitique confirmée par DRX, LPA (X05). -----                              | 97 |
| <b>Fig.77</b> .Photo de lame mince montrant l'altération séricitique avec les reliques de l'augite et des feldspaths. LPA (X05). ----- | 97 |
| <b>Fig.78</b> . Photo de lame mince montrant l'altération hydrothermale (séricite) avec reliques. LPA (X05). -----                     | 98 |
| <b>Fig.79</b> .Photo de lame mince montrant l'altération hydrothermale (séricite+kaolinite), LPA (X05). -----                          | 98 |

## **Liste des tableaux**

- Tab.1. Sélection d'analyses géochimiques (éléments majeurs), (Medini, 2010)
- Tab.2. Sélection d'analyses géochimiques (éléments en trace), (Collon et al, 2002)
- Tab.3. Zones Minéralisées recoupées par les sondages de Chouchkha (ORGM, 2000).
- Tab.4. La succession paragenétique probable de la minéralisation de Chouchkha.
- Tab.5. Intensités des pics plagioclases dans les intervalles du MS2.
- Tab.6. Intensités des pics des plagioclases dans les intervalles du MS3
- Tab.7. Intensités des pics des plagioclases dans les intervalles du MS11
- Tab.8. Résultats des analyses XRD du sondage MS2.
- Tab.9. Résultats des analyses XRD du sondage MS3.
- Tab.10. Résultats des analyses XRD du sondage MS11.

## Liste des abréviations

- **Adu:** Adulaire
- **Al:** Alunite
- **As:** Arsénopyrite
- **Aug:** Augite
- **Bio:** Biotite
- **Bo:** Bornite
- **Cal:** Calcite
- **Cp:** Chalcopyrite
- **Chl:** Chlorite
- **Cov:** Covellite
- **Di :** Dickite
- **Ga:** Galène
- **Go:** Goethite
- **Gy :** Gypse
- **Ha :** Halite
- **Hm:** Hématite
- **Hnb:** Hornblende,
- **Il :** Illite
- **Kao:** Kaolinite
- **Lm:** Limonite
- **Mg:** Magnetite
- **Mc:** Marcasite
- **Nau:** Naumaunite
- **Orth:** Orthose
- **Plg:** Plagioclase
- **Px:** Péroxène
- **Py:** Pyrite
- **Pyr:** Pyrophilite
- **Qtz:** Quartz
- **Sér:** Séricite
- **Sme:** Smectite
- **Sp :** Sphalérite



**INTRODUCTION GENERALE**

### Introduction

Le massif oranais qui fait partie de la chaîne alpine de la méditerranée occidentale est caractérisé par une intense activité volcanique depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire. Il constitue une ceinture volcanique de 20 Km de largeur, renfermant plusieurs appareils volcaniques (60 environs) et se répandant sur une superficie de 1000 Km<sup>2</sup>, (Bendoukha, 2008).

La caldeira de Chouchkha qui fait partie du massif de M'Sirda, est l'un des témoins de cette activité magmatique dans l'Oranie. Elle recèle à l'instar de toute la région oranaise, des minéralisations polymétalliques et aussi des indices à Au-Ag importants liés au contexte volcanique.

Plusieurs gisements potentiels (à Au-Ag), de par le monde, ont été mis en évidence dans des contextes similaires à celui de l'Oranie à l'instar de de McLaughen (USA), Hishikari (Japon), Round Mountain (USA), (Hidenquiste et al, 1996). C'est dans cette optique qu'il a été décidé de prospector la région dont M'Sirda fait partie, dans la perspective de trouver des minéralisations susceptibles d'être valorisées.

### Objectif du travail

Nombreux sont les travaux qui ont traité de cette région et la minéralisation y afférente, citons Medini, 2010 ; Benali, 2007 ; Bouakkaz, 2002 et les rapports de l'ORGM (1994,1998).

Hormis les rapports de l'ORGM qui évoquent vaguement le type de la minéralisation en place à savoir un amas sulfuré (VMS) et un épithermal, les autres recherches ont été focalisées sur la détermination de la minéralisation et son encaissant (sections polies pour la succession paragénetique et lames minces pour la pétrographie), sans utiliser d'autres méthodes analytiques à l'instar de la Diffractométrie aux Rayons X (DRX) ou les inclusions fluides.

C'est à partir de cette problématique qu'il a été proposé ce thème en l'occurrence *l'étude géologique de la minéralisation des sondages MS2, MS3 et MS11 dans la caldeira de Chouchkha (M'Sirda)* en fixant comme objectif la détermination de la nature des fluides hydrothermaux à l'origine de cette minéralisation à travers l'étude des altérations hydrothermales en faisant appel à la Diffractométrie aux Rayons X (DRX). Cette méthode sera appuyée par une étude pétrographique de quelques lames minces et autre métallogénique de sections polies.

### **Organisation du travail :**

La méthodologie empruntée afin de mener à terme l'étude se résume en :

- une synthèse bibliographique (thèses, mémoires, rapports, bulletins) ;
- une confection de seize (16) lames minces et leur étude pétrographique ;
- une confection de soixante-huit (68) sections polies et leur étude métallographique ;
- des analyses et interprétations de soixante-seize (76) diffractogrammes obtenus par la Diffractométrie aux Rayons X (DRX);
- l'utilisation de logiciels informatiques (Mapinfo 10.0, Photoshop CS3, Illustrator CS6 Surfer 10.0, etc.).

Pour les besoins de l'étude, le mémoire a été réparti sur quatre chapitres traitant de la problématique. Il est initié par une introduction générale dont il a été question de faire un bref aperçu sur la région ; de présenter l'objectif assigné ; et les moyens mis à dispositions pour sa concrétisation.

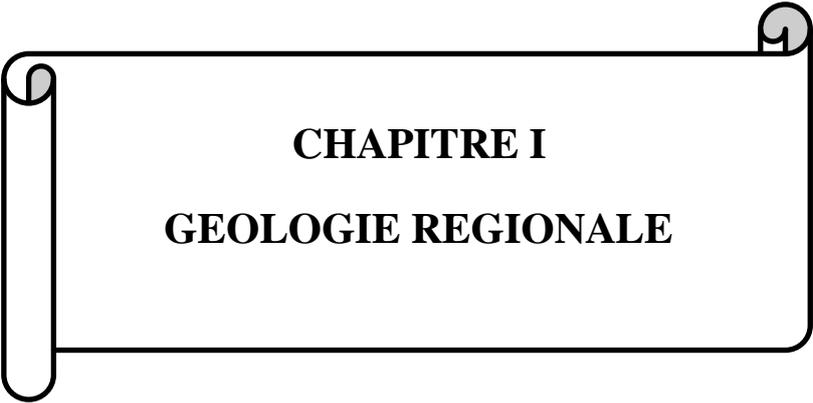
Le premier chapitre est consacré au cadre régional où il a été synthétisé l'ensemble des travaux antérieurs suivi d'une description des formations géologiques ; l'activité magmatique et la tectonique y affectant la région.

Le second chapitre traite du cadre local avec ses spécificités géologiques, structurales y afférentes, ainsi que la nature et la géochimie des formations volcaniques en place. Il sera conclu par le volet prospection de la minéralisation polymétallique associée au contexte volcanique.

Le troisième chapitre est dédié à l'étude pétrographique de l'encaissant de la minéralisation, suivi d'une étude métallographique afin de faire ressortir les paragenèses minéralogiques et leur succession chronologique.

Le quatrième chapitre fait l'objet d'étude des altérations hydrothermales affectant le secteur via la Diffractométrie aux Rayons X (DRX) et essayer de déterminer la nature des fluides hydrothermaux à l'origine de la mise en place de la minéralisation polymétallique de Chouchkha.

Enfin une conclusion générale présentant l'ensemble des résultats obtenus.



**CHAPITRE I**  
**GEOLOGIE REGIONALE**

**I.1. Historique des travaux antérieurs**

L'Algérie nord occidentale a suscité pendant longtemps l'attrait des géologues qui s'intéressaient beaucoup au volcanisme de la région, et continuent d'ailleurs toujours à le faire, et ce à travers la publication d'un nombre important d'ouvrages et d'articles scientifiques. Le premier à avoir étudié la région est Vilaine en 1875 en donnant une description pétrographique du matériel éruptif et signalait une néphéline à mililite dans les Iles Habibas et Rachgoun à Béni Saf.

De 1889 à 1890, Curie et Flamand, ont donné une description pétrographique des roches de Tifaraouine et des Iles Habibas.

De 1893 à 1927, Lacroix, a précisé les aspects chimiques et minéralogiques des laves de la région, et fut le premier à qualifier le matériel effusif d'Ain Timouchent de basanitoides à alcime tout en précisant pétrographiquement le caractère sous saturé et alcalin de ce secteur.

En 1903, Gentil, a travaillé sur la région de la Tafna, et a dressé une étude sur les massifs éruptifs de la basse et moyenne Tafna et de la région d'Ain Timouchent soldée par un levé de la région à 1 /20 000.

De 1936 à 1938, Gautier, a étudié le cadre paléogéographique et structural du secteur de Ghazaouet. Il a apporté des précisions sur le caractère minéralogique et chimique du volcanisme d'Ain Timouchent.

En 1952, Gourinard, a consacré ses études au cadre structural du littoral oranais.

De 1952 à 1958, Sadran, a réalisé une étude sur les roches volcaniques de Traras et de l'Oranie nord occidentale en cartographiant les différents centres d'émissions.

De 1968 à 1984, Guardia, a contribué à la connaissance de la région sur les plans cartographique, structurale, stratigraphique et pétrographique. Sa thèse (1975) en est une référence incontournable, dans la recherche scientifique à nos jours.

En 1975 Fenet a étudié la géodynamique des monts de Tessala et des massifs littoraux oranais en adoptant le concept nappiste

De 1976 à 1984, Bellon a réalisé avec d'autres auteurs (Guardia, et al) des études chronologiques (mesures radiométriques et datations micropaléontologiques) pour préciser la stratigraphie ainsi que l'âge de la mise en place du volcanisme oranais.

En 1985 Megartsi a étudié dans sa thèse le volcanisme néogène de l'Oranie nord occidentale, en distinguant les différents types (alcalins, calco-alcalins) et leurs âges de mise en place.

En 1987 Bendoukha a étudié la nature du massif volcanique de la Basse Tafna, et décrit un épisode phréatomagmatique intercalé entre deux épisodes stromboliens.

En 1988, Aneur a élaboré dans sa thèse d'Etat des études stratigraphiques et sédimentologiques de la partie orientale de la chaîne de Fellaoussène.

En 1993, Abed a étudié le massif éruptif de Souhalia de point de vue pétrographique et géochimique en soulignant son caractère alcalin.

Aussi en 1993, Ciszak a réalisé une thèse sur l'évolution de la géodynamique de la chaîne tellienne en Oranie pendant le Paléozoïque et le Cénozoïque où il a mis en évidence les principaux accidents hercyniens et leurs réactivations ultérieures.

En 1994, Guendouz a consacré sa thèse à l'étude de l'évolution géomorphologique et géodynamique des monts de Traras avec une approche morphodynamique, analyse des perspectives d'aménagement et de conservation des sols.

En 2002, Louni-Hacini a réalisé une thèse sur la transition du magmatisme calco alcalin en Oranie où elle a montré que le changement de la nature du volcanisme oranais reflète une évolution géodynamique qui touche le pourtour de la méditerranée occidentale au Mio- Plio- Quaternaire.

En 2004, Belmouhoub, dans sa thèse de Magister, a étudié la minéralisation sulfurée associée aux roches volcaniques du massif de Tifaraouine.

En 2005, Remaci a apporté sa contribution dans sa thèse, à travers une étude de pétrologie et de géochimie des associations tardi hercyniennes de l'Oranie.

En 2007, Benali s'est focalisé sur le magmatisme tertiaire de tout le nord algérien, et lui a consacré une thèse où il a abordé le cadre géodynamique et les implications métallogéniques

En 2008, Bendoukha, a réalisé dans sa thèse, une étude dynamique, pétrographique et géochimique du volcanisme de la Basse Tafna. Il met en évidence trois épisodes volcaniques majeurs (strombolien à la base puis phréatomagmatique et enfin strombolien au sommet)

En 2009, Bendoukha et al ont contribué dans un article en apportant de nouvelles données sur les caractères dynamiques et géochimiques du volcanisme alcalin Mio-Plio-Quaternaire de l'Oranie nord occidentale.

En 2009, Boukhdimi a étudié les processus de bentonisation dans Hammam Boughrara à Maghnia (Tlemcen).

En 2010, Medini a étudié dans le cadre de son mémoire de Magister la minéralisation hydrothermale liée au volcanisme calco-alcalin de la région de M'Sirda.

En 2011, Saad et Zerka ont utilisé la télédétection pour l'étude de la fracturation dans les monts de Traras

En 2012, Laâredj a apporté sa contribution dans son mémoire de Magister où il a étudié les assemblages de foraminifères benthiques miocène du bassin de M'Sirda.

En 2012, Dehima réalisé une étude sur la minéralisation ferrifère de Béni Saf où elle a précisé la nature hydrothermale de la minéralisation.

En 2013, Ouibrahim a étudié la distribution de la minéralisation polymétallique de volcanisme du M'Sirda via le développement d'un système géographique d'information (GIS).

En 2014, Renac, Louni et al ont étudié la pétrogenèse et l'altération hydrothermale météorique des rhyolites du massif volcanique de Maghnia (Tlemcen).

Pour les mémoires universitaires, nombreux sont ceux qui ont contribué à l'étude de la minéralisation de la région, notamment Bouzakaria et Hadj-Larbi, 1996 ; Mouziane et Hadj-Mohamed, 1999 ; Bouakaze, 2000 ; Ndong et Alayi, 2012.

Quant à l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM), il a élaboré des programmes de prospection de minéralisations polymétalliques associées au volcanisme nord occidental concrétisé par des campagnes de recherche depuis 1985, et continue toujours à prospecter la région.

## I. 2. Cadre géologique

Le massif de l'Oranie nord occidentale fait partie du segment méridional de la chaîne alpine (Maghrébides). Il s'étend de l'Oranie jusqu'aux frontières marocaines et se trouve à l'articulation de deux domaines structuraux, qui diffèrent essentiellement par la nature de leur dépôts et le style tectonique (Ciszak, 1993) ; il s'agit du domaine atlasique et tellien.

### a. Le domaine atlasique :

Il constitue l'avant pays autochtone modérément déformé de la chaîne tellienne (Louni, 2002), représenté principalement aux monts de Traras et la chaîne de Fillaoussène par un substratum paléozoïque et d'une couverture mésozoïque assez développée.

De point de vue structural, ces terrains autochtones sont affectés par deux types de tectonique intense, à savoir :

- La tectonique souple : correspond à des plis à vergence NW de direction N060° ;
- La tectonique cassante : regroupée en famille de failles : atlasique NE-SW, transversale E-W et les N120° qui sont rares.

Les traits structuraux majeurs de la région et de l'ensemble du domaine atlasique sont acquis avant la transgression du Miocène moyen (Guardia, 1975).

### b. Le domaine tellien (Tello - Rifain) :

Il s'étend de Tifaraouine jusqu'aux frontières marocaines, et fait partie de la zone externe des Maghrébides selon d'autres auteurs (Mattauer, 1968 ; Megartsi, 1985), (**Fig.1**).

Par ailleurs, (Guardia, 1975) regroupe ce domaine en quatre ensembles distincts :

#### 1. L'autochtone et para-autochtone

- a. L'autochtone : constitué d'un socle paléozoïque tectonisé et métamorphique, affleurant essentiellement au nord et à l'est d'Ain Témouchent,
- b. Le parautochtone : représenté par des unités atlasiques peu déplacées, il affleure en lambeaux notamment à Djebel Zendel à M'Sirda, et à Souhalia.

#### 2. L'allochtone à affinité tellienne : généralement marneux, constitué de trois unités qui s'individualisent structuralement de façon claire :

- a. L'unité de Chouala au nord des Sbaa Chioukh ;
- b. L'unité sénonienne à Sbaa Chioukh ;

c. L'unité oligo-miocène d'Arlal (Sbaa chioukh).

**3. L'autochtone à affinité rifaine** : d'âge incertain et controversé du au manque de marqueurs stratigraphiques, à l'intensité de la déformation et aussi au métamorphisme. Il est représenté par les unités d'Houaria, Skouna, El Melah, Souhalia, Tadjera, et El Mokrane. Il est constitué globalement de calcaires et schistes (**Fig.2**).

**4. L'unité numidienne** (unité de flysch nord maghrébin) : d'âge Oligo-acquitanien, elle est constituée de grès, et de grès quartzeux, affleurant principalement dans la basse vallée de Tafna et également dans le secteur d'El Mokrane.

Le Tell oranais, qui a connu une activité magmatique tardi-orogénique, est caractérisé par sa fragmentation en divers ensembles structuraux intensément différenciés.

Il est affecté par les cycles orogéniques varisques et alpins.

L'ensemble des formations qui le constitue sont des roches sédimentaires plissées et métamorphiques d'âge Paléozoïque et/ou Mésozoïque et des roches sédimentaires non plissées et volcaniques d'âge Miocène.

Le segment Nord-Ouest algérien, en l'occurrence le Tell oranais, a vu l'épanchement de laves volcaniques en deux épisodes distincts (**Fig.3**) :

**a-** Episode Miocène : caractérisé par la coexistence d'une série calco-alcaline et d'une série shoshonitique mises en place entre 11.7 Ma et 7.2 Ma (Megartsi, 1985 ; Colon et al. 2002 ; Louni, 2002), et répartis dans :

- M'Sirda,
- Sahel d'Oran,
- Moyenne Tafna.

**b-** Episode Plio-Quaternaire : caractérisé par des basaltes alcalins sur de grandes étendues. L'âge de leur mise en place est entre 5.1 Ma et 0.8 Ma (Megartsi, 1985 ; Colon et al.2002 ; Louni, 2002), et répartis dans :

- Basse Tafna,
- Ain Timouchent,
- Souhalia,
- Le flanc sud de Fillaoussène.

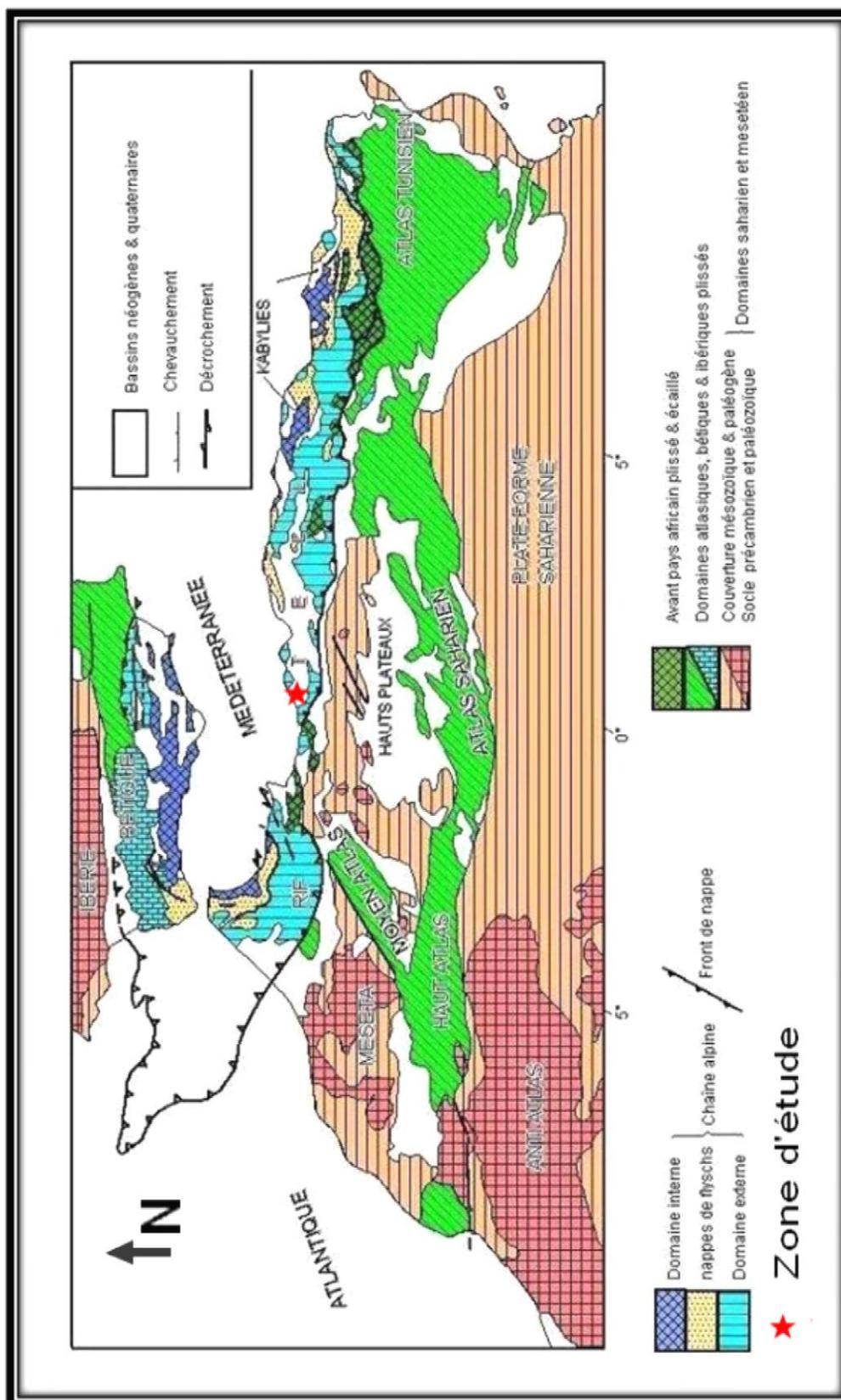


Fig.1. Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (Wildi, 1981), modifié par Boutaleb “sans échelle“

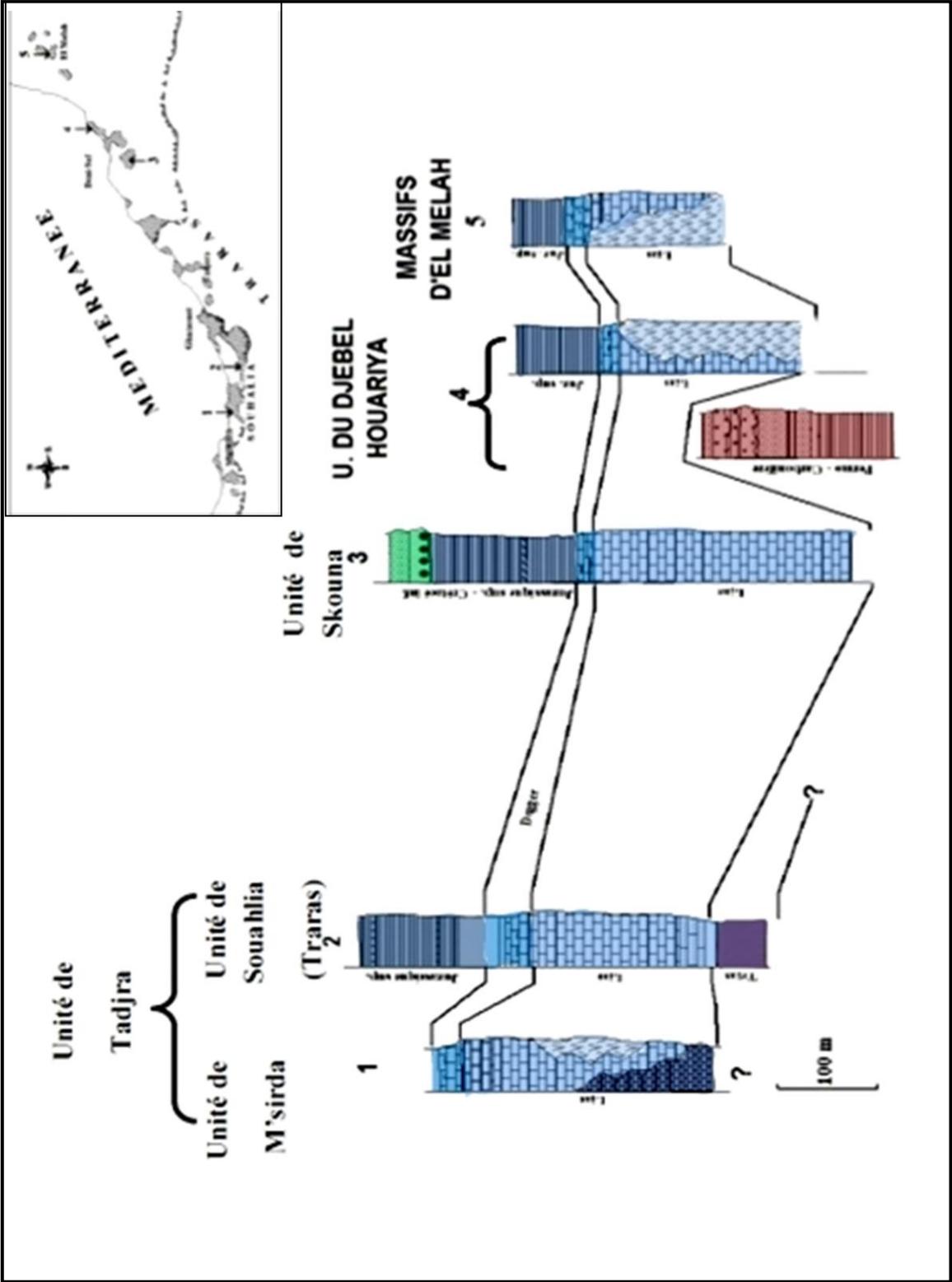


Fig.2.Essai de reconstitution des séries stratigraphiques des nappes de type rifain, (Guardia,1975)

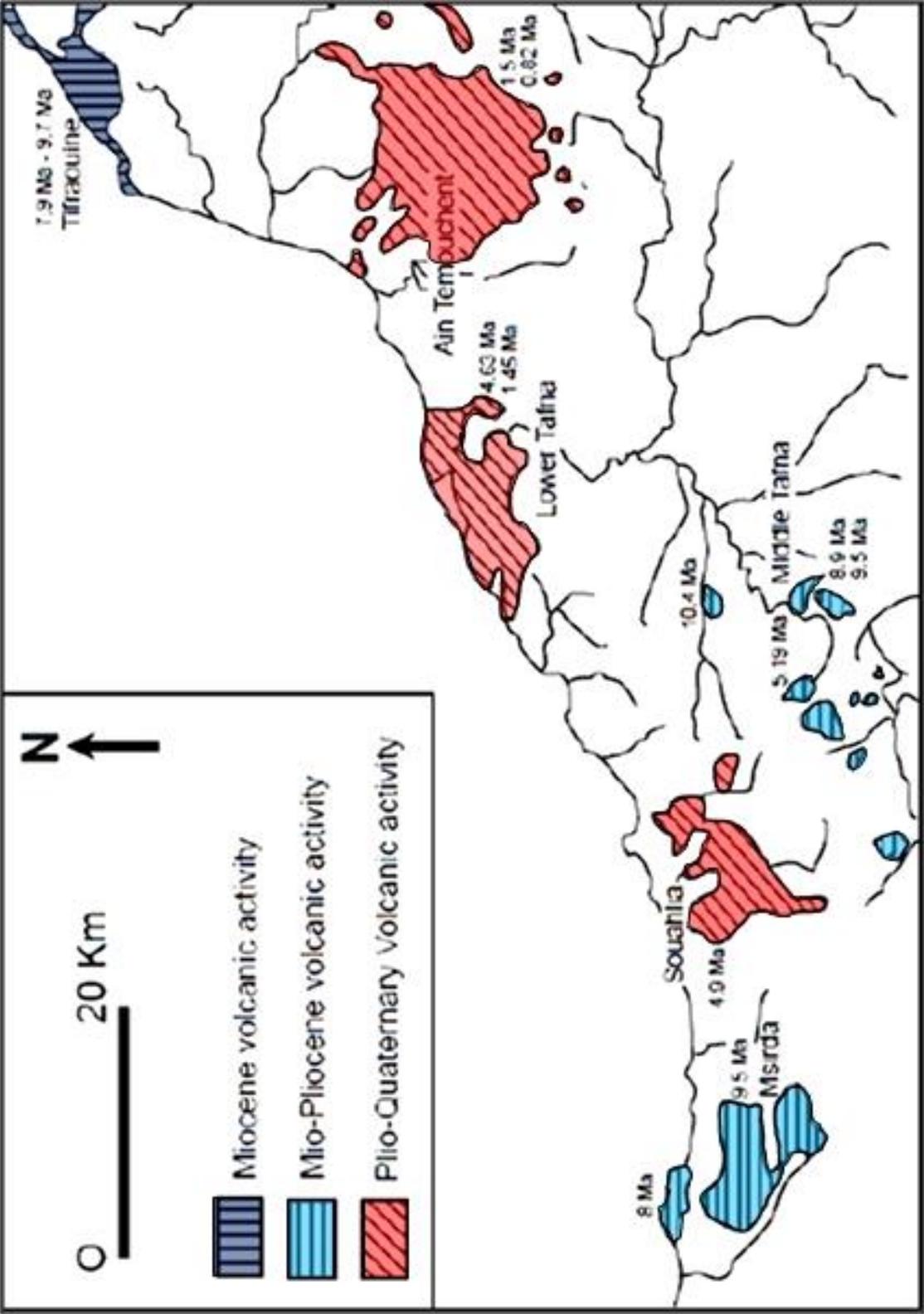


Fig.3. Localisation et âge du volcanisme mioplio quaternaire de l'Algérie Nord-occidentale. (Megartsi, 1985, modifiée par Belhadi).

### I.2.1. Stratigraphie

La caractéristique stratigraphique du Tell oranais est la présence de lacunes dans ses formations qui aillent du Paléozoïque au Quaternaire, Benali (2007), (**Fig.4**).

**I.2.1.A. Le Paléozoïque :** il affleure dans la partie septentrionale du domaine atlasique (Traras et Fillaoussène), formé de terrains ayant des âges qui s'étalent du l'Ordovicien au Viseen. Les granites de Nedroma (d'âge Viseen) recourent l'ensemble des terrains provoquant un métamorphisme de contact matérialisé par des cornéennes.

**a. Le Cambro-ordovicien :** il correspond à une série grès-pélimitique infra-silurienne à graptolithes, d'âge Ordovicien selon Guardia, (1975). Dans les affleurements septentrionaux ; la base est constituée de pélimites sombres en plaquettes, intercalées par des passées d'aspects quartzeux, suivies de psammites bioturbées au niveau d'Oued Emmahamed El Ouidane. Quant aux affleurements centraux ; la base est constituée de pélimites sombres au sud de Djebel Tadjera, avec des traces de métamorphisme marqué par des taches et des cornéennes, surmontées par des bancs de psammites litées.

**b. Le Silurien :** constitué de schistes ardoisés et de quartzites répandus dans la bande côtière du Sahel d'Oran, et au nord du granite de Nedroma (Gentil, 1903). Le Silurien fossilifère qui est représenté par des graptolithes associées à des phanites et des ampélimites grès-micacées affleure dans la partie nord des Traras.

**c. Le Dévonien :** il est constitué de calcaires à tentaculites, de flysch à microconglomérats largement répandus dans les Traras, et à l'ouest de Fillaoussène.

**d. Le Carbonifère :** il est représenté par (i) des dolomies à polypiers au pied de Djebel Tadjera, la base est conglomératique et discordante sur des pélimites noires (ii d'une série volcano-sédimentaire (détritique) qui affleure dans l'Oued Ben Ayad, Djebel El Gorine et au cœur de Traras. Elle est composée de grès, conglomérats, pélimites alternants avec des tufs volcaniques reposant en discordance angulaire sur les formations du l'Ordovicien, du Silurien ou du Dévonien.

**e. Le Permo - trias :** représenté par une série détritique constituée de sédiments grossiers à l'image des poudingues, grès argileux, et des conglomérats qui supportent des bancs de gypse et d'argiles associées à des dolomies noires qui démarquent le Trias supérieur.

**I.2.1.B. Le Mésozoïque :** il est intermittent et limité à quelques affleurements.

**a. Le Jurassique :** il apparaît de façon intégrale dans la chaîne de Fellaoussène ;

**a-1. Le Jurassique inférieur :** il est carbonaté dans la majorité de l'Oranie, constitué de calcaires compacts, massifs, dolomies épaisses, calcaires graveleux ou oolithiques (M'Sirda).

**a-2. Le Jurassique moyen et supérieur :** il est caractérisé par des calcaires argileux, calcaires marneux à ammonites pyriteuses dans la partie Est de Fellaoussène et des marnes. A l'Oxfordien affleure des dolomies, des grès fins, des pélites argileuses et des argilites marneuses.

**b. Le Crétacé :** il correspond à des calcaires graveleux, calcaires marneux, évoluant à des marnes épaisses à la fin de la série (Sénonien inférieur).

**I.2.1.C. Le Cénozoïque :** il est très représenté dans le Sahel oranais.

**a. Le Paléocène :** il est visible à Sbaa Chioukh, constitué principalement de marnes grises à petits lits de calcaires argileux.

**b. L'Eocène :** il est formé d'affleurements gréseux qui surgissent en îlots de dimensions réduites dans les formations miocènes d'Ain Timouchent et de la Basse Tafna.

**c. L'Oligocène :** il affleure dans la partie orientale de Sbaa Chioukh, correspondant à des marnes claires à verdâtres et alternant avec des lits de grès roux.

**d. Le Miocène :** c'est le plus répandu dans toute la région, représenté par deux cycles post nappes :

**d-1. Le Miocène post nappe premier cycle :** il affleure de part et d'autre de la Tafna, le revers nord des Sbaa Chioukh, et à Beni Saf. C'est une série continentale constituée par des marnes, ou des argiles gypseuses vertes, et des grès de couleur lie de vin.

**d-2. Le Miocène post nappe second cycle :** lors de cette phase, la transgression a épargné les Traras et la chaîne de Fellaoussène. Les formations marines ont formé deux bassins l'un oriental et l'autre occidental. Ce dernier est constitué de grès rouges d'origine alluviale, de marnes bleues et des calcaires construits. Quant au bassin oriental, il est limité à M'Sirda et correspond à une formation marneuse à microfaunes, surmontée d'une dalle calcaire.

**e. Le Plio-Quaternaire :** il comprend deux types de formations ; une marine représentée par des marnes ou marnes argileuses, l'autre continentale dominée par des dépôts conglomératiques.

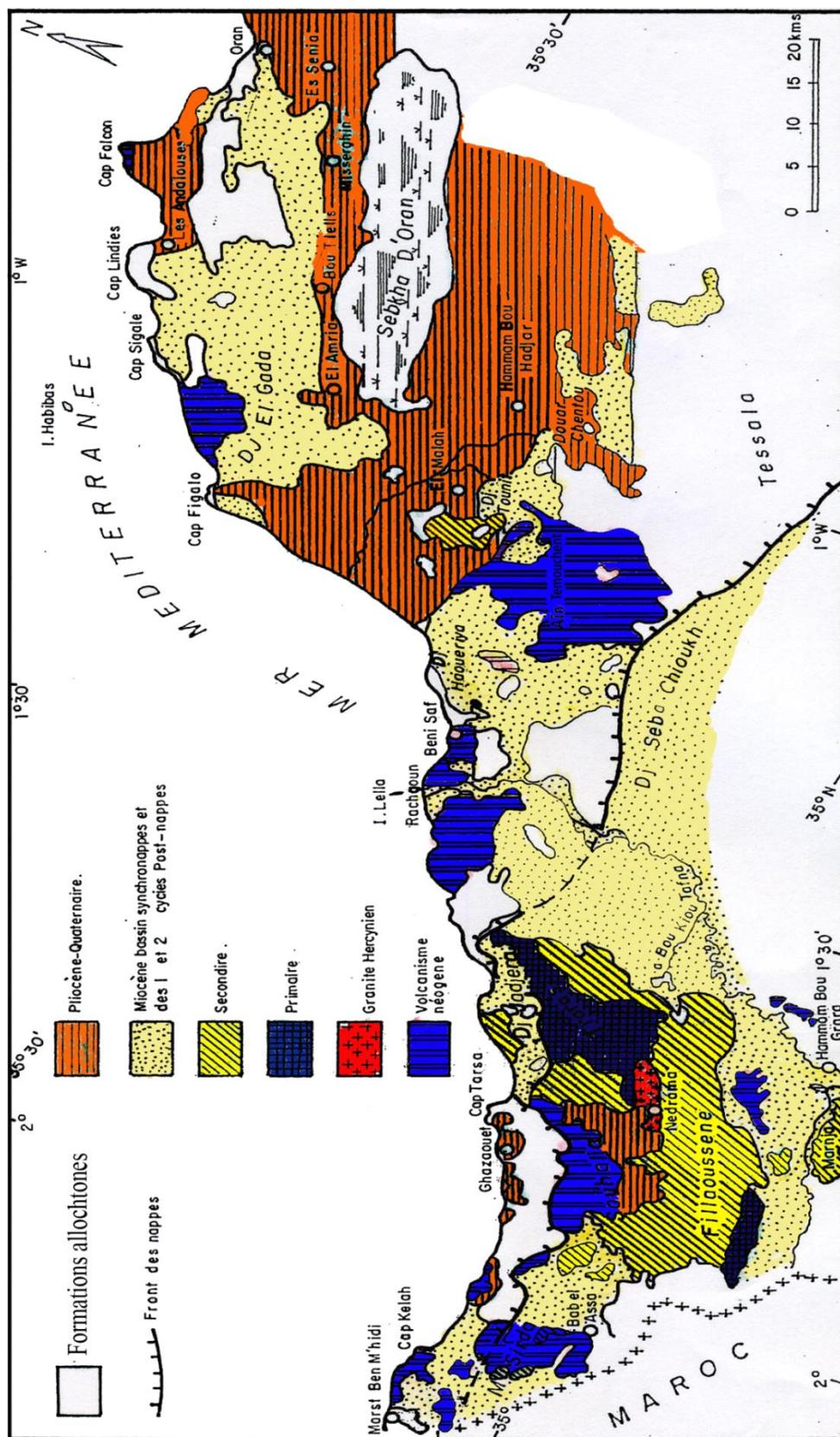


Fig. 4 : Esquisse géologique de l'Oranie Nord-occidentale. (D'après Fenet, 1975 ; Guardia, 1975 ; et Megartsi, 1985).

