

## **PLAN**

### **INTRODUCTION**

### **PREMIERE PARTIE : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA CHROMITE ET LES PLATINOÏDES**

#### **CHAPITRE I : LA CHROMITE DANS LE MONDE**

- I- MINERAI**
- II- CHROMITE**
- III- CHROME**
- IV- METALLOGENIE**

#### **CHAPITRE II : LE PLATINE ET LES PLATINOÏDES**

- I- HISTORIQUE DU PLATINE**
- II- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DE PLATINE**
- III- CRITERES D'EVALUATION DU POTENTIEL EN EGP**
- IV- UTILISATIONS**
- V- PRINCIPALES SOURCES D'EXPOSITION (SELS)**

### **DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES**

#### **INTRODUCTION**

##### **CHAPITRE I : ANALYSE CHIMIQUE**

- I- SCHEMA DE LA METHODE EXPERIMENTALE REALISEE**
- II- ECHANTILLONNAGE**
- III - FUSION ALCALINE**
- IV- DETERMINATION DE LA TENEUR EN PLATINE DES ECHANTILLONS PAR LA SPECTROPHOTOMETRIE UV**

##### **CHAPITRE II : L'ETUDE SUR LAMES MINCES**

- I- CONFECTION DES LAMES MINCES**
- II- METHODES**
- III- CRISTALLOGRAPHIE DES PRINCIPAUX MINERAUX CONSTITUTIFS DE LA CHROMITE OU DES ROCHES ENCAISSANTES VISIBLES SUR LES LAMES MINCES**
- IV- PETROGRAPHIE ET INTERPRETATION DES LAMES**
- V- DISPOSITION DES CRISTAUX SUR LES LAMES MINCES (FIGURES)**
- VI- DIFFERENTES FORMES DE EGP**

### **TROISIEME PARTIE : LA CHROMITE D'ANDRIAMENA ET LES EGP**

#### **CHAPITRE I : LA CHROMITE D'ANDRIAMENA**

- I- SITUATION GEOLOGIQUE ET GITOLOGIQUE**
- II- CHROMITE D'ANDRIAMENA**
- III – TRAITEMENT DE CHROMITE D'ANDRIAMENA**

#### **CHAPITRE II : LES PLATINOÏDES D'ANDRIAMENA**

- I- PLATINOÏDES A MADAGASCAR**
- II- PLATINOÏDES D'ANDRIAMENA**
- III-ETUDE COMPARATIVE DES COMPLEXES PLATINIFERES D'ANDRIAMENA ET D'ANTANAMBAO MANAMPOTSY**
- IV- GITES PLATINIFERES D'ANDRIAMENA PAR RAPPORT AUX AUTRES GITES MONDIAUX**

#### **CONCLUSION**

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cristallisation fractionnée discontinue et continue des minéraux .....	6
Figure 2 : Facteurs contrôlant les ÉGP .....	17
Figure 3 : Diagrammes interéléments pour évaluer le potentiel en ÉGP .....	19
Figure 4: Schéma de la méthode expérimentale préconisée pour l'analyse chimique du platine..	24
Figure 5 : Schéma des procédures de fusion réalisée.....	30
Figure 6 : Courbe représentative de l'étalonnage de platine.....	34
Figure 7 : Agrandissement 50 fois, A4 LPnA, Chromite dans l'orthopyroxénite .....	47
Figure 8 : Agrandissement 50 fois, A4 LPA, Chromite dans l'orthopyroxénite .....	47
Figure 9 : Agrandissement 50 fois, A13 LP, Plagioclasite .....	47
Figure 10 : Agrandissement 50 fois, A13 LPA, Plagioclasite à biotite .....	48
Figure 11 : Agrandissement 50fois, F1-1 LPnA, Chromite .....	48
Figure 12 : Agrandissement 50fois, A7 LPA, Pyroxénite.....	48
Figure 13 : Agrandissement 50 fois, A9 LPA .....	49
Figure 14 : Agrandissement 50 fois, A17 LPA partie claire, Plagioclasite .....	49
Figure 15 : Agrandissement 50 fois, A21 LPA, Myrmékite contenu dans Migmatite .....	49
Figure 16 : Agrandissement 50 fois, A22 LPA, Pegmatite .....	50
Figure 17 : EGP dans la chromite sous forme d'inclusion. ....	51
Figure 18 : EGP sous forme de substituant en contact avec le zircon .....	51
Figure 19 : Carte géologique de Madagascar .....	53
Figure 20 : Cadre géologique de la zone à chromite de Brieville .....	54
Figure 21 : Carte structurale de l'unité d'Andriamena avec coupe.....	55
Figure 22 : Les trois principaux gîtes de chromite d'Andriamena .....	57
Figure 23 : Bloc d'Andriamena montrant la tectonique de cette région.....	59
Figure 24 : Gisement d' Ankazotaolana montrant les gradins .....	60
Figure 25 : Crible à maille carrée.....	62
Figure 26 : Vue d'en haut des tables de traitement des chromites.....	64
Figure 27 : Spirale .....	65
Figure 28 : Schéma du traitement des concentrés de chromite .....	66
Figure 29 : Carte des gîtes de platinoïdes de Madagascar .....	71
Figure 30 : Localisation des gîtes de platinoïdes d'Andriamena.....	77
Figure 31 : Echelle de Biréfringence .....	ANNEXE 1
Figure 32 : Four pouvant atteindre une température de 1000°C.....	ANNEXE 2

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les deux types d'ophiolites .....	4
Tableau 2 : Caractéristiques et utilisations de la Chromite .....	9
Tableau 3 : Caractéristiques du platine .....	14
Tableau 4 : Données 2003, métal contenu dans les minerais et les concentrées.....	16
Tableau 5 : Répartition des échantillons .....	25
Tableau 6 : Résultats de mesure de solubilité .....	27
Tableau 7 : Répartition des échantillons et des masses de $\text{KHSO}_4$ .....	28
Tableau 8 : Répartition de la solution verte ou jaune après filtration .....	33
Tableau 9 : Etalonnage de l'appareil.....	34
Tableau 10 : Répartition des échantillons de chromite en fonction de la concentration en Pt.....	35
Tableau 11 : Normes requises des produits.....	59
Tableau 12 : Principaux gîtes de chromite de Madagascar.....	61
Tableau 14 : Répartition de gisement de EGP dans la zone Ouest de Betsiboka .....	73
Tableau 15 : Comparaison des trois principaux gîte de platinoïde à Madagascar .....	74
Tableau 16 : Comparaison des complexes platinifères d'Andriamena et d'Antanambao Manampotsy .....	75

## LISTE DES ABREVIATIONS

(Pt, Pd)S	: Coopérite
(Pt, Pd, Ni)S	: Braggite
(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )(Fe, Mg)	: Orthopyroxène
ADN	: Acide désoxyribonucléique
AFNOR	: Association Française des Normes
Al	: Aluminium
Au	: Or
B	: Birefringence
CH <sub>4</sub>	: Méthane
CO <sub>2</sub>	: Gaz carbonique
Cr	: Chrome
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Oxyde de chrome
Cu	: Cuivre
DMG	: Direction des mines et de la géologie
EGP	: Eléments du groupe des platinoïdes
ESPA	: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
F(K)	: Feldspath potassique
Fe	: Fer
FeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	: Hercynite
FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	: Ferrochromite
FeO	: Oxyde de fer
FeOCr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Chromite
H <sub>2</sub> O	: Eau
HCl	: Acide chlorhydrique
HNO <sub>3</sub>	: acide nitrique
INTERNET	: International network
Ir	: Iridium
KHSO <sub>4</sub>	: Sulfate double de potassium et d'hydrogène
KRAOMA	: Kraomita malagasy
LPA	: Lumière polarisée analysée
LPnA	: Lumière polarisée non analysée
MA	: Million d'années
Mg	: Magnésium
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	: Spinelle
MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	: Magnésio-chromite
Na	: Sodium
Ni	: Nickel
OL	: Olivine
OPX	: Orthopyroxène
Os	: Osmium
PbCrO <sub>4</sub>	: Chromate de plomb
PbCrO <sub>4</sub>	: Crocoïte
Pd	: Palladium
PGRM	: Programme de gouvernance des ressources minières
ppm	: Partie par million
PRISMM	: Programme de réforme institutionnelle du secteur minier de Madagascar
Pt	: Platine
PtAs <sub>2</sub>	: Arséniure de platine
PtCl <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	: Cisplatine
PtO	: Oxyde de platine
PtS	: Sulfure de platine
RAG	: Rectifieuse automatique de géologie
Rh	: Rhodium
Ru	: Ruthénium
SiO <sub>2</sub>	: Oxyde de silicium
SnCl(II)	: Chlorure d'étain
SZ	: Foliation
T	: Teneur
Ti	: Titane
UB	: Ultrabasique
UV	: Ultraviolet

## REMERCIEMENTS

La genèse de ce mémoire résulte de la rencontre avec des chercheurs étrangers qui souhaitent effectuer des recherches sur les platinoïdes à Madagascar en coopération avec la KRAOMA et l'ESPA Vontovorona. Ainsi, plusieurs personnes m'ont beaucoup aidé à la réalisation de ce mémoire auxquelles je souhaite aujourd'hui exprimer mes sentiments de gratitude.

De tout cœur, nous adressons, au terme de cette formation à l'ESPA, notre sincère reconnaissance à :

➤ Monsieur RANDRIANJA Roger, Chef de Département Mines, Professeur, qui m'a proposé l'étude des platinoïdes dans la région d'Andriamena et qui a bien voulu parrainer mes recherches tout au long de ce travail. Je vous prie, Monsieur, de bien vouloir accepter ma plus grande reconnaissance.

➤ Monsieur RAKOTOARINIVONIZAKA Ignace, Enseignant chercheur au sein du département Génie Chimique, qui avec ses compétences et ses expériences dans le domaine de l'analyse chimique, m'a soutenu constamment tout au long de cet analyse au laboratoire. Je vous exprime ici mes très vifs remerciements.

➤ Monsieur RASOLOMANANA Eddy, Enseignant chercheur à l'ESPA qui, avec ses expériences et ses connaissances m'a guidé dans la préparation de mes travaux de terrain. Je vous adresse mes sincères remerciements.

➤ Monsieur RAKOTO Heritina, Enseignant chercheur à l'ESPA, Professeur qui a accepté de faire partie des membres de jury de ce mémoire en tant qu'examineur et d'avoir eu l'amabilité d'examiner ce mémoire. Je lui exprime ma profonde reconnaissance.

➤ Monsieur RAKOTOMANANA Dominique, Responsable du volet Géophysique et de Géochimie au PGRM, qui n'a pas ménagé son temps précieux pour m'aider à résoudre certains problèmes relatifs aux roches ultrabasiques au mode de formation des EGP. Je vous adresse mes plus vives et profondes déférences.

➤ Monsieur RASAMIMANANA Georges, Chef de service au Laboratoire Nationale des Mines, qui m'a procuré des débris de creuset en platine pour l'étalonnage.

➤ Monsieur RAJERIARISON Noëlon, Responsable d'Enseignement optique cristalline et cristallographie de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, m'a offert son aide précieuse pour la confection des lames minces et la détermination des minéraux constitutifs de la roche ainsi que la cristallographie. Je lui en suis profondément reconnaissant et lui exprime ma profonde gratitude.

➤ Monsieur Pascal PUVILLAND et sa famille malgré ses diverses obligations, n'ont pas ménagé leur peine pour le bon déroulement du travail de recherche et pour la relecture des différents chapitres.

➤ Monsieur Giovanni GRIECO, Enseignant chercheur de l'Université de Milan en Italie des roches basiques et ultrabasiques, et son assistante Madame Anna MERLINI m'ont beaucoup aidé sur le terrain pour l'échantillonnage.

➤ Tous les Professeurs, Personnel administratif de l'ESPA Vontovorona, Ankatso et Collègues

➤ Tous les responsables de la Direction des Mines et de la Géologie d'Ampandrianomby.

Mon profond respect s'adresse également à la société KRAOMITA MALAGASY sous la direction de Monsieur le Directeur Général RAZAFIMIHARY Mejamirado et ses collaborateurs, qui ont bien voulu m'accorder un stage au sein de votre honorable entreprise.

Je tiens également à évoquer toute ma reconnaissance à l'endroit de :

➤ Monsieur RAZAFIMAHARO Prosper

➤ Monsieur ANDRIAMALALA Mbola Prosper

➤ Tout le Personnel Administratif de la KRAOMA et les habitants du village de Brieville (Monsieur Jojo et sa famille, ...) pour le soutien et la collaboration qu'ils m'ont manifestés.

➤ A mes parents, à mes frères et à des amis lointains pour le soutien moral et financier durant mes études. Vous m'avez apporté une ambiance chaleureuse et m'avez souvent aidé dans les moments difficiles.

**Vive reconnaissance à tous**

# INTRODUCTION

La géologie est la science qui étudie la terre. Elle possède plusieurs disciplines de la reconnaissance macroscopique jusqu'à l'étude microscopique, de la pétrographie jusqu'à la cristallographie. L'étude de la terre éveille l'esprit des scientifiques, ainsi cette science n'a cessé d'évoluer depuis l'âge des pierres jusqu'à nos jours. A l'heure actuelle, plusieurs méthodes sont utilisées pour détecter des éléments chimiques de chaque minéral constitutif d'une roche ou d'un minerai. C'est le cas par exemple du platine, un élément du groupe des platinoïdes contenu dans la chromite.

Le platine découvert pour la première fois en 1735, tient aujourd'hui un rôle important sur la vie de l'homme. En effet, il est employé dans plusieurs domaines tels que dans l'industrie moderne, la chimie, la médecine et même en bijouterie. Les rôles joués par ce métal de valeur nous ont permis de choisir comme sujet de mémoire : **"Contribution à l'étude du modèle métallogénique des principaux indices de chromite et EGP dans trois gîtes d'Andriamena"**. Ainsi, la grande île figure parmi le petit lot des pays gîtologiquement favorable pour les platinoïdes. Pourtant, notre Pays présente 600 indices de chromite répartis sur toute l'île. Chaque indice est susceptible de contenir des platinoïdes.

Les platinoïdes sont des métaux nobles présentant des qualités inhabituelles. Ses points de fusions élevées, ses propriétés catalytiques exceptionnelles même si ils sont exposés à des milieux très corrosifs et des températures extrêmes. Ainsi, la demande en ces substances croît de façon proportionnelle à la croissance démographique, d'où la nécessité d'envisager d'autres sites susceptibles de les contenir.

Les platinoïdes renferment les six métaux suivants : le platine, le palladium, le rhodium, le ruthénium, l'iridium et l'osmium. Notre étude concerne l'un des principaux métaux essentiels : le platine. Il est inattaquable aux acides et attaqué seulement à l'eau régale bouillante, reste intact à haute température. Il est d'une rareté exceptionnelle et d'une noblesse incroyable. Son clark de 0,01 ppm indique sa rareté. Il est difficile à extraire des roches encaissantes. Son isolement nécessite un travail minutieux, coûteux et précis du fait de ses caractéristiques.