### I.3. Cadre structural régional (Fig.5)

La structuration actuelle du Tell oranais, est due essentiellement aux déformations complexes et fortes liées aux orogénèses varisques et alpines représentées par des styles tectoniques variés, (Ciszak, 1993).

**a. La tectogenèse varisque (hercynienne) :** dominée par des plis à grand rayons de courbures et une fracturation régie par des failles décrochantes ENE-WSW allant de N40° à N90° (Guendouz ,1994). Elle est polyphasée et intense, caractérisée par une tectonique souple qui évolue en tectonique cassante.

**a. 1. La tectonique souple :** englobe deux phases majeures à savoir :

- La phase anté-vésienne engendrant un métamorphisme de faible intensité.
- La phase post-vésienne manifestée par un déversement vers le Sud où il est bien marqué au niveau du massif des Traras et la chaîne de Fillaoussène à l'Ouest, le Sahel d'Oran, le plateau d'Ain Timouchent ainsi que les Sebaa Chioukh dans la partie orientale de ladite chaîne.

Les trois dernières unités sont regroupées dans un ensemble ayant des orientations tectoniques parallèles et voisines à la direction E-W.

En outre, des accidents recoupent les structures en question et jouent à la faveur de la phase tectonique alpine, provoquant, vers le Nord, des effondrements par gradins de direction subméridionale voisine à celles des structures.

**a. 2. La tectonique cassante :** la phase cassante post-vésienne est, difficilement mise en évidence dans les Traras, en raison de rejeu post-hercynien de presque tous les accidents (Guardia, 1975). Elle correspond à un réseau de grandes fractures ayant de direction moyenne N20° et N50°.

**b. La tectogenèse atlasique :** les mouvements atlasiques ont connu leur paroxysme entre l'émergence définitive de la région au Santonien (Crétacé supérieur) et la transgression du Miocène.

Cette phase est caractérisée aussi par une tectonique souple et une autre cassante. Cette dernière est dominante et matérialisée par le grand nombre de structures souvent guidées par

le rejeu de failles hercyniennes. Guardia (1975), a regroupé ces structures en trois phases tectogéniques distinctes :

- La première phase : (d'âge Eocène), elle est compressive, caractérisée par la présence des plis de grand rayon de courbures et d'une direction NE-SW.
- La seconde phase : (d'âge Oligo-Miocène), elle est distensive, caractérisée par l'individualisation de horsts en grabens dans la région suite aux rejeux verticaux des accidents principaux N50° et N20°.
- La troisième phase : (de Miocène supérieur jusqu'au Quaternaire), elle est compressive, et se traduit par le rejeu des accidents en mouvements décrochant et par le déversement des plis des phases atlasiques antérieures. Cette phase a connu l'émergence de Traras et le retrait de la mer serravalienne.



#### I.4. Le magmatisme tertiaire

La région oranaise a connu une intense activité volcanique depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire. Cette évolution apparaît généralisée à l'ensemble du pourtour de la Méditerranée occidentale (Bendoukha, 2008).

Les principaux volcans du Tell oranais ont été étudiés en premier par Sadran. Par la suite viennent de nombreux travaux qui traitent dudit magmatisme à l'instar de Guardia, 1975 ; Megartsi, 1985 ; Louni, 2002 ; Benali, 2007 ; et Bendoukha, 2008.

Sadran a fait savoir en 1958, qu'outre les andésites prédominantes dans la région, les basaltes, les dacites, les rhyolites sont souvent présentes. Ces roches volcaniques se présentent sous forme de coulées, de corps subvolcaniques et de produits pyroclastiques. Elles sont localisées dans six secteurs : M'Sirda, Souhalia, Ain Timouchent, le Sahel d'Oran, la basse et la moyenne Tafna.

Guardia (1975) , distingue deux épisodes volcaniques l'un d'âge Messinien, localisé dans les régions de M'Sirda, le Sahel d'Oran et la moyenne Tafna. Il est caractérisé par la coexistence de laves calco-alkalines à shoshonitiques. L'autre épisode d'âge Plio-Quaternaire réparti en laves basaltiques dans les secteurs d'Ain Timouchent, de la basse Tafna, de Fillaoussène et de Souhalia.

Megartsi en 1985 a subdivisé le volcanisme du premier épisode (Messinien) en trois ensembles, et ce à partir des caractères pétrographiques, géochimiques et l'âge de mise en place. Il s'agit de :

- L'ensemble magmatique (9.7 et 08 Ma), constitué d'andésito-basaltes, de dacites-rhyolites dans Tifaraouine-Bouzedjar, andésite à M'Sirda, des dacite et rhyolites dans les Iles Habibas ;
- L'ensemble magmatique (10 et 08 Ma), caractérisé par des laves andésitiques associées et des basaltes dans M'Sirda et la moyenne Tafna ;
- L'ensemble rhyolitique de Hammam Bou Ghrara.

Louni-Hacini, et al en 1995 ont apporté plus de précisions, à travers les âges radiométriques effectués sur les roches volcaniques. Les résultats de datations ( $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ ) ont donné 11.7 et 7.2 Ma pour les andésites du premier épisode, et environ 04 Ma pour le second épisode.

En 2002 Coulon et al ont actualisé l'âge de second épisode en l'estimant entre 3.9 et 0,82 Ma **(Fig.6)**.

En 2009 Bendoukha et al ont spécifié l'activité éruptive alcaline d'Oranie en attestant que les émissions volcaniques se sont effectuées à des âges variés à la faveur de trois types de dynamisme : effusif, strombolien et phréatomagmatique.

Les éruptions effusives datées du Miocène se sont produites uniquement à l'Ouest de l'Oranie plus particulièrement en rive gauche de la Basse Tafna et sur le flanc Sud du Djebel Fillaoussène.

L'activité strombolienne Plio-Quaternaire caractérise tous le secteur alors que celle de type phréatomagmatique s'est localisée seulement dans les complexes volcaniques de la Basse Tafna et d'Ain-Temouchent.

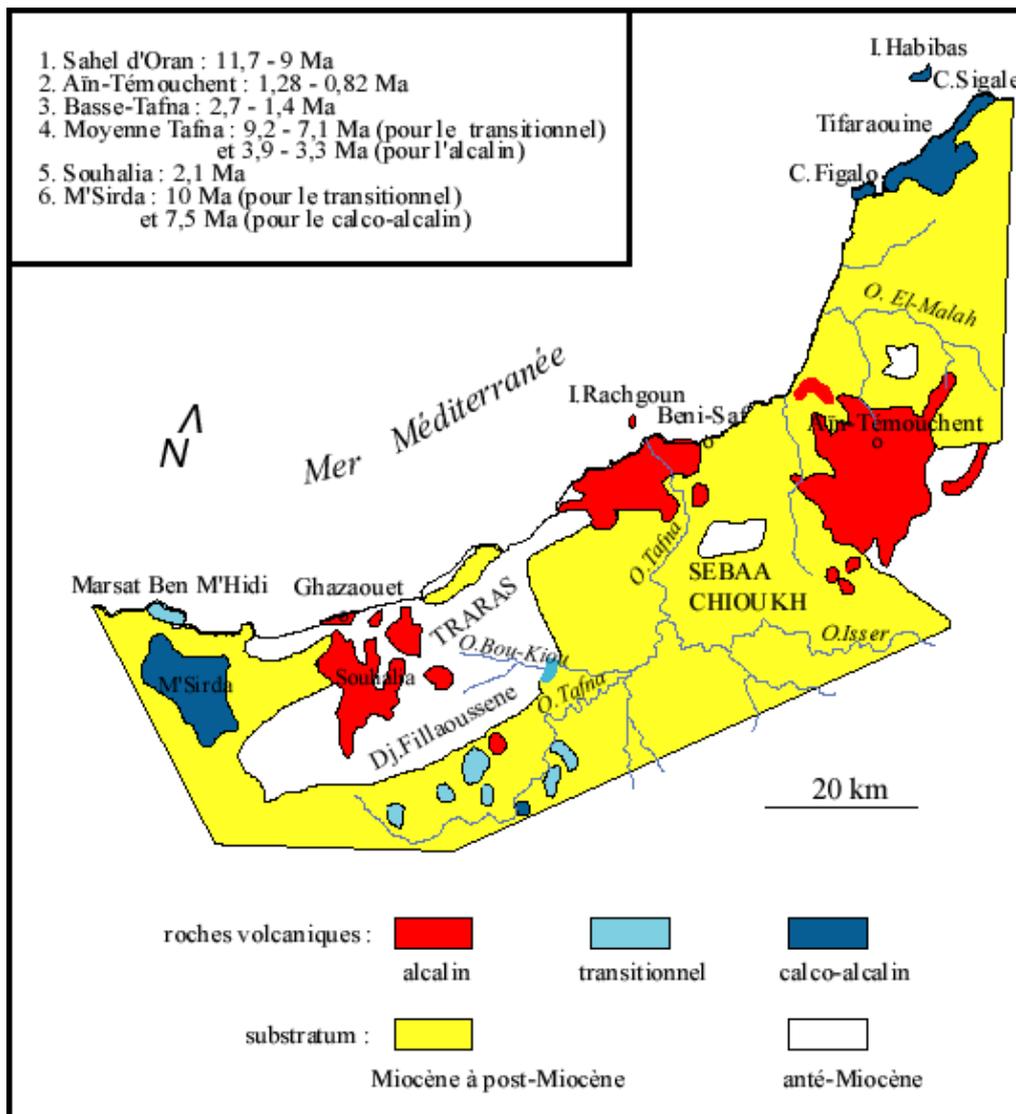
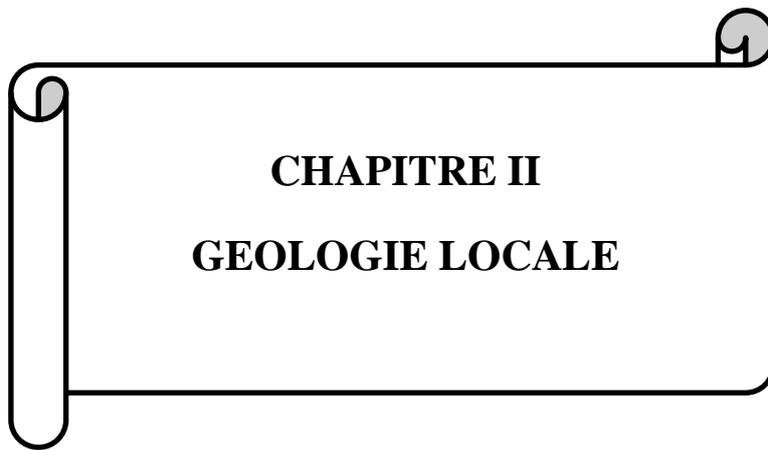


Fig.6. Localisation et âge du volcanisme néogène d'Oranie (in Medini, 2010)



**CHAPITRE II**  
**GEOLOGIE LOCALE**

## II.1. Introduction

Le massif des M'Sirda fait partie de l'allochtone tello-rifain, appartenant au domaine externe des Maghrébides. Il constitue une partie de la ceinture volcanique, localisé à l'extrémité Nord occidentale du pays et caractérisé par de grandes épanchements éruptifs d'affinité calco-alcaline, au Miocène, et alcalines au Plio-quadernaire (Megartsi, 1985 ; Louni-Hacini, 2002 ; Bendoukha, 2008).

La découverte des gisements d'Oued El Kebir et d'Oued Amizour respectivement dans le nord constantinois et à Bejaïa, a incité davantage l'Office de la Recherche Géologique et Minière (O.R.G.M) à amorcer un programme de recherche de minéralisations polymétalliques associées au volcanisme néogène du Nord-ouest algérien (M'sirda, Tifaraouine) de 1994 à 1998 en vue d'éventuelle exploitation.

Le massif de M'Sirda regroupe deux secteurs distincts, il s'agit de deux caldeiras en l'occurrence Sebabna et Chouchkha, qui sont reliées par une zone intermédiaire d'une superficie de 25 km<sup>2</sup>. Celle-ci constitue un affaissement tectonique caractérisé par quelques affleurements de roches volcaniques dans les parties septentrionales et centrales.

Chacune des deux caldeiras est caractérisée par des formations géologiques différentes ayant connu plusieurs ouvrages miniers pour l'évaluation de ses potentialités minières y existantes.

En effet, le présent mémoire sera focalisé sur trois sondages réalisés dans la caldeira de Chouchkha. Il s'agit de MS2, MS3 et MS11

## II.2. Situation géographique

Le secteur d'étude en l'occurrence M'Sirda est relié administrativement à la Daïra de Bab El Assa. Il est situé à environ 95 Km au Nord-ouest de Tlemcen, limité au Nord par la mer méditerranée, au Sud par Bab El Assa, à l'Est par Djebel Zendel et à l'Ouest par l'Oued Kiss qui le sépare de la frontière marocaine (**Fig.7**).

Ses coordonnées sont : - Longitude : 35°01'11"

- Latitude : 02°03'54"

Le domaine de l'étude apparaît à la jonction de deux cartes topographiques à l'échelle 1 /50000, il s'agit de la carte n°237 de Milonia et la carte n°268 de Sidi Boudjenene.

Le massif de M'Sirda s'étale sur une superficie de 155 Km<sup>2</sup> et caractérisé par un relief très accidenté lui conférant une topographie qui se traduit par d'étroites vallées des oueds dans sa partie septentrionale, et des monts à roches volcaniques dans sa partie méridionale.

La localisation de la région vis-à-vis de la méditerranée lui attribue un climat marqué par un été chaud et sec, et un hiver doux avec des précipitations moyennes annuelles de 600 mm.

Le couvert végétal, vu la topographie de la région, a défavorisé l'existence de végétation arborescentes, en revanche, le romarin, le palmier nain, l'armoïse, et le jujubier sont abondants.

Quant au réseau hydrographique, il est considérable et constitué essentiellement des oueds qui se déversent dans la mer et qui sont saisonniers à l'instar d'oued Bou Allouch, oued Bou Asker, oued Merrika, et Oued Kiss.

Tenant compte de données à disposition, c'est le secteur de Chouchkha qui fera l'objet d'étude dans le cadre de la réalisation de ce travail. Il constitue un appareil volcanique dont la partie centrale est représentée par la cheminée localisée au NW du sommet actuel du Djebel Chouchkha.

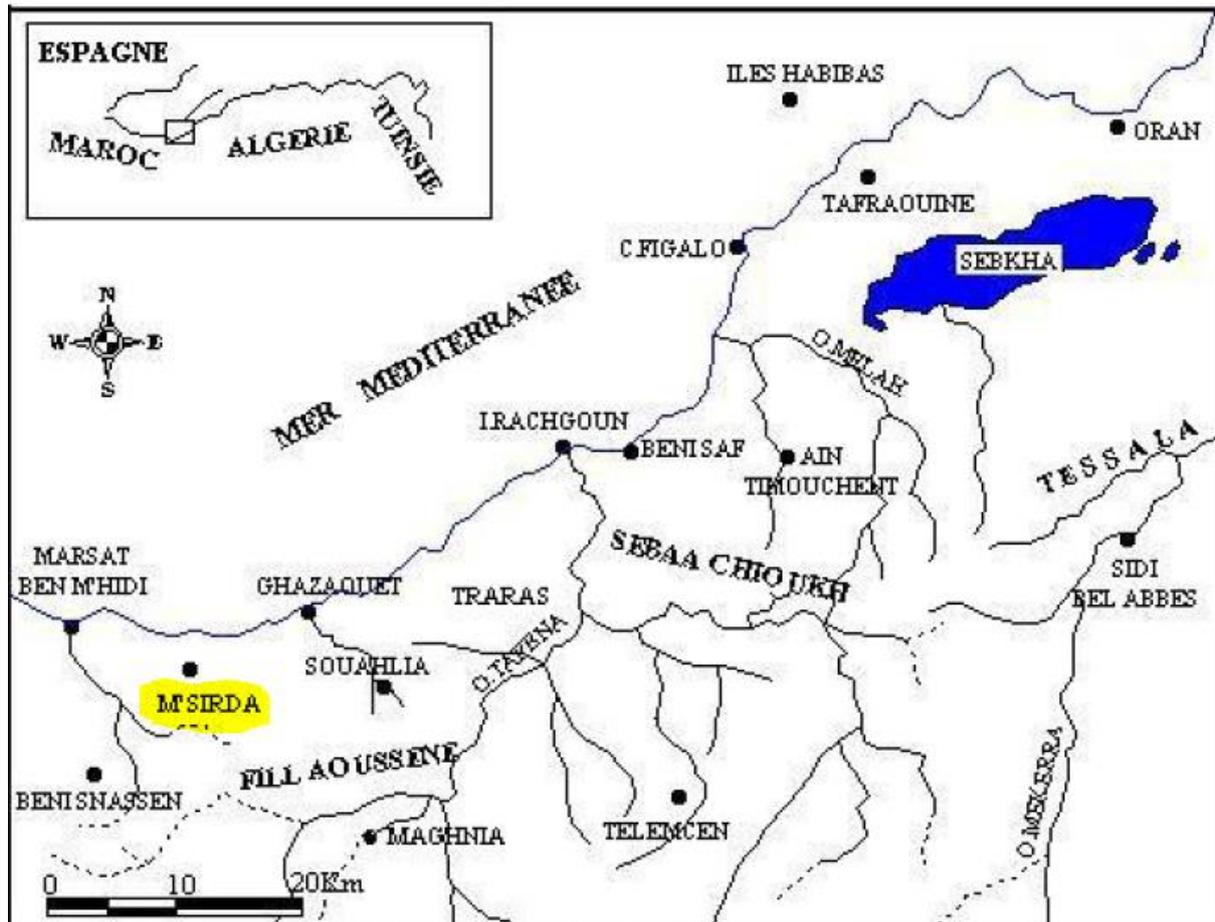
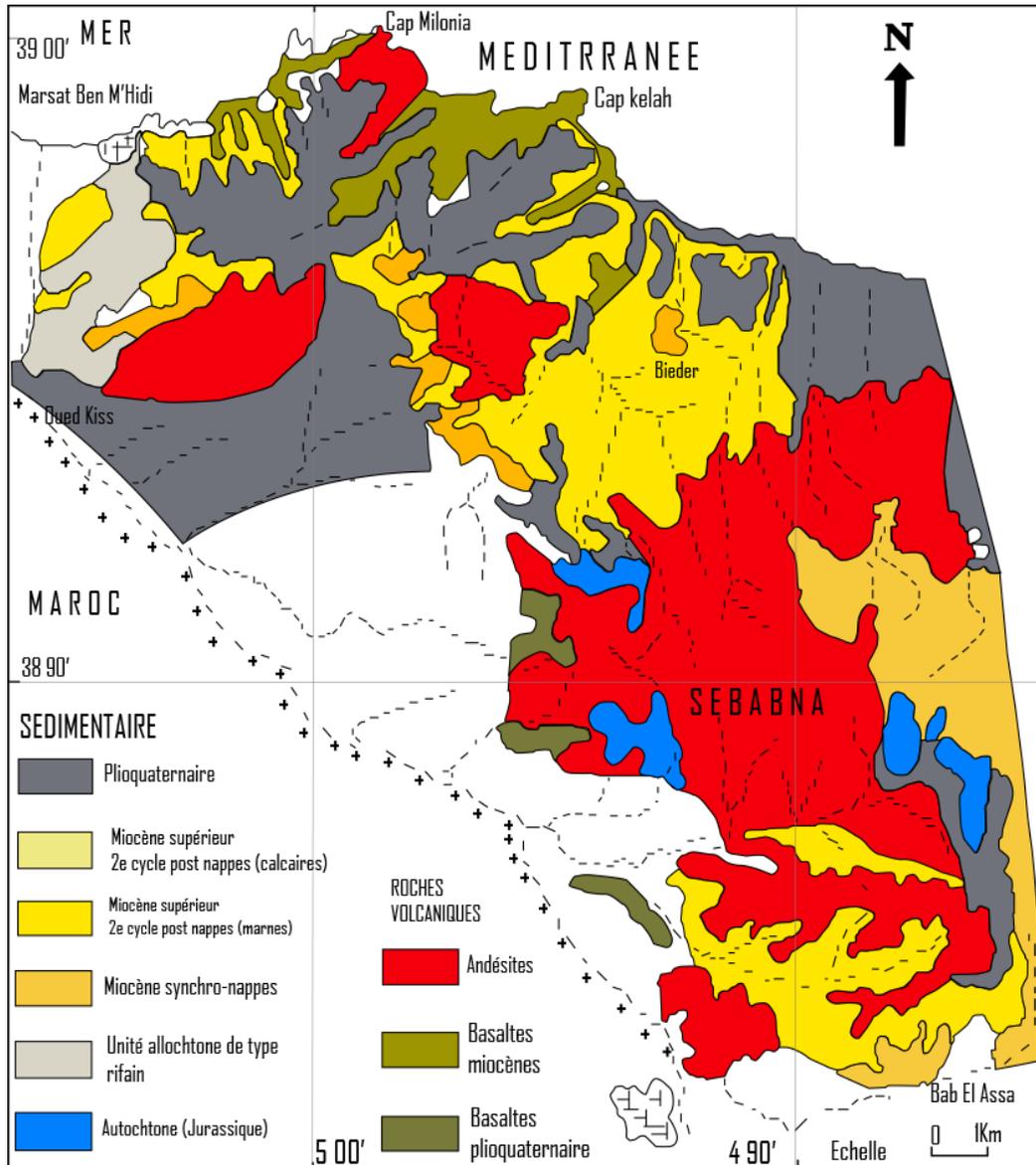


Fig.7.Situation géographique de la région de M'Sirda, (in Boukhdimi, 2009)

### II.3. Cadre géologique

**II.3.1.Stratigraphie :** la région est caractérisée par des affleurements de formations sédimentaires méso-cénozoïques recoupées par des roches volcaniques distinctes à savoir, les roches calco-alcalines du Miocène et les roches alcalines du Plio-quaternaire, (**Fig.8**).



**Fig.8. Carte géologique du massif des M'Sirda, (Guardia, 1975)**

**II.3.1.A. Les formation sédimentaires** : elles sont d'âge méso-cénozoïques, représentées principalement par :

**a. Le Trais** : il apparait au nord du secteur, notamment à Djebel Kabouz et Sbabna. Selon Guardia (1975), il est assimilé au complexe chaotique « unité de Tadjera ». Il correspond à des argiles violacées, des dolomies noires, des marnes vertes, de gypse qui constitue la semelle de nappes, et des dolérites qualifiées par Guardia (1975) de roches vertes associées à une zone de contact anormal.

**b. Le Jurassique** : il affleure en lambeaux discontinus, et il est répandu dans toute la région.

- **Le Lias** : matérialisé à la base par des calcaires massifs oolithiques, surmontés par des calcaires gris fins et dolomités, suivis de calcaires sableux, microconglomératiques, et des calcaires à silex. A Sebabna, le Lias est constitué de roches carbonatées et métamorphisées au contact des roches volcaniques.

- **Le Dogger** : il affleure dans la partie sud du secteur, ainsi que à Bouasker et Oued Boualouche. Il correspond à des pélites marneuses jaunes ocre à intercalations d'argilites, et des grès fins.

- **Le Malm** : il est observable à la partie nord du secteur, à Oued Kiss de Kebbouz et à Bab El Assa. Il est constitué de formations grésopéliteuses à la base, avec des passages carbonatés au Kimmirédgien.

**c. Le Crétacé** : seule le Crétacé inférieur apparait à l'est du massif. Il est constitué de calcaires argileux clairs à fossiles (ammonites, etc.).

**d. Le Miocène** : il est représenté par le Miocène moyen et le Miocène supérieur.

- **Le Miocène Moyen** (Serravalien): Il est transgressif et affleure au sud du massif, et plonge sous les formations volcaniques. Il est constitué de grès roux et de marnes et Guardia, (1975) l'a surnommé Miocène synchro-nappe.

- **Le Miocène supérieur** (Messinien) : il est régressif, et affleure à l'est du massif (Djebel Zendel) et à l'ouest (Oued Kiss). La base est matérialisée par des grès grossiers et des conglomérats, suivis de marnes de couleur grise. Au sommet, des calcaires blancs à fossiles.

**e. Le Pliocène :** il affleure aux frontières algéro-marocaines et à Oued El Mellah. Il correspond à des grès beiges à ciment calcaireux.

**f. Le Quaternaire :** il est représenté dans tout le massif, et constitué de calcaires, alluvions et éluvions.

### **II.3.1.B. Les formations volcaniques :**

L'Oranie nord occidentale a connu une intense activité volcanique depuis le Miocène jusqu'au Quaternaire et M'sirda n'en est pas une exception.

Au Miocène les formations volcaniques dans M'sirda étaient calco alcalines, et subdivisées en trois épisodes d'activités (Megartsi, 1985), à savoir :

- une activité d'âge 10 Ma, originaire des coulées basaltiques et de brèches, elle apparaît tout au long de Cap Kelah et le Marsa Ben M'hidi ;
- une activité d'âge 8.5-9.6 Ma, elle correspond à des émissions andésitiques qui sont mises en place sous forme de nappes de laves, de tufs gris, et des brèches. Elle affleure dans tous le massif et son épaisseur est estimée à 300 m ;
- une activité d'âge 08 Ma, responsable de la mise en place de basaltes tardifs recoupant les formations antérieures sous formes de dykes ou surmontant les assises andésitiques, dans le segment Sud-ouest, sous forme de nappes de laves ayant une épaisseur de 40m.

**a. Les andésites miocènes :** elles sont largement représentées dans le massif sous forme de laves, brèches et dykes métriques. Ces andésites sont souvent plus au moins transformées par des phénomènes hydrothermaux (Benali, 2007). Au niveau de M'Sirda, les andésites observées sont regroupées en trois groupes, il s'agit :

- des andésites à amphiboles caractérisées par des structures porphyriques, avec des phénocristaux de plagioclases (andésine-labrador) ;
- des andésites à amphiboles et clinopyroxènes renfermant des phénocristaux de plagioclases, d'hornblende verte et d'augite. La mésostase renferme des microlites de plagioclases, et recristallisation de tout le reste en quartz ;
- des andésites à amphiboles, clinopyroxènes et biotites ayant des structures microlitiques porphyriques. La mésostase est dévitrifiée et les hornblendes vertes sont altérées en chlorites, épidotes, et calcites.

**b. Les basaltes miocènes :** ils sont calco-alcalins, et se présentent soit en dykes soit en coulées recoupant les assises andésitiques. Les laves basaltiques sont de deux types :

- les premières sont compactes de couleur uniformément noire matérialisées par des coulées ;
- les secondes moins compactes ou vacuolaires, de teinte brune. Elles appartiennent soit à des coulées soit à des pyroclastes.

**c. Les basaltes alcalins :** selon Megartsi (1985), les basaltes plio-quadernaires qui sont alcalins sous saturés recouvrent les andésites et les basaltes du Messinien.

### II.3.1.C. La géochimie des formations volcaniques de M'Sirda :

Plusieurs travaux sur la géochimie des roches magmatiques de l'Oranie ont été effectués notamment ceux de Medini, 2010 ; Benali, 2007 ; Louni, 2002 ; Megartsi, 1985. De ce fait, il sera ici question de reprise de l'essentiel de leurs résultats.

Les analyses de l'ensemble des laves miocènes de M'Sirda (Medini, 2010) à partir des éléments majeures et en traces révèlent deux groupes principaux; celles pauvres en silice ( $48\% < \text{SiO}_2 < 55\%$ ) qui correspondent globalement aux laves basaltiques les plus anciennes connues dans M'Sirda et celles plus riches en silice ( $55,9\% < \text{SiO}_2 < 61,6\%$ ) qui correspondent aux roches andésitiques les plus tardives (**Tab.01 ,02**).

Certaines caractéristiques géochimiques, notamment leurs teneurs en silice, en alcalins, en titane et en niobium, permettent de comparer les laves de M'Sirda aux séries calco-alcalines d'affinité potassique.

Certaines de ces laves, plus particulièrement les roches miocènes les plus anciennes, peuvent être également assimilées à des High Alumina Basalts, selon les paramètres de distinction donnés par Escobar et al. (1977). Ces paramètres considèrent que les basaltes de provinces calco-alcalines et dans lesquels les proportions en alumine sont supérieures à 17 %, celles en titane inférieures à 2 %, des teneurs en K<sub>2</sub>O inférieures à 1,5 % et un rapport Mg/Mg+Fe inférieur à 65, peuvent être rapportés à des « High Alumina Basalts ».

Par ailleurs, la nomenclature des roches volcaniques miocènes de M'Sirda permet de distinguer des basaltes, des andésito-basaltes et des andésites. Ces trois termes pourraient correspondre aux premiers termes d'une série calco-alcaline peu différenciée.

**Tab1.Sélection d'analyses géochimiques des andésites altérées (éléments majeurs), (Medini, 2010).**

| Echant.                        | 111          | 349          | 371          | 372          | 440          | 445          | 447          | BO1          | BO2          |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 40,69        | 55,69        | 50,92        | 46,27        | 14,81        | 24,25        | 59,39        | 36,03        | 33,55        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,11        | 21,90        | 22,87        | 2,55         | 4,49         | 3,75         | 17,45        | 11,30        | 10,22        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,51        | 4,62         | 3,12         | 8,26         | 5,34         | 7,32         | 6,60         | 12,94        | 20,74        |
| FeO                            | 1,99         | 0,21         | 0,21         | 14,36        | 0,14         | 0,75         | 0,82         | 0,88         | 0,90         |
| MgO                            | 0,50         | 0,72         | 0,36         | 4,20         | 3,49         | 8,13         | 1,81         | 1,58         | 1,72         |
| CaO                            | 28,26        | 0,49         | 0,35         | 21,84        | 43,51        | 33,02        | 3,63         | 28,19        | 28,17        |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,43         | 0,14         | 0,17         | 0,00         | 0,00         | 0,48         | 2,57         | 0,66         | 1,15         |
| K <sub>2</sub> O               | 0,71         | 4,43         | 4,85         | 0,00         | 0,00         | 0,20         | 4,52         | 1,56         | 0,10         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,60         | 0,90         | 0,75         | 0,45         | 0,40         | 0,40         | 0,70         | 0,41         | 0,39         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,39         | 0,30         | 0,38         | 0,05         | 0,16         | 0,00         | 0,39         | 0,38         | 0,24         |
| MnO                            | 0,25         | 0,00         | 0,00         | 0,83         | 0,23         | 0,75         | 0,03         | 0,24         | 0,24         |
| PAF                            | 1,43         | 5,14         | 7,80         | 1,00         | 10,75        | 9,80         | 2,00         | 3,50         | 2,08         |
| <b>Total</b>                   | <b>98,87</b> | <b>94,54</b> | <b>91,78</b> | <b>99,81</b> | <b>83,32</b> | <b>88,85</b> | <b>99,91</b> | <b>97,67</b> | <b>99,50</b> |

| Echant.                        | BO3          | BO4           | BO5           | Ms2/14        | Ms2/198       | Ms2/224      | Ms2/276      | 439          |
|--------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 35,16        | 69,70         | 40,10         | 59,59         | 56,62         | 46,27        | 54,10        | 54,08        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,06        | 3,66          | 1,78          | 18,40         | 18,40         | 12,98        | 17,39        | 15,85        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,00        | 4,35          | 28,31         | 2,07          | 2,83          | 8,61         | 7,49         | 1,90         |
| FeO                            | 1,28         | 0,19          | 6,07          | 1,80          | 4,31          | 4,85         | 3,80         | 3,80         |
| MgO                            | 1,72         | 5,60          | 1,26          | 2,06          | 1,18          | 5,64         | 1,21         | 2,92         |
| CaO                            | 30,82        | 10,91         | 20,39         | 0,72          | 0,93          | 0,86         | 0,68         | 9,84         |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,24         | 0,13          | 0,30          | 0,54          | 0,60          | 0,56         | 0,62         | 2,50         |
| K <sub>2</sub> O               | 0,18         | 1,36          | 0,05          | 12,24         | 9,00          | 9,84         | 10,80        | 6,60         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,36         | 0,23          | 0,06          | 0,78          | 0,70          | 1,64         | 0,55         | 0,60         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,28         | 0,05          | 0,05          | 0,24          | 0,92          | 0,96         | 0,01         | 0,22         |
| MnO                            | 0,26         | 0,20          | 0,30          | 0,00          | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,14         |
| PAF                            | 1,38         | 3,98          | 1,44          | 1,88          | 4,72          | 7,05         | 3,28         | 0,00         |
| <b>Total</b>                   | <b>98,74</b> | <b>100,36</b> | <b>100,11</b> | <b>100,32</b> | <b>100,21</b> | <b>99,26</b> | <b>99,93</b> | <b>98,45</b> |

**Tab.2. Sélection d'analyses géochimiques (éléments en trace), (Collon et al ,2002).**

|          | Rb  | Ba   | Th   | Nb   | La   | Ce  | Sr  | Nd | Sm  | Zr  | Eu   | Ti   | Gd  | Dy  | Y  | Er  | Yb  |
|----------|-----|------|------|------|------|-----|-----|----|-----|-----|------|------|-----|-----|----|-----|-----|
| <b>1</b> | 146 | 1010 | 19.7 | 10.5 | 53   | 105 | 570 | 42 | 5.9 | 220 | 1.4  | 4900 | 4.7 | 3.4 | 21 | 2   | 2   |
| <b>2</b> | 153 | 890  | 27.4 | 11.8 | 53   | 112 | 700 | 51 | 4.8 | 200 | 1.8  | 6800 | 6   | 4   | 23 | 2.2 | 2.2 |
| <b>3</b> | 182 | 2300 | 23   | 19   | 62.5 | 123 | 892 | 60 | 7   | 114 | 2.15 | 7000 | 5   | 3.9 | 20 | 2.1 | 2.7 |

#### II.4. Cadre structural

Le massif de M'sirda a connu d'intenses mouvements tectoniques principalement tertiaires, qui sont à l'origine de la configuration structurale de nos jours.

Guardia (1975) et les différents rapports de l'ORGM montrent que le dit massif a subi plusieurs phases tectoniques matérialisées par :

- des failles de direction ENE-WSW correspondant à des failles régionales illustrées par celles de Djebel Zendel. Ces dernières ont joué durant le Jurassique en failles syn-sédimentaires ;
- une compression NW-SE se traduisant par des plis à grand rayon de courbure ayant une direction NE-SW à la fin de l'Eocène ;
- une compression N-S donnant naissance à des failles conjuguées NE-SW en décrochements sénestres, et NW-SE en décrochements dextres ;
- une phase de compression NNW-SSE se traduisant par des chevauchements locaux et des plis dysharmoniques à divergence NW ;
- une phase de distension au plio-quaternaire, donnant l'essentiel des reliefs actuels.

Les effondrements qui ont marqué le secteur, ont engendré certaines caldeiras, notamment celle de Sebabna et Chouchkha. (**Fig.9**).

La rosace réalisée par Bouzakaria et Hadj Larbi (1996), (**Fig.10, 11**) a montré que les différents linéaments sont N-S, NE-SW, NW-SE, ENE-WSW.