Ce mémoire a pour but de prouver l'existence du platine dans trois gîtes d'Andriamena et surtout à Ankazotaolana (la mine épuisée). Afin d'atteindre ce but, nous avons effectué des prélèvements d'échantillons, des études sur lames minces et des analyses chimiques au laboratoire Génie chimique de l'ESPA. Ce travail comporte trois parties :

- Généralités et rappels bibliographiques ;
- Etudes expérimentales ;
- Interprétation des résultats expérimentaux.

**PREMIERE PARTIE**  
GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES  
SUR LA CHROMITE  
ET  
LES PLATINOÏDES



# CHAPITRE I : LA CHROMITE DANS LE MONDE

## I- Minerai

Un minerai est un minéral ou une roche qui possède des teneurs suffisantes en un ou plusieurs éléments chimiques souvent métalliques. Ces substances présentent dans la nature des accumulations suffisamment importantes pour justifier une exploitation.

On distingue plusieurs variétés de minerais selon la substance métallique que l'on veut obtenir. A savoir :

- La bauxite, d'où l'on extrait l'aluminium,
- La chromite, le seul minerai d'où l'on extrait le chrome

Ces exemples montrent qu'à partir d'un minerai, on y extrait seulement un métal. Mais il se peut qu'à partir de plusieurs minerais, on extrait un seul type de métal [5]. A partir de :

- la magnétite ( $\text{FeOFe}_2\text{O}_3$ ),
- l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),
- la limonite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$ ),
- la sidérite ( $\text{FeCO}_3$ ),

on extrait uniquement du fer.

Dans la nature, il arrive qu'avec un minerai on extraie plusieurs métaux. C'est le cas de la smaltine  $(\text{CoNi})\text{As}_{(3-x)}$  où l'on y extrait à la fois le nickel (Ni) et le cobalt (Co).

## II- Chromite

Elle est le seul minerai de chrome pratiquement exploitable dans la nature. Signalons que le clark du chrome est d'environ 100 g/t dans l'écorce terrestre. Mais dans les roches ultrabasiques, cette valeur s'élève jusqu'à 1800 g/t si elle n'est que 200 g/t dans les gabbros et de 5 g/t dans les roches acides comme le granite [15].

## **II-1-Historique de la découverte**

En 1761, LEHMANN J- G trouva un crocoïte qui est un chromate de plomb ( $\text{PbCrO}_4$ ) dans les montagnes de l'Oural.

En 1770, PALLAS P.- S partit pour ce même site et confirma qu'il s'agit vraiment d'un crocoïte. Il trouva son utilisation dans les peintures, car la couleur jaune brillant obtenue à partir de crocoïte était à la mode.

En 1797, VAUQUELIN N. –L, fut capable de produire de l'oxyde de chrome à partir de la chromite en y ajoutant de l'acide chlorhydrique. Il détecta des traces de chrome dans certaines pierres précieuses comme les rubis, les saphirs ou les émeraudes. Avec LAUGIER, ils démontrèrent qu'on en trouvait dans presque toutes les météorites [9].

## **I-2- Description**

Le nom actuel de chromite est dû à HAIDINGER en 1845. Autrefois elle était connue sous diverses appellations, notamment celle de fer chromaté aluminé (VAUQUELIN), fer chromaté (HAÜY), ferrochromate, sidérochrome (HUOT) et chromoferrite (CHAPMAN). Du point de vue macroscopique, la chromite est formée par une association de petits grains noirs à éclat brillant de spinelle chromifère de taille comprise entre 0,3 à 0,5 mm [5]. Ces grains sont noyés soit :

- dans une gangue blanchâtre ou verdâtre, constituée par des silicates de magnésies phylliteux comme le talc et la chlorite,
- dans une gangue ultrabasique de pyroxène formée d'hypersthène, de soapstone et parfois d'une amphibole du groupe trémolite-actinote, ou plus rarement de péridotite.

La chromite, un minerai industriel comme le graphite et le mica, s'associe dans la plupart des cas avec des roches basiques ou ultrabasiques qui constituent les roches encaissantes de la chromite.

## **II-3- Genèse et gisement de chromite**

### ***II-3-1- Genèse***

La chromite provient du magma basique et du magma ultrabasique. On distingue différents modes de formation de la chromite en fonction de la nature des roches encaissantes.

### ***II-3-2- Gisement de chromite***

Les roches encaissantes de la chromite sont des roches basiques et des roches ultrabasiques qui sont probablement des roches ophiolitiques. Les ophiolites résultent des fragments de la croûte océanique et du manteau supérieur suite à une collision [35] soit entre :

- un continent et un arc insulaire,
- un continent et la croûte océanique

Des indices de chromite se trouvent au voisinage du contact manteau supérieur- croûte océanique au niveau des ophiolites. On distingue deux types d'ophiolites selon la teneur en chrome et en  $\text{TiO}_2$

Teneur	Types d'ophiolites	
	Ophiolites Iherzolithiques	Ophiolites harzburgitiques (OL $\pm$ OPX)
$\text{TiO}_2$	Riche	Plus pauvre
Cr	Chromite pauvre en Cr	Chromite riche en Cr
Localisation	Manteau	Arcs insulaires et bassins marginaux
Formes de dépôt des chromites	Stratiformes déformées	Podiformes dans les tectonites mantelliques
Apparition en contact avec la chromite	Ophiolites harzburgitiques	Dunités des tectonites de base
Qualité de la chromite	Réfractaire	Métallurgique pauvre en Al et enrichie en Pt
Roches à la base du cumulat des roches encaissantes	Dunités	Harzburgites intramantelliques

**Tableau 1 : Les deux types d'ophiolites**

#### **II-4- Gîtes de chromite**

On distingue deux types de mécanisme de formation et de mise en place des chromites.

##### ***II-4-1- Gisement ophiolitique [43]***

La plupart de gisements de chromite du monde sont encaissés par des roches basiques et ultrabasiques. Ce sont probablement des roches ophiolitiques.

Les ophiolites s'obtiennent à partir des fragments de la croûte terrestre océanique et du manteau supérieur, suite à une collision entre un continent et un arc insulaire, ou entre un continent et la croûte océanique. De ce fait, la présence de sutures ophiolitiques indique l'existence d'un ancien océan entre deux blocs continentaux, maintenant contigus, qui

engendrent à la fois des roches plutoniques et des roches microlithiques. Dans ce cas, un complexe ophiolitique montre un passage entre basaltes et péridotites

Les ophiolites renferment très souvent des indices de chromites à morphologie complexe, au voisinage du contact manteau supérieur – croûte océanique. On distingue deux types d'ophiolites :

- les ophiolites lherzolitiques, liées à un manteau appauvri à chromites pauvres, riche en  $\text{TiO}_2$
- les ophiolites harzburgitiques associées aux arcs insulaires et aux bassins marginaux, plus pauvres en  $\text{TiO}_2$  à chromites riches en Cr.

BOWEN suggère que ces deux roches proviennent de la fusion d'une roche mère ayant la composition d'une péridotite à feldspaths (allivalite : roche ultrabasique à cumulat d'olivine et plagioclases d'intercumulat) :

- des basaltes à débit en oreiller (pillow-lava),
- des dolérites, des roches à texture massive, grises ou noires, composées de labrador disposé en bâtonnet baignant dans l'augite,
- des diorites quartziques, des diorites gabbroïques et les péridotites. Ces péridotites élaborent la masse essentielle du complexe. On y trouve une zone basale de dunites, composés de cristaux d'olivine et par endroits, on constate des lits de chromite.

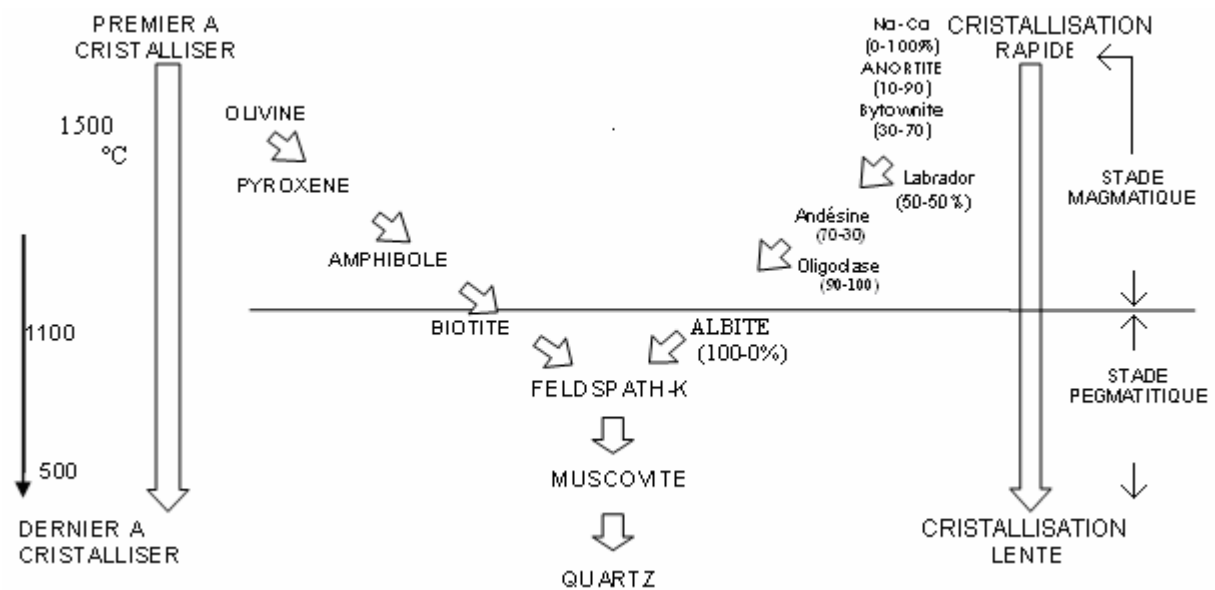
Ce cortège ophiolitique résulte d'une différenciation magmatique par fusion-percolation-ségrégation donnant ces roches basiques et ultrabasiques. Les gisements ophiolitiques résultent de l'association de ces roches avec les roches microlithiques correspondantes. Ce cortège recèle des précieuses minéralisations de chrome.

#### ***II-4-2- Gisement magmatique normal***

La chromite se forme à partir de la cristallisation fractionnée du magma. Elle peut avoir lieu en même temps que se forment les roches silicatées lors de la cristallisation des silicates fondus : le magma. Suivant la variation de la température et de la pression dans les profondeurs de la croûte, on constate une répartition variable du magma en ces constituants (cristaux, partie fluide).

D'après l'expérience de BOWEN sur des composés complexes, au cours de la cristallisation des minéraux constitutifs des roches éruptives, cristallisent en premier lieu les minéraux les plus réfractaires tels que l'olivine, le pyroxène, les plagioclases basiques avec une formation des roches ultrabasiques telles que les pyroxénolites et les péridotites, ensuite, se cristallisent des minéraux plus fusibles tels que le feldspath et le quartz suivis d'une formation des roches acides telles que les syénites, les granodiorites et les granites [5].

En même temps que ces roches éruptives se forment, des minerais de valeurs vont cristalliser et donnent parfois des gîtes d'origine magmatique comme la chromite.



**Figure 1: Cristallisation fractionnée discontinue et continue des minéraux [10]**

Cette Figure 1 présente à gauche la série discontinue des ferromagnésiens, car, on ne passe pas directement d'un minéral à un autre. La structure cristalline et la nature de chaque minéral sont différentes. Dans le cas d'un magma hyposiliceux, les olivines apparaissent à haute température. Lorsque la température décroît, une partie des olivines formées réagit avec la phase liquide et permet l'apparition de pyroxène. Puis, lors d'une autre décroissance de température, une partie des pyroxènes formés réagit avec la phase liquide et on a l'apparition de l'amphibole. Enfin, pour une baisse de température à celles précédemment, une partie des amphiboles formées réagit avec la phase liquide et conduisent à la formation du mica noir et ainsi de suite jusqu'à l'apparition du quartz au cours de la réaction de cristallisation.

A droite, la cristallisation des plagioclases tient compte de la teneur en Na et de SiO<sub>2</sub>. Lors de la décroissance thermique, une partie des plagioclases riches en Ca réagit avec la phase liquide et on obtient des plagioclases pauvres en Na, au fur et à mesure de la formation du quartz qui s'ajoute au liquide restant lors de la cristallisation. On parle d'une suite réactionnelle continue du fait que les deux plagioclases (anorthite et albite) ont la même structure. Ils échangent des ions avec la partie liquide lors de la décroissance thermique. Ainsi, en fonction de la teneur en SiO<sub>2</sub> du magma initial, les différents minéraux acquièrent une stabilité à différentes températures.

#### *II-4-2-1- Gisement magmatique précoce*

Au cours de la cristallisation du magma, la chromite se sépare de ce dernier et forme des cristaux avant la naissance des roches silicatées à une température de 1000 à 1300°C. Elle se

présente sous forme de nids, de lentilles ou des taches. La chromite se dissémine progressivement en passant dans les roches ultrabasiques stériles.

Par endroits, la chromite offre des concentrations remarquables disposées en strates orientées parallèlement les unes aux autres dans les intrusions litées et associées au platine.

**Exemples :** Les gisements de chromite du Bushveld (en Afrique du Sud) et du grand dyke de Zimbabwe.

#### *II-4-2-2- Gisement magmatique tardif*

C'est après la cristallisation du magma que la chromite prend naissance. Les silicates formés constituent le ciment du minerai. Quelquefois, ils remplissent les fissures dans les roches mères formant ainsi les filons de minerai. Ainsi, la chromite présente un grand développement de corps filoniens et lenticulaires qui peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de mètres avec une puissance de quelques dizaines de mètres. La chromite se localise ainsi dans des zones particulières, dans les charnières des plis et dans les cassures.

Les géologues supposent alors que le processus de formation de chromite a été accompagné de déformation tectonique.

**Exemples :** Gisements en Russie, chromite de Fethiye en Turquie, chromite du Mont de Pulog sur les îles Philippines [39].

### **II-5- Répartition et différentes formes de gisements de chromite dans le monde**

La répartition de gisement de chromite à la surface du globe terrestre est nombreuse surtout en Grèce, en Nouvelle Calédonie et au Transvaal. Ayant plusieurs critères de détermination, la chromite présente un faible pouvoir réflecteur, une forte dureté et d'isotropie dont les réflexions internes sont caractéristiques.

Dans les roches éruptives basiques et ultrabasiques, la chromite se dispose soit sous forme :

- de nids ou de lentilles ou en taches (gisement magmatique précoce),
- de strates, des filons ou des stocks (gisement magmatique tardif),

de lopolites présentant une différenciation verticale, les minerais de densité élevée se trouvant à la base, sont surmontés des roches basiques. Ainsi, on peut résumer les gisements de chromite en deux sites :

- dans des niveaux stratiformes déformés au sein des dunites,
- sous forme podiforme dans les tectoniques mantelliques, d'après BOULADON en 1986 [33].

### ***II-5-1- Niveaux stratiformes déformés***

Les chromites stratiformes apparaissent plutôt dans les ophiolites harzburgites d'après OHNENSTETTER en 1985. Elles sont encaissées dans les dunites, à la base des cumulats ultrabasiques, au dessus de l'unité tectonique le manteau. Elles caractérisent le type de chromite réfractaire. Dans ce cas, les dépôts de chromite ressemblent à ceux des complexes stratifiés, volumétriques mais beaucoup plus petits.