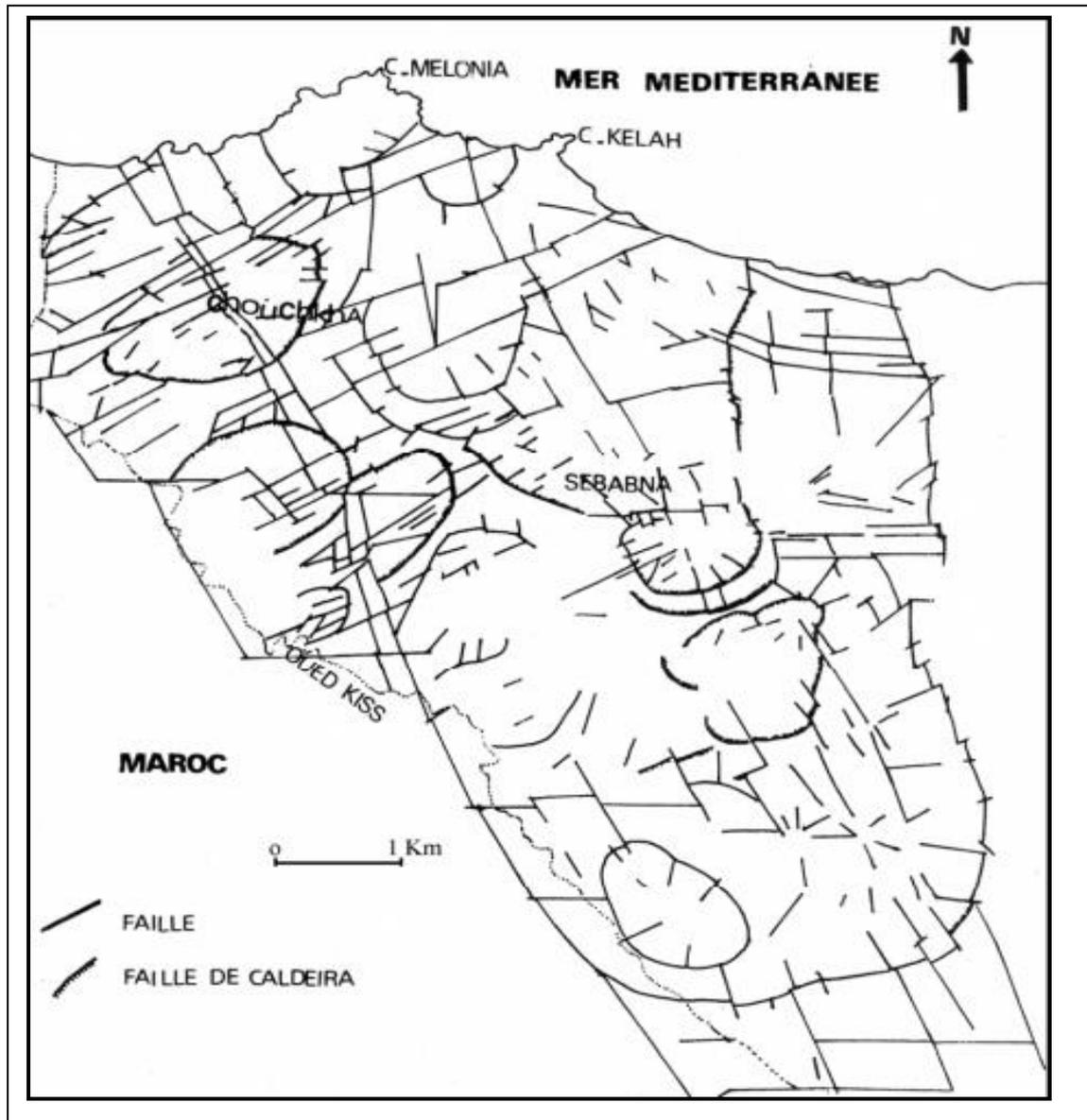
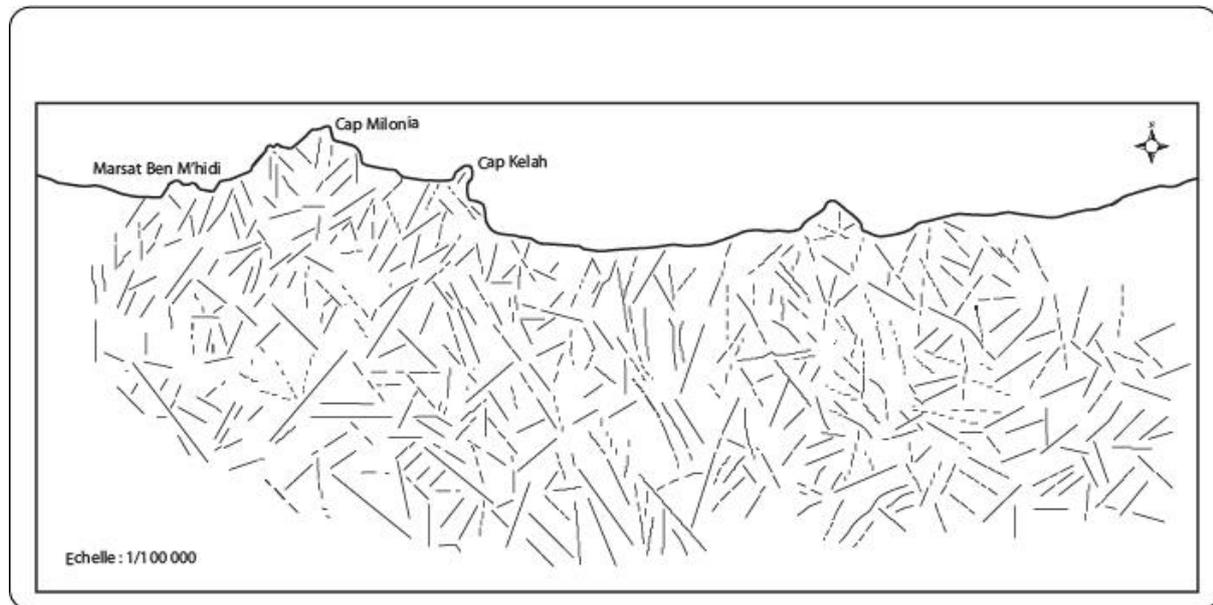
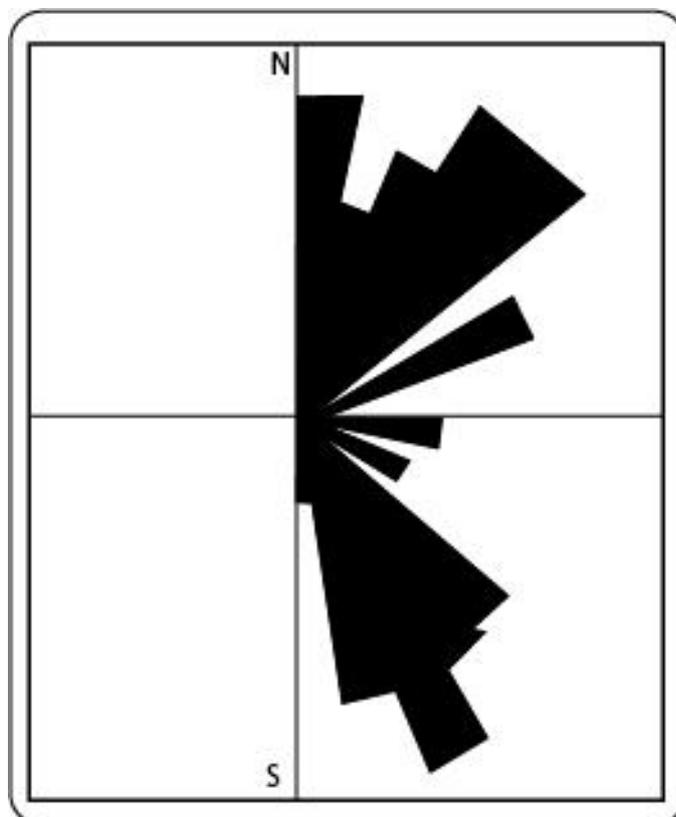


Fig.9. Carte structurale du massif de M'Sirda, (ORGM, 1995)



**Fig.10. Carte linéaire du massif de M'sirda, (Bouzakaria et Hadj Larbi, 1996).**



**Fig.11. Rosace des linéaments de M'Sirda, (Bouzakaria et Hadj Larbi, 1996)**

### II.5.Volet prospection

Depuis les années quatre-vingt, la région Nord-ouest algérienne et spécialement M'Sirda, a connu d'importants ouvrages miniers en vue de découvrir des gisements potentiels liés au volcanisme, surtout que de géants gisements de par le monde tel que les porphyres copper, les VMS et les gisements épithermaux (Au-Ag) ont été découverts dans des contextes volcaniques.

En 1985 l'O.R.G.M a entamé la prospection des polymétaux liés au volcanisme miocène dans les limites du massif de M'Sirda, à l'issue de laquelle, 02 zones (Sebabna et Chouchkha) ont été dégagées et jugées prometteuses.

Il convient de signaler que l'ORGM a réalisé 24 sondages dans le massif ; 15 dans le Chouchkha et 09 dans le Sebabna.

Dans la zone concernée par cette étude, en l'occurrence Chouchkha, les sondages réalisés sont MS2,MS3,MS4,MS11,MS12,MS13,MS14,MS15,MS16,MS19,MS20,MS21,MS22,MS23,MS 24,(Fig.12).

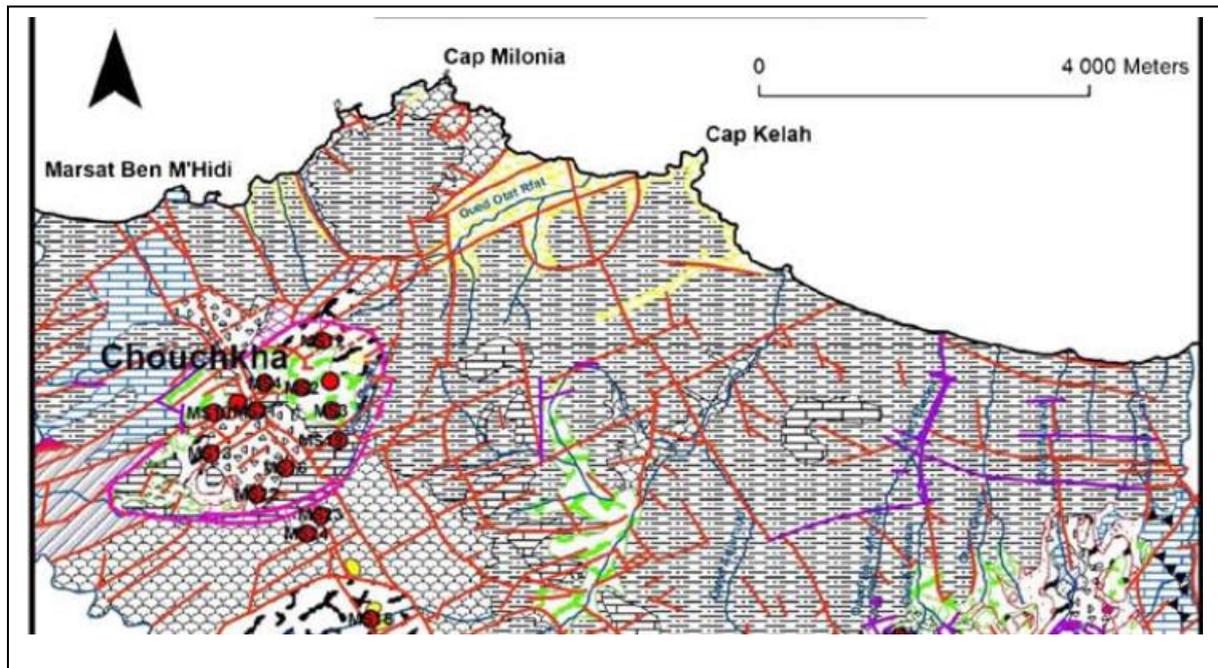


Fig.12. Carte de position des sondages réalisés dans le Chouchkha, (Ouibrahim et al, 2014).

### A. Zone de Chouchkha (Fig.13)

Le Djebel Chouchkha constitue un appareil volcanique dont la partie centrale est représentée par la cheminée localisée au NW du sommet actuel de ce dernier. Un corps sulfureux se présente dans les parties sud et est de l'appareil qui a subi une silicification post-volcanique.

La minéralisation recoupée par les sondages est essentiellement polymétalliques (Pb-Zn-Cu) à Au-Ag (**Tab.3**) dont les teneurs sont parfois importantes.

Le sondage de reconnaissance MS2 a montré que la minéralisation sulfurée est associée à l'appareil volcanique central de Chouchkha, elle apparaît au sein des laves andésitiques très fortement ou entièrement transformées par métasomatose.

D'après les résultats du sondage MS2, trois zones peuvent se différencier par le caractère des transformations des roches volcaniques :

- la partie supérieure correspond à l'argilisation des andésites : un métasomatisme lié à l'activité des solutions hydrothermales de basse température.

- la partie inférieure propylitisée où les andésites sont fortement et entièrement altérées. Sous les propylites apparaissent des formations quartzifiées de type quartzites secondaires.

La minéralisation est de type amas-pyriteux, la teneur en pyrite varie entre 5% et 60% avec une moyenne de 15%.

Ouibrahim, 2014 a établie des cartes thématiques de la distribution de la minéralisation dans le secteur de M'Sirda en faisant ressortir qu'elle est à droite des failles NNW-SSE (**Fig.14**) quant au Cuivre il se distribue dans les deux cotés desdites failles (**Fig.15**).

Cette distribution est bien observée dans la caldeira de Chouchkha et non relevée dans Sebabna car l'observation des failles NNW-SSE dans cette dernière n'est pas évidente.



F

**Tab.3. Zones Minéralisées recoupées par les sondages de Chouchkha, (ORGM, 1998)**

| Sondage<br>Tranchées | intervalles | Epaisseur | Teneures |        |        |           |           |
|----------------------|-------------|-----------|----------|--------|--------|-----------|-----------|
|                      |             |           | Pb%      | Zn %   | Cu%    | Ag<br>g/t | Au<br>g/t |
| MS2                  | 25.3-35.3   | 10.0      | 0.19     | <0.01  | <0.01  | 54        | -         |
|                      | 45.3-57.3   | 12.0      | 0.3      | <0.01  |        | 58        | -         |
| T5                   |             | >3.0      | 0.01     | <0.005 | <0.005 | 12.0      | -         |
| MS3                  | 21.9-24.7   | 2.9       | 0.12     | 0.004  | <0.002 | 1.0       | 1.0       |
|                      | 48.5-57.8   | 9.3       | 0.34     | <0.005 | <0.005 | 10        | -         |
|                      | 62.5-67.7   | 5.5       | -        | -      | -      | 10        | -         |
| MS4                  | 31-35,4     | 4.3       | <0.005   | <0.5   |        | 0.05      | 0.78      |
|                      | 276.0-278.4 | 2.7       | 0.04     | 125    |        | 0.12      | 0.7       |
|                      | 382.2-383.6 | 2.4       | 0.06     | 75     |        | 0.1       | 0.4       |
|                      | 392.6-393.6 | 1.3       | 0.03     | 25     |        | 0.2       | 0.3       |
| MS3                  | 301.8-320.6 | 18.5      | 0.005    | -      |        | 0.007     | 18.5      |

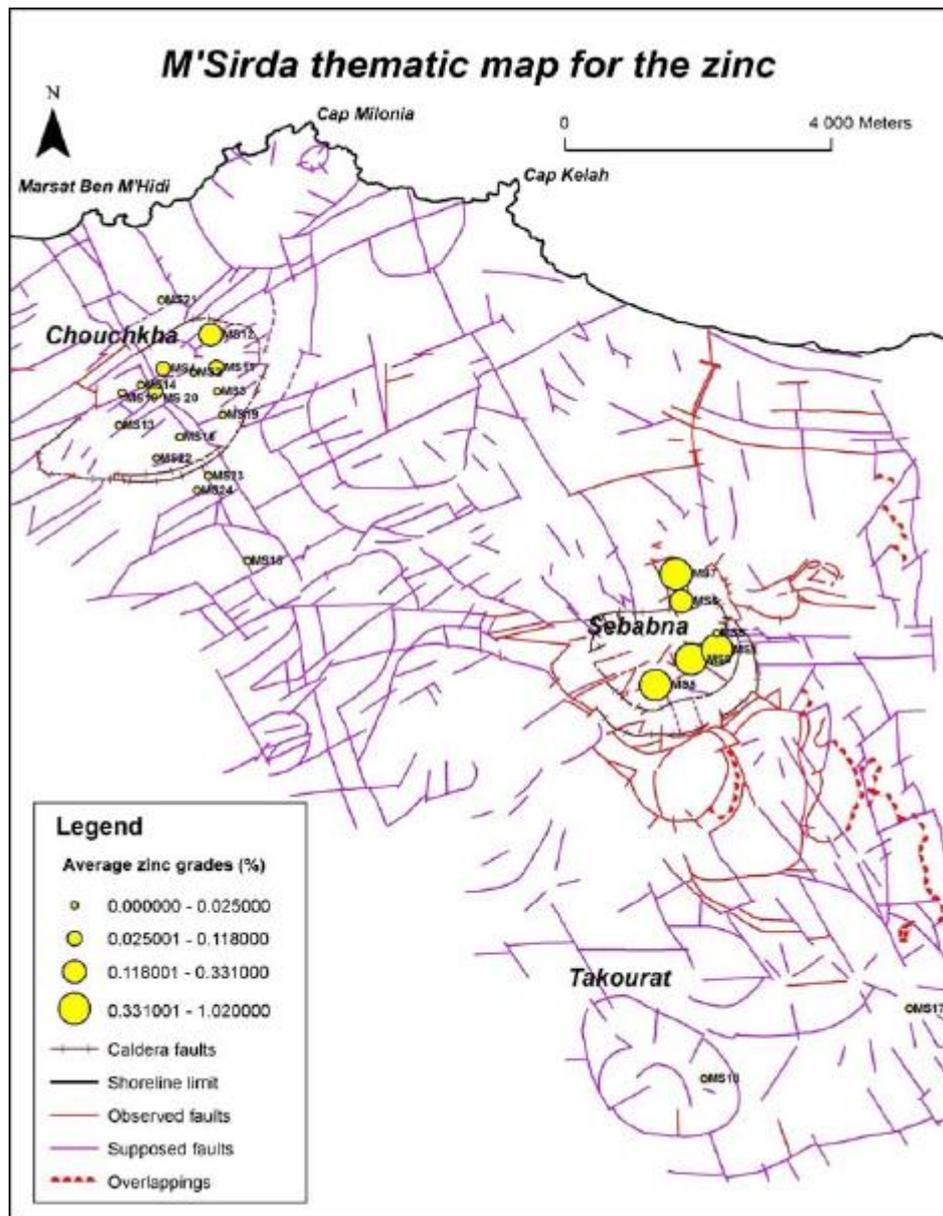


Fig.14. Carte thématique de la distribution du zinc dans M'Sirda, (Ouibrahim et al, 2014)

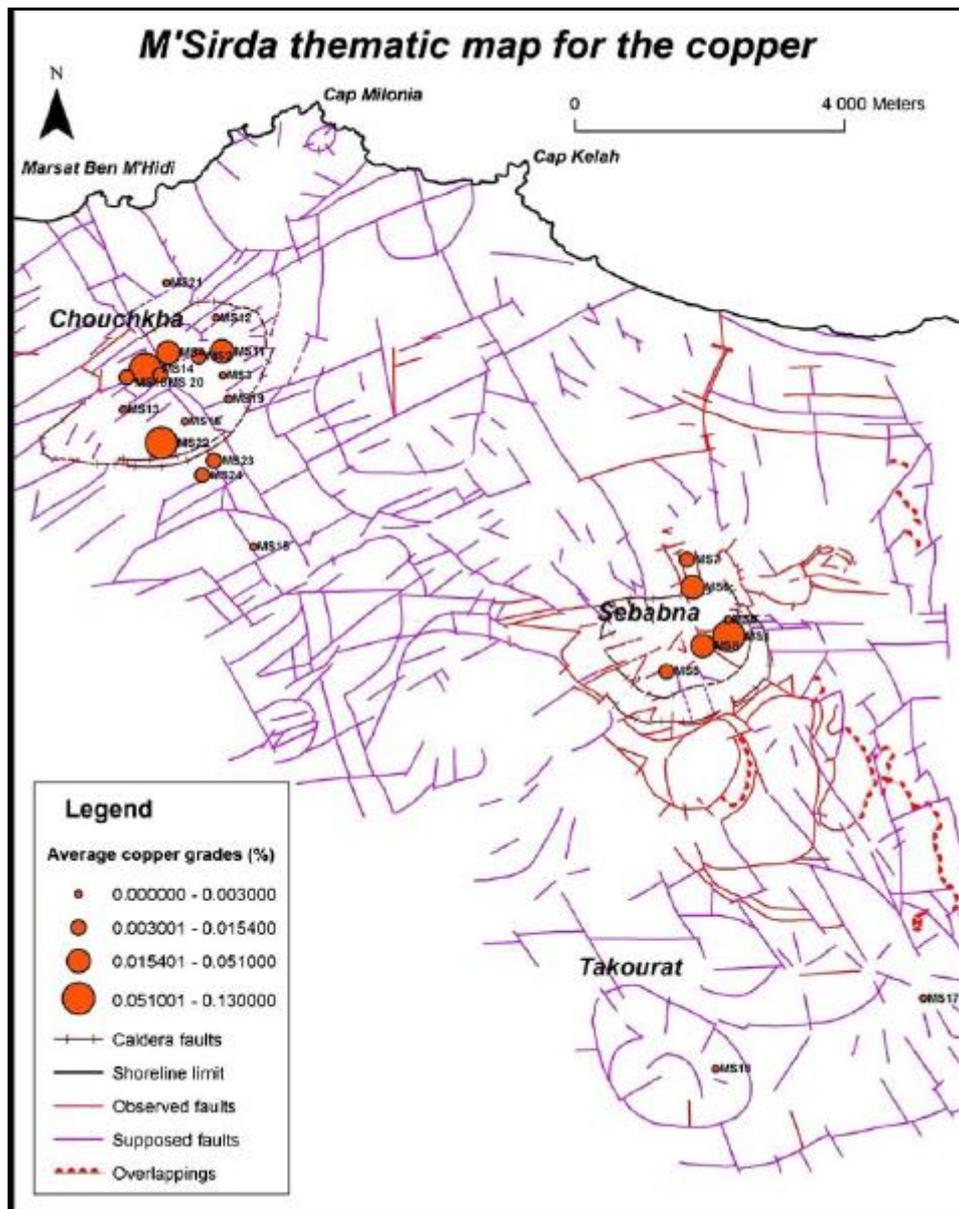


Fig.15. Carte thématique de la distribution du cuivre dans M'Sirda, (Ouibrahim et al, 2014)

**B. La Minéralisation auro-argentifère dans Chouchkha (Fig.16, 17) :**

Cette minéralisation est encaissée généralement dans des roches andésitiques subvolcaniques associées à un cortège de minéraux d'altération (Quartz-Kaolinite-Alunite), (Adulaire-Séricite).

Les travaux effectués en surface et en profondeur dans Chouchkha et Sebabna ont révélé des teneurs en Or et en Argent détectées surtout en Aurospectrale et analyse chimique sur Argent.

Le problème de la minéralisation aurifère réside dans sa détection et sa localisation. En effet cette dernière est souvent infra microscopique ou diffuse dans le réseau de sulfures

Dans l'Oued Merrika, certains échantillons (saignées ponctuelles et en tranchées) présentent des teneurs anormales en Au et Ag notamment le MGP35 qui a donné 113,2 g/t en Ag.

Les résultats des analyses à spectrométrie du sondage MS11 ont confirmé des teneurs considérables en argent 37.5g Ag/t au niveau 66,8-68,8m.

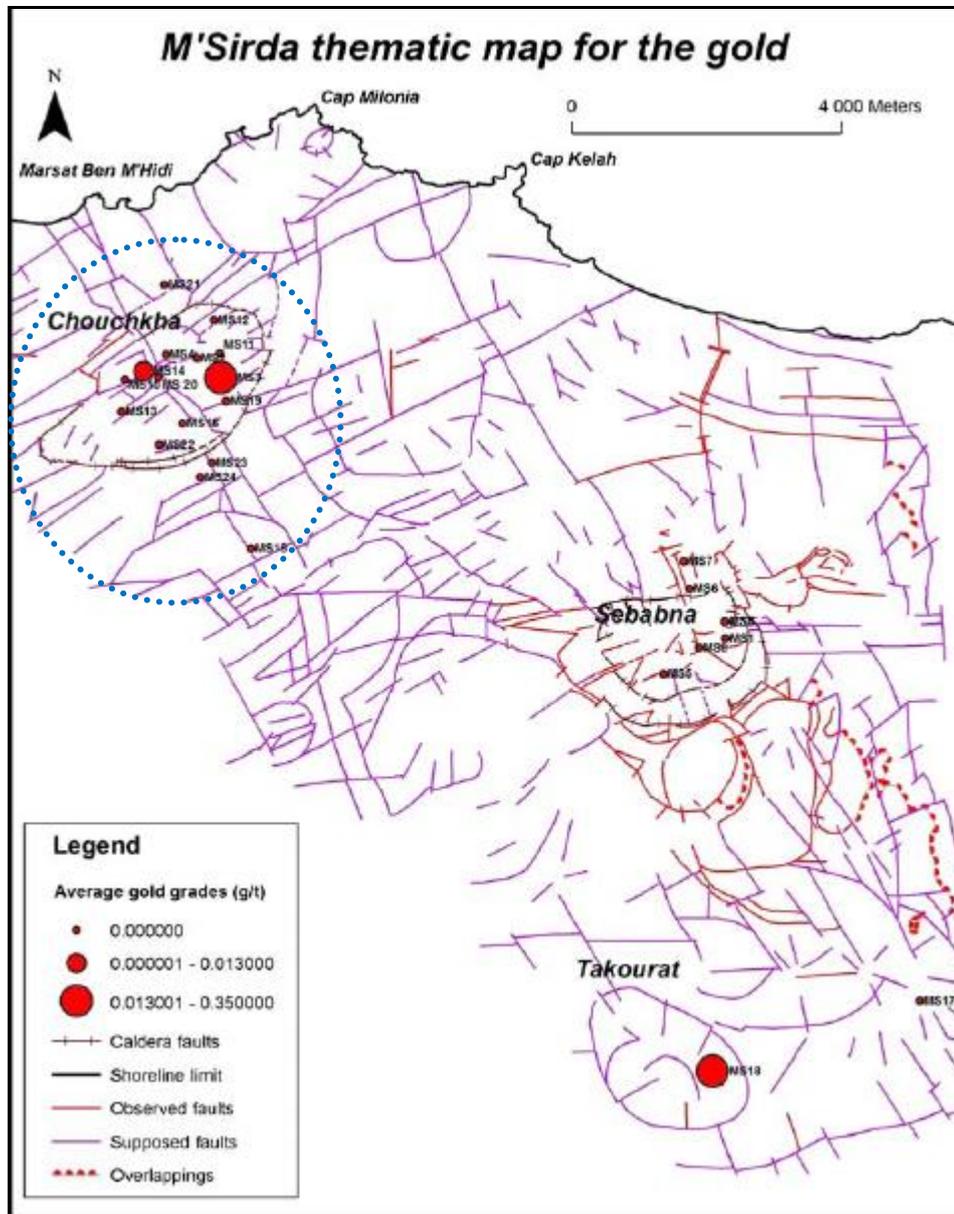
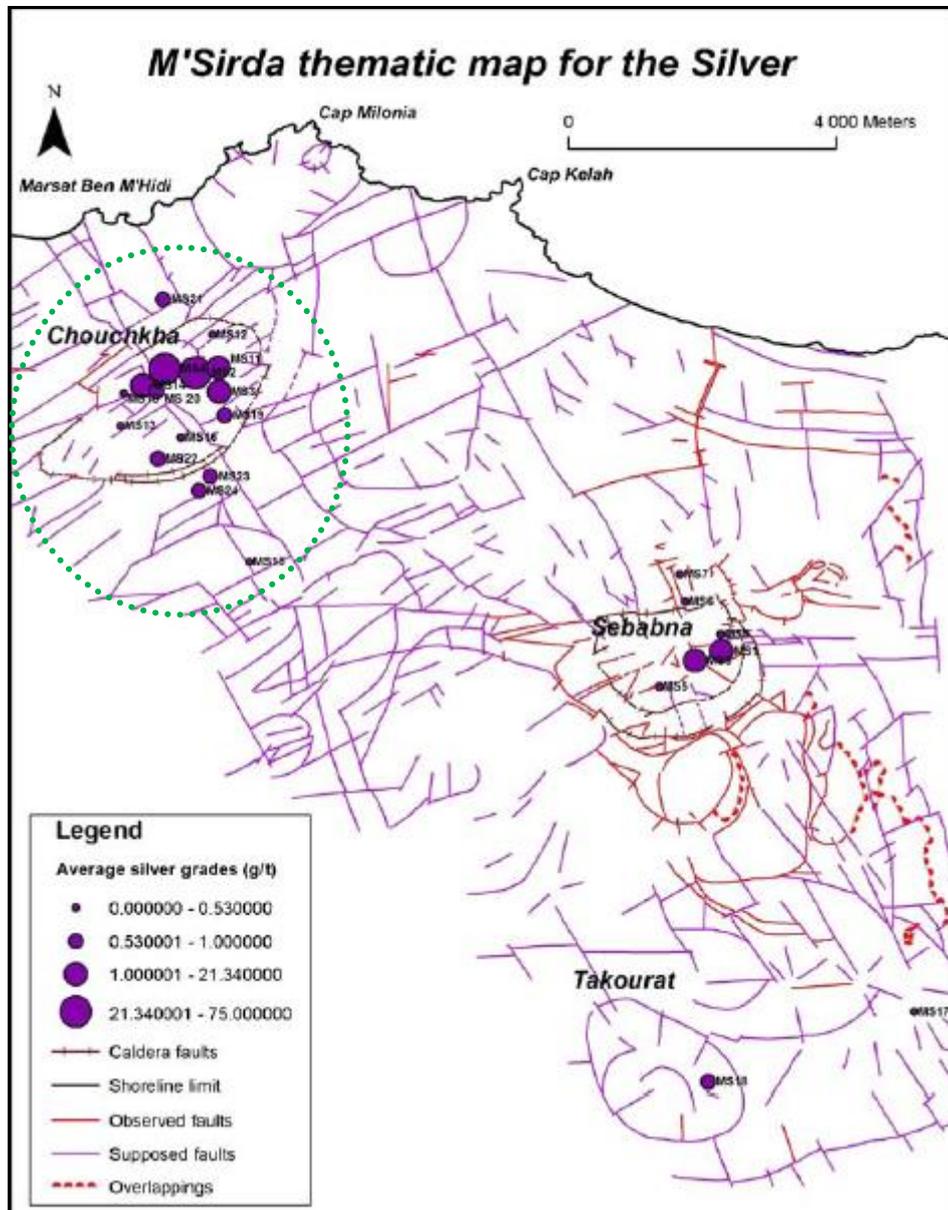
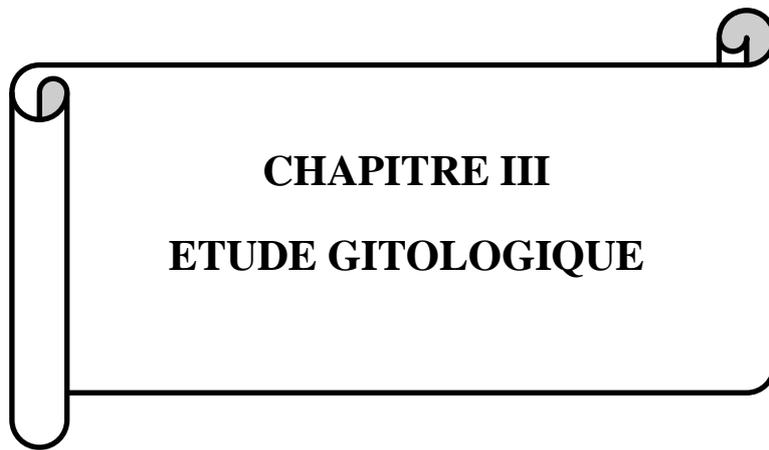


Fig. 16. Carte thématique de distribution de l'Or dans M'Sirda, (Ouibrahim et al, 2014).



**Fig.17. Carte thématique de distribution d'Argent dans M'Sirda, (Ouibrahim et al, 2014)**



**CHAPITRE III**  
**ETUDE GITOLOGIQUE**

### III.1 Introduction

La région oranaise est caractérisée par un intense magmatisme tardi-orogénique, et M'Sirida qui est une partie de cette ceinture volcanique, localisée entre le cap Miliona à l'Ouest et le cap Mellah à l'Est, a suscité tant d'intérêts pour les indices qu'elle recèle notamment, les polymétaux accompagnés de l'Or et d'Ag mis en évidence par les compagnes de recherches de l'ORGM, dans la perspective d'une l'exploitation à l'avenir.

Dans le cadre de notre présente étude, nous avons trois sondages implantés dans la région de Chouchkha (**Fig.18**), il s'agit de MS2, MS3, MS11 avec leurs coordonnées géographiques respectives :

MS2 : X=575694,65      Y=3880986,4

MS3 : X=576053,74      Y=3880703,7

MS11 : X=576037,91      Y=3881060,4.

Il a été difficile de mener une étude pétrographique détaillée à cause d'une part, la discontinuité des intervalles récoltés avec minéralisation et d'autre part, l'altération poussée qui caractérise l'encaissant.

Par ailleurs, 16 lames minces ont été confectionnées et étudiées, il s'agit de 10 lames dans le MS2, 01 lame dans le MS3, et 05 lames dans le MS11.

Cependant, la présence d'altération hydrothermale très poussée touchant l'ensemble des échantillons, nous a mené à les présenter dans un chapitre à part, qui traitera de ce volet, en l'occurrence les altérations hydrothermales.

Il est à noter, qu'une synthèse bibliographique des trois sondages a été reprise pour mieux caractériser l'encaissant de la minéralisation et ce à partir des travaux de Medini, 2010 et Benali, 2007.



**III.2 Historique de secteur de M'Sirda.**

C'est le minerai de fer (Hématite manganésifère) qui a été exploité en premier dans cette région, précisément à Sebabna où la mine a été ouverte en 1913.

Et depuis l'épuisement des réserves de ladite mine en 1936, la région n'a connue aucune activité minière jusqu'aux années quatre-vingt où l'EREM s'est intéressée de nouveau et lancée en 1986, un programme de prospection systématique.

Les résultats des travaux menés signalent que le secteur de Chouchkha et Sebabna contiennent de la minéralisation polymétallique jugée prometteuse,

De 1989 à 1990 M.HEDDAD a qualifié, dans le cadre d'une étude de prospection géochimique stratégique, les concentrations ferrugineuses de M'Sirda de chapeau de fer.

Deux sondages ont été réalisés dans le secteur de Chouchkha MS10 et MS11, confirmant l'existence de minéralisation à Pb-Ag(Cu) encaissée dans des andésites, quant au secteur de Sebabna, sept sondages ont été réalisés mettant en exergue une minéralisation auro-argentifère (Ag : 275 g /t) dans la zone d'oxydation et une minéralisation polymétallique à Pb-Zn pauvre en profondeur (Pb : 8%, Zn : 0,53%).

La campagne de recherche de 1992-1995 menée par l'ORGM a confirmé les potentialités minérales polymétalliques des deux secteurs Chouchkha et Sebabna.

Au total 24 sondages ont été réalisés dans la région de M'Sirda (15) à Chouchkha et (09) à Sebabna.

Récemment et dans le cadre de son programme de recherche minière (2012-2016), l'ORGM a inscrit la région de M'Sirda qui fera l'objet d'une prospection de minéraux polymétallique.

### III.3 L'encaissant de la minéralisation

L'assise andésitique est bien développée sur tout le territoire du complexe des M'Sirda. Ces andésites sont assez diversifiées et correspondent à des pyroclastites, brèches et tufs, et à des coulées.

La minéralisation polymétallique sulfurée est associée aux altérations hydrothermales observées au niveau des faciès subvolcaniques (Medini, 2010).

#### III.3.a. Les laves andésitiques

L'Altération très poussée leur confère d'autres couleurs, néanmoins les laves andésitiques saines sont généralement de couleur brun clair à grisâtre.

Donc suite au processus d'altération, elles peuvent avoir diverses couleurs ; grises dues à la silicification, verdâtre suite à une propylitisation, blanchâtre suite à l'argilisation ou même rosâtre à cause de la calcitisation.

Elles sont largement porphyriques caractérisés par de gros phénocristaux de plagioclase et d'amphibole, et selon le faciès, de pyroxène ou de mica noir (1 cm) de long.

Dans ces laves les minéraux ferromagnésiens en l'occurrence amphibole, pyroxène et mica peuvent coexister ensembles dans le même faciès et présentent des variations de proportions. On distingue ainsi trois familles de point de vue composition minéralogique, il s'agit des andésites à amphibole et pyroxène, des andésites à pyroxène et biotite et des andésites à amphibole, pyroxène et biotite.

Medini (2010) distingue plusieurs andésites hormis celles citées ci-dessus, et suppose la présence de plusieurs coulées d'andésite provenant probablement de différents centres effusifs difficiles à reconnaître à cause de l'importance de l'érosion ainsi que des recouvrements postérieurs.