### ***II-5-2- Podiforme dans les tectonites mantelliques***

L'origine des chromites podiformes est associée à des processus magmatiques:

- la fusion partielle incongruente du clinopyroxène dans le manteau,
- la cristallisation fractionnée dans la séquence à cumulats,
- la fusion multiple ou la cristallisation dans des failles précoces.

Dans les tectonites, les chromites s'accumulent soit :

- par une contamination avec l'encaissant,
- sous l'effet d'une phase fluide riche en gaz volatils ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

## **II-6- Traits caractéristiques de la chromite**

### ***II-6-1- Composition chimique***

La chromite est de composition théorique  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ . A l'état pur, elle contient 32,02% de FeO et de 67,91 % de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  mais dont la composition réelle varie suivant :

- les pôles magnésio-chromite ( $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ ) et ferrochromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ),
- vers les pôles hercynite ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ) et spinelle ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ).

### ***II-6-2- Cristallographie***

La chromite cristallise dans le système cubique, elle se présente rarement en cristaux. Elle est massive, finement granulaire à compacte avec une cassure grenue ou écailleuse dont celle de chaque grain étant conchoïdale.

### ***II-6-3- Minéraux associés à la chromite***

Ce sont surtout la pyrrhotite, la magnétite, l'ilménite, et éventuellement les platinoïdes.

### ***II-6-4- Propriétés physiques***

La chromite présente un éclat métallique à mat. Ses particules en se détachant forment une poussière noire. Dépourvue de clivage, elle présente un plan préférentiel de séparation détectée chez certains échantillons, à cassure inégale. A l'échelle de Mohs, la chromite se situe

aux environs de 5,5 si sa densité moyenne est de 5,12. Signalons qu'au test de la flamme, la chromite devient magnétique.

#### ***II-6-5- Propriétés chimiques***

La chromite est un minerai inoxydable. Elle reste intacte à l'action de l'eau. Insoluble dans les acides comme HCl, mais elle se décompose par fusion dans KHSO<sub>4</sub> [9], [26].

#### ***II-6-6- Propriétés optiques***

La chromite présente une variété de couleurs suivant la lumière. Ainsi, en lumière naturelle, elle est verte à noire brunâtre. Tandis qu'en lumière réfléchie, elle est blanc grisâtre avec des réflexions internes brunâtres. Translucide à opaque, son indice de réfraction varie de 2,08 à 2,16 avec un pouvoir réflecteur de 12,7 à 11,7 % pour des longueurs d'ondes comprises entre 4700 à 6500 Å.

### **II-7- Utilisations**

Caractéristiques	Utilisations			
	Métallurgique	Chimie et parachimie	Réfractaire	Sable de fonderie
Teneur en Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥ 47 %	Chrome ayant une valence supérieure à 6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 57 et 63 %	Tous types de chromes
Ratio : Cr/ Fe	> 3		Fe < 10 % Cr ≈ 25 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≈ 38 %	Tous types de chromes
Teneur en SiO <sub>2</sub>	8 à 10 %			
Granulométrie	Minerai rocheux de 25 mm			
Exemples précis d'utilisation de chromite	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ferrochrome</li> <li>➤ Alliage (acier inoxydable)</li> <li>➤ Plaquage au chrome</li> <li>➤ Enduit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Oxydant réducteur</li> <li>➤ Phosphochromatation</li> <li>➤ (bandes d'aluminium pour conserverie)</li> <li>➤ Aciers galvanisés</li> <li>➤ Revêtements électrolytiques de zinc</li> <li>➤ Polissage des métaux</li> <li>➤ Satinage des lingers</li> <li>➤ Brillantage chimique ou électrolytique</li> <li>➤ Décoration</li> <li>➤ Pigments dans la peinture, vernis, porcelaines, faïences</li> <li>➤ Tannerie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Briques réfractaires : revêtement des fours Martin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Les moules Moulage d'aciers spéciaux ou au carbone</li> </ul>

**Tableau 2 : Caractéristiques et utilisations de la Chromite**



### III- CHROME

Le chrome se trouve rarement à l'état naturel sous sa forme élémentaire. Il est rencontré dans les roches magmatiques (ou ignées) où il se substitue facilement au fer, qui possède un rayon ionique proche de celui du Cr(III). Les roches ultrabasiques (dunites, serpentinites, péridotites) sont les plus riches en chrome, où cet élément provient principalement de la chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4(\text{s})$ ) et partiellement de la crocoïte ( $\text{PbCrO}_4$ ) [20].

### IV- METALLOGENIE

Les gisements associés aux roches plutoniques basiques à ultrabasiques correspondent à un magmatisme mantellique. Le manteau présente environ les 83 % du volume de la terre. Il se compose de péridotite (olivine), d'harzburgite (olivine, orthopyroxène, spinelle) et de lherzolite (olivine, orthopyroxène, clinopyroxène, spinelle).

Plus le magma monte vers la surface, il y a fusion du manteau. Cette fusion se traduit par la formation des roches de profondeur telles que les werhlites, les pyroxénites, les anorthosites, les gabbros à orthopyroxène ou les norites. Ainsi, la différenciation magmatique contrôle en grande partie l'évolution des magmas et conduit à des concentrations primaires d'éléments métalliques [29].

Ce sont des teneurs en Fe, Mg et (ou) Ca qui sont pour la plupart syngénétiques et constitués de métaux aux propriétés sidérophiles (Fe, Cr, Ti, Pt,...) et/ ou chalcophyles (Ni, Cu, Pt, Pd,...) Les minéralisations résultent dans la plupart des cas de processus d'immiscibilité d'un liquide sulfuré, oxydé ou non dans un bain silicaté. Elles apparaissent associées suivant le cas aux matériaux du manteau supérieur mis en place profondément dans la croûte. Des reprises hydrothermales permettent une augmentation des teneurs [33].

Les métaux des roches basiques et ultrabasiques sont des éléments de transition: principalement le titane, le vanadium, le chrome, le nickel. Ce groupe occupe les 70% de la production mondiale. Ensuite, le cuivre occupe les 2%, si les platinoïdes tiennent les 99% mondial. Le fer, le manganèse, l'étain, le soufre et le cobalt constituent parfois des sous-produits.

## CHAPITRE II : LE PLATINE ET LES PLATINOÏDES

### I- Historique du platine

Autrefois, ce métal était utilisé par les indiens précolombiens. Plusieurs noms ont été donnés à ce métal. En Europe vers 1557 dans les écrits de l'humaniste italien Julius Caesar SCALIGER (1484-1558) le décrit comme un métal mystérieux venant de mines situées entre Darién (Panama) et Mexico. Plus tard, il fut nommé par les espagnols de "platina" (petit argent).

Etymologiquement, il vient de platina, diminutif de plata qui signifie "argent" en espagnol. Un terme originaire d'Espagne, il figure parmi les richesses des tribus indigènes découvert par les colons espagnols à leur arrivée en Nouvelle Grenade (en Colombie), appelé autrefois "Platina del Pinto".

Le platine a été découvert par les astronautes Antonio de ULLOA et don Jorge Juan y SANTACILIA. Cette découverte a eu lieu lors de l'expédition géographique au Pérou qui dura 10 ans (de 1735 à 1745) avec l'appui du roi PHILIPPE V d'Espagne. ULLOA l'a constaté en association avec l'or en Nouvelle Grenade. Tandis qu'en 1741 Charles WOOD arriva à isoler cet élément de platine.

La couleur grise du platine ressemble à celle de l'argent terni. Le platine est un métal argenté, rare, très lourd et mou. Il ne réagit ni avec l'oxygène, ni avec l'eau.

Plus tard, vers 1820 le gouvernement russe utilisa le platine pour fabriquer des petites pièces de monnaie de 5 roubles qui étaient auparavant en argent. Mais le public préférait les pièces en argent beaucoup plus brillant. Devant le refus catégorique de la nouvelle monnaie par la population, les autorités étaient contraintes de la retirer de la circulation [30]. Jusqu'à ce jour le platine est considéré comme un simple métal vulgaire.

Du fait des pouvoirs catalytiques et des résistances à hautes températures du platine, les métallurgistes inventèrent des nouvelles techniques et des nouveaux appareils (la métallurgie des poudres et le chalumeau oxyhydrique), car les techniques de fusions traditionnelles sont inefficaces. Ainsi, l'utilisation du platine à l'heure actuelle est un luxe. Il est considéré comme un métal plus précieux que l'or car il coûte environ deux fois plus cher que l'or. Ainsi, une récompense de platine est plus meilleure qu'une récompense en or.

## **I-1- Description**

### ***I-1-1- Métaux natifs***

Les platinoïdes appartiennent aux éléments des trois triades qui constituent le groupe VIII de la classification périodique de Mendeleïev que l'on peut distinguer en deux familles distinctes :

- la famille des métaux de transition du groupe du fer, du nickel et du cobalt,
- la famille des platines (ou métaux platinoïdes) groupe le platine, l'iridium, le rhodium, le palladium, l'osmium et le ruthénium. Un des éléments de cette dernière famille concerne le sujet de notre mémoire. Il s'agit du platine.

Le platine est un métal à la fois précieux et industriel. La composition du platine natif varie entre 70 et 90% de Pt. Le reste présente une proportion variable des autres éléments de la famille des platinoïdes (Ir, Os, Rh, Pd, Ru) avec une proportion variable de fer, mais faible en teneur de cuivre, de nickel et d'or [11].

Le platine appartient au système cubique. Les différentes formes des cristaux observés peuvent être cubique (4 faces) ou octaédrique (8 faces). Il se présente sous forme d'inclusion microscopique en grains, en écailles et parfois en pépites dans les sables et les graviers. Sa cassure est esquilleuse, malléable et ductile. Sa dureté est comprise entre 4 à 4,5.

### ***I-1-2- Métaux de la famille de platine***

Les métaux de la famille de platine se forment par combinaison avec le soufre, l'arsenic et le bismuth.

### ***I-1-3- Principaux éléments associés au platine***

Lorsque le platine se trouve à l'état natif, la sperrylite (arséniure de platine :  $\text{PtAs}_2$ ) est surtout la source principale du métal. Lorsqu'il y a alliage platine-iridium naturel (platiniridium), la cooperite (sulfure de platine :  $\text{PtS}$ ) est la principale source de ce métal, et la braggite.

Signalons que le platine peut être extrait comme sous produit du traitement du minerai de nickel dont la teneur peut atteindre jusqu'à 2 g / t ou 2 ppm [33].

### ***I-1-4- Minerais de platine***

Une proportion importante de platinoïdes associés aux gisements de sulfure, de nickel et de cuivre se trouve à l'état solide avec inclusion microscopique indiscernable de sulfure et d'autres métaux. Dans les roches ultrabasiques, une certaine proportion de ce métal peut également être contenue dans la chromite.

## **I-2- Types de gisements de platine [18]**

### ***I-2-1- Oural***

Il se caractérise par des massifs bien différenciés de Gabbro péridotite, généralement à noyau de dunite entouré d'une auréole de pyroxénolite. Ses minéraux caractéristiques sont le platine natif, le platiniridium, l'iridosmine et la chromite. Tandis que les métaux typiques sont le platine, l'iridium, l'osmium et le chrome. Les plus beaux cristaux de platine se trouvent dans l'Oural. Ils sont légèrement émoussés.

### ***I-2-2- Bushveld***

Ce gisement est caractérisé par des massifs stratoïdes de nature Gabbro noritique. Les minéraux caractéristiques sont le platine natif, l'arsenic, le sulfure de fer avec une proportion importante de platine. Les métaux typiques sont le platine, le palladium, le ruthénium, le nickel, le cuivre et l'or

### ***I-2-3- Thompson***

Ce type de gisement se caractérise par le massif ultrabasique du type "ALPIN" formé essentiellement de péridotite et de serpentinite.

## **II- Propriétés physico-chimiques de platine**

### **II-1- Propriétés physiques**

Les éléments de platinoïdes sont des métaux de couleurs gris d'argent à gris noir. Le platine présente un éclat métallique, de couleur gris acier à gris foncé. Sa température de fusion est très élevée avec un pouvoir catalytique important. La dureté du platine est de 4 à 4,5 ; tandis que sa densité est comprise entre 14,0 à 19,0 et approche les 22 à l'état pur. Il n'a aucun clivage, mais à la fois malléable et ductile, et quelques fois magnétique.

### **II-2- Propriétés chimiques**

Aux platinoïdes sont attribués le terme de métaux nobles du fait de leur énergie de sublimation et de leur potentiel d'ionisation particulièrement élevés.

Leur réactivité vis-à-vis de l'oxygène varie dans l'ordre suivant  $Os > Ru > Ir > Rh > Pd > Pt$ . Ainsi, alors qu'à l'état divisé, l'Os s'oxyde dès la température ambiante, pourtant il faut atteindre une certaine valeur de 600 et 700°C pour oxyder le Ru et le Pt.

Le platine se dissout dans de l'eau régale (mélange de deux acides) diluée et chauffée à 90°C. Il est insoluble dans l'acide chlorhydrique et dans l'acide nitrique. L'eau régale lui permet de se séparer des autres métaux du groupe des platinoïdes.

Il est important de signaler que le platine ne s'oxyde pas à l'air libre mais il peut être corrodé par le cyanure, les halogènes, le soufre et les métaux alcalins caustiques [11].

Caractéristique	Platine
Symbole chimique	Pt
Nombre atomique	78
Poids atomique	195,23
Poids spécifique à 20°C	21,45
Rayon atomique	1,38 Å
Valence	2 - 4
Rayon ionique	0,80 Å-0,65 Å
Point de fusion	1768,4°C
Point d'ébullition	3825 °C
Température critique	8177 °C
Plusieurs isotopes	<sup>190</sup> Pt, <sup>192</sup> Pt, <sup>194</sup> Pt, <sup>195</sup> Pt, <sup>196</sup> Pt, <sup>198</sup> Pt

**Tableau 3 : Caractéristiques du platine**

Parmi les isotopes du platine naturel, cinq sont stables et un radioactif, le <sup>190</sup>Pt, de très longue période radioactive (650 milliards d'années) [45].

Le platine et les platinoïdes ont des caractéristiques catalytiques exceptionnelles. En présence du platine, le mélange de dihydrogène et de dioxygène explose. Ainsi, le platine catalyse la réaction exothermique. L'augmentation consécutive de la température provoque un emballement de la réaction et résulte l'explosion.

Un point négatif du platine est sa toxicité. Il détruit l'ADN. Mais cette qualité néfaste est quelques fois nécessaire pour traiter certains cancers en chimiothérapie.

### II-3- Composition

Le platine est rarement pur. Il comporte des impuretés comme le fer, et est mélangé à d'autres éléments du même groupe chimique (Ir, Os, Ru, Rh, Pd). De ce fait, on distingue des variations dans les valeurs du poids spécifique.

## **II-4- Propriétés catalytiques**

Les platinoïdes ont une activité catalytique forte, surtout pour les réactions d'hydrogénation ou de déshydrogénation. Ces pouvoirs catalytiques trouvent leurs origines dans les orbitales d vacantes qu'ils possèdent. La configuration de ces orbitales de valence est favorable à la chimisorption de  $H_2$  à la fois du point de vue électronique et du point de vue géométrique. Ces orbitales d vacantes permettent en effet d'accepter les électrons des réactifs (chimisorption) et leur nombre est suffisamment faible, contrairement aux éléments des groupes IIIA à VIIA pour permettre la désorption (condition nécessaire à tout acte catalytique).