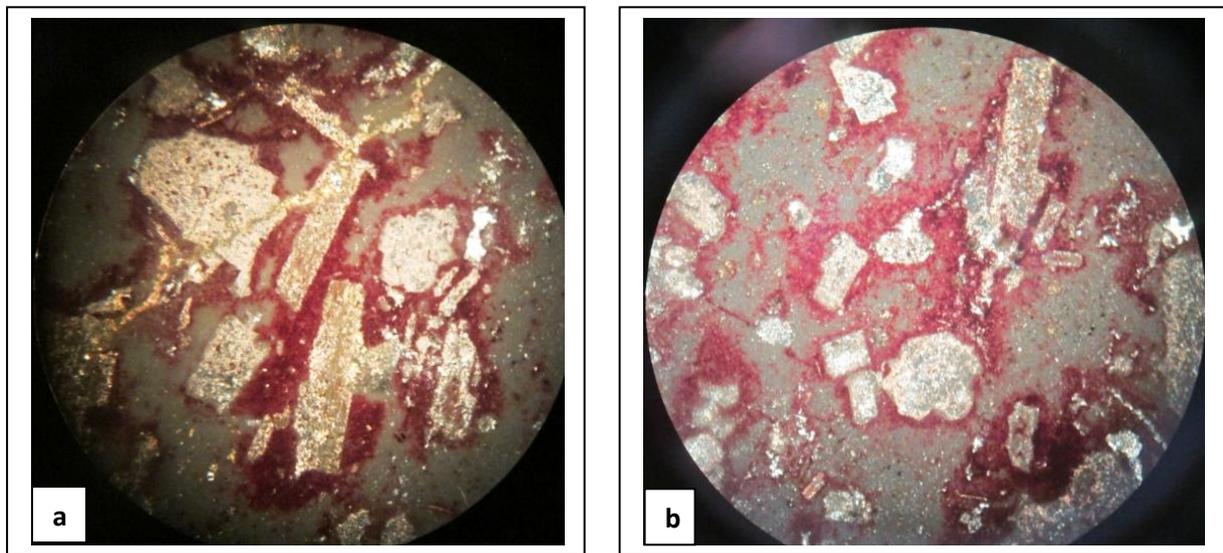
Les plagioclases sous formes de phénocristaux représentent les deux tiers de la roche et le reste est formé par les ferromagnésiens et la mésostase. Cette dernière est constituée globalement de microlithes, de minéraux métalliques et de verre en plus des minéraux d'altération tels que la calcite, le quartz la chlorite et la séricite.

**Les plagioclases** : constituent la phase minérale principale. Ils apparaissent soit en cristaux isolés automorphes à sub-automorphes mesurant entre 0,2 et 2 mm, soit en plages polycristallines constituées de l'imbrication de plusieurs individus.

Le plagioclase est souvent maclé albite, et peut parfois présenter la double maclé Albite-Carlsbad. C'est une andésine et sa teneur en anorthite varie entre  $An_{35}$  et  $An_{47}$ , (Medini, 2010).

Les sections de plagioclase sont assez souvent zonées et craquelées et ces fractures sont soulignées par des minéraux d'altération tels que : la calcite, la séricite, le quartz et les oxydes de fer (**Fig.19a, b**).

Dans les lames minces étudiées, ils sont rares et toujours leurs reliquats qui y figurent

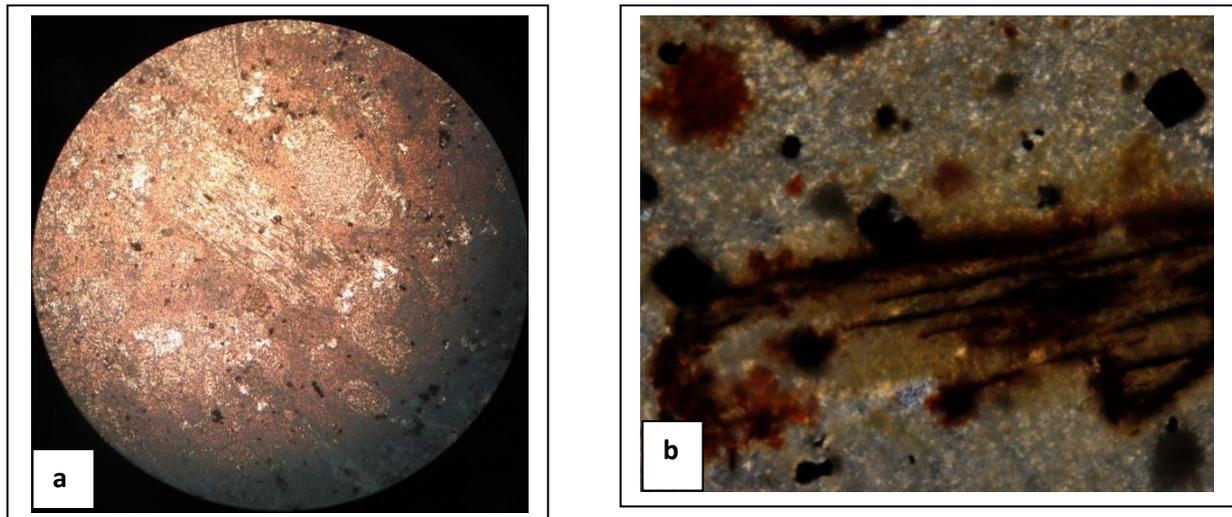


**Fig.19a : Reliquets de plagioclases et d'orthoses b : reliquets de feldspaths (calcitisation) dans une mésostase complètement ferruginisée, LPA, Gr (x05).**

**La biotite** : elle se présente sous forme de prismes isolés pouvant atteindre 3 mm de long ou sous forme moins allongée parfois à section carrée. La couleur est marron et le pléochroïsme est fort variant de brun rouge à jaune marron.

La biotite peut renfermer des inclusions de cristaux automorphes de plagioclase. Elle est fréquemment altérée en chlorite et bordée par des oxydes opaques qui se développent également le long des clivages.

Toutefois, les lames étudiées révèlent des biotites en reliquets suite à leur altération (**Fig.20.a,b**).



**Fig.20.a .Biotite altérée dans une mésostase ferruginisée et b. Biotite entourée des oxydes de fer LPA Gr (x05)**

**L'amphibole :** elle peut représenter la phase minérale la plus importante après les plagioclases (10 %). Globalement sous forme d' hornblende qui apparaît en cristaux automorphes, de moins de 5 mm de large, ou en baguettes ne dépassant pas 4 mm de long. (Fig.21, 22 ), (Medini, 2010)

L'amphibole est de couleur brune et très pléochroïque avec un relief généralement accentué par un liseré de petits grains d'oxydes de fer qui ont même tendance à envahir tout le minéral. Les inclusions sont le plus souvent représentées par des grains d'opacques, du plagioclase et du pyroxène.

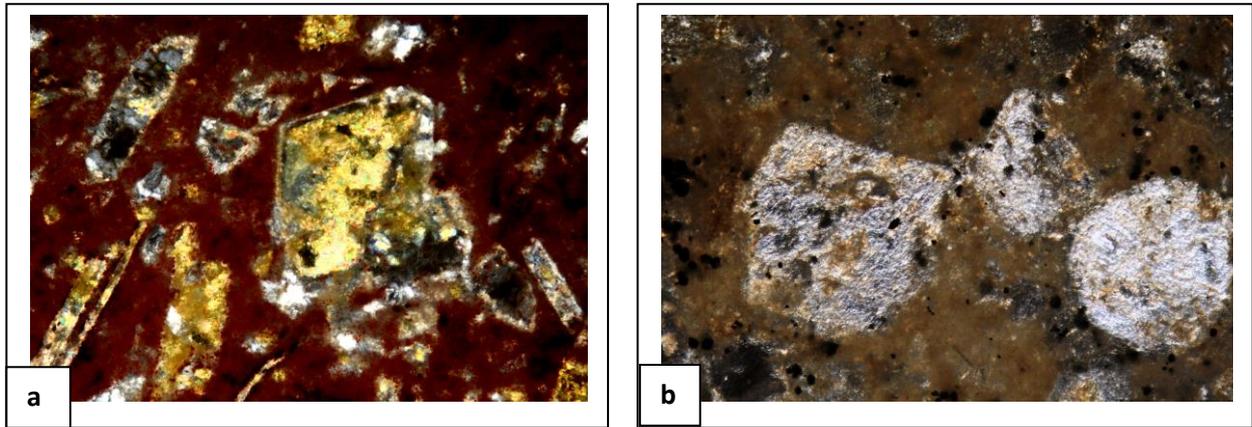
L'amphibole peut présenter deux types de figures de déséquilibre qui peuvent coexister au sein d'une même roche. Le premier consiste en une pseudomorphose en petits cristaux de plagioclase associés ou non à des grains de minéraux opaques. Le second se caractérise par une couronne réactionnelle constituée de plagioclase, de quartz, de chlorite et de minéraux opaques.

Dans les deux cas, la transformation du minéral peut être partielle ou bien totale où il ne subsiste alors que la forme qui rappelle le cristal.

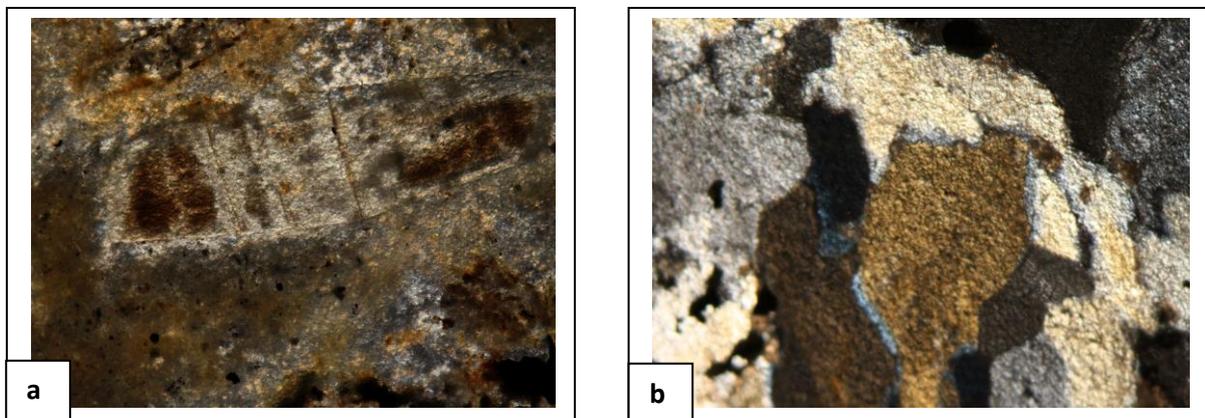
Quelques fois, l'amphibole est transformée en calcite qui la masque complètement et ne peut être donc reconnaissable que grâce à ses formes. Cette forme de déstabilisation de

l'amphibole est comparable à celle décrite dans les andésites du Sahel d'Oran (Megartsi, 1985).

Les amphiboles observées dans les lames minces sont souvent altérées.



**Fig.21.a. Amphiboles altérées dans une mésostase entièrement ferrugineuse, b. Relique de sections basales d'amphiboles altérée (calcitisation) dans une mésostase ferrugineuse. LPA Gr (x05).**



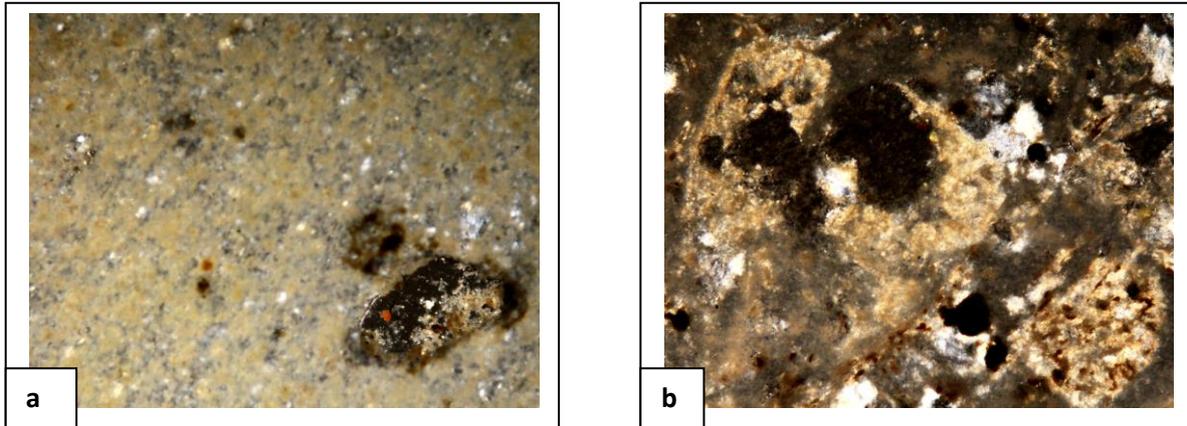
**Fig.22.a. Relique d'hornblende, b. Hornblende associée à de la calcitisation LPA Gr (x05).**

Le **clinopyroxène** se développe en plages automorphes pouvant atteindre 1 mm de large. Il correspond à de l'augite (**Fig.23**), rarement zonée mais fréquemment maclée.

Les inclusions de grains de titano-magnétite associés parfois à quelques rares microlites de plagioclase peuvent être fréquentes (Medini, 2010).

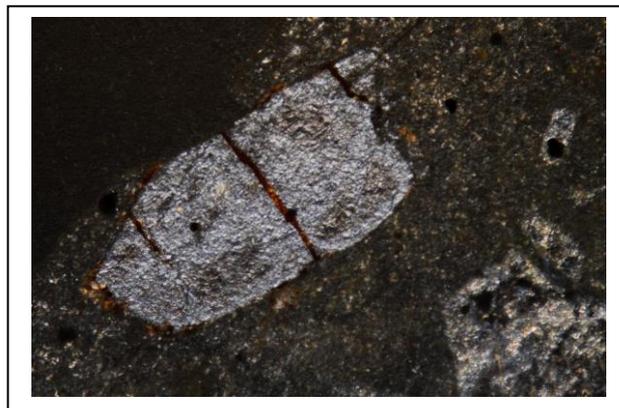
Le clinopyroxène est également présent en microlites dans la mésostase.

Il est rare dans les lames minces étudiées (entièrement altéré ou mal observé).



**Fig.23.a. Phénocrystal de clinopyroxène en relique dans une mésostase séricitisée et b. Reliquats des clinopyroxènes et amphiboles. LPA (Grx05).**

Dans les andésites, on peut distinguer également deux habitus de minéraux opaques en cristaux automorphes inclus dans les phénocristaux de plagioclase, de pyroxène, d'amphibole ou de biotite, soit en grains isolés et disséminés dans la mésostase (**Fig.24**).



**Fig.24. minéraux opaques dans une amphibole altérée et dans la mésostase LPA (Grx05).**

Selon (Medini, 2010), deux étapes de cristallisation sont distinguées à partir des relations observées entre les différentes phases minérales, :

Une première correspond à l'apparition des phénocristaux dont les minéraux opaques automorphes en sont les premiers témoins.

Ils sont alors suivis par la cristallisation simultanée des plagioclases et des pyroxènes et enfin des amphiboles et de la biotite.

Les inclusions vitreuses dans les phénocristaux de plagioclases peuvent être considérées comme représentatives de la composition d'un liquide proche du magma originel des andésites.

Une deuxième étape représentée par la mésostase associant les microlites de plagioclases et de minéraux opaques qui apparaissent avant la solidification finale de la pâte vitreuse.

Les pyroxènes sont parfois partiellement à totalement pseudomorphosés en un assemblage de chlorite, de carbonates crypto-grenus et de quartz.

Le fond vitreux de la roche peut être également remplacé par une association minérale constituée de chlorite, de kaolinite, de séricite et de quartz crypto-cristallin.

Suite au manque de documentations et de données, seul un log synthétique du sondage MS11 (Benali, 2007), est présenté ci-après pour illustrer l'ensemble de la pétrographie de l'encaissant (**Fig.25**)

Notant que seules 05 lames minces ont été étudiées dans MS11.

| Profondeur | Faciès | Description  |
|------------|--------|--|
| 30 m       |        | Roche non identifiable de couleur grise blanchâtre                                     |
| 90 m       |        | Andésite à biotite de couleur grise à blanchâtre                                       |
| 100 m      |        | Andésite à biotite et amphibole de couleur blanche grisâtre                            |
| 140 m      |        | Andésite à biotite de couleur sombre   |
| 180 m      |        | Andésite à biotite et amphibole de couleur blanche grisâtre                            |
| 205 m      |        | Andésite à biotite de couleur grise  |
| 220 m      |        | Andésite à biotite et amphibole  |
| 280 m      |        | Andésite à biotite de couleur grise-verdâtre   |
| 300 m      |        | Chert (roche presque complètement silicifiées)   |
| 380 m      |        | Andésite à pyroxène et amphibole<br>Roche dure et consolidée de couleur grise verdâtre |
| 410 m      |        | Andésite à biotite<br>Roche de couleur verdâtre  |
| 462 m      |        | Andésite à pyroxène et amphibole<br>Roche dure et consolidée de couleur grise verdâtre |

Fig. 25. Log synthétique du sondage MS11 de M’Sirda, (Benali, 2007)

### III.4. Gîtologie

L'étude de la minéralisation métallifère encaissée dans les formations andésitiques est fondée sur des observations macroscopiques des échantillons de carottes et microscopiques en lames minces et sections polies.

En ce qui concerne l'étude gîtologique, 68 sections polies ont été étudiées, réparties sur les trois sondages comme suit : 19 sections dans le MS2, 31 sections dans le MS3, et 18 sections dans le MS11.

La quasi-totalité des sections étudiées renferment de la minéralisation à degrés plus ou moins divers.

#### III.4.1. Les textures de la minéralisation :

L'étude s'est basée exclusivement sur des sections polies de carottes de sondages.

Néanmoins, leur analyse à l'œil nu démontre que la minéralisation se présente sous diverses formes, notamment la texture disséminée, veinulée, massive, et tachetée.

#### La texture disséminée (Fig.26)

Elle est la plus abondante, caractérisant les trois sondages étudiés. Elle est représentée souvent par la pyrite, généralement irrégulière épousant des formes de grains ou d'agrégats polycristallins.

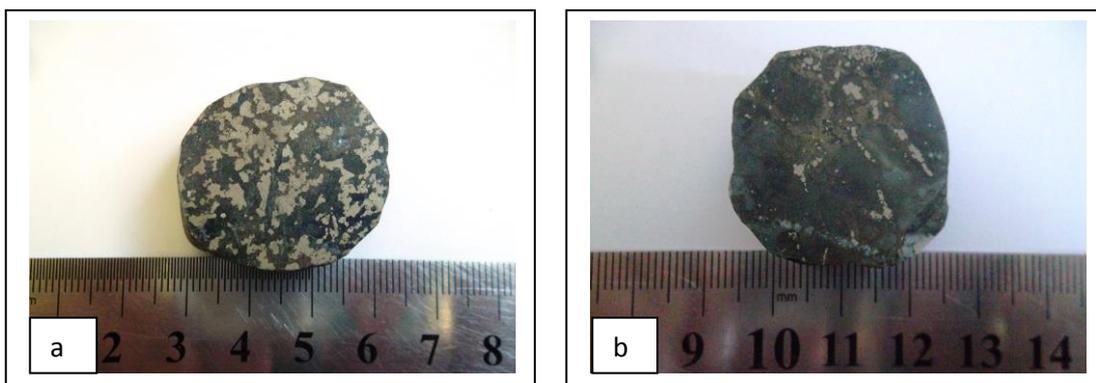
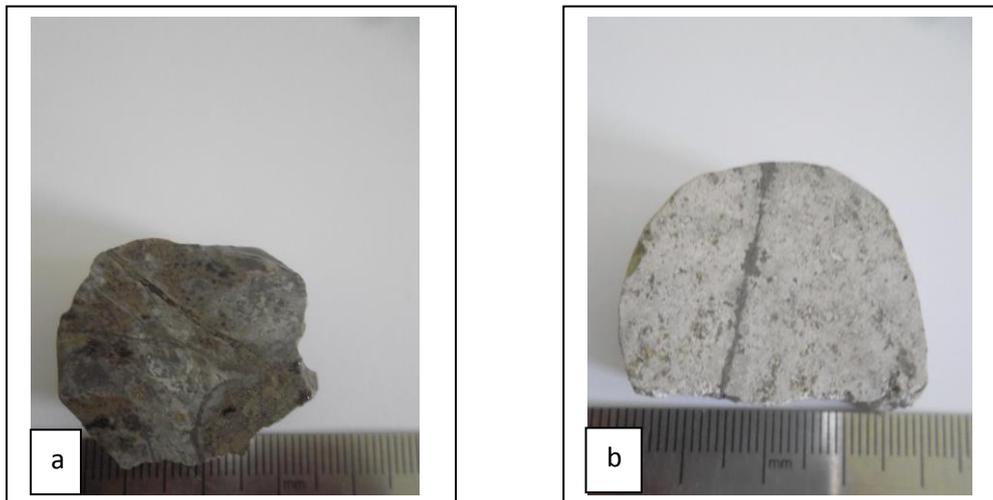


Fig.26. La texture disséminée représentée par de la pyrite dans un encaissant andésitique

**La texture veinulée (Fig.27)**

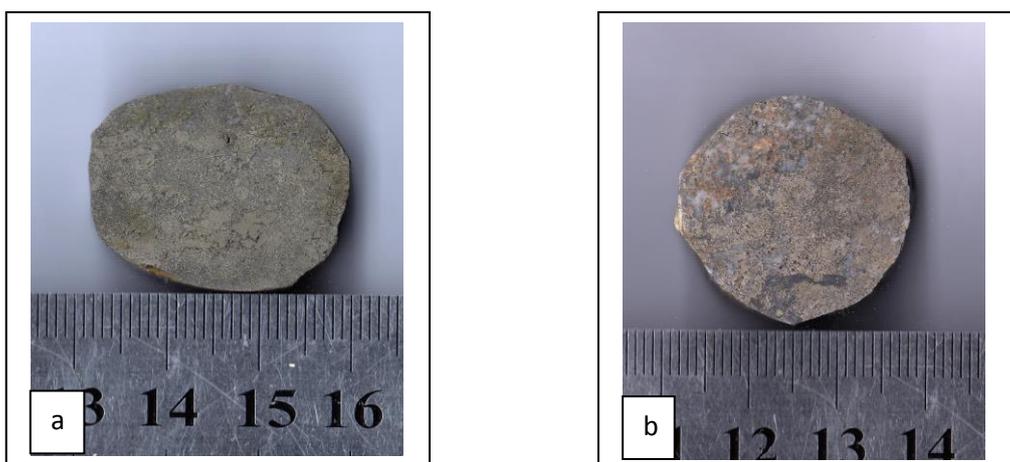
Elle est fréquente, l'épaisseur des veinules varie de quelques millimètres à des centimètres, à remplissage de pyrite généralement, avec calcite et oxydes de fer.



**Fig.27.La texture veinulée à remplissage de sulfures et oxydes de Fer**

**La texture massive (Fig.28)**

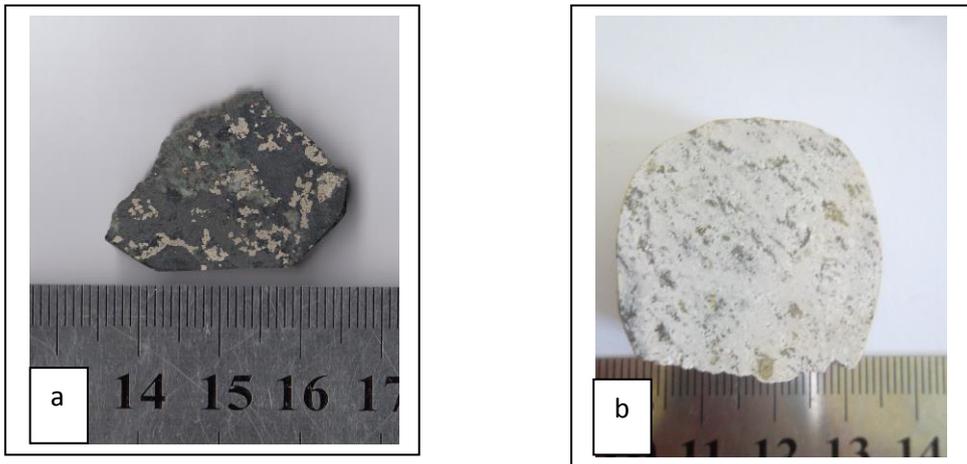
Cette texture est assez répandue, on la retrouve sous forme d'agrégats de sulfures, en association avec d'autres minéraux métalliques.



**Fig.28. a et b : La texture massive à pyrite.**

**La texture tachetée (Fig.29)**

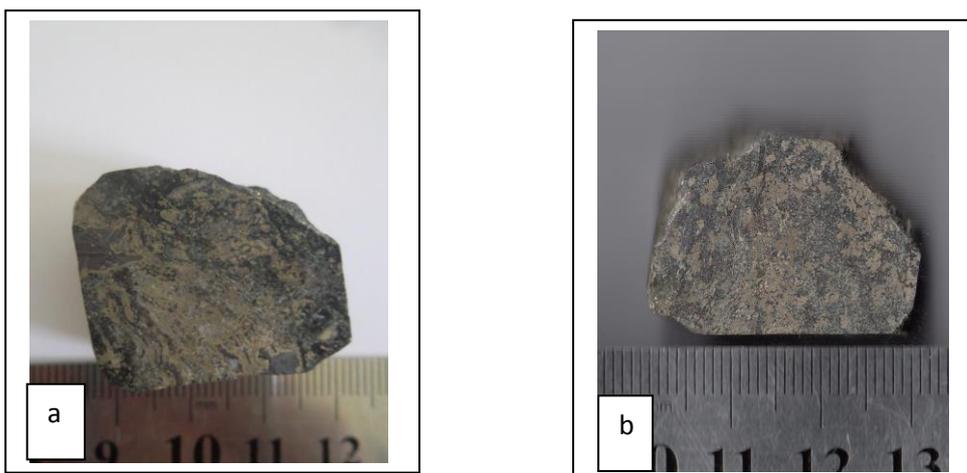
Elle est observée davantage vers les profondeurs des sondages, caractérisée par des taches petites ou /et moyennes composées de minéraux métalliques (pyrite, sphalérite...).



**Fig.29.**La texture tachetée représentée par des sulfures.

**La texture zébrée (Fig.30)**

Elle est observée au niveau de sondage 03, à une profondeur de 451 m, caractérisée par de minces lits de sulfures (pyrites) envahissant l'encastant andésitique verdâtre.

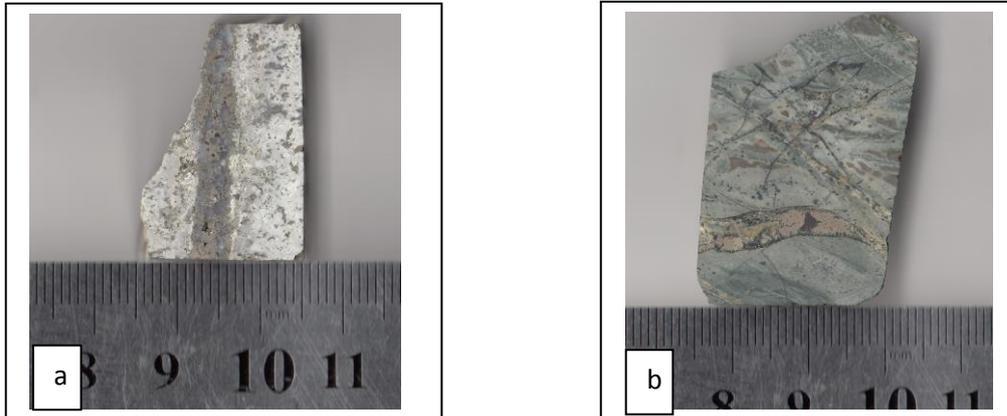


**Fig.30.**La texture zébrée dans une andésite

**La texture en filonnets (Fig.31)**

Observée dans la majorité des sondages, remplissant les fractures sous forme de filonnets.

Elle est à remplissage de sulfures et des oxydes de fer.



**Fig.31. La texture en filonnets remplis de minéraux métalliques.**

**III.4.2. Etude minéralogique**

L'étude de la minéralisation des trois sondages réalisé à Chouchkha a fait ressortir une paragenèse riche et complexe avec plusieurs phases. Il s'agit de pyrite, chalcoppyrite, arsénopyrite, galène, sphalérite, marcassite, et magnétite, pour les minéraux secondaires, on rencontre la bornite, la covellite, la digénite, et l'hématite.

Quant à la gangue, elle est constituée de calcite, quartz, chlorite, séricite, etc.

**La pyrite ( $\text{FeS}_2$ )** : c'est le sulfure le plus représentatif de la minéralisation, elle prend des tailles et habitus assez variables, allant de petites disséminations sphériques dans la gangue jusqu'à des grandes plages xénomorphes ou subautomorphes. Par endroits les plages sont intactes et affichent les mêmes caractéristiques de la pyrite, mais parfois l'altération poussée leur confère un aspect terne.

Les observations des trois sondages, mettent en évidence trois générations de pyrite :

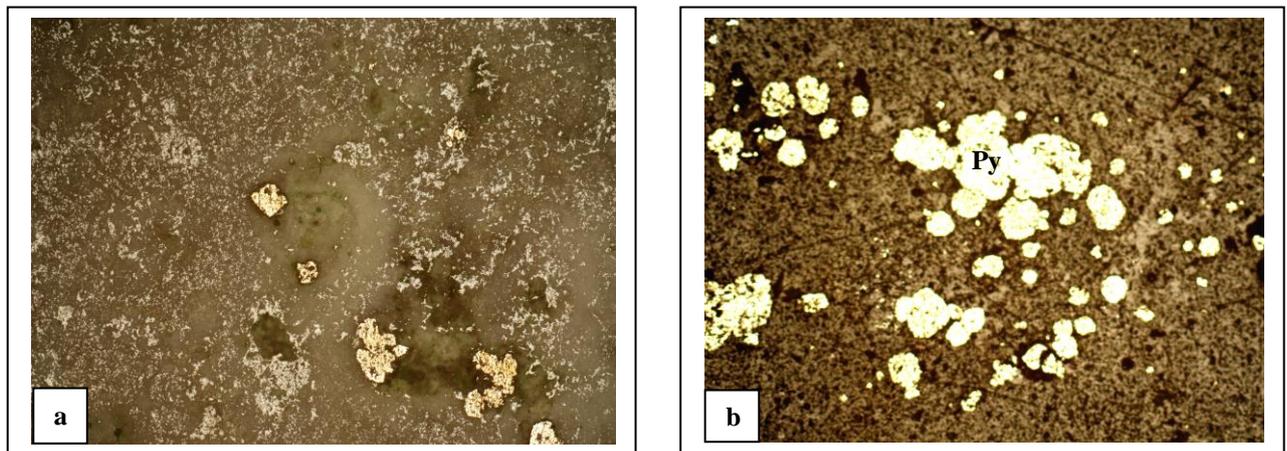
**Pyrite I** : en dissémination dans la gangue, sous forme sphérique ou de cristaux de très petites tailles. (Fig.32)

Elle touche tous les intervalles échantillonnés, Benali, (2007), l'associait à la carbonatation et la séricitisation.

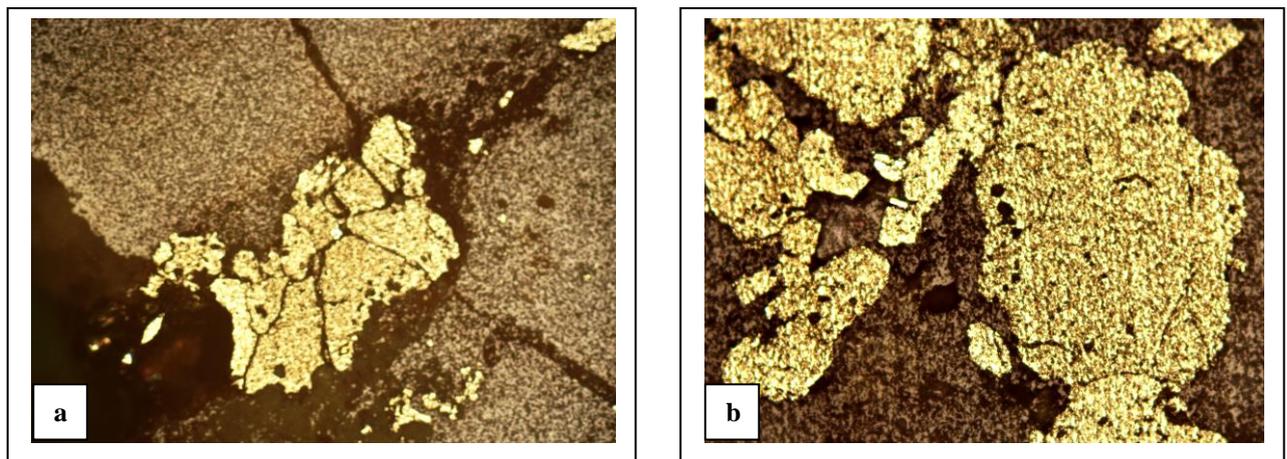
**Pyrite II** : caractérisée par de grandes plages (4 à 7 mm), massives (**Fig.33**) parfois altérées, et en remplissage de veinules. On la trouve associée à l'hématite I, parfois à la magnétite I (**Fig.34, 35**). Elle est aussi recoupée ou /et remplacée par la galène I et la chalcopryrite I (**Fig.36**)

**Pyrite III** : c'est une pyrite de remplacement vient après la seconde phase d'hydrothermalisme et caractérisée par son envahissement du l'encaissant. (**Fig.37**). Parfois elle recoupe la pyrite II.

La pyrite II est par endroit recuite ce qui est due probablement à la circulation des fluides très chauds en profondeur ou au métamorphisme de contact (Ben ali,2007) (**Fig.38**).



**Fig.32.** Photographies de pyrite I disséminée dans un encaissant andésitique, LN,(Grx05).



**Fig.33.** Photographies de pyrite II en plages xénomorphes dans l'andésite, LN, (Grx05).

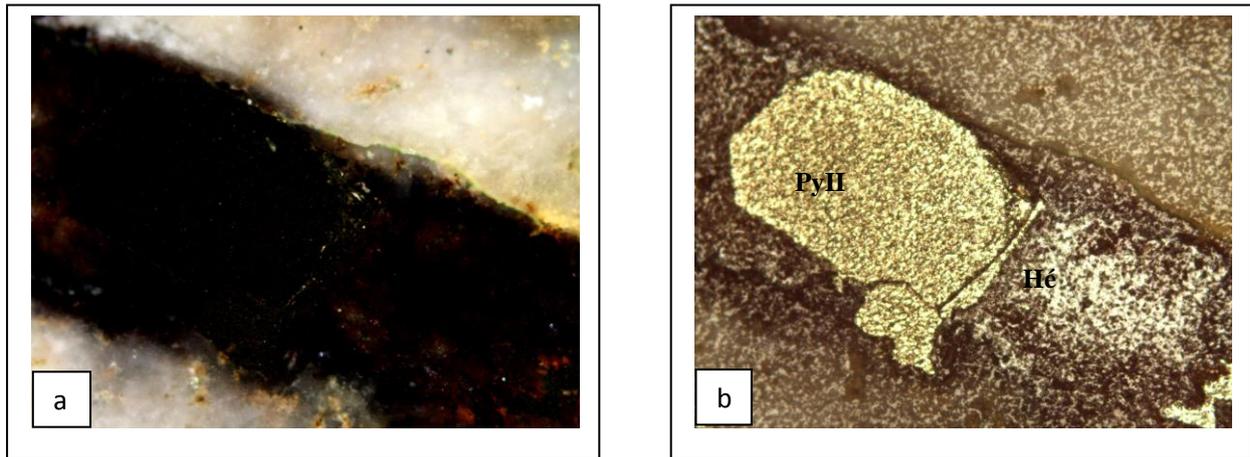


Fig.34. Photographie de pyrite II automorphe dans une veinule avec hématite I - magnétite (LN et LPA, Grx05).

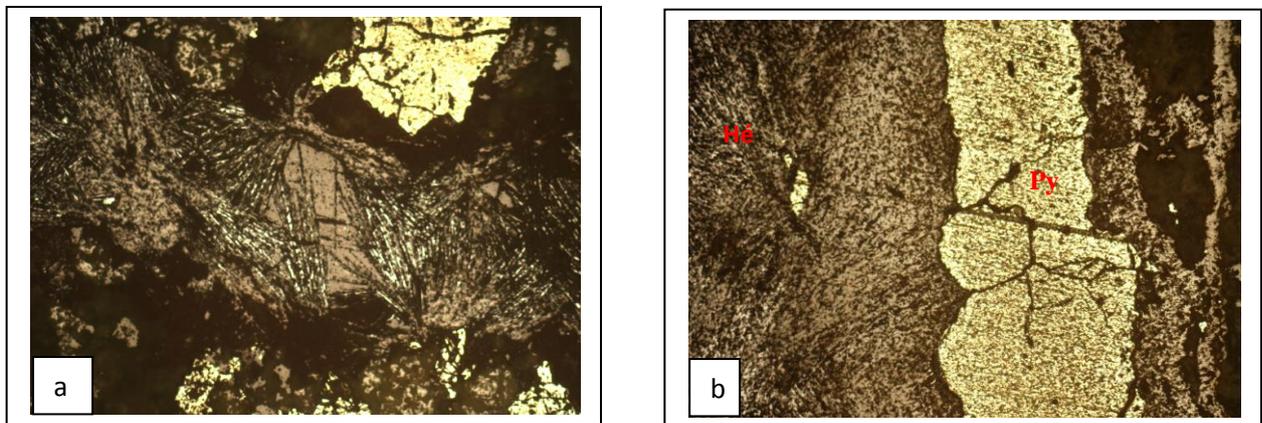


Fig.35. Photographies de pyrite II au contact de magnétite-oligiste (a) et de l'hématite (b), LN,(Grx05).