Le facteur géométrique concerne l'espacement des atomes métalliques. Cette géométrie détermine en effet l'énergie de l'état de transition, et donc l'énergie d'activation de l'adsorption. Pour les éléments du groupe VIII, ce facteur géométrique est optimal [18].

## **II-5- Gisement**

Le platine se trouve en placer et en alluvions, quelques fois en association avec l'or. Le gisement primaire demeure dans les roches basiques et ultrabasiques telles que les dunites, les pyroxénites à olivine et les gabbros [22].

Les EGP peuvent être associés avec les gîtes de chromite quand ils se trouvent avec les péridotites des complexes ophiolitiques. Exemple : gisement de Nouvelle-Calédonie

Les gisements de EGP peuvent être associés aux complexes stratifiés :

- associés aux intrusions litées. Exemple : le Bushveld de l'Afrique du Sud,
- Pt et Pd associés à des Reefs (minces horizons stratiformes). Exemple : Merensky Reef dans le complexe lité du Bushveld pouvant atteindre jusqu'à 18 g/t de EGP,

Les EGP peuvent être associés à des gisements de nickel et cuivre :

- liés à des intrusions différenciées de norite sous forme d'amas lenticulaires dans de pyrrhotite, de chalcopryrite. Ce sont surtout le Pt, le Pd et le Rh.

Exemple : Sudbury au Canada,

- associés aux complexes effusifs soit aux komatites (Exemples : intrusions de Kambalda en Australie, intrusions de Katinik-Raglan au Québec), soit associés à des tholéïtes. (Exemple : le gisement de Noril'sk en Russie) [8], [33]

## **II-6- Répartition des platinoïdes**

Les platinoïdes comptent parmi les éléments rares à la surface du globe terrestre. Les six métaux des platinoïdes existent à l'état naturel, souvent combinés en alliages divers.

Les principales mines sont situées en Afrique du Sud et en Russie. Le premier pays produit les 75 % de la production mondiale, tandis que la Russie en produit les 15 % si seulement un faible pourcentage se répartit pour le reste des pays du monde en 2003.

Le platine est essentiellement fourni par l'Afrique du Sud, tandis que la Russie est le premier producteur mondial de palladium avec 60 % de l'approvisionnement [30].

<b>Pays</b>	<b>Production en tonne</b>	<b>Pourcentage de la production</b>
Afrique du Sud	148,3	75,8
Russie	29,6	15,1
Canada	7,4	3,8
Zimbabwe	4,4	2,2
Etats-Unis	4,1	2,1
Total pour les cinq pays	193,8	99,0
Le reste du monde	1,9	1
Total monde	195,7	100,0

**Tableau 4 : Données 2003, métal contenu dans les minerais et les concentrées,**  
(Source : L'état du monde 2005)

### III- Critères d'évaluation du potentiel en ÉGP

La méthode préconisée par Sarah Barnes et ses collègues en 1993 dans leur étude du potentiel en ÉGP de l'Abitibi nous facilite la compréhension de ce phénomène. Elle utilise les rapports inter éléments tels que Cu/Pd, Ni/Pd, Cu/Pt et Cu/Ir et permet de déterminer si les échantillons proviennent d'un contexte fertile ou non en ÉGP [2].

Signalons que cette méthode n'évalue pas le potentiel en Cu-Ni. Pourtant, ce dernier peut dominer sur la valeur des EGP.

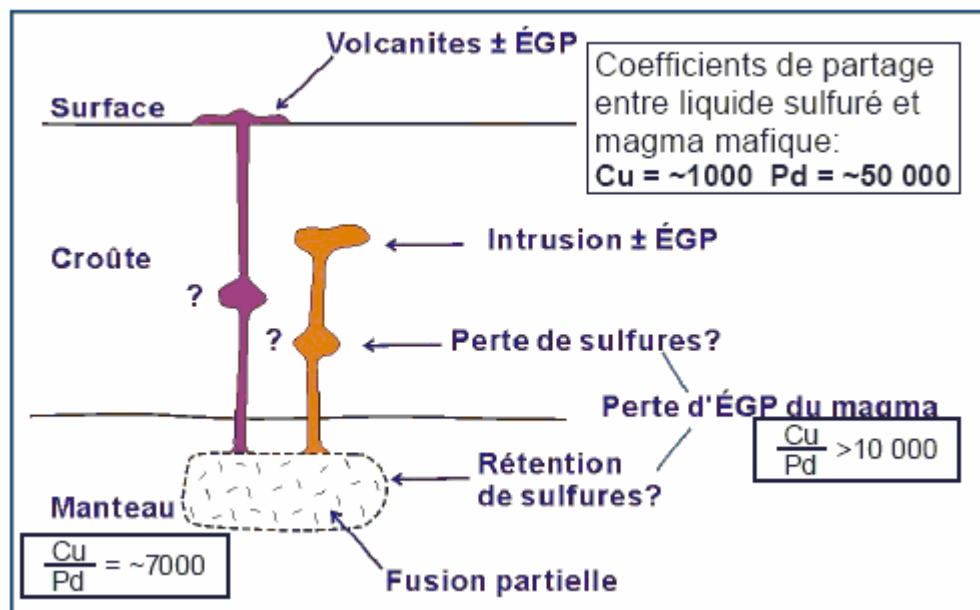


Figure 2 : Facteurs contrôlant les ÉGP [2]

La source des ÉGP est le manteau. Ils sont incorporés dans un magma mantellique produit par sa fusion partielle. Un gisement est enrichi en ÉGP si ce magma arrive à atteindre son site de mise en place soit :

- dans une intrusion,
- sous forme de laves, avec tout son complément initial en EGP.

Ainsi, on distingue deux types de gisement des EGP :

- le magma appauvri en EGP,
- le magma enrichi en EGP.

#### III-1-Magma

##### III-1-1- Magma appauvri en EGP

Deux cas peuvent se présenter :

- Si le taux de la fusion partielle du manteau est insuffisant, une partie des sulfures et des EGP reste dans le manteau. Un phénomène qui s'explique par la grande affinité des EGP pour les sulfures. D'où le magma est appauvri en EGP,



- Si au cours de la montée du magma vers la croûte, des sulfures perturbent cette montée par des alternations le magma perd ses EGP et devient appauvri.

Bref, une minéralisation de sulfure s'accompagne toujours d'un magma probablement pauvre en EGP.

### ***III-1-2- Magma enrichi en EGP***

Si au cours de la montée du magma vers la croûte, tous les sulfures y sont incorporés. Il est probable que les compléments des EGP demeurent dans le magma et ce dernier est enrichi en EGP.

### ***III-2- Interprétation***

Pour savoir si un magma est appauvri ou enrichi en EGP, il est plus facile de se référer au rapport Cu/Pd. Sa valeur dans le manteau primitif est d'environ 7000. Cette valeur est transmise au magma si tous les sulfures dans le manteau sont incorporés dans le magma.

Si on observe dans une roche un rapport Cu/Pd d'environ 10 000 ou moins, le magma était fertile en EGP.

Si par contre, des sulfures demeurent dans le manteau ou bien ils ont été perdus au cours de la montée du magma. Le rapport Cu/Pd est plus grand que celui du manteau, soit plus grand que 10 000. Ce phénomène se traduit par la grande affinité du Pd pour les sulfures que le Cu, tel qu'exprimé par leurs coefficients de partage très différents, le magma était appauvri en EGP [3].

### **III-3- Evaluation du potentiel en EGP [8]**

Une autre méthode qui consiste à évaluer le potentiel en EGP est celle utilisée au Québec. Cette méthode consiste à déterminer l'appauvrissement ou l'enrichissement des sulfures à partir des échantillons de gîtes connus. L'information reçue sert de guide. Si les magmas associés aux sulfures étaient fertiles en EGP on obtient des gîtes de type EGP dominants. Dans le cas contraire, il s'agit des gîtes à EGP comme sous produit dans des gîtes à nickel cuivre par exemple.

Pour avoir de plus ample résultat, il faut tenir compte des rapports interéléments des échantillons tels que Cu/Pd, Ni/Pd, Cu/Ir et Cu/Pt cités dans le paragraphe ci-dessus, ainsi que sur les concentrations en métaux par rapport à leur concentration moyenne dans le manteau [3].

A l'aide des diagrammes ci-dessous, nous pouvons constater les relations entre Cu/Ir et Cu/Pt. Ils indiquent que des échantillons minéralisés sont enrichis ou non en EGP par rapport à des roches volcaniques variablement évoluées (komatiites, basaltes riches en Mg, basaltes calco-alcalins, basaltes de plateau). Les intrusions litées et les coulées volcaniques des magmas fertiles

en EGP sont de bonnes cibles pour extraire les rapports des éléments. Si on réalise expérimentalement dans un laboratoire, un gîte enrichi en EGP, il faut que le magma soit saturé en sulfure et contenir une quantité suffisante d'EGP juste avant son arrivée au site de mise en place. Dans le cas contraire, les intrusions et les coulées appauvries en EGP sont moins favorables. Si l'EGP est présent, il se localise dans ces endroits mais qui sont stratigraphiquement plus basses que le site d'échantillonnage, soit dans un dyke en relation avec cette intrusion, soit dans une intrusion apparentée plus profonde [2].

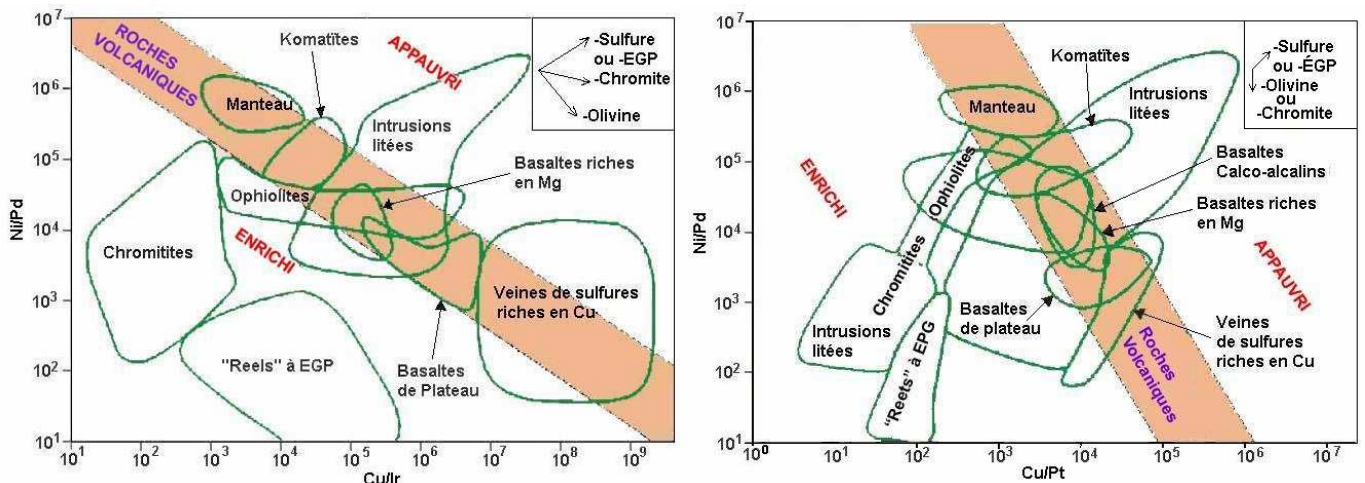


Figure 3 : Diagrammes interéléments pour évaluer le potentiel en ÉGP [2]

## IV- Utilisations

Les principales utilisations des métaux platinoïdes sont liées à leurs propriétés physiques (conducteur et malléable), à leurs propriétés chimiques (métaux nobles) et à leurs propriétés catalytiques. Ainsi, le platine est utilisé dans plusieurs domaines.

### IV-1- Génie chimique

Le platine tient un rôle important en chimie du fait de son point de fusion élevé et de sa résistance aux acides. Ainsi, il favorise les réactions chimiques sans entrer dans des combinaisons.

Le platine est utilisé comme matériaux de construction et catalyseur. Sous la forme d'anode à platine, il sert de dépôt de cuivre, de cobalt et de nickel. Du point de vue oxyde, il s'emploi dans le dépôt d'oxyde de plomb et d'oxyde de manganèse.

L'alliage platine-rhodium sous forme de gaz permet de catalyser l'oxydation partielle de l'ammoniac pour la production de l'oxyde nitrique qui intervient dans la fabrication d'engrais, d'explosifs et de l'acide nitrique.

Des catalyseurs au platine sont de grands usages dans le raffinage et la transformation du pétrole, et plusieurs autres processus utilisant ces catalyseurs sont encore utilisés pour la production d'essence et des composés aromatiques dans la pétrochimie [11].

#### **IV-2- Génie électrique**

Sous forme de fil de platine spiralé sur de mica ou du silice, le platine est utilisé en thermométrie. C'est le cas par exemple des thermocouples, du pyromètre à canne et du thermomètre à résistance de platine.

Tandis que sous forme de métal platine, il est utilisé comme matériels électriques. Prenons le cas par exemple des électrodes comme contacts électriques, des relais et des régulateurs de voltage. Il est parfois utilisé comme commutateurs de moteurs électriques, des bougies émettrices d'étincelles et des tubes électroniques.

Ce métal noble se trouve utiliser sur des magnétophones de haute tension. Lorsqu'il est allié au cobalt, il permet de fabriquer des aimants très puissants que l'on utilise pour les étalons de masse et de longueur. Signalons que le platine est un métal de valeur qui peut atteindre jusqu'à 465 € pour 5 g quand il est à 99.9 % de pureté en granules [18].

#### **IV-3- Génie industriel**

Le platine associé avec le palladium joue le rôle de catalyseur dans l'industrie automobile pour la fabrication des pots catalytiques destinés à réduire les émissions de monoxyde de carbone par catalyse des réactions de transformation des gaz d'échappement des véhicules. Ainsi, il est utilisé comme antipolluant lors de l'oxydation du monoxyde de carbone et des gaz polluants dégagés des hydrocarbures imbrûlés des moteurs.

#### **IV-4- Médecine moderne**

Le métal de platine ou le métal de palladium est employé comme dispositifs de cautérisation et d'aiguilles hypodermiques au cours de certaines opérations chirurgicales.

Le platine associé avec le palladium mais sous forme métal est utilisé dans l'industrie dentaire où il s'emploi comme alliage d'une part, et permet de renforcer la résistance de la porcelaine des dents artificielles d'autre part.

L'alliage platine-osmium 90/10 permet de fabriquer des stimulateurs cardiaques, des valvules cardiaques artificielles ou d'autres implants.

Les substances fabriquées à partir du platine comme le cisplatine  $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$  et le carboplatine sont très efficaces pour le traitement de certains cancers comme la leucémie, le cancer des testicules et le cancer de la vessie [42].

#### **IV-5- Matériels de laboratoires**

Le platine associé à de très faible dose d'un oxyde réfractaire intervient dans la fabrication des spatules, des cuillers, des nacelles, des capsules, des bassines, des alambics, des creusets en platine, des anodes et des agitateurs pour la colorimétrie.

#### **IV-6- Bijouterie**

Le platine marque les 70<sup>ème</sup> année de mariage dans les traditions françaises à cause de sa rareté exceptionnelle.

En 1996, les joailliers japonais ont consommé plus de 46 t de platine d'une valeur supérieure à celle utilisée comme catalyseur pour automobile dans les pays à économie de marché. L'industrie du platine pris place dans la consommation de joaillerie par l'application du concept "platinum 1000" d'après Bill Mc CUTCHEON.

#### **IV-7- Autres utilisations**

Le platine est nécessaire pour protéger le nez des missiles et d'autres parties du corps exposés à une haute température comme les injecteurs des moteurs de réaction, des dispositifs qui doivent fonctionner durablement à des hautes températures.

L'alliage platine-cobalt avec 76,7 % de Pt et 23,3 % de Co en masse permet de construire un aimant extrêmement puissant dû à ses propriétés magnétiques.

Le pouvoir catalytique de platine permet de transformer le méthanol vapeur en formaldéhyde utilisé dans la fabrication de briquets ou de chauffeuses à alcool [11].

### **V- Principales sources d'exposition (Sels)**

La teneur de platine dans la croûte terrestre est comprise entre 1 à 5 µg/kg d'après l'OMS en 1991 où il se trouve sous forme métallique ou combiné à certains minéraux, principalement la sperrylite Pt As<sub>2</sub>, la coopérite (Pt, Pd)S, et la braggite (Pt, Pd, Ni)S dont les teneurs respectives sont 52 à 57 %, 80 à 86 % et 58 à 60 % d'après l'étude effectuée par Kirk OTHMER en 1982. Souvent, on le trouve également combiné aux sulfures de cuivre et de nickel.

**DEUXIEME PARTIE**  
**ETUDES EXPERIMENTALES**

## **Introduction**

Au cours de notre descente sur terrain à Andriamena, nous avons effectué un prélèvement qui consiste à recueillir des échantillons de chromite et de leur roche encaissante. Ainsi, nous avons recueilli une vingtaine d'échantillons (25).

Arrivés à Antananarivo, nous les avons analysé dans le but de mettre en évidence l'existence ou non des platinoïdes, plus exactement les platines. Nous avons effectué deux types d'analyse afin d'obtenir des résultats plus probables et plus proches de la réalité. Le premier consiste à faire une analyse chimique au laboratoire Génie Chimique de Vontovorona d'une durée de un mois et demi, et le second permet de distinguer l'arrangement des minéraux constitutifs de certains échantillons sur une lame mince effectuée au laboratoire de Géologie à la faculté des sciences Ankatso d'une durée de un mois.

Cette partie contient deux grands chapitres, le premier consiste à analyser les roches par utilisations des réactifs et par chauffage au four à haute température. Le second chapitre nous permet d'avoir un aperçu général sur la disposition des cristaux à partir de l'étude des lames minces.

## CHAPITRE I : ANALYSE CHIMIQUE

L'analyse chimique consiste à déterminer la teneur en platine sous la forme PtO dans la chromite et dans ses roches encaissantes (s'il y en a). Afin d'aboutir à cette analyse, nous avons choisi la fusion alcaline et la méthode de détection par la spectrophotométrie UV. Cette analyse comporte plusieurs étapes. Pour mieux les comprendre nous retracerons brièvement les grandes lignes en partant de la chromite qui est la substance brute avec ces roches encaissantes jusqu'à la détection de la teneur en platine contenue dans ces substances.

En effet, la fusion alcaline est une étape nécessaire pour aboutir à la spectrophotométrie UV. Il s'agit de mélanger le  $\text{KHSO}_4$  avec la chromite ou la roche encaissante micronisée puis mis au four à  $700^\circ\text{C}$ : la calcination ou l'incinération. L'ensemble est porté à ébullition avec une solution de  $\text{HCl}$   $\frac{1}{2}$ , puis filtrer afin d'obtenir une solution verte ou jaune utilisée pour la spectrophotométrie UV. Ensuite, il faut préparer la solution étalon qui joue le rôle de référence pour chaque solution citée précédemment. En fait, l'étalon est un l'ensemble formé par le double acide de  $\text{HNO}_3$  et d' $\text{HCl}$  (eau régale) porté à ébullition avec le PtO arrivant même jusqu'à la dissolution de celui-ci pendant environ 4 heures. Pour terminer, nous pouvons détecter la teneur en PtO de la solution verte ou jaune (chromite ou roche encaissante) par spectrophotométrie UV avec une longueur d'onde de 403 nm.

Ainsi, la figure 4 nous montre un bref aperçu de ces différentes étapes de manipulation.

## I- Schéma de la méthode expérimentale réalisée

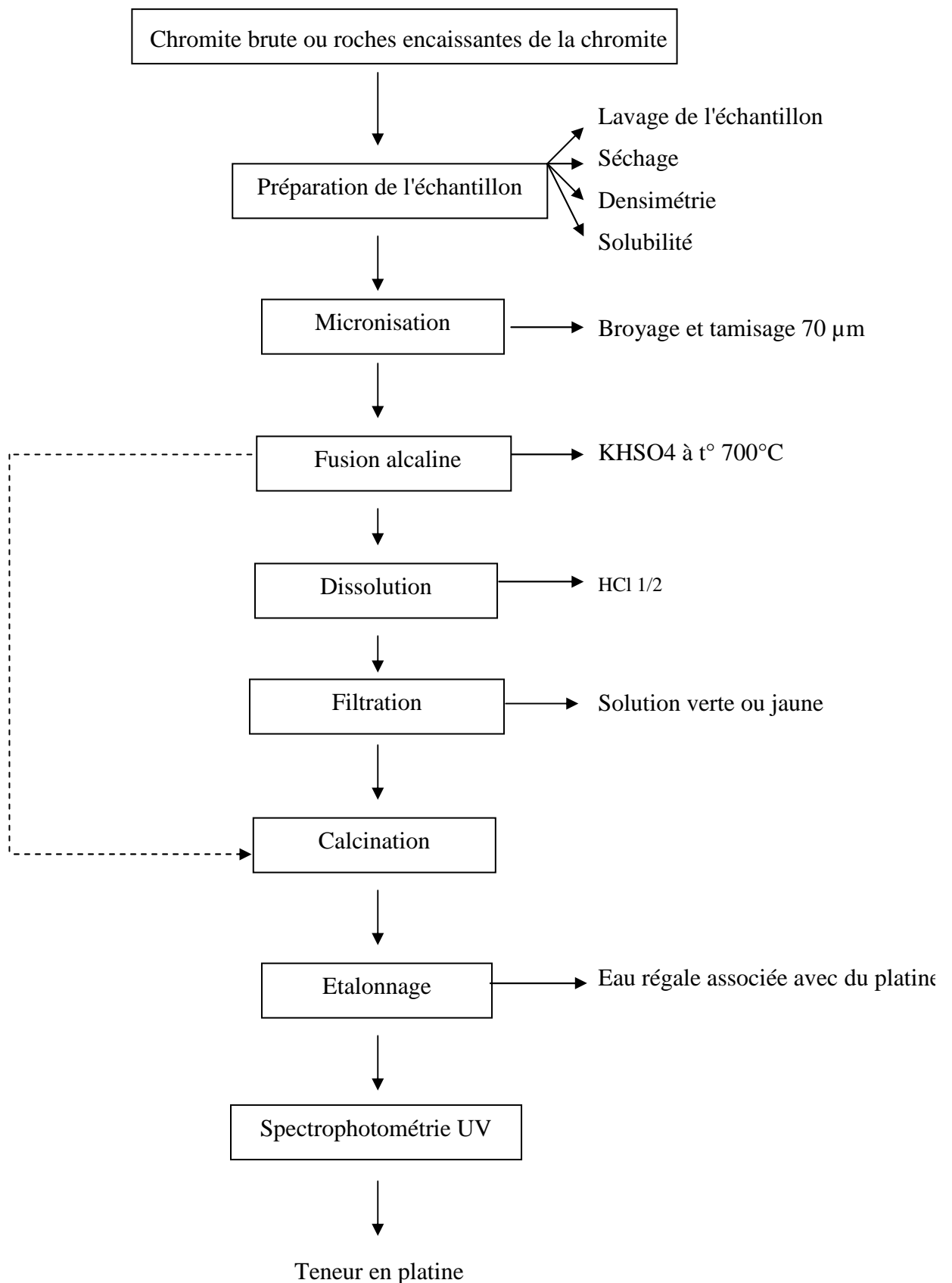


Figure 4: Schéma de la méthode expérimentale préconisée pour l'analyse chimique du platine



## II- Echantillonnage

Il consiste à prélever des roches saines (roches qui n'ont pas encore subi d'altération) sur le terrain. Chaque échantillon pèse aux environs de 1 kg et présente en moyenne une dimension de 10 cm sur 10 cm de côté. Nous avons pris 25 échantillons dans trois gîtes d'Andriamena (Ankazotaolana, Bemanevika, et Androfia). Notre étude concerne le gîte d'Ankazotaolana et les échantillons pris dans les autres gîtes nous serviront à titre de comparaison.

Nom fictif de l'échantillon	Nom exact de l'échantillon	Localisation
A1	Chromite	Ankazotaolana
A2	Chromite	Ankazotaolana
A4	Chromite	Ankazotaolana
A5	Chromite	Ankazotaolana
A7	Pyroxénite	Ankazotaolana
A9	Pyroxénite	Ankazotaolana
A10	Diopside (Clinopyroxène)	Ankazotaolana
A11	Chromite	Ankazotaolana
A12	Chromite	Ankazotaolana
A13	Plagioclase à biotite	Ankazotaolana
A14	Chromite	Ankazotaolana
A15	Phlogopite	Ankazotaolana
A17	Gabbro- mica en contact avec la chromite (Plagioclase)	Ankazotaolana
A18	Chromite	Ankazotaolana
A19	Clinopyroxène avec chromite	Ankazotaolana
A20	Migmatite	Ankazotaolana
A21	Pegmatite	Ankazotaolana
A22	Plagioclase à biotite	Ankazotaolana
B1	Chromite	Bemanevika
B2	Péridotite	Bemanevika
B3	Chromite	Bemanevika
B4	Chromite	Bemanevika
F1-1	Chromite	Androfia
F1-3	Chromite	Androfia
F1-5	Chromite	Androfia
F1-6	Chromite	Androfia

**Tableau 5 : Répartition des échantillons**

### II-1- Préparation des échantillons

Elle consiste à :

- laver les échantillons à l'eau distillée,
- les sécher à l'étuve à 105°C,
- broyer chaque échantillon de roche jusqu' à l'obtention de fine granulométrie à l'aide du broyeur à boulet,

- tamiser chaque échantillon broyé pour obtenir des dimensions inférieures à 100 µm. A cette étape, les échantillons sont prêts à analyser.

## II-2- Solubilisation

Nous savons que l'oxyde PtO est soluble dans un milieu chlorhydrique. Ainsi, nous avons réalisé un essai de solubilisation de cet oxyde en préconisant la méthode suivante.

Le principe de cette méthode consiste à mesurer la différence de masse entre la masse initiale de l'échantillon :  $m_0$  et la masse du résidu obtenu après la solubilisation chlorhydrique  $m_1$ . Cette différence de masse représente la partie solubilisée des échantillons contenant PtO. Il consiste à :

- peser 1 g de chaque échantillon de roche de 100 µm de diamètre,
- dans un bécher, ajouter une certaine quantité de HCl 3 %,
- chauffer au feu doux jusqu'à ce que le minerai soit sec,
- ajouter de l'eau distillée,
- agiter à l'aide d'une spatule en verre,
- filtrer en utilisant le papier filtre sans cendre,
- sécher à l'étuve le papier filtre avec le résidu,
- calciner au four à 600 °C pendant 30 mn,
- peser le contenu du creuset sorti du four après refroidissement du creuset,
- la solubilité est la différence entre la masse initiale de l'échantillon de roche et le résidu calciné du four.

**Remarque :** cette méthode de recherche de solubilité s'avère plus pratique lors de la manipulation avec un faible risque d'erreur.

$m_0$  : masse initiale de l'échantillon + masse du creuset à vide

$m_1$  : masse du creuset avec résidu calciné

$$\Delta m = m_0 - m_1$$

Le tableau 6 ci-dessous nous permet d'obtenir la solubilité de chaque échantillon choisi. En général, on constate que la valeur de la solubilité est très petite de l'ordre de 1 à 4 % pour la chromite et les roches encaissantes basiques et ultrabasiques. Mais cette valeur peut atteindre jusqu'à 10 à 25 % pour d'autres roches comme le migmatite, c'est-à-dire pour des roches riches en silice.

Chaque échantillon de roche présente une certaine solubilité. Certains des éléments constitutifs de la roche sont solubles dans l'acide chlorhydrique dilué à 50 %. Il s'agit probablement des produits d'altération comme de la roche : la chlorite

Nom de l'échantillon	Masse initiale de l'échantillon	m <sub>0</sub>	m <sub>1</sub>	Δm
A1	1,0064	55,1708	55,1198	0,051
A2	1,0080	56,4293	56,4063	0,023
A4	1,0031	85,4627	85,4502	0,0125
A5	1,0082	85,4648	85,4513	0,0135
A9	1,0087	78,8243	78,7189	0,1054
A10	1,0017	54,8383	54,8070	0,0313
A11	1,0046	88,275	88,2474	0,0276
A12	1,0091	54,0086	53,8935	0,1151
A13	1,0079	53,921	53,8474	0,0736
A14	1,0070	8,3308	8,3011	0,0297
A15	1,0014	55,1625	55,1107	0,0518
A17	1,0084	55,3353	55,2270	0,1083
A18	1,0071	16,8205	16,8042	0,0163
A19	1,0006	78,8206	78,6237	0,1969
A20	1,0012	55,1649	54,4754	0,2895
A21	1,0082	53,9238	53,7000	0,2238
B1	1,0017	78,8215	78,7793	0,0422
B2	1,0033	78,0477	77,9130	0,1347
B3	1,0046	8,3284	8,2108	0,1176
B4	1,0022	54,8413	54,8306	0,0107
F1-1	1,0068	16,6202	16,4466	0,1736
F1-3	1,0060	78,054	78,0409	0,0131
F1-5	1,0063	54,8446	54,6240	0,2206
F1-6	1,0038	56,4018	56,2134	0,1884

**Tableau 6 : Résultats de mesure de solubilité**

### III - Fusion alcaline

Cette fusion consiste à attaquer chaque échantillon au four avec KHSO<sub>4</sub> à haute température.