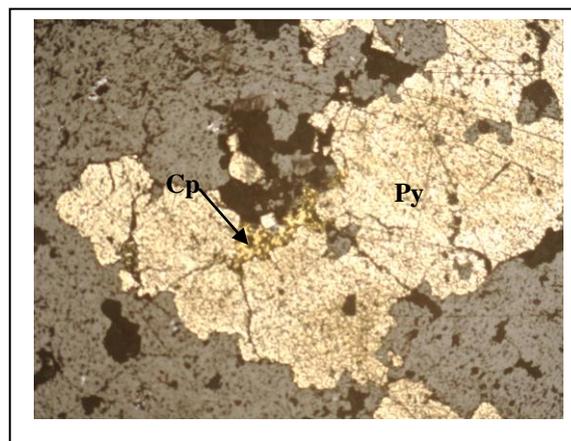
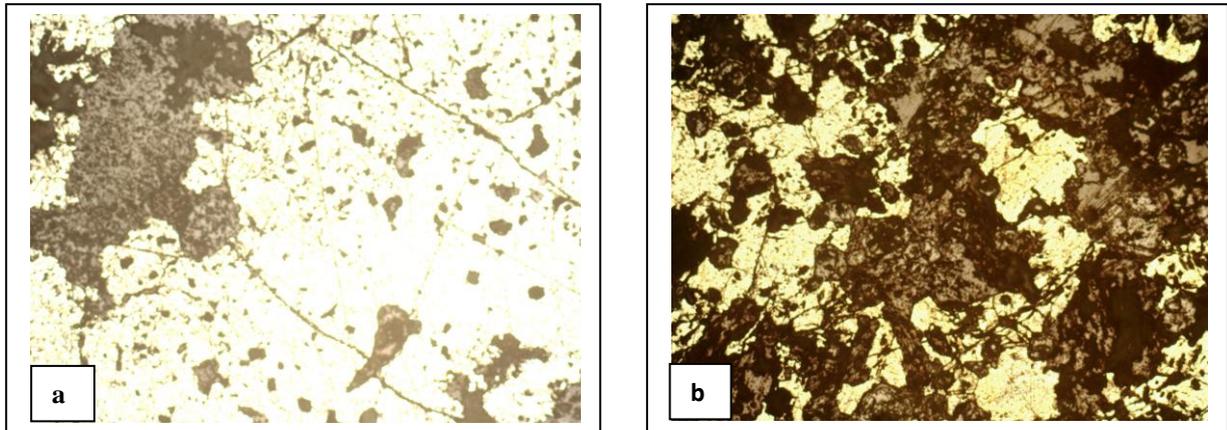
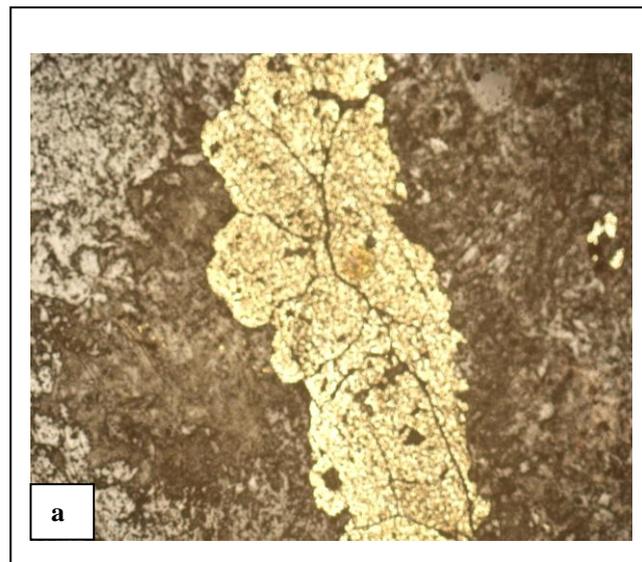


Fig.36. Pyrite II remplacée par la chalcopyrite I LN, (Grx05).



**Fig.37. Photographies de Pyrite III envahissant l'encaissant andésitique, LN, (Grx05).**



**Fig.38. Photographies montrant pyrite II recuites, LN, (Grx05)**

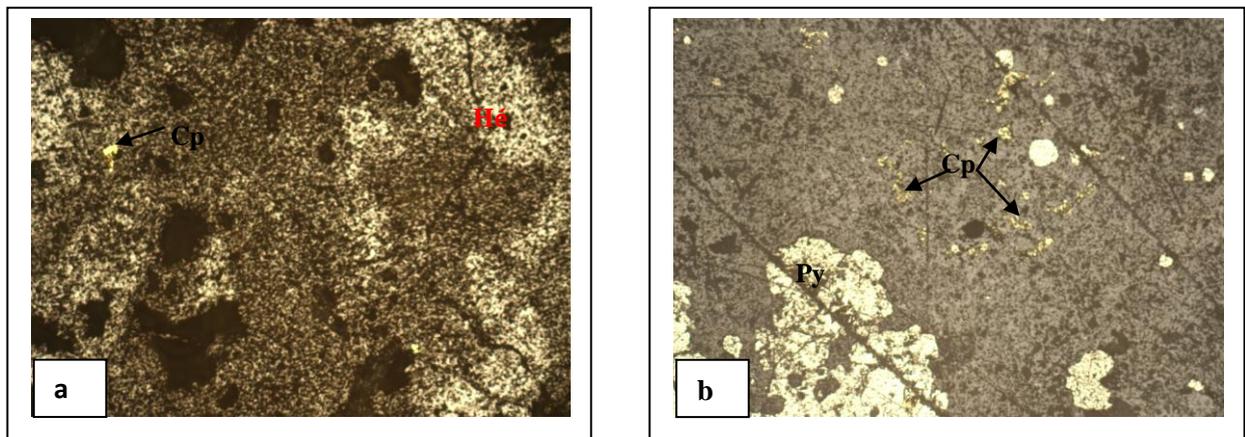
**La chalcopryrite :** rencontrée dans le sondage MS3 vers la profondeur de 426 m, dans le sondage MS11 elle apparait à 37 m de profondeur et continue jusqu' à la profondeur de 471 m, quant au sondage MS2, elle est inexistante.

La chalcopryrite se présente sous forme d'inclusions ou de grandes plages xénomorphes, les observations microscopiques mettent en exergue deux générations de chalcopryrite, il s'agit de

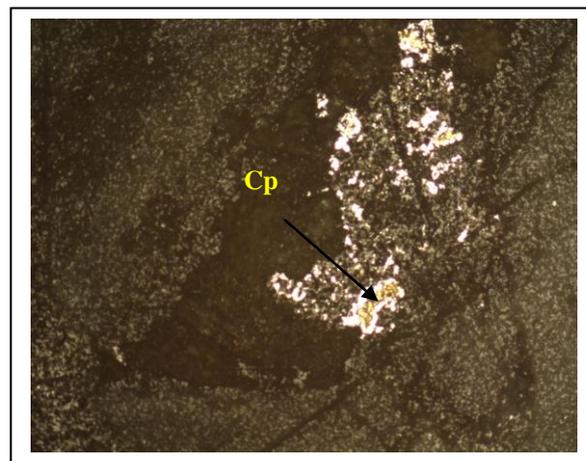
**Chalcopyrite I** : caractérisée par sa couleur jaune, elle est observée en inclusions dans l'hématite II, en disséminations dans l'encaissant, associée à la pyrite II (**Fig.39a, b**), comme elle se présente sous forme de grains cimentant la pyrite II ou en inclusions aussi dans la galène (**Fig.40**) ;

**Chalcopyrite II** : elle est caractérisée par ses plages xénomorphes atteint parfois 6 mm de tailles, remplaçant la pyrite II. (MS11, 380m) et la pseudomorphose aussi (**Fig.41**).

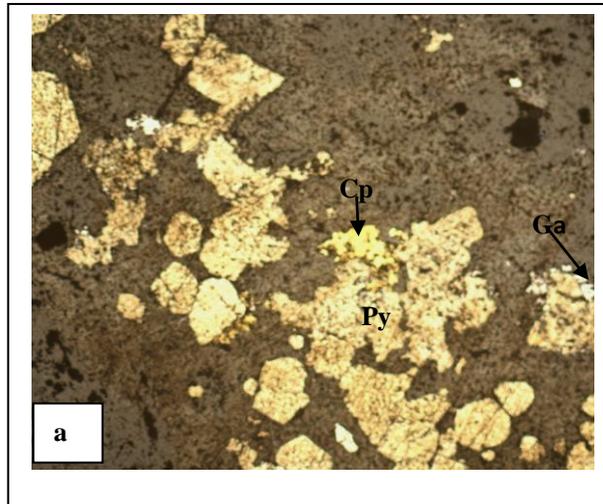
Parfois elle tend à s'altérer (jaune foncé à marron). (**Fig.42a, b**).



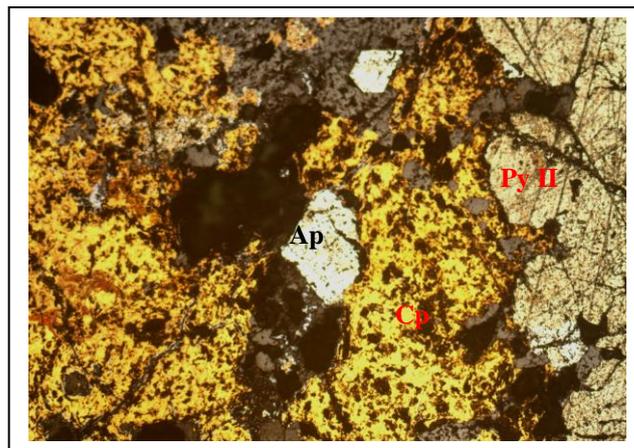
**Fig.39.** Photographies de Chalcopyrite I en inclusions (a) et (b) en disséminations (Grx05)



**Fig.40.** La Chalcopyrite I en inclusions dans la galène LN, (Grx05).



**Fig.41. Chalcopyrite II remplaçant la pyrite II, LN, (Grx05)**



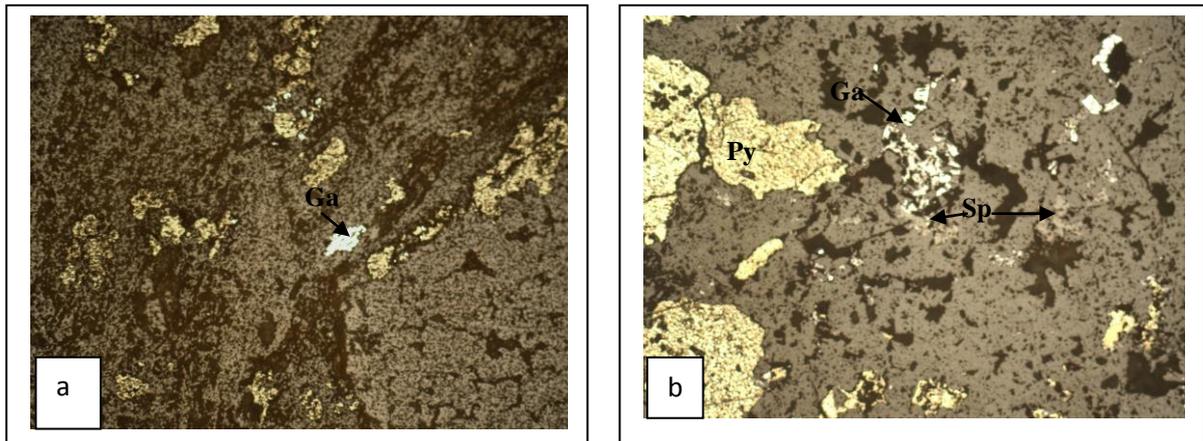
**Fig.42. Chalcopyrite II corrodant la pyrite II (b).LN, (Grx05).**

**La Galène (PbS) :** reconnaissable facilement grâce aux arrachements triangulaires, elle est observée en majorité, dans le sondage MS11 et apparaît aussi à un seul intervalle au niveau de MS3. Deux générations ont été distinguées, à savoir :

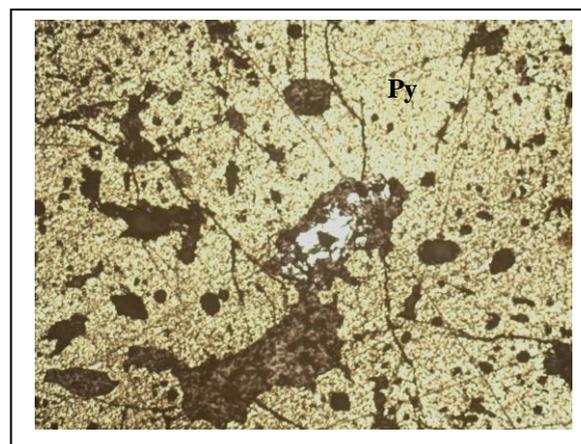
**Galène I :** elle se présente sous forme de disséminations dans l'encaissant associée à la pyrite II et en plages étirées au contact de la sphalérite (**Fig.43**). Elle est observée aussi remplissant les pores de la pyrite II, (**Fig.44**).

**Galène II** : sous forme de plages ou tend à l'automorphisme, elle recoupe la pyrite II, qui remplit les veinules, ou cimente les plages de la pyrite II (**Fig.45a, b**).

Par endroit, la pyrite III corrode les plages de galènes aussi (**Fig.46**).



**Fig.43.** la Galène I en disséminations (a), et au contact de la sphalérite I, LN, (Grx05).



**Fig.44.** galène I remplissant les pores de pyrite II, LN,(Grx05).

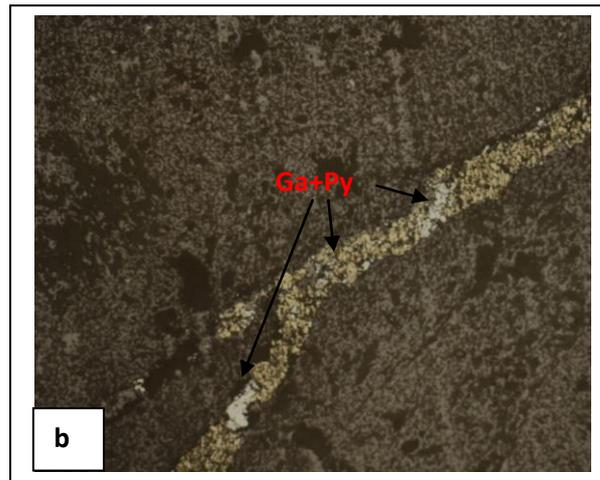


Fig.45. Galène II dans les veinules avec pyrite II, LN, (Grx05).

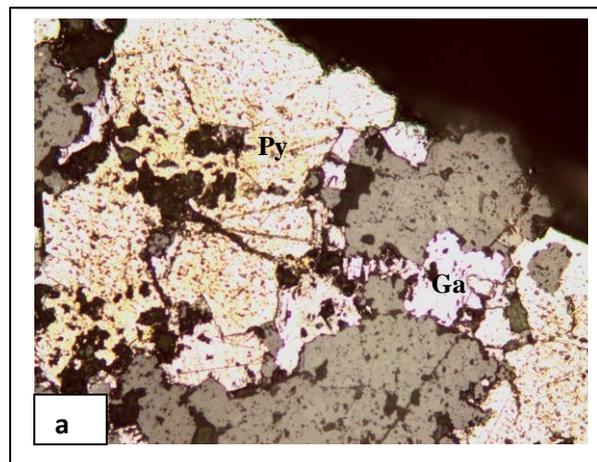


Fig.46. Galène II corrodée par la pyrite III, LN, (Grx05).

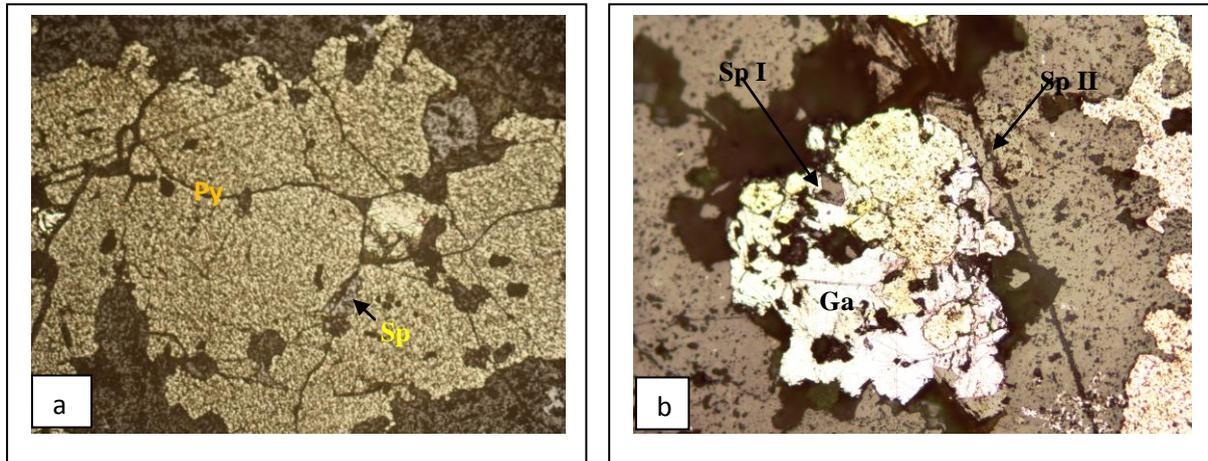
**La Sphalérite (ZnS) :** elle est absente dans les échantillons du sondage MS2, et retrouvée surtout, dans les intervalles 312 m, 317.5 m et 324.2m au niveau du sondage MS3.

Quant au sondage MS11, elle est retrouvée à plusieurs niveaux.

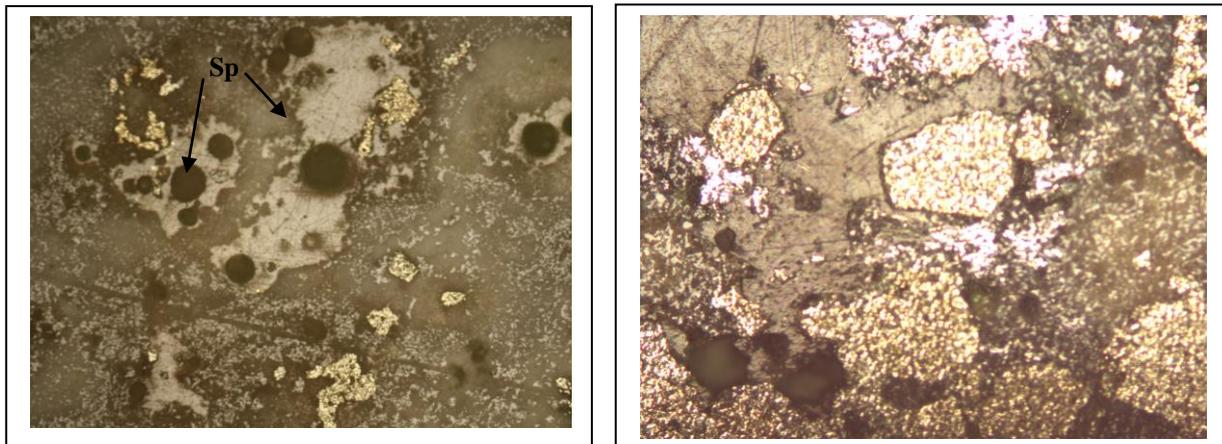
Les observations faites démontrent l'existence de deux générations de sphalérite :

**Sphalérite I :** elle se présente sous forme de grains dans l'encastant associée à la galène (Fig.47), envahie par la pyrite III. Comme on la trouve en inclusions dans la galène II et en remplissage des pores des plages de pyrite II (Fig.48).

**Sphalérite II** : sous forme de plages xénomorphes généralement, Elle est au contact de la galène II. Elle remplace la pyrite I souvent (**Fig.48**), et remplacée par pyrite III (**Fig.50**).



**Fig.47 : Photographies de sphalérite remplissant le pore de la pyrite III (a) et dans la galène II (b), LN, (Grx5).**

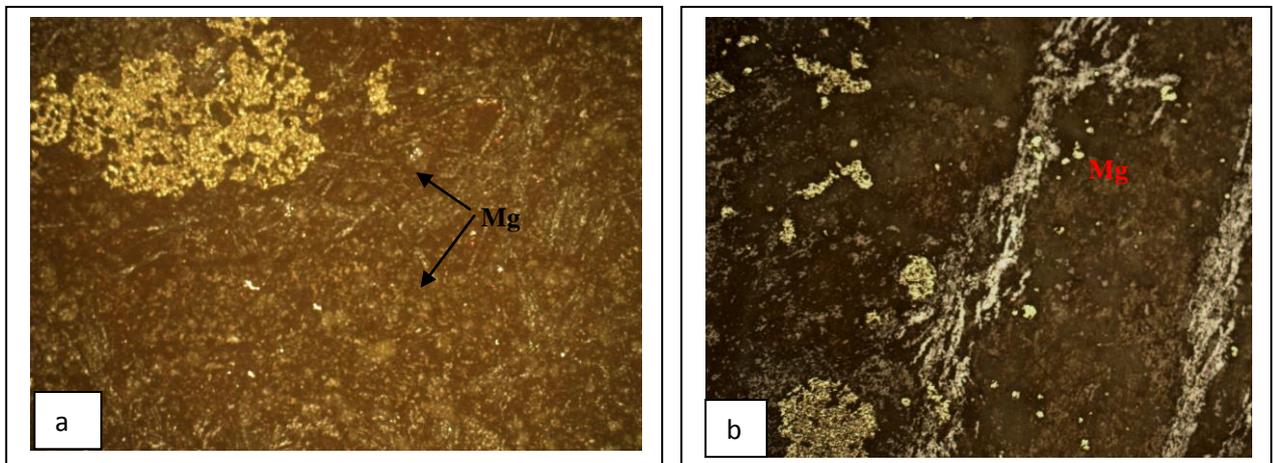


**Fig.48. Sphalérite II remplaçant la pyrite I, et envahie par pyrite III (Gr x05).**

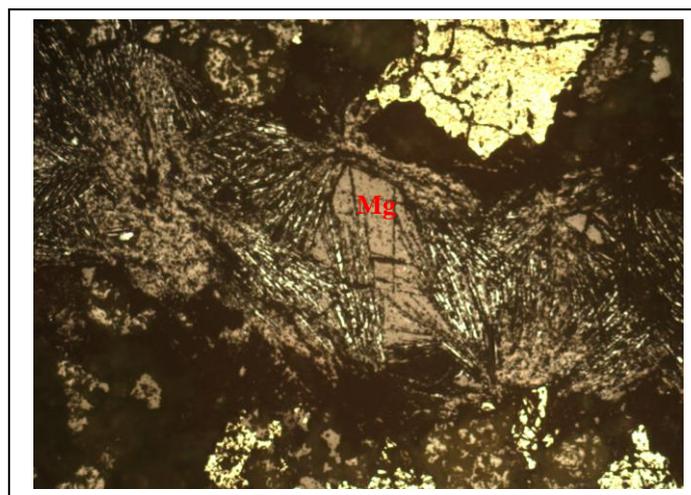
**La Magnétite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )** : cet oxyde est observé dans l'encaissant andésitique en association avec l'hématite. Deux générations peuvent être ressorties :

**Magnétite I** : ayant un pouvoir réflecteur faible, elle est sous forme de disséminations dans l'encaissant en association avec la pyrite I et l'oligiste (**Fig.49a**). Elle est recoupée et entourée parfois par l'hématite qui est le produit de son altération. (**Fig.49b**).

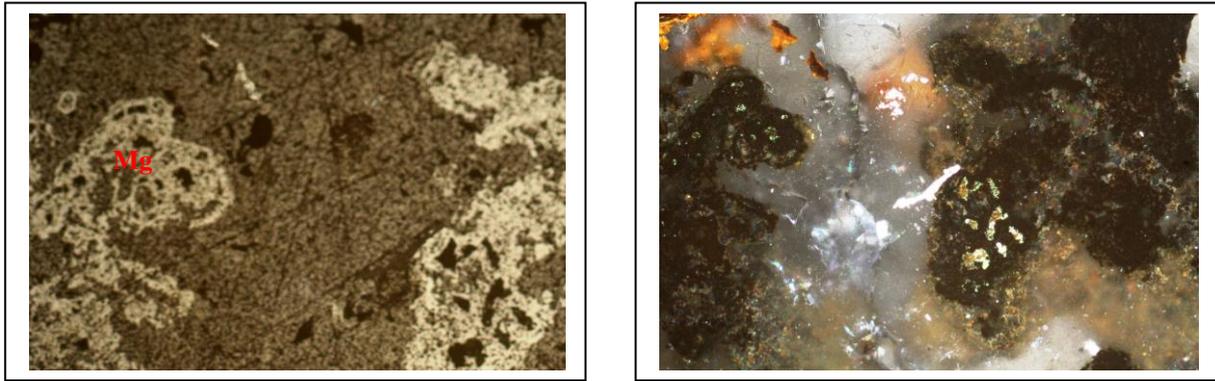
**Magnétite II** : elle se trouve dans le remplissage des fissures sous forme de gros cristaux associés à l'oligiste (**Fig.50**), et en pseudomorphose par l'hématite (**Fig.51**).



**Fig.49. Photographies de magnétite I (a) en disséminations avec la pyrite I et (b) recoupée par l'hématite, LN, (Grx05).**



**Fig.50 .Photographie de magnétite II automorphe dans une fissure avec oligiste, LN, (Grx05).**

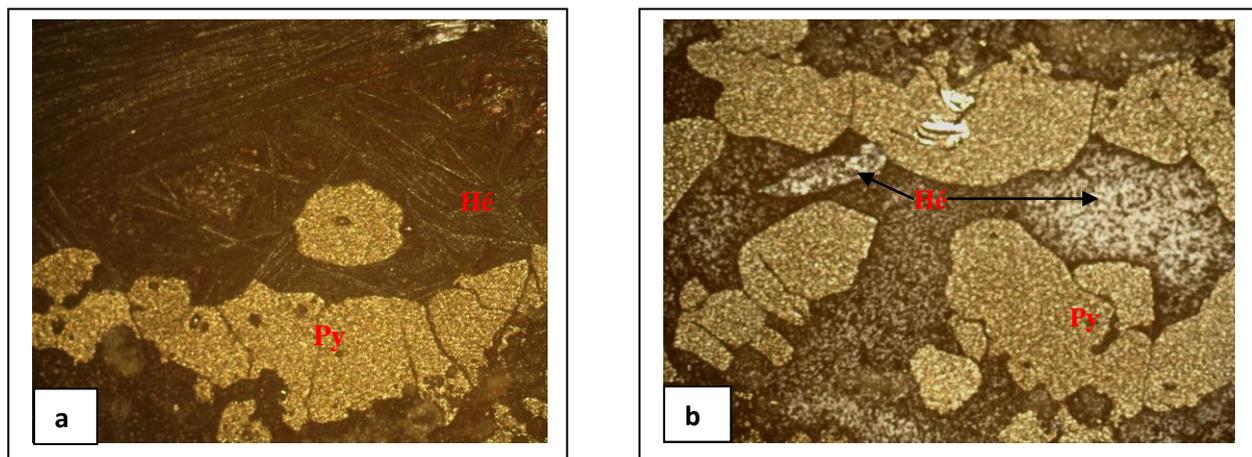


**Fig.51. Photographies de magnétite II pseudomorphosée par l'hématite, LN, LPA (Grx05).**

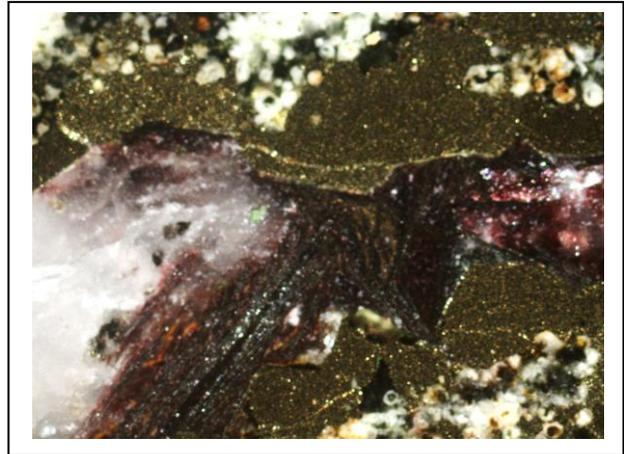
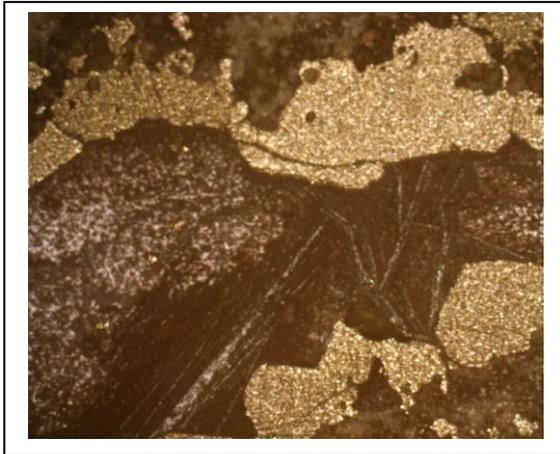
**L'Hématite ( $Fe_2O_3$ )** : caractérisée par ses réflexions internes rougeâtres, elle est abondante dans les trois sondages. Elle se présente sous deux formes :

**Hématite I** : souvent c'est la variété oligiste qui la caractérise, elle est observée en lamelles (3 mm) et en plages entourant la pyrite II (**Fig.52, 53**), parfois elle pseudomorphose les minéraux et prend l'allure des plages en gerbes (4 mm). (**Fig.54**),

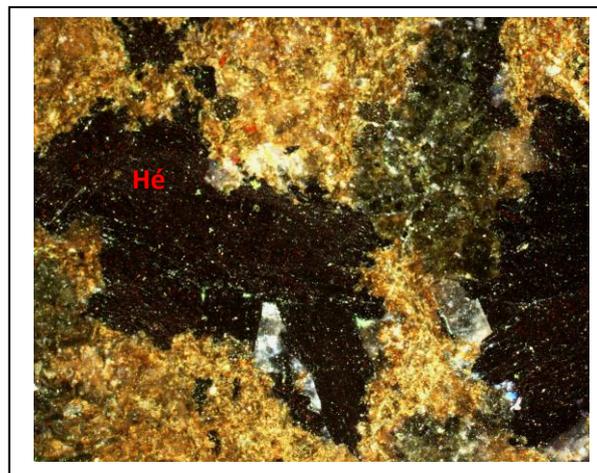
**Hématite II (supergène)** : elle correspond à des plages massives homogènes, renfermant parfois des inclusions de chalcopryrite, ou en petits cristaux allongés lamellaires (oligiste), en association avec la pyrite I. Comme elle remplace massivement la magnétite et prend un aspect squelettique qui, résulte de la pseudomorphose de plusieurs minéraux (**Fig.55**).



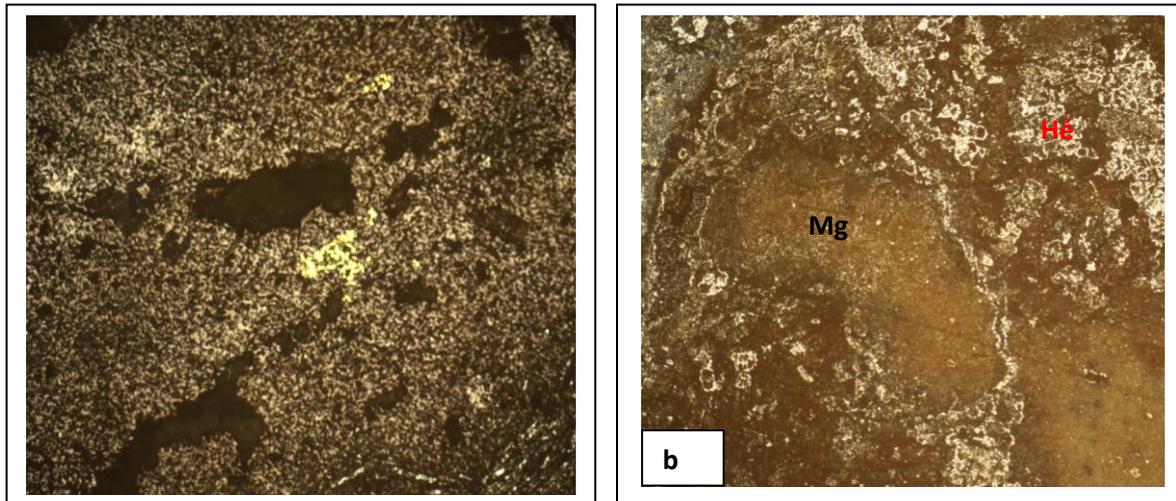
**Fig.52 : Photographies de l'hématite I en lamelles et en plages, LN, (Grx05).**



**Fig.53 : Photographie montrant de l'hématite I en association avec pyrite II LN et LPA, (Grx05).**

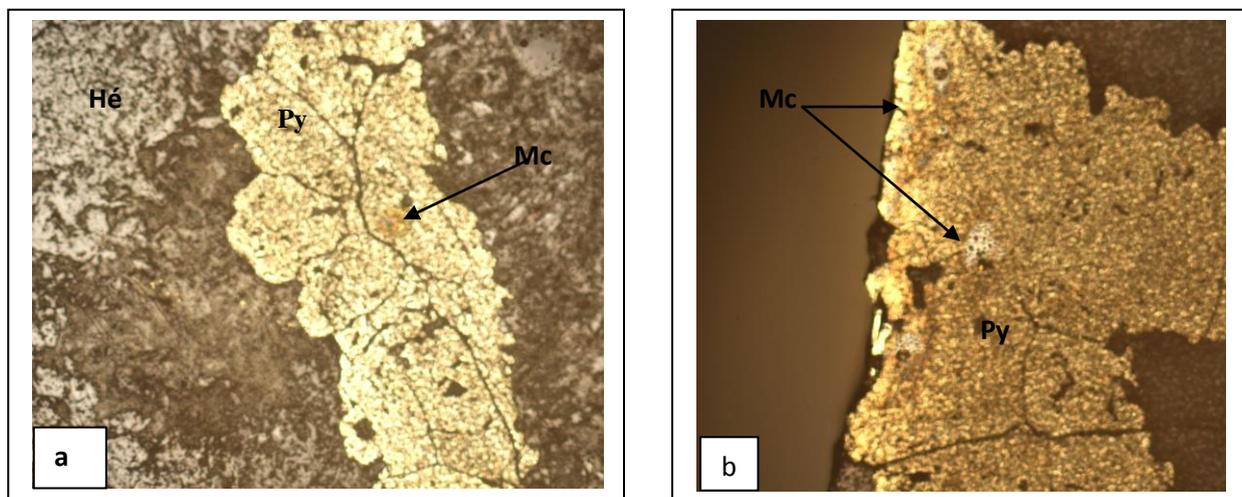


**Fig.54. Photographies de l'hématite I en gerbes, LPA, (Grx05).**



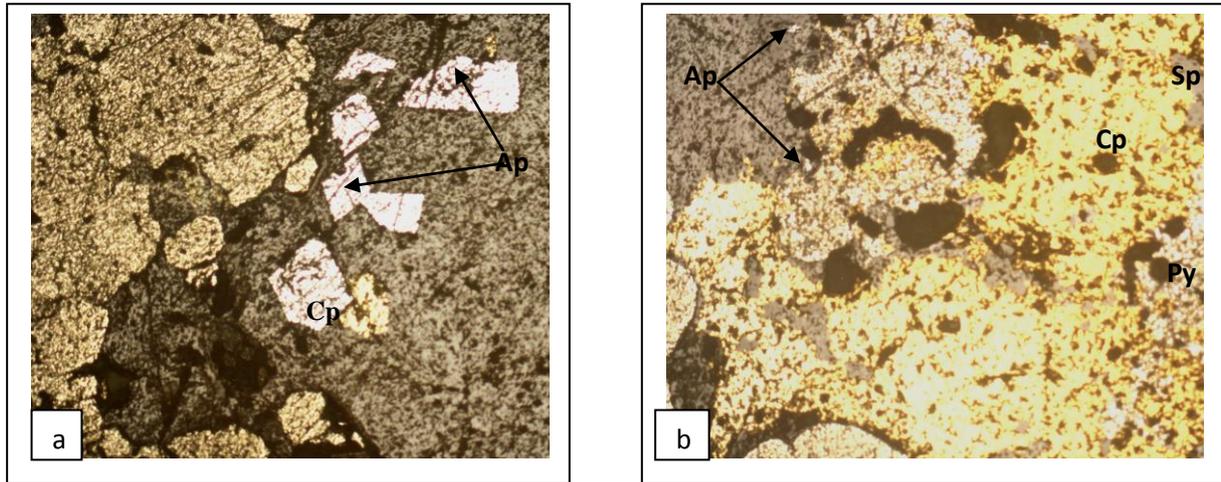
**Fig.55. Photographies d'hématite II grandes plages et remplaçant la magnétite et ayant forme squelettique LN, (Grx05).**

**La Marcassite ( $\text{FeS}_2$ )** : elle est rencontrée seulement dans le MS11, caractérisée par sa couleur mais très difficile à reconnaître. Elle est associée à la pyrite II recuite en la pseudomorphosant (Fig.56).