#### III-1- Prise d'essai

- peser 0,5 g de chaque échantillon et 5 g de KHSO<sub>4</sub> [26]

Nom de l'échantillon	Masse de l'échantillon	Masse de $\text{KHSO}_2$
A1	0,5023	$M_1 = 2,0033$ $M_2 = 3,0022$
A2	0,5045	$M_1 = 2,0018$ $M_2 = 3,0021$
A4	0,5009	$M_1 = 2,0097$ $M_2 = 3,0058$
A5	0,5054	$M_1 = 2,0069$ $M_2 = 3,0030$
A9	0,5080	$M_1 = 2,0051$ $M_2 = 3,0028$
A10	0,5015	$M_1 = 2,0000$ $M_2 = 3,0030$
A11	0,5050	$M_1 = 2,0066$ $M_2 = 3,0045$
A12	0,5068	$M_1 = 2,0088$ $M_2 = 3,0040$
A13	0,5015	$M_1 = 2,0031$ $M_2 = 3,0054$
A14	0,5026	$M_1 = 2,0011$ $M_2 = 3,0061$
A15	0,5057	$M_1 = 2,0027$ $M_2 = 3,0046$
A17	0,5063	$M_1 = 2,0085$ $M_2 = 3,0003$
A18	0,5052	$M_1 = 2,0015$ $M_2 = 3,0015$
A19	0,5087	$M_1 = 2,0021$ $M_2 = 3,0021$
A20	0,5029	$M_1 = 2,0067$ $M_2 = 3,0012$
A21	0,5006	$M_1 = 2,0046$ $M_2 = 3,0074$
B1	0,5069	$M_1 = 2,0048$ $M_2 = 3,0015$
B2	0,5090	$M_1 = 2,0080$ $M_2 = 3,0022$
B3	0,5041	$M_1 = 2,0007$ $M_2 = 3,0058$
B4	0,5078	$M_1 = 2,0002$ $M_2 = 3,0089$
F1-1	0,5010	$M_1 = 2,0090$ $M_2 = 3,0021$
F1-3	0,5017	$M_1 = 2,0091$ $M_2 = 3,0043$
F1-5	0,5082	$M_1 = 2,0015$ $M_2 = 3,0036$
F1-6	0,5065	$M_1 = 2,0017$ $M_2 = 3,0066$

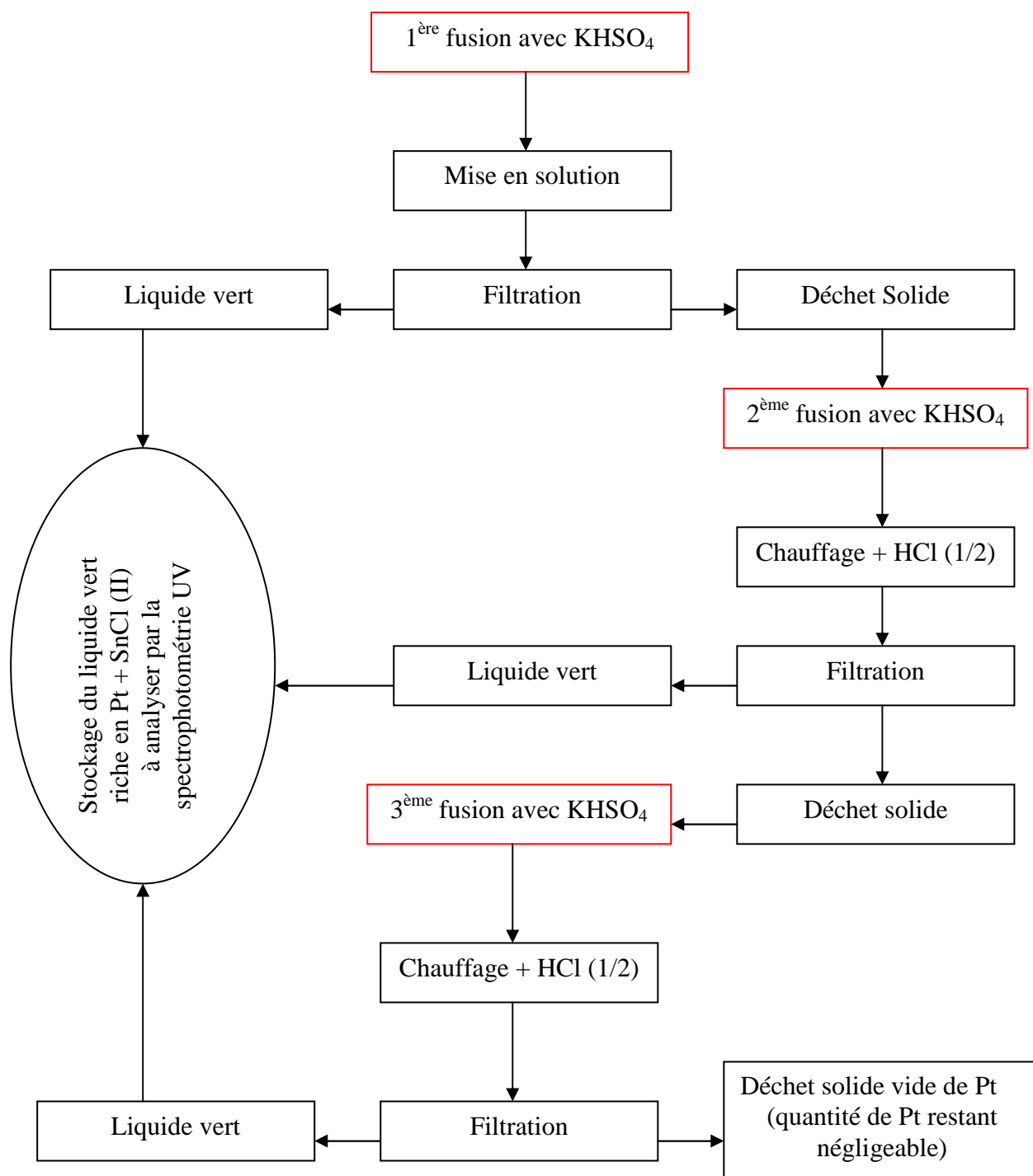
**Tableau 7 : Répartition des échantillons et des masses de  $\text{KHSO}_4$**

Chaque échantillon d'environ 0,5 g se trouve en sandwich entre les deux masses de  $\text{KHSO}_4$  puis on les mélange à l'aide d'une spatule en verre pour que l'attaque soit proche du total. Ensuite, on mélange l'échantillon et le réactif dans un creuset en porcelaine ou en platine. Si le creuset utilisé est en platine, il n'y a aucun risque de choc de température, car ce creuset résiste à de très haute température même à  $1000^\circ\text{C}$ . Tandis que l'utilisation du creuset en porcelaine nécessite de très grande précaution et du temps, car la porcelaine ne supporte pas les chocs thermiques. Il faut augmenter petit à petit la température du four de  $250^\circ\text{C}$  toutes les quinze minutes jusqu'à la température voulue de  $700^\circ\text{C}$  pendant 1 h 30 mn de façon à amener la masse jusqu'à fusion tranquille.

Après l'opération de fusion, nous poursuivons la mise en solution selon la procédure suivante :

- ❖ enlever le creuset du four et étaler la masse fondue sur les parois du creuset,
  - ❖ reprendre dans un bécher de 600 ml avec  $\text{HCl } \frac{1}{2}$  (même quantité de  $\text{HCl}$  et d'eau distillée) pour la remise en solution,
  - ❖ recouvrir le bécher afin d'éviter la perte ou la fuite du produit,
  - ❖ porter à une douce ébullition,
  - ❖ laisser attaquer jusqu'à la disparition du bouillonnement,
  - ❖ enlever le creuset et le couvercle de la plaque et rincer avec une pissette d'eau distillée ou d'eau bouillante pour rendre moindre les pertes au cours de la manipulation.
- Pour la préparation des produits à analyser, on :
- ❖ laisse refroidir à l'air libre,
  - ❖ remet en solution,
  - ❖ filtre chaque produit de deux à quatre fois selon le besoin : on obtient une solution verte (pour la chromite) et une solution jaune (pour les roches encaissantes) limpides.
- Enfin, on mesure le volume.

La figure 5 ci-dessous nous indique un guide de la manipulation d'obtention de la fusion alcaline réalisée. Cette manipulation est longue par ses différentes étapes. Mais cette figure nous montre un bref aperçu de toute la manipulation.



**Figure 5 : Schéma des procédures de fusion réalisée**

- Préparation des produits pour l'établissement de la courbe d'étalonnage des mesures spectrophotométriques UV de platine

### III-2- Préparation de l'acide HCl 3,5 M [26]

On sait que HCl concentré à 33 % a une densité  $d = 1,17$  et que 3,5 M signifie 3,5 mole/l. Avec la masse molaire de HCl égale à 36,5 g/l, on peut déterminer la quantité de HCl pur en multipliant le nombre de moles de la solution que l'on veut obtenir par la masse molaire de HCl :  $3,5 \text{ moles} \times 36,5 \text{ g/l} = 127,85 \text{ g/l}$ .

HCl 33 % signifie que : dans 100 g de HCl concentré  $\rightarrow$  33 g HCl pur

$$M_{\text{HCl concentré}} = ? \leftarrow 127,85 \text{ g de HCl pur}$$

$$\text{D'où } M_{\text{HCl concentré}} = (100 \times 127,85)/33 = 387,42 \text{ g de HCl concentré}$$

La densité  $d = 1,17$  signifie que dans 1170 g HCl concentré  $\rightarrow$  1000 ml HCl concentré

$$387,42 \text{ g HCl concentré} \rightarrow V_{\text{HCl concentré}} = ?$$

$$V_{\text{HCl concentré}} = (387,42 \times 1000)/1170 = 331 \text{ ml}$$

Ainsi, on obtient une solution de HCl 3,5 M en mélangeant 331 ml de HCl concentré avec 669 ml d'eau distillée.

### III-2- Préparation de la solution de SnCl(II)

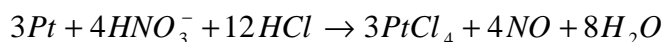
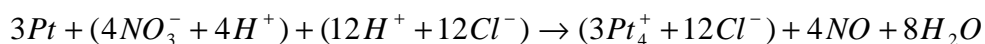
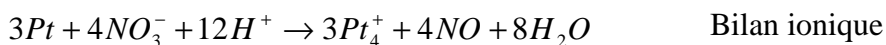
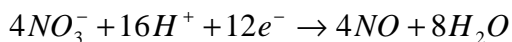
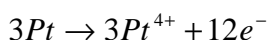
- ❖ peser 19 g de chlorure d'étain et mettre dans un bécher
- ❖ verser 100 ml de la solution de HCl (3,5 M) préparée
- ❖ on obtient une solution de couleur blanche comme le lait

### III-3- Préparation de la solution d'eau régale

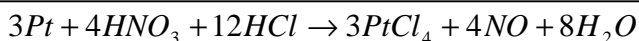
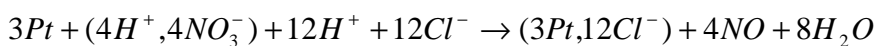
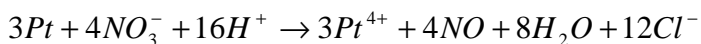
Afin d'obtenir de l'eau régale, il faut prendre 11 ml d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) 68 % mélangé avec 33 ml de l'acide chlorhydrique (HCl) 33 % [25].

### III-4- Mise en solution de platine étalon

Le but est de dissoudre un échantillon de platine métallique pris comme étalon par l'eau régale. Le mécanisme réactionnel de cette mise en solution est donné par le schéma suivant :



D'où les équations de réaction chimique suivantes :



Le  $PtCl_4$  obtenu présente une coloration brune rouge. Cette réaction doit être réalisée avec un chauffage sur plaque et en plein air à cause du dégagement gazeux toxique NO. Il est préférable d'utiliser un masque à titre de précaution.

Nous avons pratiqué le mode opératoire suivant pour cette mise en solution :

- ❖ peser 1 g de platine métallique solide,
- ❖ broyer à fine granulométrie le platine,
- ❖ le plonger dans l'eau régale,
- ❖ dans un bécher de 600 ml, mettre la masse de platine métallique (1 g) et introduire par fraction le mélange  $HNO_3$  et  $HCl$ ,
- ❖ chauffer sur plaque le mélange pendant 4 h,
- ❖ agiter jusqu'à la dissolution totale des morceaux de platine,
- ❖ voir la coloration de la solution obtenue tous les 30 mn. Si elle devient rouge la dissolution devient de plus en plus totale, si non on ajoute une certaine quantité de  $HCl$  (1/2) jusqu'à l'obtention de cette coloration rouge,
- ❖ mesurer le volume V de la solution rouge qui nous servira comme solution étalon pour l'analyse spectrophotométrique UV de platine.



#### IV- Détermination de la teneur en platine des échantillons par la spectrophotométrie UV

La mesure se fait à l'aide de la spectrophotométrie UV à partir de l'identification des solutions vertes ou jaunes des échantillons à analyser comme nous indique le tableau 8 ci-dessous, ainsi il faut :

- mesurer le volume de la solution verte ou jaune,
- prendre 100 ml de cette solution,
- ajouter 10 ml de la solution de chlorhydrique d'étain si la solution n'est pas très limpide.

**Remarque :** Au cours de la préparation des solutions vertes ou jaunes des échantillons à analyser, plusieurs filtrations devront réaliser suivant la nature de la roche (quatre fois pour les chromites et deux fois pour les roches encaissantes), cela dans le but d'obtenir une nette coloration de la solution.

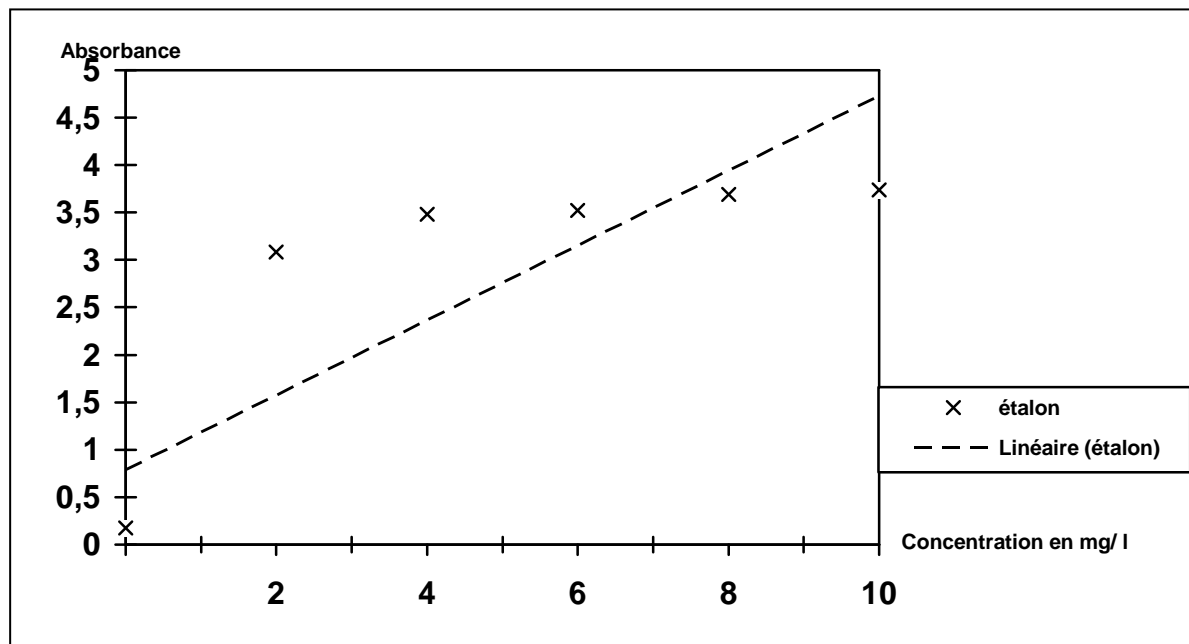
- passer au spectrophotomètre UV

Nom de l'échantillon	Volume de l'échantillon
A1	240
A2	255
A4	360
A5	360
A9	183
A10	120
A11	430
A12	355
A13	125
A14	420
A15	180
A17	140
A18	355
A19	195
A20	120
A21	170
B1	245
B2	135
B3	330
B4	287
F1-1	325
F1-3	235
F1-5	130
F1-6	220

Tableau 8 : Répartition de la solution verte ou jaune après filtration

N° fiole	T	1	2	3	4	5
Concentration connue à l'avance de Pt (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Volume de la solution étalon rouge 66 mg/l	0	3,3	6,6	9,9	13,2	16,5
Volume d'eau (ml)	100	96,7	93,4	91,1	86,8	83,5
Volume total	100	100	100	100	100	100
Volume de SnCl (II) (ml)	10	10	10	10	10	10

**Tableau 9 : Etalonnage de l'appareil**



**Figure 6 : Courbe représentative de l'étalonnage de platine**

(Source : Spectrophotométrie UV de l'ESPA)

La figure 6 de la courbe d'étalonnage donnée par l'appareil est linéaire.

### Formulation des résultats

T = teneur en gramme de Pt par tonne de chromite

M = masse de l'échantillon de chromite à analyser en grammes

V = volume de la solution rouge contenant toute la masse de l'échantillon à analyser (obtenue après filtration) en ml

C = concentration en milligramme de Pt par litre de solution rouge analysée

$$T = \frac{CV}{M}$$

**Exemple pour A1 :**

$$T = 2,2634.10^{-3} \times 240 / 0,5023$$

$$T = 1,0814 \text{ g/ t}$$

Le tableau 10 nous présente les différentes valeurs de la teneur en platine pour chaque échantillon exprimée en g/t ou en ppm.

Nom de l'échantillon	Masse de l'échantillon	Volume total du filtrat V en ml	Concentration de Pt contenue dans la solution en $10^{-3}$ mg/l	Concentration en gramme de platine par tonne de chromite
A1	0,5023	240	2,2634	1.0814
A10	0,5015	120	1,4413	0,3448
A11	0,5050	430	1,5505	1,3240
A12	0,5068	355	2,9568	2,0710
A13	0,5015	125	1,6893	0,4210
A14	0,5026	420	3,3517	2,8008
A15	0,5057	180	1,4721	0,5239
A17	0,5063	140	1,5038	0,4158
A18	0,5052	355	2,3132	1,6254
A19	0,5087	195	1,4600	0,5596
A2	0,5045	255	3,1234	1,5787
A20	0,5029	120	1,5871	0,3787
A21	0,5006	170	0,6118	0,2077
A4	0,5009	360	5,5663	4,0005
A5	0,5054	360	4,3937	3,1296
A9	0,5080	183	1,1123	0,4006
B1	0,5069	245	3,0584	1,4782
B2	0,5090	135	0,8714	0,2311
B3	0,5041	330	1,7250	1,1292
B4	0,5078	287	1,2626	0,7136
F1-1	0,5010	325	1,3826	0,8968
F1-3	0,5017	235	2,1192	0,9926
F1-5	0,5082	130	2,5377	0,6491
F1-6	0,5065	220	3,9868	1.7316

**Tableau 10 : Répartition des échantillons de chromite en fonction de la concentration en Pt**

D'après le tableau ci-dessus, on peut dire que la teneur en EGP surtout de la platine dans la région d'Andriamena est comprise entre 0,6 à 4,42g / t de chromite, et de 0,2 ppm à 0,4 ppm dans les roches encaissantes.

La teneur en EGP dépend alors de la profondeur du milieu d'échantillonnage. Ainsi, cette valeur s'avère élevée à Ankazotaolana (la mine épuisée en chromite) qu'à Bemanevika (la nouvelle mine d'exploitation de chromite). Tandis que, celle d'Androfia a une valeur intermédiaire.

## **CHAPITRE II : L'ETUDE SUR LAMES MINCES**

L'étude sur lames minces montre que la chromite et/ou les roches encaissantes renferme différents cristaux qui se disposent d'une façon inégale et de taille différente. En effet, certains cristaux peuvent être plus gros que d'autres (plagioclase). Afin d'atteindre ce but, la confection des lames minces est nécessaire. Elle permet aussi d'étudier la composition chimique des minéraux et d'affecter à la roche un nom plus précis que son nom sur le terrain.

La préparation des lames minces comporte deux étapes :

- la confection des lames minces,
- les méthodes utilisées.

### **I- Confection des lames minces**

Elle permet de fabriquer à partir d'une roche donnée une lame mince. Elle nécessite l'utilisation de plusieurs matériels dont chacun d'entre eux présente des caractéristiques spécifiques. Ces matériels sont coûteux et demandent beaucoup de précautions.

#### **I-1- Scies**

Elles sont de deux types :

- la grande scie permet de scier le grand bloc de roche du terrain,
- la petite scie ou parfois appelée la microscie est utilisée pour trancher la roche en petits morceaux.

#### **I-2- Tour lapidaire**

Il est équipé d'un dispositif d'arrosage pour nettoyer les différents plateaux. Ce qui permet de récupérer les produits utilisés de carbure de silicium qui sont des poudres abrasives. Signalons qu'à ces poudres abrasives sont affectées des valeurs suivant les types de roches (carborundum : 220, 400, 600, 800 AFNOR pour le plateau métallique; grain d'alumine pour le plateau à drap diamanté 6 $\mu$ ).

#### **I-3- Polisseuse**

La polisseuse est munie d'un dispositif d'arrosage et des plateaux. Sur ces plateaux qu'on lime les lames en utilisant des poudres abrasives à solution pâteuse pouvant servir de lubrifiant.

#### **I-4- Plaques chauffantes**

Elles permettent le séchage des échantillons sortis de la grande scie, de la petite scie ou du tour lapidaire. Elles servent aussi pour le chauffage de la colle pendant le collage. Cette méthode est utilisée dans le cas où l'échantillon contient des minéraux très friables.

#### **I-5- Plaque de verre porte objet**

Sur cette plaque qu'on fixe l'échantillon avec une colle. Cette colle peut être du géofix ou d'araldite ou de la Baume de Canada. La plaque de verre est un rectangle de 45 x 30 x 1 mm.

#### **I-6- Echantillon de roche**

La roche choisie pour cette préparation doit être saine (sans altération) et munie d'une étiquette sur laquelle on note le nom de l'échantillon.

#### **I-7- Rectifieuse automatique de géologie (RAG)**

#### **I-8- Contrôleur d'épaisseur de la lame**

### **II- Méthodes**

Le but de ces méthodes est d'obtenir une lame bien nette sans cassure ni trop de limage. Elles comportent les différentes étapes de la manipulation qui demandent de la patience, de la concentration et d'une grande précaution. Sinon, tout mouvement mal contrôlé pourrait soit à une destruction de la lame soit à des hémorragies du technicien du laboratoire.

#### **II-1- Identification de l'échantillon**

Elle offre une bonne méthode de travail. En effet, elle consiste à mettre une référence identique de l'échantillon utilisée et de l'échantillon témoin. Ce dernier pourrait être le reste de l'échantillon sorti des scies.

#### **II-2- Sciage**

Le but est de couper une tranche de roche de 5 mm d'épaisseur. A partir de celle-ci il faut découper de nouveau un morceau de roche de taille 40 mm x 25 mm x 5 mm. Ce morceau constitue un "sucre" de l'échantillon initial.

## **II-3- Dressage et surfacage**

### ***II-3-1- Dressage***

Le but est d'effacer les traces de scie sur la surface du sucre après l'opération. Pour cela, il faut :

- enduire le plateau métallique de poudre de carborundum de gros grains à 220 AFNOR,
- tourner le plateau et glisser le sucre sur le plateau jusqu'à ce que les traces de scies disparaissent. Il peut durer jusqu'à 5 minutes suivant l'opérateur,
- répéter la manipulation en appliquant la poudre 400 AFNOR.

### ***II-3-2- Surfacage***

Le but est d'obtenir du "sucre" à surface plane et lisse. La manipulation s'avère identique à celle du dressage mais l'enduit du plateau serait la poudre à grains fins 800 AFNOR.

## **II-4- Dépolissage de la plaque de verre porte objet**

Il faut que la plaque de verre porte objet passe sur le plateau pour qu'il y ait adhésion entre celle-ci et le "sucre". Dans ce cas, on utilise la poudre abrasive 220 AFNOR.

## **II-5- Collage**

Il permet de fixer le sucre dressé et surfacé sur la plaque de verre porte objet dépolie afin éviter le plus possible l'incorporation des bulles d'air.

## **II-6- Usinage**

Il doit s'effectuer 48 heures après le collage pour qu'il y ait un temps de séchage de la colle. Le but de cette méthode est de réduire l'épaisseur du sucre fixé sur la plaque de verre par la scie et la rectifieuse jusqu'à une épaisseur de 50  $\mu$  (0,05 mm). L'usinage comporte plusieurs étapes successives :

- scier le sucre en diminuant son épaisseur jusqu'à 1 ou 2 mm
- fixer la plaque de verre et le reste de sucre (en haut) sur le plateau de RAG
- faire écouler l'eau en permanence,
- démarrer la machine puis arrêter lorsque la surface du sucre est atteinte 0,05 mm

Ainsi, l'épaisseur finale de la lame mince (plaque de verre et une partie du sucre) est de 1,15 mm.

## **II-7- Mise en épaisseur de la lame mince**

Le but final de cette méthode consiste à obtenir une lame mince fine associée avec la plaque de roche d'une épaisseur de 30 $\mu$ .

Afin d'atteindre ce but, il faut suivre les différentes étapes suivantes :

- passer la lame sur le tour lapidaire en utilisant le carborundum 400 AFNOR puis 800 AFNOR,
- vérifier la lame mince de 5 mm plusieurs fois par l'observation microscopique. Dans ce cas, il faut prendre comme repère les minéraux caractéristiques (exemples : F(K) et Quartz ayant respectivement une teinte de polarisation gris, gris blanc et blanc),
- glisser manuellement la lame sur une plaque de verre enduite de poudre abrasive 800 AFNOR jusqu'à l'épaisseur final de la lame mince (tous les caractéristiques optiques des minéraux sont bien observés). Cette étape constitue la finition de la confection de la lame mince.

### **III- Cristallographie des principaux minéraux constitutifs de la chromite ou des roches encaissantes visibles sur les lames minces**

#### **III-1- Orthopyroxène – ( $\text{Si}_2\text{O}_6$ ) (Fe, Mg)**

- En LPnA, le pyroxène est très faiblement coloré dans les tons jaunes, bruns, verdâtres, à réfringence forte c'est-à-dire à contours très marqués. Ainsi, il est rarement pléochroïque. Il peut présenter des plans de débits ou des craquelures parallèles aux bordures du minéral. Les sections normales à l'allongement d'allure octogonale montrent deux clivages suborthogonaux, grossiers.
- En LPA, le pyroxène présente une biréfringence faible à moyenne suivie d'un allongement positif et d'une extinction droite. Il peut polariser dans les jaunes à orangés du 1er ordre jusqu'au début du 2<sup>ème</sup> ordre. L'angle maximum d'extinction est compris entre 39 et 47°. Les différentes formes de pyroxène sur la lame peuvent être octogonales et trapues.

#### **III-2- Quartz ( $\text{SiO}_2$ )**

- En LPnA : le relief du quartz est faible avec  $n = 1,55$ . Sur la lame, il est incolore, limpide et ne présente aucune altération et de clivage. On peut avoir des inclusions ou des bulles.
- En LPA : le quartz présente une biréfringence faible avec  $B = 0,009$ . Si la lame est épaisse, il est de couleur jaune; mais généralement il est de blanc du premier ordre avec une extinction roulante ou onduleuse fréquente.

#### **III-3- Biotite**

- En LPnA : le relief de la biotite est moyen avec  $n = 1,60$ . Sur la lame, les sections hexagonales allongées sont striées par le clivage p (001) qui apparaît sous forme de stries fines et régulières



de couleur brune. Le pléochroïsme est intense au niveau des sections clivées allant du brun rouge au jaune presque incolore.

- En LPA : la biotite présente une biréfringence forte avec  $B = 0,050$  pour la teinte du troisième ordre. Signalons que la teinte est très sensible aux inégalités du polissage, et passe du rose au vert suivant les points de préparation. Ainsi, la biotite présente un aspect moiré. Elle possède une extinction droite avec un allongement positif par rapport à la trace du clivage p.

### **III-4- Olivine**

- En LPnA : l'olivine se présente en grains arrondis ou en prismes à contours hexagonaux irréguliers. Il est incolore et limpide. Son relief est accusé avec  $N = 1,80$ . Les clivages sont indistincts mais à craquelures parallèles à  $g^1$ .

- En LPA : il possède une biréfringence très élevée avec  $B = 0,040$ . Les teintes sont vives dans le deuxième et le troisième ordre. C'est un minéral caractéristique des roches basiques et ultrabasiques. De ce fait, il n'existe jamais en association avec le quartz dans une même roche.

### **III-5- Myrmékites**

Ce sont des petites inclusions vermiculées de quartz dans son bourgeon de plagioclase acide, résultant du contact de feldspath potassique et de plagioclase plus basique (ou plagioclase avec du quartz).

**Remarque :** Les différentes variations de couleurs des cristaux peuvent être vues en Annexe 1.

### **III-6- Plagioclases**

Les plagioclases possèdent deux pôles : un pôle sodique (albite) et un pôle calcique (anorthite). Ils forment une série continue calcosodique. Sur une lame mince, ils se distinguent de l'orthose par des indices de réfraction un peu élevés et par l'existence de la macle polysynthétique formant des bandes longitudinales suivant (010).

## **IV- Pétrographie et interprétation des lames**

Au cours de notre étude sur le terrain, nous avons recueilli vingt cinq échantillons. Ils sont tous analysés. Mais, nous n'avons pas pu effectuer des lames minces que seulement sur les quinze échantillons choisis du fait des coûts élevés de la préparation.

Parmi ces quinze échantillons, on constate qu'il y a des roches qui possèdent les mêmes noms, c'est le cas par exemple des chromites et d'autres roches basiques et ultrabasiques

échantillonnées. Ainsi, nous allons décrire les cristaux les plus représentatifs des roches sur des lames qui nous semblent nets et clairs.

#### **IV-1- Echantillon A20**

La couleur noire de la roche ne change pas tant du point de vue lumière polarisée que sur la vue de lumière naturelle, cette partie noire indique des minéraux opaques.

#### **IV-2- Echantillon A9**

La roche présente des plagioclases basiques le bytownite à macles polysynthétiques, de la biotite et du pyroxène nommé hypersthène. En lumière naturelle, les pyroxènes se distinguent des olivines (péridots) par une coloration naturelle plus soutenue. Les craquelures des péridots apparaissent plus lâche et le relief plus soutenu comme nous montre la figure 13 ci-dessous

En lumière naturelle, l'hypersthène présente une couleur vert pâle et un pléochroïsme faible dont les couleurs successives de  $n_g$ ,  $n_m$ ,  $n_p$  sont du vert pâle, du jaune rougeâtre et rose, à relief fort caractérisé par les valeurs successives de  $n_g$ ,  $n_m$ ,  $n_p$  de 1,714 ; 1,710 ; 1,701.