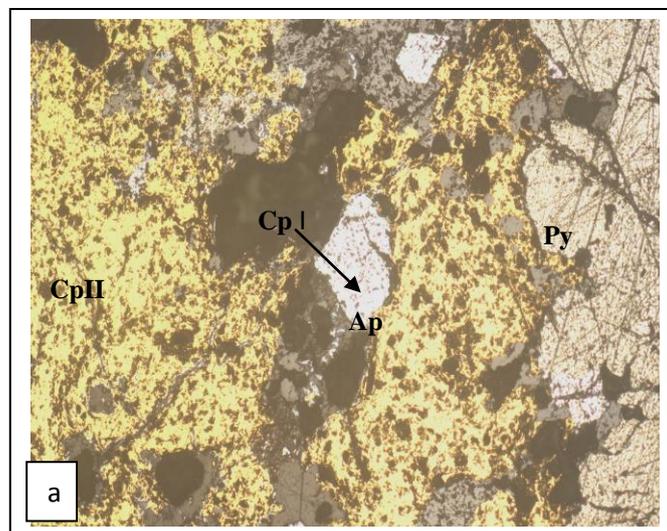


**Fig. 56. Photographie de marcassite pseudomorphosant la pyrite II, LN,(Grx05)**

L'arsénopyrite ( $\text{FeAsS}$ ) : elle n'est pas abondante, et se présente sous forme de disséminations dans l'encaissant andésitique et en gros cristaux losangiques contemporaines à la seconde génération de pyrite (**Fig.57**). Elle recoupe la chalcopryrite I qui, se trouve aussi en inclusions en elle, remplacée par la chalcopryrite II (**Fig.58**).

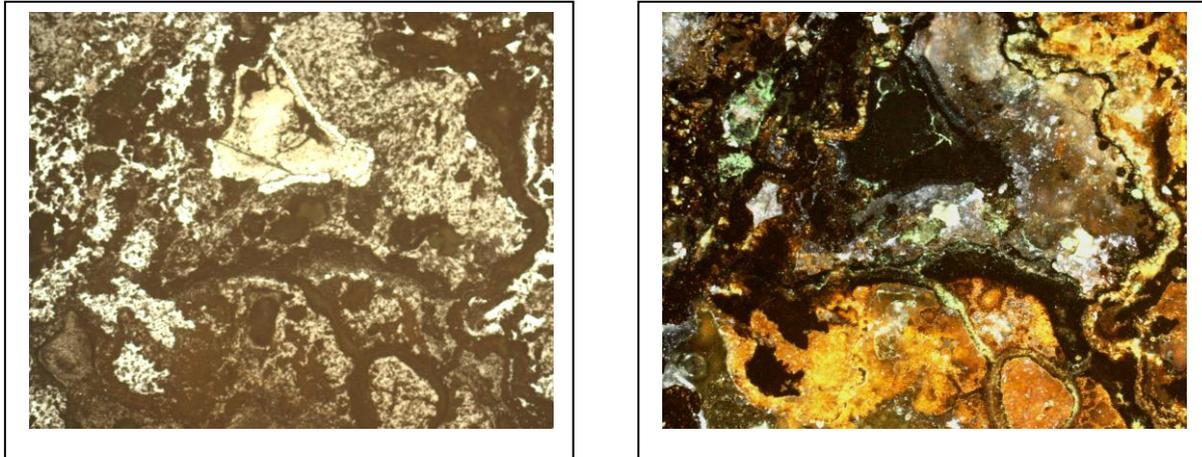


**Fig.57.** (a) Arsénopyrite losangique en gros cristaux et (b), en disséminations LN, (Grx05)



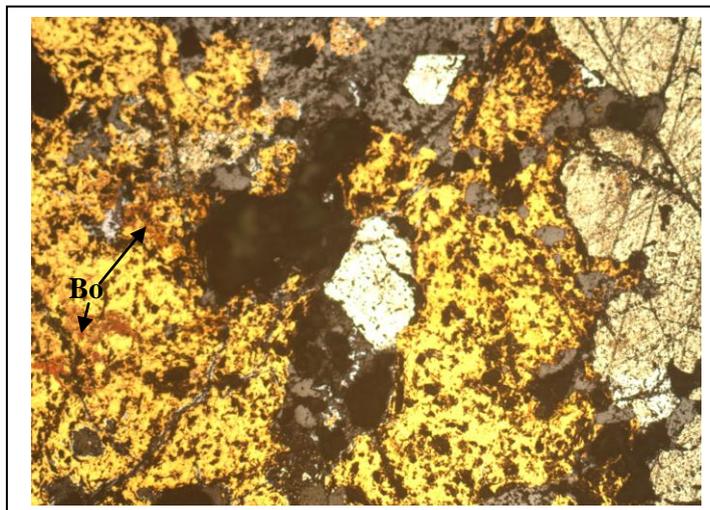
**Fig.58.** Arsénopyrite envahie par la Chalcopryrite II, LN, (Grx05)

**La Goethite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ):** caractérisée par sa structure collomorphe, et son pouvoir réflecteur, elle est observée au niveau du sondage MS2, pseudomorphosée en hématite (**Fig.59**).



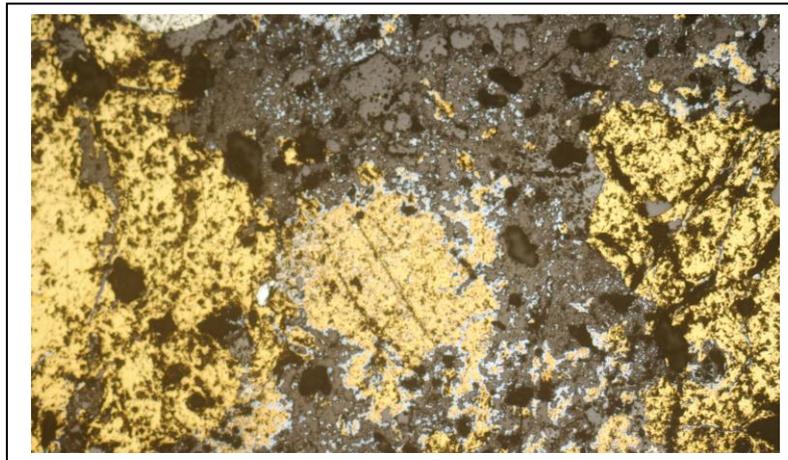
**Fig.59.** La goethite pseudomorphosée par l'hématite, LNA et LPA (Grx05).

**La Bornite ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) :** caractérisée par sa couleur brune, il apparaît dans un seul intervalle dans le sondage MS11, en remplacement de la chalcopryrite secondaire, (**Fig.60**).



**Fig.60.** La bornite remplaçant la chalcopryrite II, LN,(Grx05).

**La Digénite ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ) :** connue par sa couleur bleue caractéristique, elle est le produit d'altération de la chalcopryrite II en la bordant tout autour, et se propage même dans l'encaissant, (**Fig.61**)



**Fig.62. Photographie de Digénite remplaçant la chalcopyrrite II, LN,(GRx5).**

**La Limonite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ,  $n\text{H}_2\text{O}$ ):** présente dans les trois sondages, elle est caractérisée par sa couleur jaune rouge pulvérulente, et ne prend pas de forme spécifique (**Fig.62**).



**Fig.62 : Photographie de la limonite en association avec l'hématite I (LPA et LNA, (GrX5).**

La covellite, la malachite et l'azurite n'ont pas été observée dans les sections polies, néanmoins, d'autres auteurs les ont mentionnées Benali, (2007), Medini, (2010).

**Minéraux de gangue :**

La gangue est constituée essentiellement de quartz dans l'encaissant sous forme de dissémination ou de plages replissant les veinules.

La calcite abondante aussi, sous formes de plages caractéristiques en association avec le quartz généralement.

Le quartz : deux générations peuvent être distingués :

Quartz I : sous forme de petits cristaux dans la matrice provenant probablement de la cristallisation du verre ou de l'altération des plagioclases, **(Fig.63)**

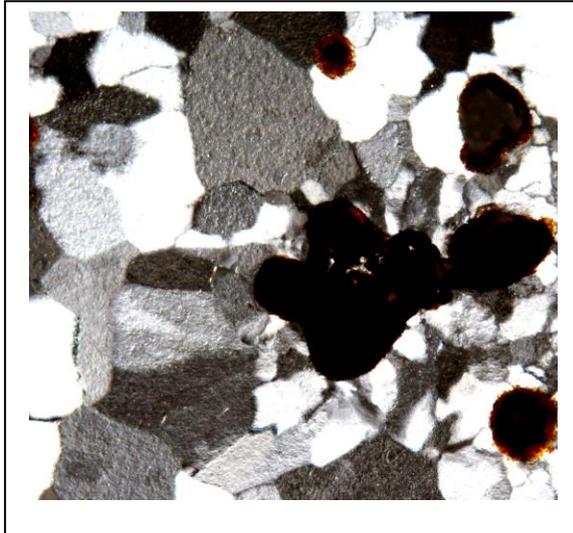
Quartz II : sous formes de plages ou de veinules associées à la minéralisation, **(Fig.64)**.

La calcite : elle est souvent associée au quartz, et on distingue deux générations :

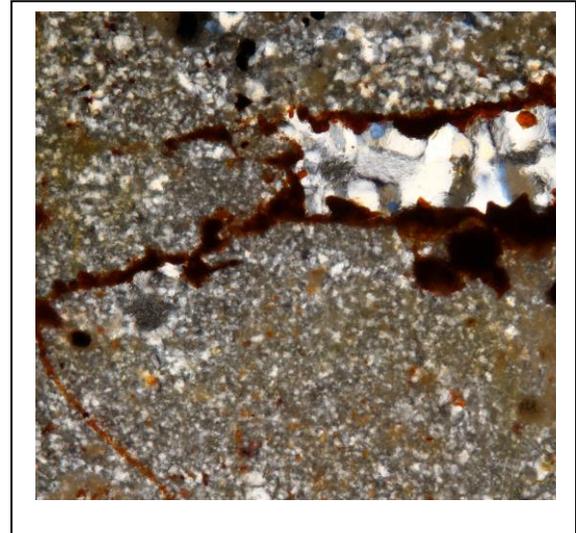
Calcite I : sous formes de plages ou d'agrégats associés au quartz et résultant de l'altération des plagioclases **(Fig.65)**

Calcite II : dans les veinules en association avec la minéralisation. **(Fig.66)**.

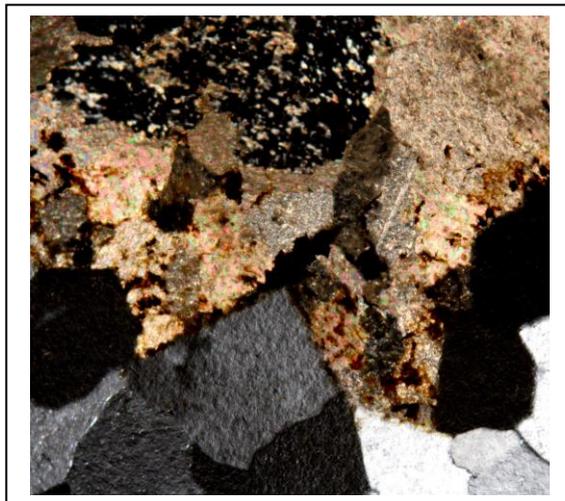
Autres minéraux de gangue sont à prendre en compte notamment les produits d'altération à savoir la chlorite, la kaolinite, la séricite, la pyrophyllite, etc, qui seront traités en détail dans le chapitre altérations hydrothermales.



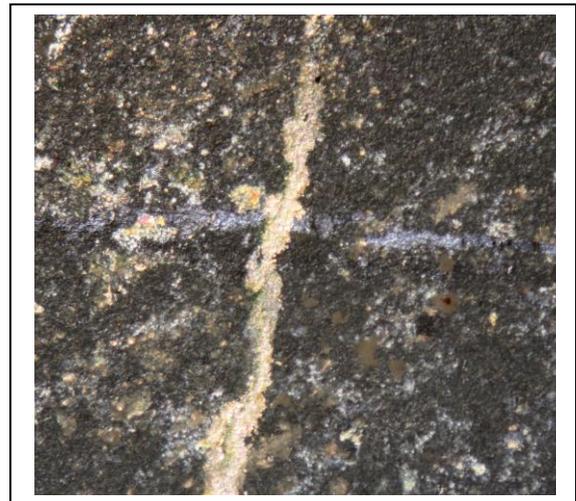
**Fig.63. Photo de Quartz I ,LPA,(Grx05)**



**Fig.64. Photo de Quartz II dans une veinule LPA,(LM, Grx05)**



**Fig.65.Photo de calcite I LPA, (Grx05)**



**Fig.66.Photo de calcite II LPA,(LM,Grx05)**

**Discussion sur la succession paragénetique :**

Les observations faites au microscope de sections polies des trois sondages de M'Sirda, ont permis de mettre en exergue les relations mutuelles entre les minéraux métalliques et par conséquent de dégager la succession paragénetique.

Les encaissants andésitiques renferment une minéralisation polymétallique constituée principalement de pyrite hydrothermale affectée par des altérations hydrothermales poussées (Propylitisation), (Benali,2007).

Les autres minéraux associés à la pyrite sont de la chalcoppyrite, l'hématite, la magnétite, la galène, la sphalérite, l'arsénopyrite, la marcassite, la bornite, la digénite, la goethite et la limonite.

Notant que lors de cette phase la pyrite II est recuite par endroits, ce qui atteste qu'elle a subi un métamorphisme de contact.

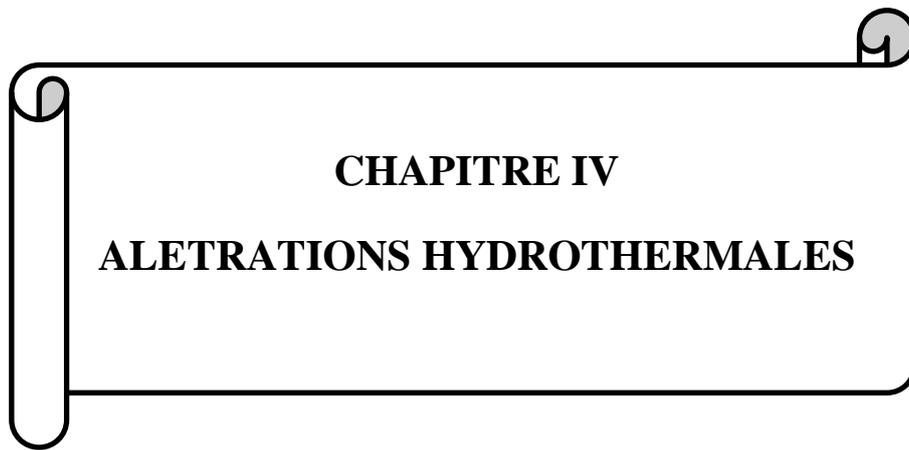
La succession paragénetique probable (**Tab.4**) de la minéralisation polymétallique de Chouchkha est subdivisée en deux phases, il s'agit de :

- i) Phase pré minéralisation :** où il y'avait un dépôt des minéraux de gangues à savoir le quartz, la calcite, la séricite, l'épidote et minéraux métalliques notamment la pyrite I, la magnétite I;
- ii) Phase minéralisatrice :** qui a connu deux stades de minéralisations :
  - a)** avec le dépôt de la pyrite II, Arsénopyrite, sphalérite I, hématite I, galène I, Chalcoppyrite I ;
  - b)** le dépôt de pyrite III, magnétite II, chalcoppyrite II, galène II, sphalérite II.

Quant à la phase supergène, elle est composée essentiellement de l'hématite II, la digénite, la bornite, la goethite, la limonite.

Tab.04.Succesion paragénetique probable de la minéralisation de Chouchkha

| minéraux     | Phase pré minérale | Phase minérale   |         | Phase supergène |
|--------------|--------------------|--|---------|-----------------|
|              |                    |  | Stade I |                 |
| Quartz       | —                  | F<br>R<br>A<br>C<br>T<br>U<br>R<br>A<br>T<br>I<br>O<br>N |         |                 |
| Calcite      | —                  |  |         |                 |
| kaolinite    | —                  |  |         |                 |
| Séricite     | —                  |  |         |                 |
| Chlorite     | —                  |  |         |                 |
| Epidote      | —                  |  |         |                 |
| Magnétite    | —                  |  | —       |                 |
| Hématite     |                    |  | —       |                 |
| Pyrite       | —                  |  | —       | —               |
| Chalcopyrite |                    |  | —       | —               |
| Arsénopyrite |                    |  | —       | —               |
| Marcassite   |                    |  | —       | —               |
| Sphalérite   |                    |  | —       | —               |
| Galène       |                    |  | —       | —               |
| Déginité     |                    |  |         |                 |
| Bornite      |                    |  |         |                 |
| Goethite     |                    |  |         |                 |
| Limonite     |                    |  |         |                 |



**CHAPITRE IV**

**ALETRATIONS HYDROTHERMALES**

**IV.1 Introduction :**

L'importance des solutions hydrothermales dans la formation de gisements de minerais est largement reconnue (Zhong, 2015) et l'étude des altérations hydrothermales s'avère de nos jours un outil primordial dans la caractérisation desdits gisements.

Dans notre secteur d'étude, outre les travaux antérieurs (Ouibrahim, 2014 ; Medini, 2010 ; Benali, 2007 ; Bouakkaz, 2000) et les rapports d'exploration de l'ORGM, les lames minces au nombre de seize (16), étudiées mettent en évidence des altérations hydrothermales qui touchent les différents niveaux récoltés en fonction du degré d'intensité.

Cependant, l'identification des altérations hydrothermales en lames minces est parfois difficile vu la forte intensité qui embrouille la détermination, c'est pour cette raison que nous avons fait appel à la Diffraction aux Rayons X (DRX) pour une meilleure identification par le biais des assemblages de minéraux primaires et argileux, (Hubert, 2008).

Les recherches détaillées sur les minéraux argileux dans les systèmes hydrothermaux sont considérées comme un outil fondamental pour la compréhension des conditions physico-chimiques qui y règnent. La formation des minéraux d'altération hydrothermale reflète plusieurs facteurs d'interaction fluide-minéral telle que la température, la chimie du fluide et de la roche hôte ainsi que le ratio roche-eau (Miyoshi et al., 2013).

La technique d'analyse par diffraction des rayons-X (DRX) est utilisée pour la détermination qualitative et semi-quantitative des minéraux inférieurs à deux microns extraits des roches représentées par les argiles et des minéraux non argileux (Kadi, 2013).

Cette technique est basée sur la diffusion d'un faisceau de rayons-X monochromatique par les plans réticulaires des cristaux dans l'échantillon (Kadi, 2013 ; Jemmali, 2011 ; Hubert, 2008) selon **la loi de Bragg :  $n\lambda = 2d \sin \theta$**

$\lambda$ : Longueur d'onde incidente en Å.

$n$  : Ordre de réflexion,

$d$  : Distance réticulaire en Å,

$\theta$ : Angle de diffraction en degré.

L'avantage de la diffraction des rayons X (DRX) par rapport aux autres techniques est de fournir directement des informations sur la structure cristalline des minéraux argileux pour un nombre représentatif de cristaux.

De plus, cette technique qui est non destructive, permet la caractérisation globale de la structure cristalline des minéraux argileux d'un échantillon (Hubert, 2008).

Bien qu'admis comme outil primordial dans l'identification des phases minérales, la DRX est considérée ayant des limitations dans l'évaluation des données minéralogiques sur une base quantitative. Les limitations incluent des changements des caractéristiques de diffractogrammes provoqués par la substitution ionique, les variations de cristallinité minérale, la taille du grain des différentes particules et l'absorption différentielle des rayons X par les divers minéraux dans le mélange (De Ruan et al., 2002).

Un diffractogramme de rayons-X est composé d'une succession de pics de tailles et de formes différentes. Chaque pic correspond à la diffraction d'un rayon sur un plan réticulaire du minéral.

Sur les diffractogrammes, la valeur indiquée en abscisse est la distance réticulaire (en Angstrom), celle indiquée en ordonnée est l'intensité (en nombre de coups) proportionnelle à la quantité du minéral correspondant. Chaque minéral possède ainsi son propre ensemble de pics. (Tournier, 2010).

Dans le cas d'une roche constituée de plusieurs minéraux, le diffractogramme obtenu est une superposition de diffractogrammes élémentaires. On utilise ensuite des logiciels d'interprétation ou la méthode manuelle pour identifier les phases minérales.

Cependant, ils ont leurs limites et ne peuvent pas toujours identifier certains minéraux notamment quand les petits pics sont masqués par le bruit de fond ou quand un ou plusieurs pics se juxtaposent.

Les altérations hydrothermales sont le métasomatisme chimique qui résulte d'un déséquilibre entre la roche encaissante et le fluide hydrothermal (Beaudoin, 2006). Elles s'observent en deux types :

- 1- Canalisés : souvent discordants et d'extension locale et contrôlés par une porosité de fracture ;
- 2- Pervasifs : généralement d'extensions régionales, discordants ou concordants et résultent de la perméabilité des roches encaissantes.

L'altération hydrothermale implique des changements minéralogiques, chimiques et texturales de la roche, résultants de l'interaction des fluides aqueux et chauds avec les roches à travers lesquelles ils passent (Pirajno, 1992).

Les facteurs contrôlant l'altération hydrothermale sont : la température ; la pression ; la composition du fluide ; la roche encaissante et le ratio fluide /roche.

Il existe plusieurs types d'altérations hydrothermales, nous citons : l'altération propylitique, argilique, séricitique, silicifiée, carbonatique, potassique, chloritique, etc.

Dans le secteur d'étude, une carte d'altération a été établie (ORGM, 1999) mettant en évidence les altérations hydrothermales caractéristiques et leur zonations, (**Fig.67**).

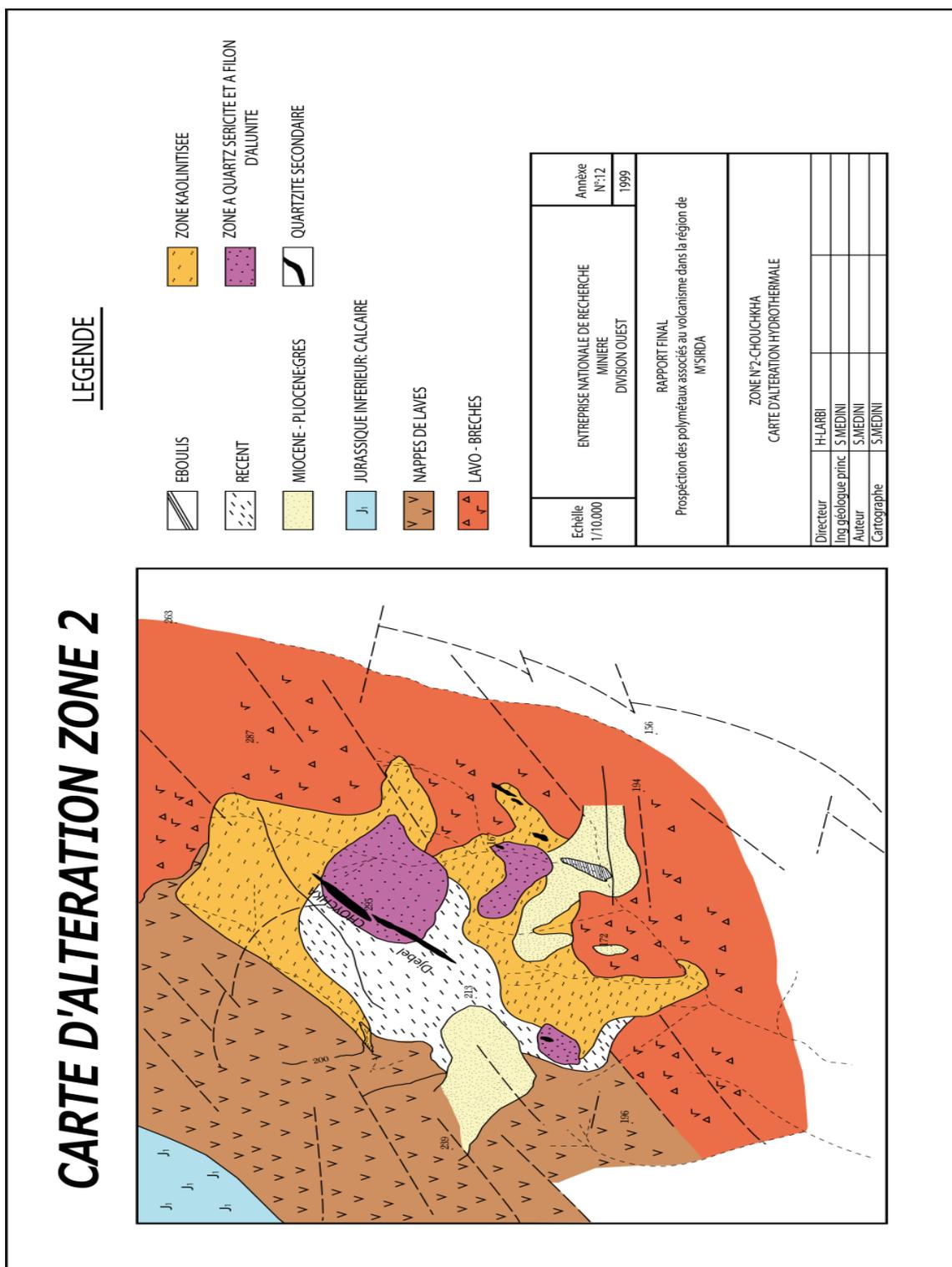


Fig.67. Carte d'altération dans la zone de Chouckkha, (ORGM, 1999).

## IV.2. AnalyseDRX

### IV.2.1. Méthodologie

Pour déterminer la composition minéralogique des roches prélevés dans la zone altérée, 76 échantillons ont été analysés par X-Ray Diffractomètre (XRD -Rint2000). Toutes les analyses ont été effectuées au sein du Laboratoire de Géologie Minière de l'Université de Kyushu au Japon.

Le procédé est simple : on prend 4g de chaque échantillon puis on le réduit en poudre (à l'aide d'un marteau, etc.) ensuite on le place dans un support spécial pour être prêt pour l'analyse. Les paramètres DRX adoptées pour l'analyse sont les suivants:

|                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| Cible                | Cu                         |
| Fente                | 1deg -1deg -0.15mm -0.45mm |
| Tension              | 40kv                       |
| Courant              | 40mv                       |
| Vitesse du scan      | 4deg/mn                    |
| Largeur du scan      | 2teta :65 - 2deg           |
| La constant du temps | 0.5 sec                    |

Pour la détermination des minéraux argileux, la fraction argileuse a été séparée par décantation de l'eau distillée à partir de la poudre utilisée pour la première analyse, puis placer sur lamelle en verre. Dans la présente étude pour seulement quelques échantillons représentatifs (06).

Pour chaque fraction argileuse, deux lames minces ont été préparées, une non traitée (seulement fraction d'argile et eau) et l'autre traitée avec de l'éthylène glycol dont la caractéristique principale est d'augmenter l'espace interfolier de la smectite (la molécule de l'éthylène glycol a une taille plus grande que celle de l'eau), (**Fig.68**).

La saturation de l'échantillon à l'éthylène glycol permet de caractériser les feuillets expansibles des minéraux argileux et se fait de deux manières : la saturation par de l'éthylène glycol liquide (par spray ou déposé sur l'échantillon) ou par de l'éthylène glycol en phase gazeuse (Mosser-Ruck et al., 2005).

La première technique est rapide mais si le dépôt d'éthylène glycol liquide est trop important, l'intensité du diffractogramme enregistré peut diminuer. La saturation par éthylène glycol vapeur est donc préférable. (Hubert, 2008).

Il est à noter que pour l'analyse de la fraction argileuse,  $2\theta$  (téta) a été mesurée de 2 à 20 degrés (largeur de balayage), avec une vitesse de scan de 2 deg/mn.

La charte ci-après montre que quand la fraction argileuse est non traitée (seulement eau), elle affiche un pic dont la valeur  $d=14.7180$  tandis que lorsque elle est traitée avec de l'éthylène glycol le pic se déplace vers la gauche et affiche un  $d=16.7233$

Sachant que «  $d$  » est la distance interfoliaire du minéral argileux X qui a augmenté après traitement avec d'éthylène glycol, par conséquent il s'agit de la smectite.

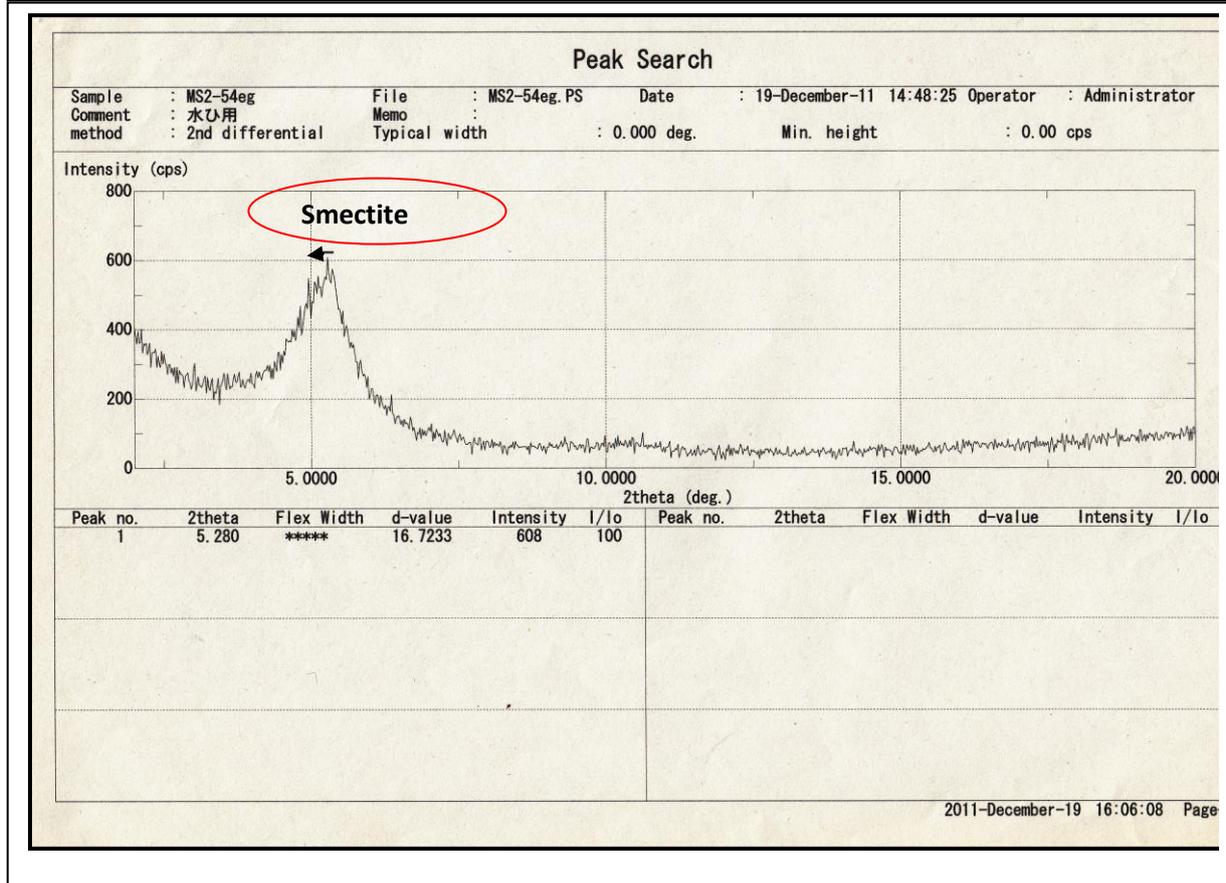
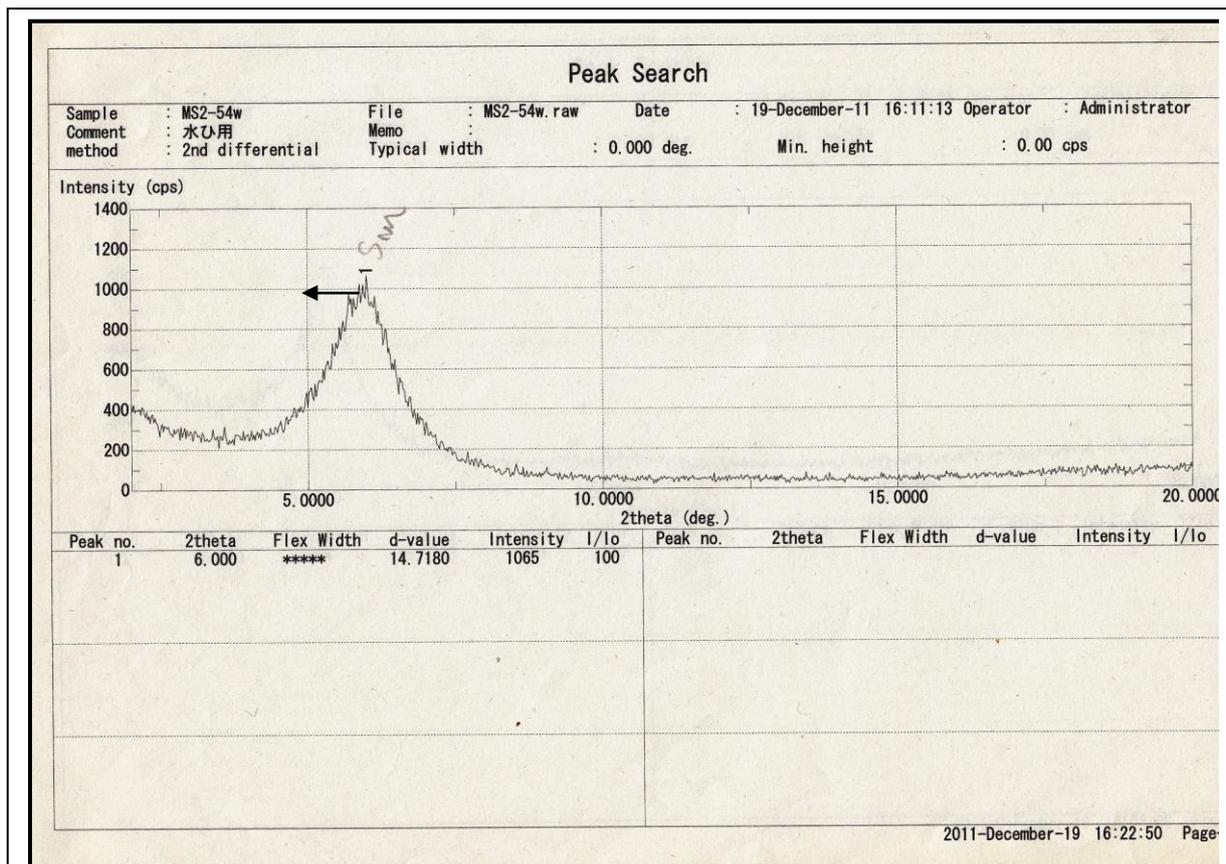


Fig. 68.Exemple de Charte de la fraction argileuse avant et après traitement, (MS2)

### IV.2.2. Intensités des altérations hydrothermales

Pour étudier le degré d'altération hydrothermale, 76 échantillons ont été prélevés pour être analysés par DRX. Il s'agit de 21 échantillons du sondage MS2, 25 échantillons du sondage MS3, et 24 échantillons du sondage MS11, et 06 échantillons représentatifs pour les fractions argileuses.

La méthode utilisée pour une meilleure estimation du degré d'altération est l'intensité des pics des plagioclases relevés à partir de l'analyse DRX des échantillons des andésites (**Fig.69**), appuyées bien entendu par l'étude des lames minces (**Fig.70**)

La roche d'origine qui est une andésite contient systématiquement de grandes quantités des plagioclases. A cet effet, une intensité plus faible de pics de plagioclase signifie un plus haut degré d'altération et vice versa.

Il convient de noter que les andésites saines et fraîches enregistrent des pics de plagioclases avec des intensités supérieures à 2000 cps en moyenne (Belhadi, 2002).

La récolte des échantillons à des intervalles discontinus a posé problème pour mieux cerner les zones des altérations.

Les tableaux ci-après, des résultats des sondages MS2, MS3 et MS11 illustrent la répartition du degré d'altération.

Il y a lieu de noter que dans les trois sondages, aucun plagioclase n'est sain, cela se traduit par l'intensité des pics qui ne dépasse guère les 630 cps. Par conséquent, le premier résultat à faire ressortir est que l'altération dans les trois sondages est importante voire intense.

L'intensité d'altération a été étudiée pour chaque sondage et donne :

Pour le sondage MS2, les analyses des diffractogrammes n'enregistrent aucun plagioclase, reflétées par des intensités des pics nulles, attestant que l'altération est très forte et touche tous les niveaux (**Tab.5**) ;

Pour le sondage MS3, parmi les 25 diffractogrammes analysés, un seul a affiché une intensité de 77 cps à la cote 59 m (**Tab.6**), dénotant aussi que l'altération des plagioclases est quasi-totale.

Pour le sondage MS11, le plus grand pic des plagioclases a enregistré une intensité de 630 cps au niveau de 471 m de profondeur dénotant une altération de moindre degré (**Tab.7**)

L'analyse des diffractogrammes montre que depuis la surface jusqu'à la cote 471 m, l'altération est quasi-totale incluant quelques pics (03) qui, eux affichent des intensités qui ne dépassent pas les 100 cps.

A la lumière de ce qui précède, l'analyse des intensités des pics des plagioclases dans les trois sondages révèle que l'altération hydrothermale est intense hormis quelques niveaux d'exception.

Il a été difficile d'établir une zonation verticale des altérations suite à la discontinuité des intervalles récoltés et il semble probable que l'altération hydrothermale est régie par la fracturation.

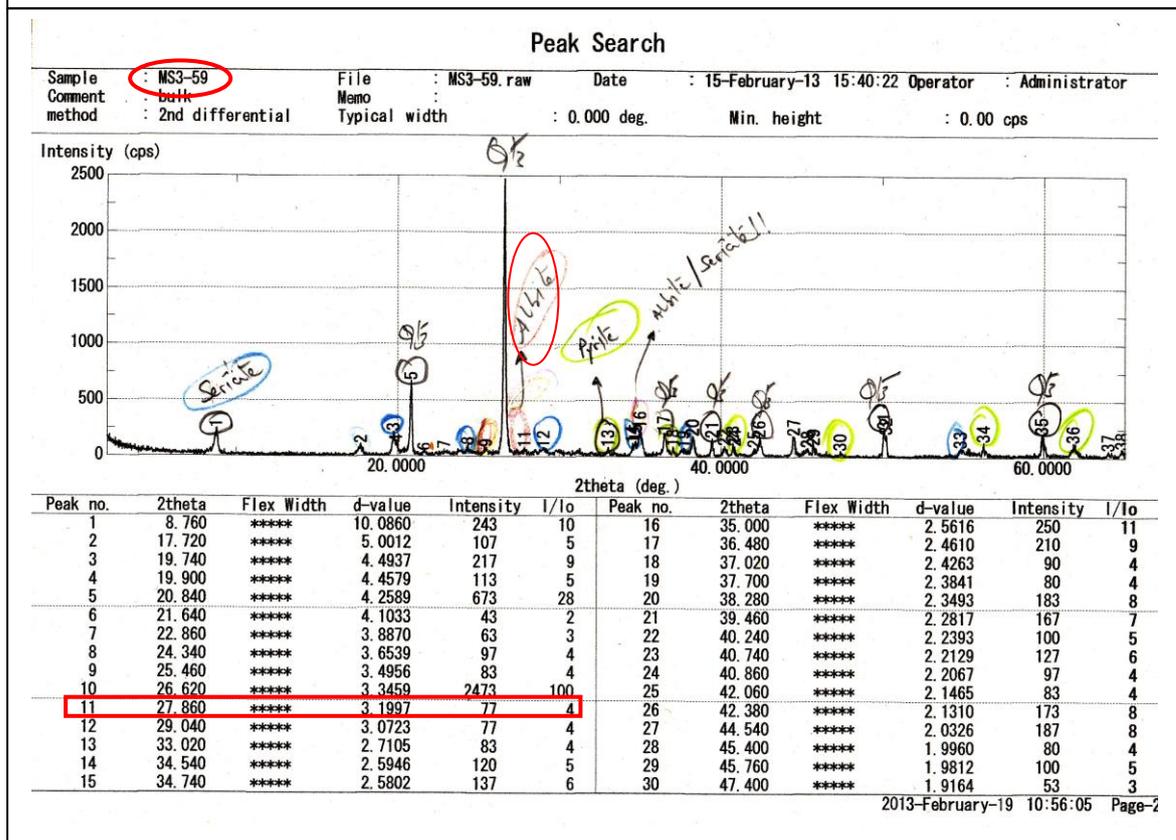
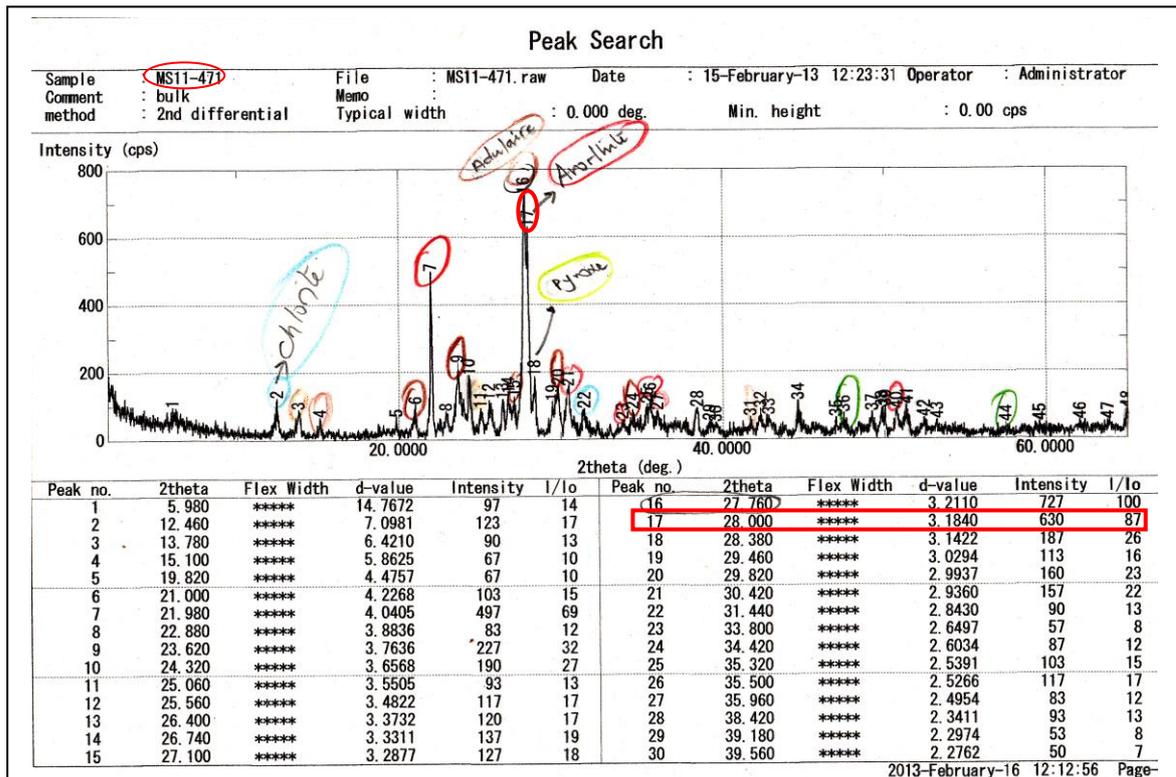
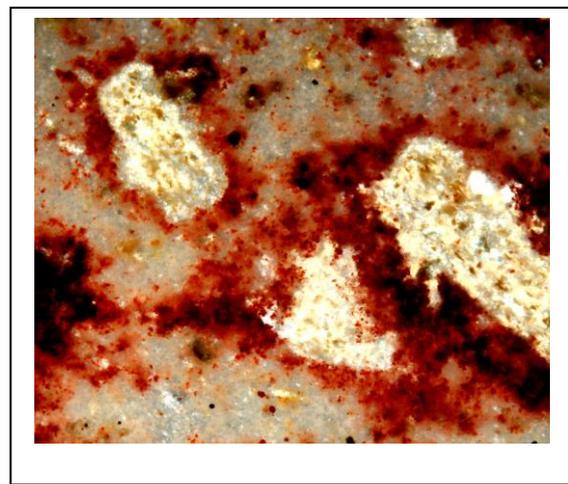
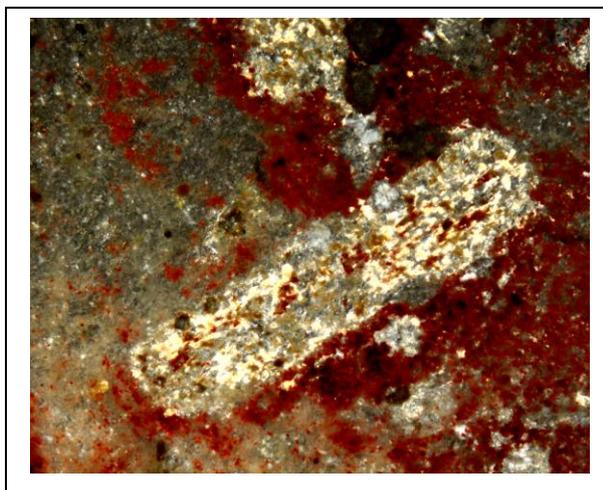
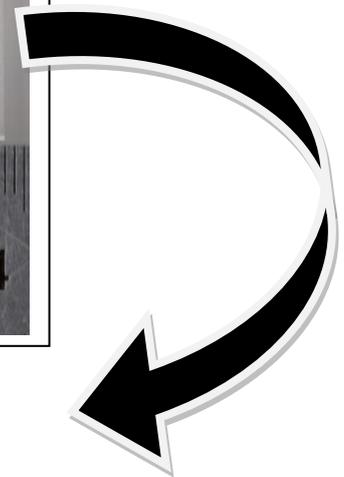
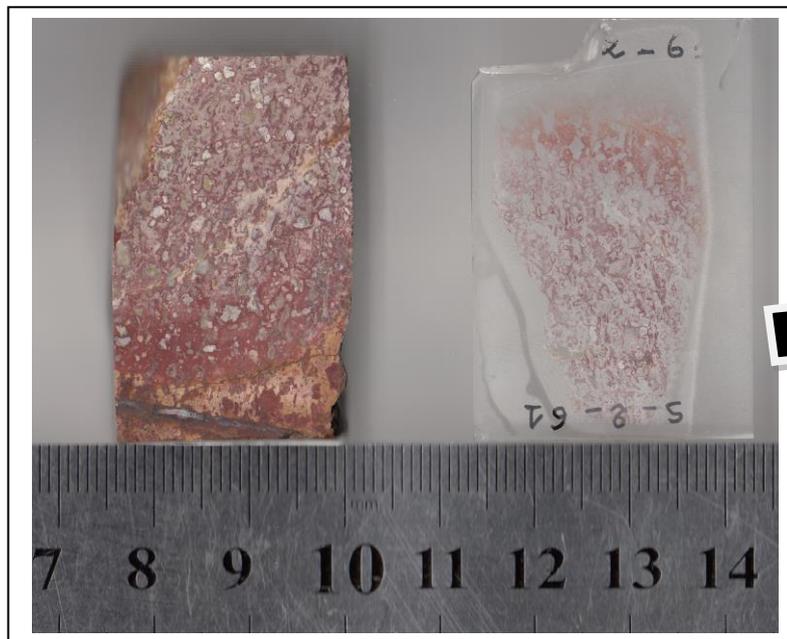


Fig.69.Chartes montrant l'intensité des pics des plagioclases (MS11, MS3)



**Fig. 70. Photos montrant les reliques de plagioclases altérés dans la lame mince. (LPA, Gr x 05), confirmée par le DRX.**

**Tab.5. Intensités des pics plagioclases dans les intervalles du MS2**

| sondage MS2 |          |                 |
|-------------|----------|-----------------|
| N°échan     | cote (m) | intensité (cps) |
| 1           | 6        | 0               |
| 2           | 27       | 0               |
| 3           | 27b      | 0               |
| 4           | 35       | 0               |
| 5           | 35b      | 0               |
| 6           | 54       | 0               |
| 7           | 58       | 0               |
| 8           | 59       | 0               |
| 9           | 60       | 0               |
| 10          | 61       | 0               |
| 11          | 66       | 0               |
| 12          | 71       | 0               |
| 13          | 72       | 0               |
| 14          | 73       | 0               |
| 15          | 74       | 0               |
| 16          | 94       | 0               |
| 17          | 183      | 0               |
| 18          | 273      | 0               |
| 19          | 273,3    | 0               |
| 20          | 275      | 0               |
| 21          | 403      | 0               |

**Tab.6. Intensités des pics des plagioclases dans  
les intervalles du MS3**

| sondage MS3 |          |               |
|-------------|----------|---------------|
| N'échan     | cote (m) | intensité cps |
| 1           | 41,8     | 0             |
| 2           | 52,2     | 0             |
| 3           | 59       | 77            |
| 4           | 70,7     | 0             |
| 5           | 96,9     | 0             |
| 6           | 106,6    | 0             |
| 7           | 110,5    | 0             |
| 8           | 130      | 0             |
| 9           | 231      | 0             |
| 10          | 252,5    | 0             |
| 11          | 261,1    | 0             |
| 12          | 278,5    | 0             |
| 13          | 288,8    | 0             |
| 14          | 292,6    | 0             |
| 15          | 317,5    | 0             |
| 16          | 324,2    | 0             |
| 17          | 378,2    | 0             |
| 18          | 385,2    | 0             |
| 19          | 405,9    | 0             |
| 20          | 415,2    | 0             |
| 21          | 416      | 0             |
| 22          | 425,3    | 0             |
| 23          | 444,8    | 0             |
| 24          | 451      | 0             |
| 25          | 457,3    | 0             |

**Tab.7. Intensités des pics des plagioclases dans les intervalles du MS11**

| sondage MS 11 |          |               |
|---------------|----------|---------------|
| N'échan       | cote (m) | intensité cps |
| 1             | 4        | 0             |
| 2             | 37       | 0             |
| 3             | 41       | 0             |
| 4             | 45       | 0             |
| 5             | 58       | 0             |
| 6             | 60       | 0             |
| 7             | 72       | 0             |
| 8             | 87       | 0             |
| 9             | 87B      | 0             |
| 10            | 89       | 0             |
| 11            | 97       | 0             |
| 12            | 103      | 0             |
| 13            | 114      | 100           |
| 14            | 199      | 0             |
| 15            | 224      | 0             |
| 16            | 259      | 0             |
| 17            | 319      | 80            |
| 18            | 325      | 80            |
| 19            | 336      | 0             |
| 20            | 380      | 0             |
| 21            | 387      | 0             |
| 22            | 456,6    | 0             |
| 23            | 458      | 0             |
| 24            | 471      | 630           |

### IV.2.3. Résultats de l'analyse par XRD

L'altération hydrothermale implique un changement dans la composition minéralogique des roches et les assemblages de minéraux initiaux dans la roche d'origine sont convertis en un nouvel ensemble de minéraux d'altération, qui sont stables dans des conditions hydrothermales (température et pression).

La roche d'origine étant une andésite, l'assemblage de minéraux initial est représenté par des plagioclases, pyroxènes, amphiboles, quartz et de magnétite, quant à l'assemblage secondaire il est constitué principalement de minéraux d'altération à l'instar de la séricite, kaolinite, smectite, pyrophyllite....., (Fig.71).

Une diminution de la quantité de minéraux primaires est accompagnée d'une augmentation de minéraux d'altération dits secondaires, (Tab, 8.9.10).

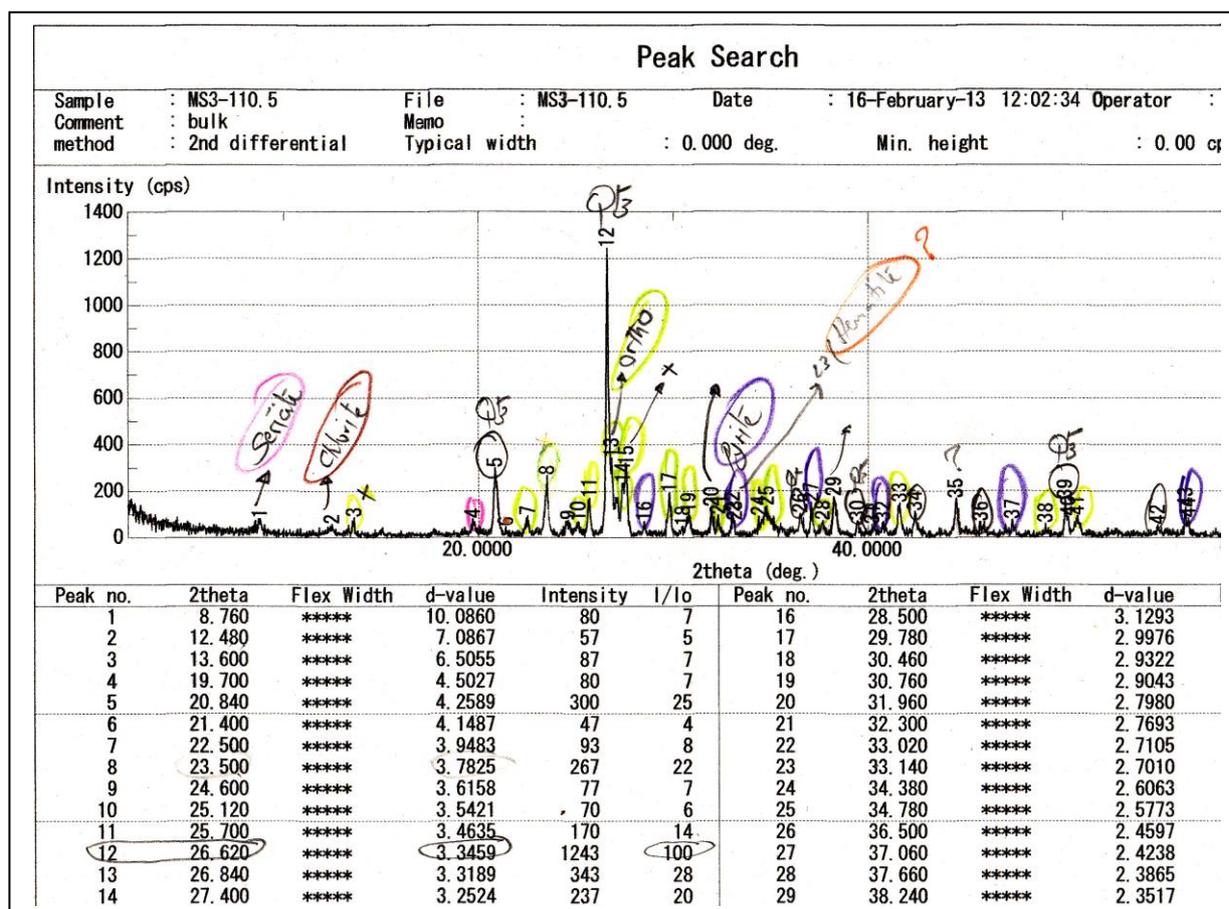


Fig. 71. Charte des intensités des minéraux de la roche andésitique analysée par DRX.

Tab.8. Résultats des analyses DRX du sondage MS2.

| Résultats des analyses DRX du MS2 |          |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |    |            |
|-----------------------------------|----------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|----|------------|
| N°                                | Prof (m) | Qtz | Orth | Plg | Adu | Aug | Bio | Cal | Pyr | Séri | Kao | Smé | Chl | Py | autres     |
| 1                                 | 6        | Φ   |      |     | O   | Δ   |     | O   |     |      |     | Ω   |     |    | mgΩ        |
| 2                                 | 27a      | Ω   | Ω    |     |     | T   |     |     |     |      |     | Ω   |     |    | GoGa-AsHm  |
| 3                                 | 27b      | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     | T    |     |     |     |    |            |
| 4                                 | 35a      | O   |      |     | O   |     |     |     |     |      |     |     |     |    |            |
| 5                                 | 35b      |     |      |     | Φ   |     |     | O   |     |      |     |     |     |    |            |
| 6                                 | 54       |     |      |     | Ω   | Ω   |     |     |     |      |     | T   |     |    | Hm-Ga-Ha   |
| 7                                 | 58       | Φ   |      |     | Δ   |     |     |     |     | Δ    |     |     |     |    |            |
| 8                                 | 59       | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     | Δ    | Ω   |     |     |    | Al         |
| 9                                 | 60       | Φ   |      |     | Δ   |     |     |     |     |      |     |     |     |    |            |
| 10                                | 61       | Φ   |      |     | Δ   |     |     |     |     | T    |     |     |     |    |            |
| 11                                | 66       | Φ   | Φ    |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |    |            |
| 12                                | 71       | Δ   |      |     | T   |     |     |     | Δ   | T    |     |     |     |    | Ili--Gy-Hm |
| 13                                | 72       | O   |      |     | Ω   | Ω   |     |     |     | T    |     |     |     |    | HmGy       |
| 14                                | 73       | O   |      |     | Δ   |     |     |     | Ω   | T    |     |     |     |    | Go         |
| 15                                | 74       | Φ   |      |     |     | T   |     |     |     |      |     |     |     |    | Go         |
| 16                                | 94       |     |      |     |     |     |     | O   |     | T    |     |     |     |    | Go         |
| 17                                | 183      | O   |      |     | O   |     |     |     |     | T    |     |     | T   | T  | Ha         |
| 18                                | 273      |     |      |     | Δ   |     |     |     |     | Ω    |     |     |     | Δ  | Ha-Di      |
| 19                                | 273      |     |      |     | Δ   |     |     |     |     | Ω    |     |     | T   | Δ  | Ha         |
| 20                                | 275      |     |      |     | Δ   |     |     |     |     | Ω    |     |     |     | O  | Ha         |
| 21                                | 403      |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     | T  | CovMg      |

|           |           |               |               |          |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|
| Φ≥1000cps | O≥500 cps | Δ:200-500 cps | Ω:100-200 cps | T≤100cps |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|

QTZ:Quartz,Orth:Orthose,Plg:Plagioclase,Adu:Adulaire,Aug:Augite,Bio:Biotite,Cal:Calcite, Pyr:Pyrophilite,Sér:Séricite,Kao:Kaolinite,Smé:Sméctite, Chl:Chlorite, Py:Pyrite, Mg:Magnétite, Ga:Galène, Hm:Hématite,As:Arsénopyrite, Di:Dickite, Al:Alunite,G:Goethite, ili:Illite,Gy:Gypse,Ha:Halite,Cov:Covéllite

Tab.9. Résultats des analyses DRX du sondage MS3.

| Résultats des analyses DRX du MS3 |          |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     |    |          |
|-----------------------------------|----------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|----------|
| N°                                | Prof (m) | Qtz | Orth | Plg | Adu | Hnb | Bio | Cal | Pyr | Séri | Kao | Chl | Py | autres   |
| 1                                 | 41,8     | Φ   |      |     |     |     |     |     |     | T    |     |     | Δ  |          |
| 2                                 | 52,2     | Φ   |      |     | Δ   |     |     |     |     | Ω    |     |     | Ω  |          |
| 3                                 | 59       | Φ   |      | T   |     |     |     |     |     | Δ    |     |     | T  |          |
| 4                                 | 70,7     | Φ   |      |     |     |     |     |     |     | Δ    |     |     | Δ  |          |
| 5                                 | 96,9     | Φ   |      |     |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Ω  |          |
| 6                                 | 106,6    | Φ   |      |     |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Δ  |          |
| 7                                 | 110,5    | Φ   | Δ    |     |     |     |     |     |     | T    |     | T   |    | Hm       |
| 8                                 | 130      | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     | T    |     | Ω   | T  |          |
| 9                                 | 231      |     |      |     | O   |     |     |     |     |      |     |     | Δ  |          |
| 10                                | 252,5    |     |      |     | O   |     |     |     |     | Ω    |     |     | Ω  |          |
| 11                                | 261,1    | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     | T    |     |     | O  |          |
| 12                                | 278,5    | Δ   |      |     | O   |     |     |     |     | T    |     | T   | T  |          |
| 13                                | 288,8    | Δ   | Δ    |     |     |     |     |     |     | T    |     |     | Δ  | Al-Nau   |
| 14                                | 292,6    | Ω   |      |     | Δ   |     |     |     |     | Ω    |     |     | Ω  | As       |
| 15                                | 317,5    | Δ   |      |     | O   |     |     |     |     |      |     |     | Δ  |          |
| 16                                | 324,2    |     |      |     | Ω   |     | Ω   |     |     | Δ    |     | Ω   | Δ  |          |
| 17                                | 378,2    | Ω   |      |     | T   |     |     |     |     | Δ    |     |     | T  | As-Mg-Al |
| 18                                | 385,2    | T   |      |     | Ω   | Ω   |     |     |     |      |     |     | Ω  | As-Mg    |
| 19                                | 405,9    | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     | T    |     |     | Ω  | Hm       |
| 20                                | 415,2    |     |      |     | Δ   |     |     |     |     | Δ    |     |     |    | Px-As    |
| 21                                | 416      | Δ   |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     | T  | Cov-Hm   |
| 22                                | 425,3    |     |      |     |     |     |     |     |     |      |     |     | Δ  | Px       |
| 23                                | 444,8    |     |      |     |     | T   | O   |     |     | Φ    |     |     |    | Mg       |
| 24                                | 451      |     |      |     | Ω   |     | O   |     |     | Φ    |     | T   | Ω  | As-Cha   |
| 25                                | 457,3    |     |      |     | Ω   |     | Δ   |     |     | O    |     | T   | Δ  | Cha      |

|           |           |               |               |          |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|
| Φ≥1000cps | O≥500 cps | Δ:200-500 cps | Ω:100-200 cps | T≤100cps |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|

Qtz:Quartz,Orth:Orthose, Plg:Plagioclase, Adu:Adulaire, Hnb:Hornblend, Bio:Biotite, Cal: Calcite, Pyr:Pyrophyllite, Sér:Séricite, Kao:Kaolinite, Chlo:Chlorite, Py:Pyrite, Mg:Magnétite, Ga:Galène, Hm:Hématite, Cha:Chalcopryrite, As:Arsénopyrite, Al:Alunite, Px:Péroxène,Go:Goethite,

Tab.10. Résultats des analyses DRX du sondage MS11.

| Résultats DRX du MS11 |          |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |    |               |
|-----------------------|----------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|---------------|
| N°                    | Prof (m) | Qtz | Orth | Plg | Adu | Aug | Hnb | Bio | Cal | Pyr | Séri | Kao | Chl | Py | autres        |
| 1                     | 4B       | Φ   |      |     | Ω   |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Δ  |               |
| 2                     | 37       | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Δ  |               |
| 3                     | 41       | Ω   |      |     | Δ   |     |     |     |     |     | T    |     | T   | O  |               |
| 4                     | 45       |     |      |     | O   |     |     |     |     |     | O    | Ω   |     | Ω  |               |
| 5                     | 58       | Φ   | Δ    |     |     |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Ω  |               |
| 6                     | 60       |     |      |     | Δ   |     | T   |     |     |     | Ω    |     | Ω   | Ω  | Al Δ          |
| 7                     | 72       | Φ   | Δ    |     |     |     |     |     |     |     | T    |     |     | Δ  |               |
| 8                     | 87a      |     |      |     | Δ   |     | T   | Δ   | Δ   |     | Δ    |     | T   | Δ  |               |
| 9                     | 87b      | Ω   |      |     | Δ   |     |     |     |     |     |      |     |     | O  | Px T-<br>ChaT |
| 10                    | 89       |     |      |     | Ω   |     |     |     |     |     | T    |     | T   | O  | Px Ω          |
| 11                    | 97       |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |    |               |
| 12                    | 103      | O   |      |     | Δ   |     |     |     |     |     | T    | T   |     | Δ  |               |
| 13                    | 114      | Δ   |      | Δ   | Δ   |     | T   |     |     |     |      |     | T   |    | Mg            |
| 14                    | 199      |     |      |     | Δ   |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Ω  | Px            |
| 15                    | 224      | Δ   |      |     | Δ   |     |     |     |     |     |      |     |     | O  |               |
| 16                    | 259      |     |      |     | Δ   |     |     |     |     |     | Ω    |     | Ω   | Δ  |               |
| 17                    | 319      |     |      |     | Ω   | T   | Δ   |     | Δ   |     |      |     | Δ   |    | Ga Ω          |
| 18                    | 325      |     |      |     | Ω   | Ω   | Δ   |     |     |     |      |     |     |    |               |
| 19                    | 336      |     |      |     | Ω   |     |     |     |     |     |      |     |     | Δ  | PxΔ-Epi       |
| 20                    | 380      |     |      |     | O   |     |     |     |     |     | Ω    |     |     | Δ  | GaΔ           |
| 21                    | 387      |     |      |     | T   |     | Δ   |     | Ω   |     | Ω    |     |     |    | PxΩ           |
| 22                    | 456,6    | O   |      |     | O   |     | T   |     | Δ   |     | Δ    |     |     | Φ  |               |
| 23                    | 458      |     |      |     | Δ   |     |     |     |     |     |      |     |     | Ω  | Px-CovGa      |
| 24                    | 471      |     |      |     | O   | O   |     |     |     |     |      |     | Ω   |    | PxΩ           |

|           |           |               |               |          |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|
| Φ≥1000cps | O≥500 cps | Δ:200-500 cps | Ω:100-200 cps | T≤100cps |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|

Qtz:Quartz,Orth:Orthose, Plg:Plagioclase, Adu:Adulaire, Hnb:Hornblend,  
 ,Bio:Biotite, Cal: Calcite, Pyr:Pyrophyllite, Sér:Séricite, Kao:Kaolinite,  
 ,Chl:Chlorite, Py:Pyrite, Mg:Magnétite, Ga:Galène, Hm:Hématite,  
 Cha:Chalcopyrite, As:Arsénopyrite, Al:Alunite, Px:Péroxène,Go:Goethite,

En pétrographie, le plagioclase est le constituant essentiel des roches andésitiques fraîches. Cependant dans la présente étude il n'apparaît que dans quelques échantillons comme montré déjà dans les tableaux ci-dessus.

Il est quasiment altéré dans la plupart des échantillons des roches analysées (l'albite est très rare dans les trois sondages quant à l'anorthite elle apparaît seulement dans MS11).

Les feldspaths potassiques sont représentés par l'orthose et l'adulaire (**Fig.72a et b.**), le premier apparaît dans divers niveaux quant à l'adulaire (**Fig.73**), Il est déterminé en majorité dans les trois sondages et à tous les niveaux. Sa présence atteste un apport de fluides hydrothermaux neutres.

Les ferromagnésiens apparaissent dans les diffractogrammes mais en petites proportions et tendent souvent à disparaître suite au processus d'altération qui ne les a pas épargnés.

Le quartz est le minéral siliceux qui apparaît quasiment dans les trois sondages. Néanmoins, sa distribution est aléatoire. Il affiche de grandes intensités par endroits notamment les premiers 100 m du sondage MS3 et puis tend à disparaître de plus en plus en profondeur.

La calcite est le seul minéral carbonaté figurant, elle apparaît dans les sondages MS2 et MS11. Ses proportions varient en fonction de la profondeur.

Les minéraux argileux qui apparaissent sont la séricite, la smectite, la kaolinite, la chlorite, la pyrophyllite, l'alunite, l'illite et l'épidote.

La séricite est très abondante dans les échantillons analysés, elle figure avec des intensités faibles, moyennes et fortes. Le Sondage MS3 affiche des intensités de Séricite très forte en profondeur (444, 451, 457.3 m).

La kaolinite a été détectée dans un seul endroit du sondage MS2 et dans deux endroits du sondage MS11. L'Alunite a été retrouvée seulement dans quelques échantillons des trois sondages. Sa présence indique un Ph acide du fluide hydrothermal.

Quant à l'illite, elle figure dans un seul échantillon (71 m) du sondage MS2.

Les minéraux métalliques apparaissent souvent, notamment la pyrite, la chalcopryrite, la galène, la sphalérite, l'arsénopyrite, l'hématite, la goéthite et la magnétite.

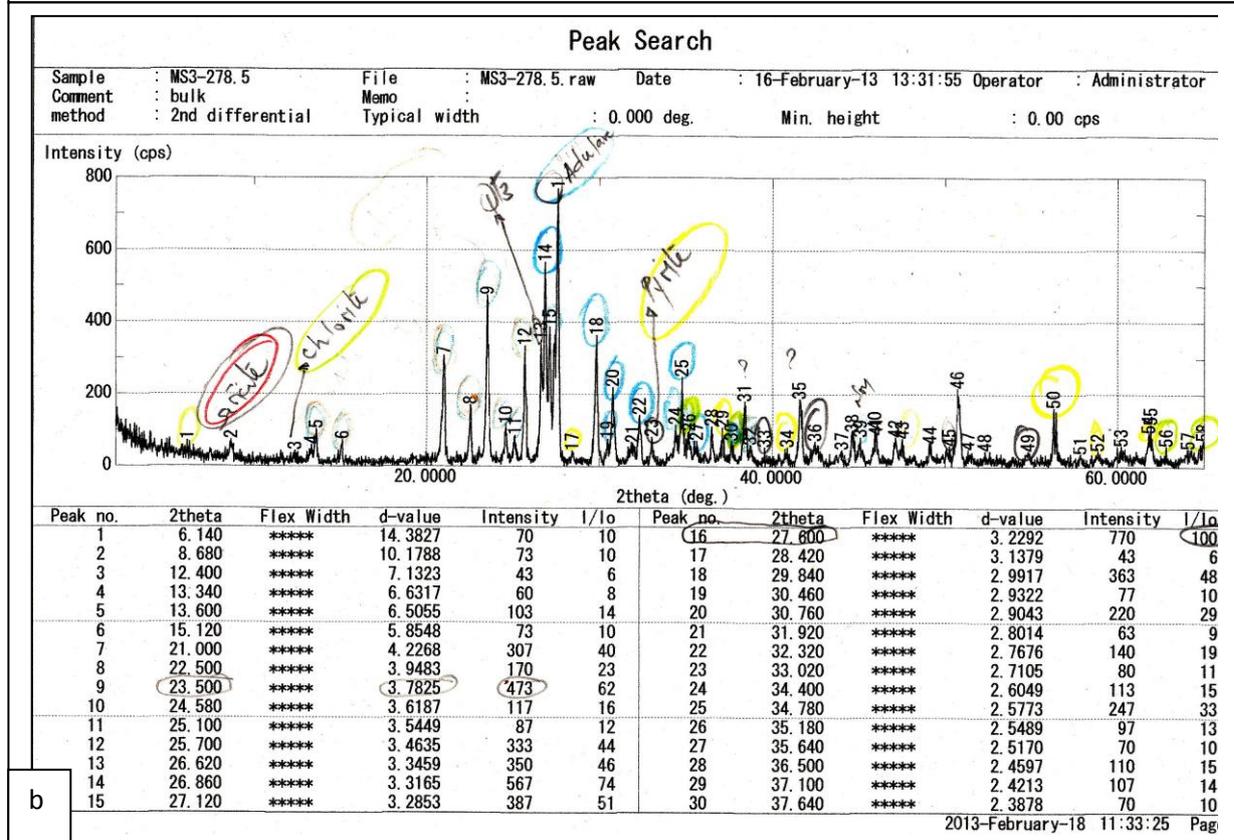
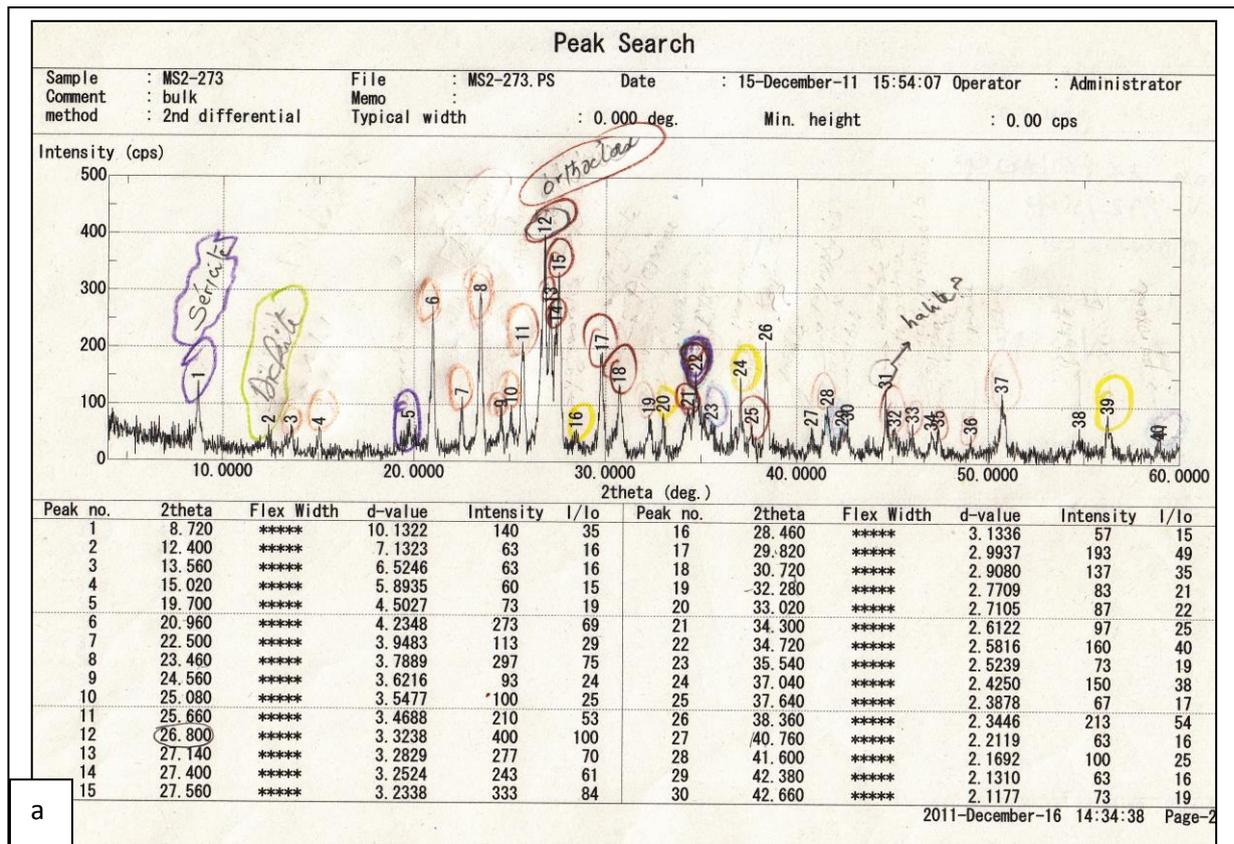
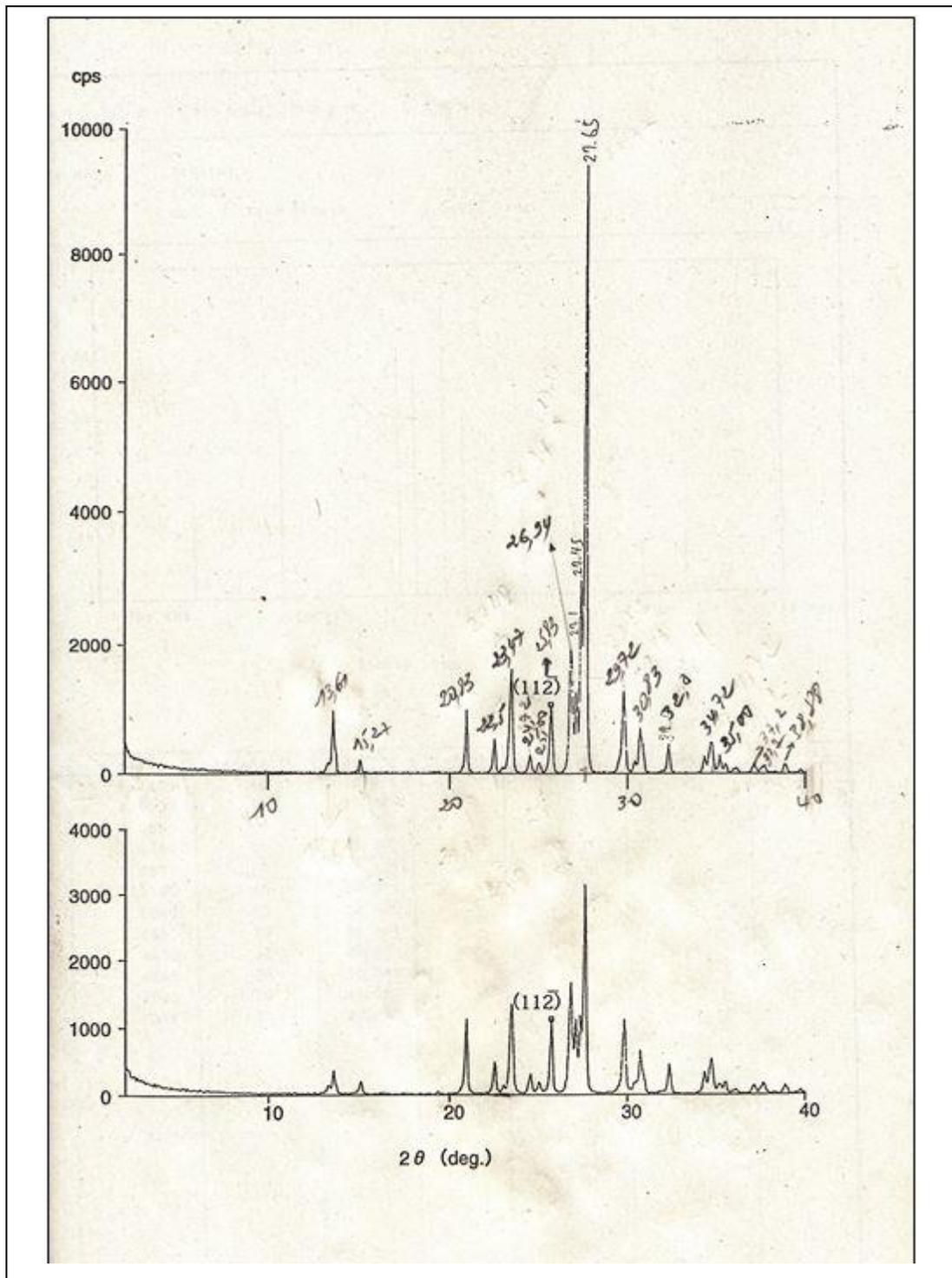


Fig.72.Chartes de Diffractogrammes montrant en a) l'Orthose et en b) l'Adulaire.



**IV.2.4. Les zones d'altération :**

L'établissement des zones d'altérations est important dans la mesure où il permet de mieux voir la distribution horizontalement et/ou verticalement. Dans notre étude nous nous contentons de la zonation verticale vue les échantillons à notre portée.

Une zone est caractérisée par la prédominance du quartz et d'un ou plusieurs minéraux argileux. (Belhadi et al, 2002). Par ailleurs, les zones d'altérations ressorties séparément dans les sondages étudiés sont :

**Pour le MS2 : six zones ont été déterminées ;**

Quartz-Smectite ; (Fig.74)

Quartz -Séricite ;

Quartz-Séricite+Kaolinite+Alunite ;

Quartz-Séricite +Pyrophyllite++Illite (Fig.75);

Quartz- Séricite + Pyrophyllite;

Quartz-Séricite-Chlorite.

**Pour le MS3 : trois zones distinguées**

Quartz-Séricite ;(Fig.76)

Quartz-Séricite+Chlorite ;

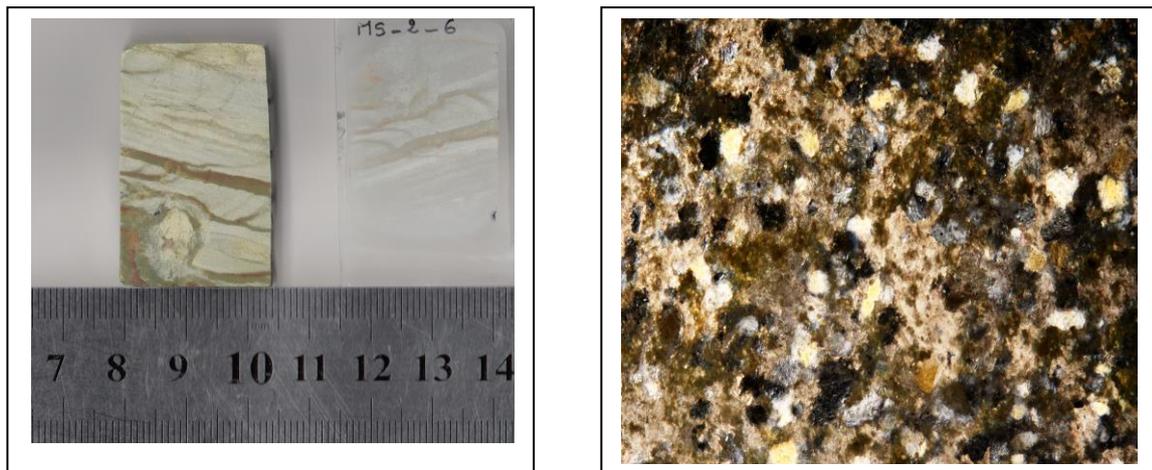
Quartz-Séricite+Alunite ;

**Pour le MS11 : trois zones distinguées**

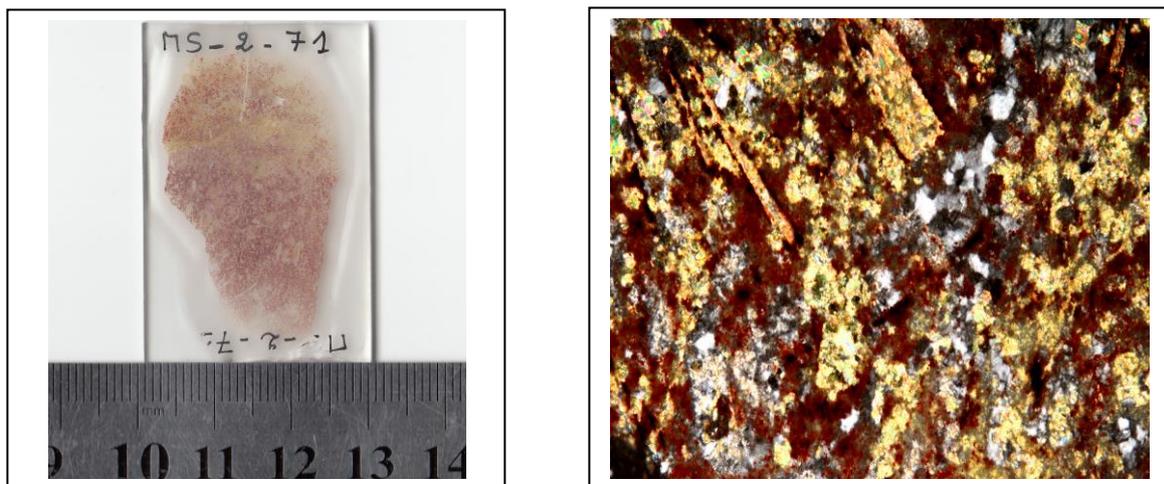
Quartz-Séricite (Fig.77,78);

Quartz-Séricite-Chlorite ;

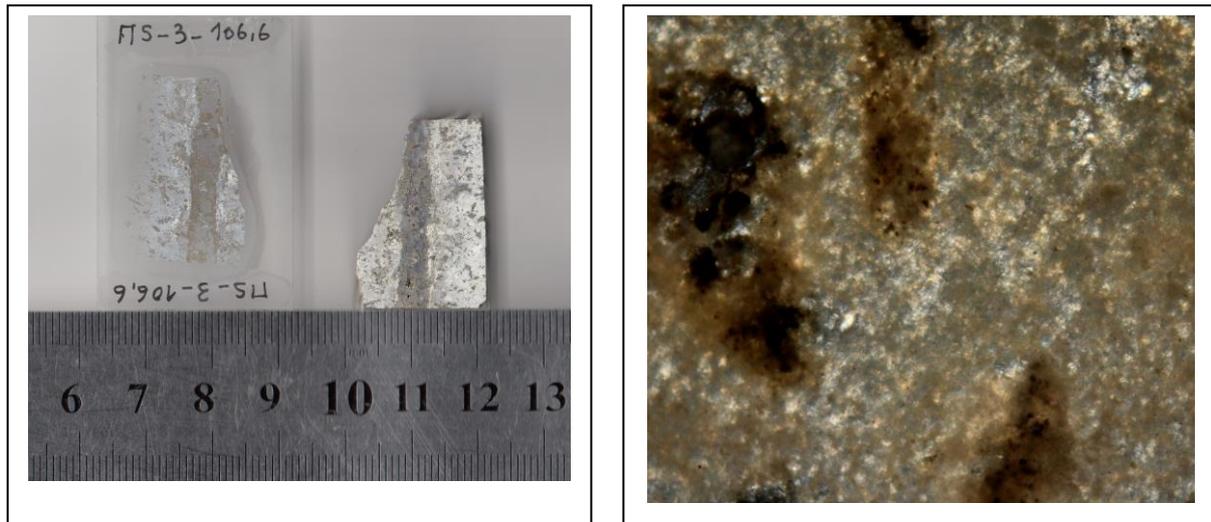
Quartz-Séricite+Kaolinite(Fig.79).



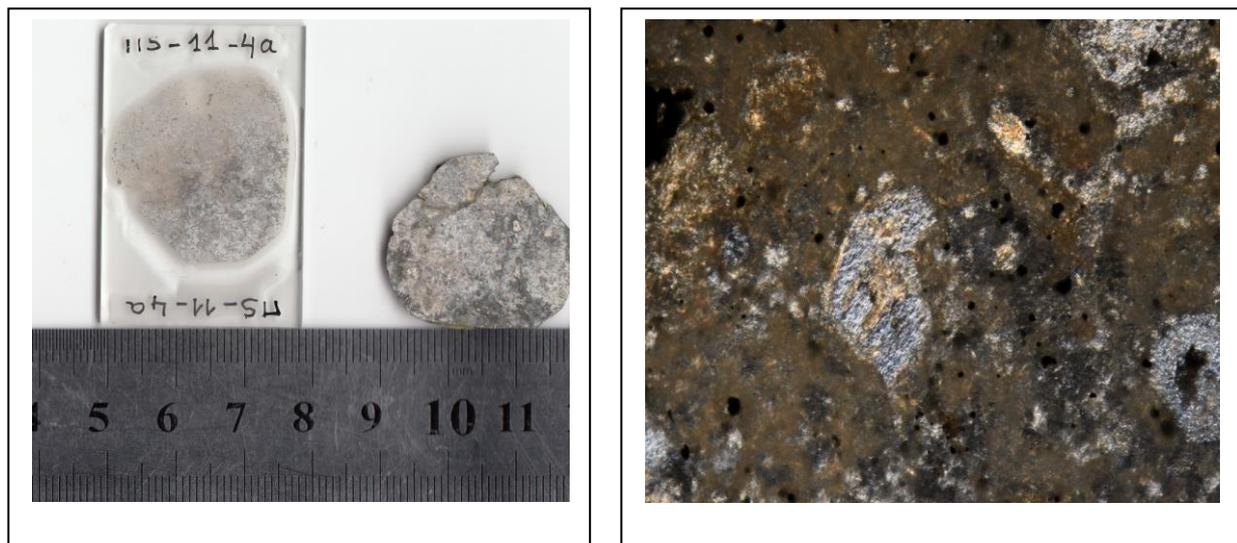
**Fig. 74:**Photo montrant l'altération des minéraux (Quartz+smectite), confirmé par DRX. LM : LPA (X05).



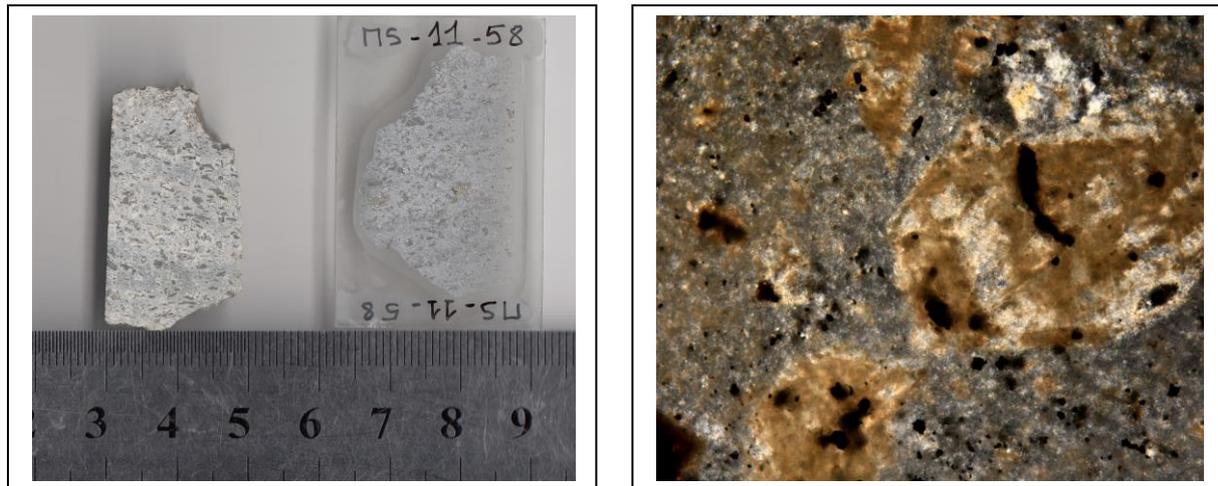
**Fig. 75 :** Photo de lame mince montrant au microscope l'altération à dominance séricite-illite-pyrophyllite. LPA (X05).



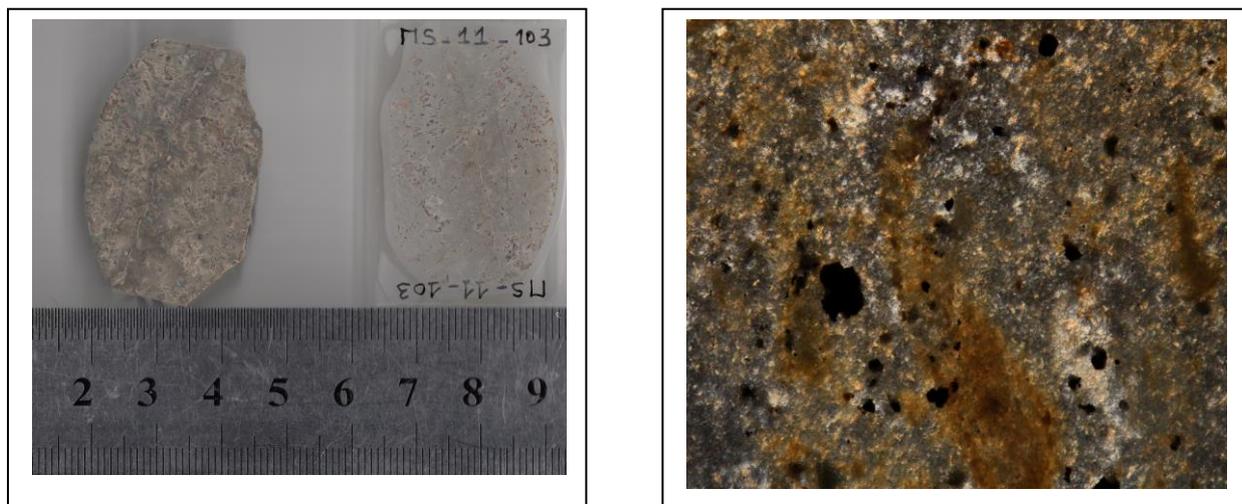
**Fig. 76 : Photo de lame mince montrant l'altération séricitique confirmée par DRX, LPA (Grx05).**



**Fig.77 : Photo de lame mince montrant l'altération séricitique avec les reliques de l'augite et des feldspaths. LPA (Grx05).**



**Fig.78. Photo de lame mince montrant l'altération hydrothermale (séricite) avec reliques. LPA (Grx05).**



**Fig.79. Photo de lame mince montrant l'altération hydrothermale (séricite+kaolinite), LPA (Grx05).**

**IV.3. Interprétation des résultats et discussions :**

Il ressort des analyses faites à partir de la Diffractométrie aux Rayons X que :

La corrélation est difficile à établir entre les trois sondages en raison de l'hétérogénéité des assemblages argileux retrouvés ;

Les séricitisation couvre la quasi-totalité des niveaux recoupés des trois sondages ;

La présence de feldspaths potassiques (orthose) indique que les fluides sont neutres ;

La présence de l'adulaire caractérise les gisements épithermaux de (Au-Ag) de basse sulfuration (Iris et al, 2012). Il est abondant dans les trois sondages et sa répartition touche presque tous les intervalles. Il indique que les fluides hydrothermaux à l'origine de sa présence sont à Ph neutre.

La kaolinite qui indique un chimisme acide des fluides est peu abondante contrairement à ce qui a été décrit dans les rapports de l'ORGM (1998) notamment dans le sondage MS11 où il a été signalé une kaolinitisation abondante le long des 200 premiers mètres.

De même pour l'alunite qui indique aussi un changement du chimisme des fluides hydrothermaux (Ph acide) ;

La présence de kaolinite, alunite et pyrophyllite qui indique un Ph acide est probablement dû à un changement de chimisme des fluides minéralisateurs qui sont devenus acides (Hedenquist et al, 1996).

La présence à divers niveaux de la chlorite, la séricite et l'illite, qui sont des argiles relativement de température haute (dans l'épithermalisme) révèle que l'altération est régie par la fracturation.

Les types d'altérations que nous pouvons faire ressortir sont les suivants :

- La séricitisation qui touche presque tous les niveaux des trois sondages est caractérisée par la formation de la séricite en association avec du quartz et pyrite en général ;
- L'altération d'adulaire : correspond à la prédominance de feldspaths potassiques (Adulaire), biotite et Séricite. Elle se trouve dans les trois sondages à différents niveaux ;

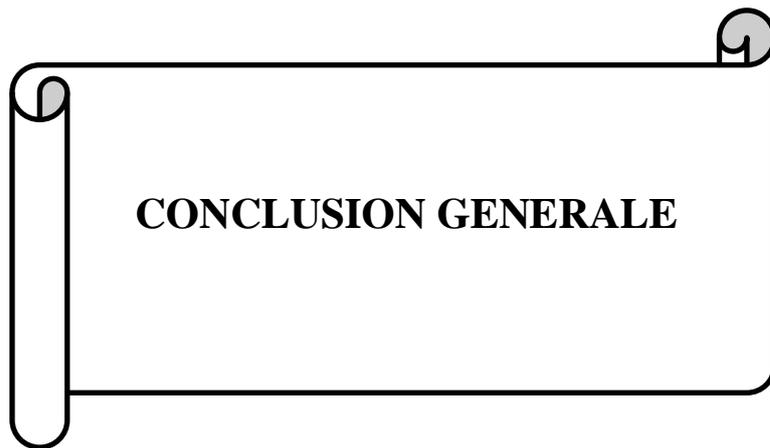
- L'altération argilique : caractérisée par la formation des minéraux argileux et est fréquente dans les contextes volcaniques. Parfois quand l'altération est intense elle remplace complètement les composants de la roche affectée.

Elle correspond à la substitution des plagioclases et des minéraux ferromagnésiens par kaolinite et l'illite.

- L'altération carbonatée : correspond à la formation des carbonates associés à la chlorite et pyrite, parfois avec l'albite et la séricite. Elle est absente complètement dans le MS3 et figurent dans divers intervalles des deux autres sondages.

En ce qui concerne le type de gisement en place, à la lumière de l'étude faite à partir de la Diffractométrie aux Rayons X (DRX), il est fort probable qu'il soit un gisement épithermal à basse sulfuration vue la présence en abondance de l'adulaire.

Cependant, il n'est pas possible de trancher définitivement sur la question, c'est pour cette raison qu'il est souhaitable d'élargir un peu plus cette étude en d'autres sondages d'une part et d'autres part, en utilisant d'autres méthodes analytiques en plus de DRX telles que les inclusions fluides pour la détermination des températures de piégeage des fluides et leur salinités et l'ICP-MS pour la détection potentielle de l'or en trace.



**CONCLUSION GENERALE**

### CONCLUSION GENERALE

Le secteur d'étude en l'occurrence Chouchkha (M'Sirda, Tlemcen) fait partie de la marge algérienne nord occidentale appartenant au domaine externe des Maghrébides.

Il est connu pour être un témoin de l'activité magmatique qu'a connu la région depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire et caractérisé par l'abondance de formation volcaniques basaltiques et andésitiques de nature alcaline et calco-alcaline.

Les principales directions de linéaments qui affectent le secteur sont NNW-SSE, NW-SE, E-W. Ce sont ces linéaments qui ont contrôlé la mise en place de la minéralisation y afférente.

Le secteur d'étude recèle des indices de minéralisation polymétallique essentiellement pyriteuse encaissée dans des andésites d'âge Miocène.

La minéralisation mise en place est constituée principalement de Pyrite-Chalcopyrite-Sphalérite-Galène-Magnétite et Hématite.

Les études réalisées mettent en exergue deux principaux stades de mise en place de cette minéralisation, il s'agit d' ;

**i)** une phase pré-minéralisation caractérisée par le dépôt de minéraux de gangue à l'instar du Quartz, Calcite, Séricite et de minéraux métalliques notamment la Pyrite I, la Magnétite I;

**ii)** une phase minéralisatrice qui a connu à son tour deux stades de minéralisation illustrés par le dépôt de la Pyrite II, Hématite I, Sphalérite I, Galène I, Chalcopyrite I, Arsénopyrite I en premier , puis le dépôt de Pyrite III, Magnétite II, Chalcopyrite II, Galène II, Sphalérite II en second lieu.

Quant à la phase supergène elle est composée essentiellement de l'Hématite II, la Digénite, la Bornite, la Goethite, la Limonite.

La Diffractométrie aux Rayons X (DRX) a permis l'identification des assemblages de minéraux primaires et argileux du secteur d'étude, en guise de caractériser les altérations ayant affecté le secteur et par conséquent la détermination de la nature des fluides responsables de la mise en place de ces minéralisations.

## Conclusion générale

---

Le degré d'altérations hydrothermales exprimé par l'intensité des pics des plagioclases n'a pas été d'un grand apport dans la détermination des zonations, notamment verticales.

La difficulté de faire ressortir ces zonations est due principalement, à la discontinuité des intervalles des échantillons et la distribution aléatoire des altérations des plagioclases.

Les principales altérations hydrothermales affectant les formations andésitiques du secteur sont les altérations séricitique, d'adulaire, argilique et carbonatique.

La présence de minéraux argileux de haute température à différents niveaux tel que la chlorite, la séricite, la pyrophyllite et d'un degré moins l'illite indique que l'altération est contrôlée par la fracturation.

Les feldspaths potassiques (FK) qui sont les produits d'altération des roches andésitiques attestent d'un Ph neutre tandis que la présence de la kaolinite, de l'alunite et de la pyrophyllite démontre un chimisme acide ce qui revient à dire que probablement les fluides neutres sont devenus acide au fil du temps (Overprinting).

La présence en majorité de l'adulaire qui est un feldspath potassique caractéristique des gisements épithermaux de basse sulfuration permet d'attribuer ce type de minéralisation à celle de Chouchkha.

Néanmoins, Il reste à être appuyer par davantage d'études et de méthodes analytiques outre que la DRX notamment les inclusions fluides pour la détermination de la nature des fluides et leur salinité et ICP-MS.

## Références bibliographiques

**Abed, Z., 1993.** Etude volcanologique et pétrologique des laves quaternaires de la région de Ghazaouet (Oranie), Thèse Magister, USTHB (Alger).

**Ameur, M., 1988.** Etude stratigraphique et sédimentologique du Jurassique inférieur et moyen de la partie orientale de la chaîne du Fillaoussène. Thèse Doctorat d'Etat, Univ, Oran, 192 p.

**Beaudoin, G., 2006.** Géologie et métallogénie, Manuel de cours 36p, Univ, Laval (Québec).

**Belhadi, A., Nakanishi, T., Watanabe, K., Izawa, E., 2002.** Gold mineralization and occurrence of Sinter in the Hoshino area, Fukuoka prefecture, Japan, Resource Geology, vol. 52, no.4, 371-380.

**Belmouhoub, A., 2004.** Les minéralisations sulfurées à Cu (Au), Pb-Zn associées aux roches volcaniques miocène de Tifaraouine (Sahel oranais) : pétrographie, géochimie et prospection minière, Thèse Magister, USTHB (Alger).

**Bellon, H., 1976.** Séries magmatiques néogènes et quaternaires du pourtour de la Méditerranée occidentale, comparées dans leur cadre géochronométrique ; implications géodynamiques. Thèse Univ. Paris-VI.

**Bellon, H., Guardia, P., Magné, J., 1984.** Les associations volcaniques du Miocène supérieur de la région Oranaise (Algérie Occidentale Conséquences géodynamiques. Géol. Méditerranéenne, XI, 3, 255-264.

**Benali, H., 2007.** Les minéralisations associées aux roches magmatiques tertiaires du Nord de l'Algérie : typologie, pétrologie, cadre géodynamique et implication métallogénique, Thèse Doctorat d'Etat : pétrologie-structurale, USTHB (Alger), 175p

**Bendoukha, R., 1987.** Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio- quaternaire de la basse Tafna (Oranie occidentale), Thèse Magister, USTHB (Alger).

**Bendoukha, R., 2008.** Etude dynamique, pétrographique et géochimique du volcanisme alcalin plio quaternaire de l'Oranie (Algérie nord occidentale), Thèse Doctorat, Univ, Oran, 175p.

**Bendoukha, R., Megartsi, M., Cottin, J.Y., and Tabeliona, M., 2009.** Nouvelles données sur les caractères dynamiques et géochimiques d'un complexe volcanique mio-plio-quaternaire de l'Oranie (Algérie nord occidentale). Bulletin du Service Géologique National, Vol.20.N.3, pp. 263 - 296

**Bouakkaz, S., 2000.** Etude pétrographique, géochimique et gîtologique du sondage MS11 (structure de Chouchkha), M'Sirda, Mém. Ing. Etat, USTHB (Alger).

**Boukhdimi, M.A., 2009.** Origine de processus de bentonisation des terrains volcanogènes rhyolitique de Hammam Boughrara (Maghnia ; Algérie Nord occidentale), Mémoire Magister, Univ, Oran.

**Boutaleb, A., 2002.** Les minéralisations à Pb-Zn du domaine sétifien-Hodna : gîtologie, pétrographie des dolomies et implications metallogéniques, Thèse Doctorat d'Etat, USTHB (Alger), 350p

**Bouzakaria, F., Hadj Larbi, H., 1996.** Contribution à l'étude pétrographique et gîtologique du massif de M'Sirda (Sondage MS 11). Mém. Ing. Etat, USTHB (Alger).

**Ciszak, R., 1993.** Evolution géodynamique de la chaîne tellienne en Oranie (Algérie occidentale) pendant le paléozoïque et le mésozoïque, Thèse Doctorat d'Etat, Univ, Toulouse, (France), 513p.

**Coulon, C., Megarrrtsi, M., Fourcade, S., Maury, R., Bellon, H., Louni-Hacini, A., Cotten, J., Coutelle, A., and Hermitte, D., 2002.** Post collisional transition from calko alkaline to alkaline volcanism during the Neogene in Oranie (Algeria): magmatic expression of a slab breakoff. Lithos 62,87-110.

**Curie, J., Flamand, G., 1889.** Carte géologique de l'Algérie ( description stratigraphique générale de l'Algérie suivie d'étude succincte sur les roches éruptives de cette région), Association ouvrière Fontana et Cie, Alger, 219p.

**Dehim, F., 2012.** Etude des minéralisations ferrifères de la région de Béni Saf-Monts de Traras, Mémoire Magister, USTHB (Alger).

**De Ruan, C., Colin, R., 2002.** Quantitative X-ray powder diffraction analysis of clay minerals in Australian coals using Rietveld methods. Applied Clay Science 21 (2002) 227–240.

**Fenet, B., 1975.** Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogène, Nord Maghrébin. Les monts de Djebel Tessala et les massifs du Littoral oranais. Thèse Doctorat d'Etat. Univ, Nice (France), 301p

**Jemmali, N., 2011.** Le trias du nord de la Tunisie et les minéralisations associées: minéralogie, géochimie (traces, isotopes O, C, S, Pb) et modèles génétiques. Thèse Doctorat, Univ, Tunis El Manar (Tunisie).

**Hubert, F., 2008.** Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempéré. Implication minéralogique et pédologique. Thèse. Univ, Poitier (France), 223p.

**Iris, S., Carsten, L., Steffen, G.H., 2012.** Low potassium hydrothermal alteration in low sulfidation epithermal systems as detected by IRS and XRD: An example from the Co-O mine, Eastern Mindanao, Philippines, Ore Geology Reviews 45 (2012) 47–60.

**Gautier, E.F., 1922.** Structure de l'Algérie, Société d'éditions géographiques et scientifique France, 248p.

**Gentil, L., 1903.** Etude géologique du bassin de la Tafna. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, (2), n°4, 425p.

**Guardia, P., 1975.** Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord –occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant pays atlasique, Thèse Sc. Univ, Nice (France), 289p.

**Guendouz, M., 1994.** Evolution géomorphologique et géodynamique des monts de Traras (Oranie nord-occidentale). « Approche morphodynamique et perspectives d'aménagement et conservation des sols », Thèse Doctorat d'Etat, USTHB (Alger).

**Gourinard, Y., 1958.** Recherche sur la géologie du littoral Oranais. Epirogenèse et nivellement. Bulletin n°6

**Hedenquiste, J.W., Izawa, E., Arribas, A., and White, N.C., 1996.** Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration, Resource Geology, Special Publication no.1

**Kadi, B., 2013.** Comparaison de l'histoire thermique des bassins de Timimoun et de Berkine : impact sur l'évolution des argiles et de la matière organique, Thèse.Univ, USTHB (Alger), 280p.

**Laâredj, O., 2012.** Etude des assemblages de foraminifères benthiques du Miocène de M'Sirda, Mémoire Magister, Univ, Oran.

**Lacroix, A., 1924.** Les caractéristiques chimico-minéralogiques des roches éruptives (intrusives et volcaniques) tertiaires de l'Algérie et de ses régions limitrophes. C.R. Somm Soc. Géol. Fr. Paris, 18 : 219-221.

**Lacroix, A., 1927.** Les caractères chimico-minéralogiques des roches intrusives et volcaniques tertiaires de l'Afrique du Nord. Ext. Bull. Vulcan., n°13 et 14.

**Louni-HaciniA., 2002.** La transition du magmatisme calco alcalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie, Thèse Doctorat d'Etat, USTHB (Alger),198p.

**Louni-Hacini, A., Bellon, H., Maury, R.C., Coulon, C., Semroud, B., Cotten, J., et Coutelle, A., 1995.** Datation K40-Ar40 de la transition du volcanisme calco alcalin en Oranie au Miocène supérieur.R.Acad. Sci. Paris, Série II a, pp 975-982.

**Mattaouer, M., 1968.** Les Traits structuraux essentiels de la chaîne pyrénéenne Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn. v10, pp. 3-11.

**Medini, S., 2010.** Les minéralisations hydrothermales liées à l'activité volcanique calco-alcaline du complexe des M'Sirda (Oranie nord occidentale), Mémoire Magister. Univ, Oran.

**Megartsi, M., 1985.** Le volcanisme Mio-Plio-Quaternaire de l'Oranie nord –occidentale. Géologie, pétrologie et géodynamique, Thèse Doctorat d'Etat, USTHB (Alger), 296p.

**Miyoushi, Y., Ishibashi, J., Faure, K., Maeto, K., Matsukura, S., Omura, A., Shimada, K., Sato, H., Sakamoto, T., Uehara, S., Chiba, H., and Yamanaka, T., 2013.** Mg-rich clay mineral formation associated with marine shallow-water hydrothermal activity in an arc volcanic caldera setting, Chemical Geology, 355, 28-44.

**Mosser-Ruck, R., Devineau, K., Charpentier, D., Cathelineau, M., 2005.** Effects of ethylene glycol saturation protocols on XRD patterns: a critical review and discussion. Clay Clay Miner. 53, 631–638.

**Mouziane, L., Hadj-Mohamed, N., 1999.** Contribution à l'étude pétrographique et gîtologique du massif de M'Sirda (Sondages MS 10, MS 11, et MS 14). Mém. Ing. Etat, USTHB (Alger).

**Ndong, J., Alayi, G., 2012.** Contribution à l'étude des minéralisations du massif des M'sirda (Oranie nord-occidentale), Mém.Master, USTHB (Alger).

**ORGM., 1998.** Rapport final sur la prospection régionale des polymétaux liés au volcanisme du Nord-Ouest algérien, Rapport inédit.

**ORGM., 2000.** Rapport final sur la prospection des polymétaux associés au volcanisme dans la région de M'Sirda, Rapport inédit.

**Ouibrahim, Z., Benali, H., Medini, S., Belmouhoub, A., 2014.** Developing a geographic information system (GIS) for mapping and analyzing the polymetallic deposits of M'Sirda volcanic province, Northwest Algeria, Arab J Geosci 7:2107–2117.

**Pirajno, F., 1992.** Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 709p

**Remaci, N., 2005.** Pétrologie et géochimie des associations «felsiques-mafiques» tardi-hercyniennes de l'Oranie (Algérie nord occidentale): implication pétrogénétiques et géodynamiques. Thèse Doctorat d'Etat, Univ, Oran, 249 p.

**Renac, C., Mexias, A., Louni-Hacini, A., Brouillet, S., Cottin, J.Y., 2014.** Rhyolite petrogenesis and meteoric-hydrothermal alteration at the Maghnia volcanic massif, Northwest Algeria. Journal of Geochemical Exploration: 143,1-18.

**Saad, A.Z.E., Zerka, M., 2011.** Apport de la télédétection à l'étude de la fracturation dans les monts de Traras (Oranie nord-occidentale, Algérie), Revue Télédétection, vol.10, n°1,p.5-10.

**Sadran, G., 1952.** Les roches cristallines du littoral oranais. XIXe Congrès géologique international Alger. Monographies régionales, 1<sup>ère</sup> série, n° 18, Algérie.

**Sadran, G., 1958.** Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du Tell oranais. Publications du service de la carte géologique de l'Algérie, (nouvelle série), bulletin, n° 18, Algérie.

**Tournier, F., 2010.** Mécanisme et contrôle des phénomènes diagénétiques en milieu acide dans les grès de l'Ordovicien glaciaire du bassin de Sbaa,Algérie. Thèse Doctorat,Univ,Paris Sud,419p.

**Wildi, W., 1983.** La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie). Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys., Paris, 24: 201-297.

**Zhong, R., Brugger, J., Chen, Y., Li, W., 2015.** Contrasting regimes of Cu, Zn and Pb transport in ore-forming hydrothermal fluids, Chemical Geology 395,154–164.

# Annexes