En lumière polarisée, l'hypersthène présente une extinction droite, d'un allongement positif et d'une biréfringence faible de 0,013.

#### **IV-3- Echantillon A13**

D'après notre observation sur les lames minces, nous pouvons déduire que le nom de cet échantillon s'agit de l'anorthosite ou de la plagioclase. Cette roche contient essentiellement des plagioclases, une petite portion d'augite, d'hypersthène, d'hornblende et des inclusions de corindon. Ces minéraux ont chacun ses caractéristiques microscopiques qui sont les suivantes :

- les plagioclases montrent des macles multiples polysynthétiques dans les cristaux observés entre polariseurs croisés. Un bon clivage est disposé parallèlement en haut à droite et sur le bord inférieur à droite de la figure de A13. La rotation de la platine du microscope dans une direction provoque l'extinction des autres lamelles. Ces plagioclases sont essentiellement de l'andésine.
- l'augite présente une couleur brune à verte plus ou moins accentuée en lumière naturelle. Elle présente un pléochroïsme faible avec  $n_g$  de couleur brunâtre,  $n_m$  de couleur vert-jaune et de  $n_p$  vert pâle mais à relief fort dont les valeurs successives de  $n_g$ ,  $n_m$  et de  $n_p$  sont 1,732 ; 1,706 ; 1,703. En lumière polarisée analysée, elle possède une extinction oblique avec  $n_g/c = 47^\circ$ , d'un allongement généralement positif avec une biréfringence moyenne de 0,032.
- l'hypersthène est de couleur vert pâle, vert jaune en lumière naturelle. Tandis qu'il n'a qu'un faible pléochroïsme dont les couleurs de  $n_g$ ,  $n_m$ ,  $n_p$  sont successivement, du vert pâle,

du jaune rougeâtre et de rose à relief fort avec les valeurs de  $n_g, n_m, n_p$  qui sont 1,214 ; 1,710 ; 1,701. Tandis qu'en lumière polarisée, il possède une extinction droite avec  $n_g/c = 0^\circ$ , un allongement positif et une biréfringence faible de 0,013.

- l'hornblende est de couleur verte en lumière naturelle et présente un pléochroïsme net qui est maximum dans le plan parallèle à (010) dont  $n_g, n_m, n_p$  ont des couleurs vert foncé, jaune vert et vert pâle à relief moyen dont les indices de ces variables sont 1,681 ; 1,667 ; 1,657. En lumière polarisée, elle présente une extinction oblique ( $n_g/c = 24^\circ$ ), un allongement positif et une biréfringence moyenne de 0,024.

- le corindon est incolore en lumière naturelle. Ainsi, il peut y avoir une teinte de pléochroïque. Son pléochroïsme peut varier du bleu au bleu violacé et peut être incolore, à relief fort de 1,762. En lumière polarisée, le corindon présente une extinction droite, un allongement négatif et une faible biréfringence de 0,008.

Sur une autre partie de cette lame, nous avons pu constater des allongements de biotite de couleur brune. Elle a un clivage parfait et se clive facilement en minces feuillets flexibles. En lame mince, ce clivage peut être observé. Ainsi, les sections perpendiculaires au plan de clivage ont un fort pléochroïsme avec  $n_g = n_m$  brun rougeâtre et  $n_p$  jaune à relief moyen dont les valeurs successives de  $n_g, n_m, n_p$  sont respectivement de 1,650 ; 1,650 ; 1,595. En lumière polarisée analysée, la biotite présente une extinction droite, à biréfringence forte de 0,06 comme nous montre les figures 9 et 10 ci-dessous.

Ainsi, nous pouvons déduire que la roche s'agit d'une anorthosite à biotite ou d'une plagioclase à biotite.

#### **IV-4- Echantillon A7**

Sur plusieurs lames que nous avons observé, cet échantillon renferme du grenat, de la bronzite, de la chromite, de l'olivine avec deux pôles magnésiens et ferriques qui sont la forstérite et la fayalite, et du plagioclase caractéristique des roches basiques et ultrabasiques le bytownite.

En lumière naturelle, le grenat est incolore. En raison de son fort indice de réfraction et de son isotropie, il tend à former des cristaux automorphes. Il n'a pas de pléochroïsme, mais possède un relief fort avec  $n = 1,75$ . En lumière polarisée, la biréfringence du grenat est faible.

En lumière naturelle, la bronzite est jaune bronze à pléochroïsme faible dont les couleurs de  $n_g, n_m, n_p$  sont successivement du vert brillant, du brun jaunâtre et du jaune pâle. Son relief est assez fort avec des valeurs successives de  $n_g, n_m, n_p$  de 1,691 ; 1,683 ; 1,676. En lumière polarisée, la bronzite présente une extinction droite, un allongement positif et une faible biréfringence.

La forstérite, l'olivine et la fayalite présente une série isomorphe continue du groupe des péridots. En lumière naturelle, l'olivine est incolore et aucun pléochroïsme. Pour la fayalite  $n_p$  et  $n_g$  sont d'une couleur jaune pâle si  $n_m$  est jaune orange, à relief assez fort. Ces trois minéraux diffèrent par les valeurs de  $n_g$ ,  $n_m$ ,  $n_p$ . Pour la forstérite, elles sont de 1,670 ; 1,651 ; 1,635 ; celles de l'olivine sont successivement de 1,714 ; 1,695 ; 1,673 et celles de la fayalite sont de 1,879 ; 1,869 et 1,827.

En lumière polarisée, l'olivine présente une extinction droite, un allongement variable et une forte biréfringence de 0,035 pour la forstérite, de 0,040 pour celle de l'olivine et de 0,052 pour celle de la fayalite.

A partir de cette étude microscopique, nous pouvons déduire que l'échantillon s'agit vraiment de la pyroxénite comme nous montre la figure 12 ci-dessous.

#### **IV-5- Echantillon A17**

##### **Plagioclase**

Le plagioclase est abondant à macle polysynthétique, riche en pyroxène qui est l'augite. Son relief est moyen à fort. Il présente une inclusion de biotite, de pyroxène dans les plagioclases, d'hornblende et d'olivine dans la partie sombre de la lame. L'association de ces minéraux constitue la pyroxénite comme nous montre la figure 14 ci-dessous.

#### **IV-6- Echantillon A22**

La roche présente des gros cristaux appelés pegmatite et des petits cristaux appelés phénocristaux. Ainsi, elle présente deux faciès :

- le faciès à gros grains de F (K) : l'orthose et le microcline perthitique avec une inclusion de biotite ou du quartz,
  - le faciès à petits grains de plagioclase, de myrmékite, de quartz et de biotite altéré. Les plagioclases présentent une macle polysynthétique. Les parties noires représentent les biotites.
- Par l'association de ces minéraux, le nom de la roche est une pegmatite.

Le microcline perthitique présente de traces de macles perpendiculaires (macles polysynthétiques de l'albite et du péricline) formant un quadrillage chatoyant très fin, presque rectangulaire et qui disparaît quatre fois au cours d'une rotation complète de la platine.

En lumière naturelle, l'orthose est incolore et de pléochroïsme nul à relief moyen dont les valeurs successives de  $n_g$ ,  $n_m$ ,  $n_p$  sont 1,530 ; 1,527 ; 1,523. En lumière polarisée, l'orthose présente une extinction oblique, un allongement négatif et une biréfringence faible de 0,007.

D'après l'étude microscopique de cet échantillon, on peut conclure qu'il s'agit d'une pegmatite comme nous montre la figure 16 ci-dessous.

#### **IV-7- Echantillon A21**

Il contient à la fois du grenat est un minéral isotrope, associé avec la myrmékite, de l'orthose, du quartz et des plagioclases probablement de l'oligoclase. L'orthose se présente en jupe écossaise sur la lame. C'est le faciès à gros grains. La myrmékite se répartie sur une certaine partie de la lame en gros grain, aux alentours de laquelle se dispersent les oligoclases sous forme de petits grains associés à des inclusions de biotite. Il s'agit d'un faciès à petits grains. Le nom probable de cet échantillon est le migmatite à grenat comme nous montre la figure 15 ci-dessous.

#### **IV-8- Echantillon F1-1**

##### **Chromite**

La roche est un minerai de chrome dont la teneur en chrome est comprise entre 65 à 70 % associée avec de veinule de clinopyroxène suivi d'une faible altération.

Sur les lames minces, cet échantillon contient de la chromite et du talc. La chromite est représentée en rouge en lumière naturelle, tandis que le talc est en jaune clair. Le talc se disperse aux alentours de chromite et se présente sous forme de petites paillettes déchiquetées comme nous montre la figure 11 ci-dessous.

#### **IV-9- Echantillon A11**

##### **Chromite**

La roche est un minerai de chrome dont la teneur en Cr > 70 % riche en pyroxène qui est un clinopyroxène avec une faible altération.

#### **IV-10- Echantillon A5**

Il s'agit d'une chromite riche en chrome avec Cr > 65 % et le reste s'agit de pyroxène qui est un clinopyroxène (pyroxène calcique) avec un faible taux d'altération. En lumière naturelle, la chromite est rouge. Elle est isotrope.

#### **IV-11- Echantillon A4**

Le nom de cet échantillon s'agit probablement de la chromite dans l'orthopyroxénite. D'après les nombreuses lames que nous avons observées, nous avons distingué essentiellement de la chromite et de l'orthopyroxène entre les interstices de chromite.

L'orthopyroxène appartient à la famille des pyroxènes orthorhombiques. Sur les lames, nous pouvons déduire qu'il s'agit de l'enstatite. Elle est essentiellement magnésienne et très abondante dans les roches plutoniques.

Sur la lame, l'enstatite présente les caractéristiques suivantes :

- en lumière naturelle, elle est jaunâtre avec un pléochroïsme faible et un relief assez fort. Les différentes valeurs de  $n_g$ ,  $n_m$  et  $n_p$  sont successivement de 1,660 ; 1,665 et de 1,658
- en lumière polarisée, l'enstatite présente une extinction droite, un allongement positif et à faible biréfringence.

Tandis que la chromite est rouge sombre en lumière naturelle avec  $45 \% < Cr < 55$  et noire en lumière polarisée analysée comme nous montre les figures 7 et 8 ci-dessous.

#### **IV-12- Echantillon A2**

Les minéraux constitutifs de la roche sont allongés, avec une fissure de clinopyroxène et de sillimanite. La sillimanite est un minéral indicateur d'intensité de métamorphisme à haute pression et à haute température. Ces minéraux sont sous forme de baguettes allongées à l'intérieur d'une microfissure. La roche présente une teneur élevée en chrome d'environ 70 % et le reste se répartie entre le clinopyroxène et les minéraux de métamorphisme.

#### **IV-13- Echantillon A14**

La roche est une chromite avec  $Cr > 65 \%$  à  $70 \%$  et le reste s'agit totalement de clinopyroxène essentiellement sous forme de veinules. Ces veinules de pyroxènes ne présentent pas de fibre.

#### **IV-14- Echantillon A12**

La roche est une chromite dont la teneur en  $Cr > 65 \%$  environ avec une faible altération du clinopyroxène, et une partie de ce clinopyroxène est en petit filon et se présente en veinule.

## V- Disposition des cristaux sur les lames minces (figures)

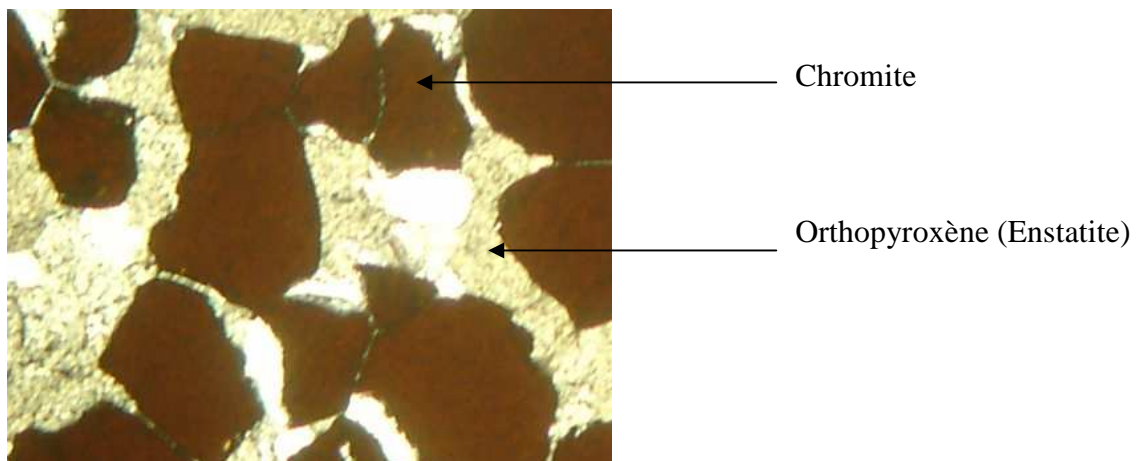


Figure 7 : Agrandissement 50 fois, A4 LPnA, Chromite dans l'orthopyroxénite

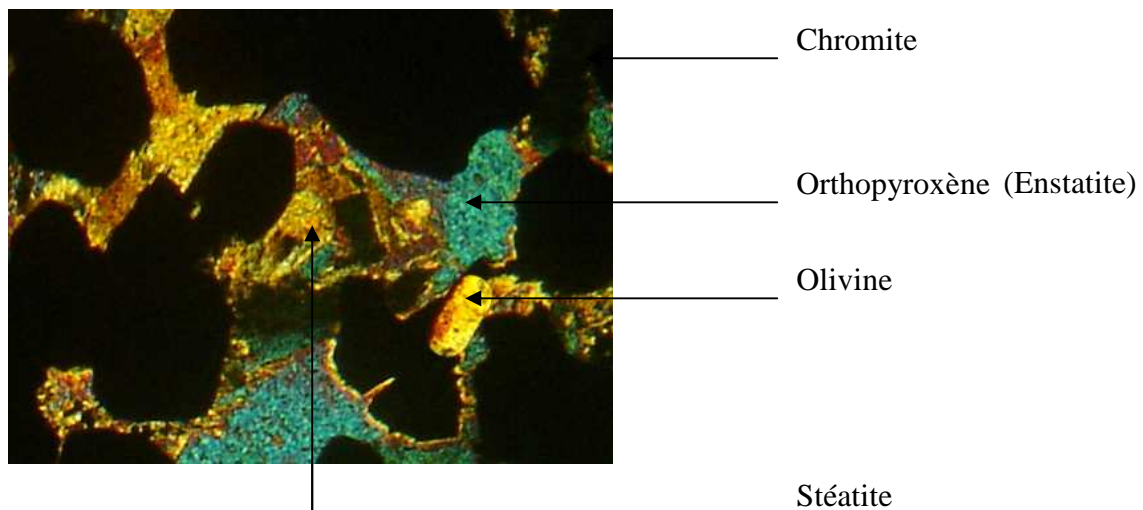


Figure 8 : Agrandissement 50 fois, A4 LPA, Chromite dans l'orthopyroxénite

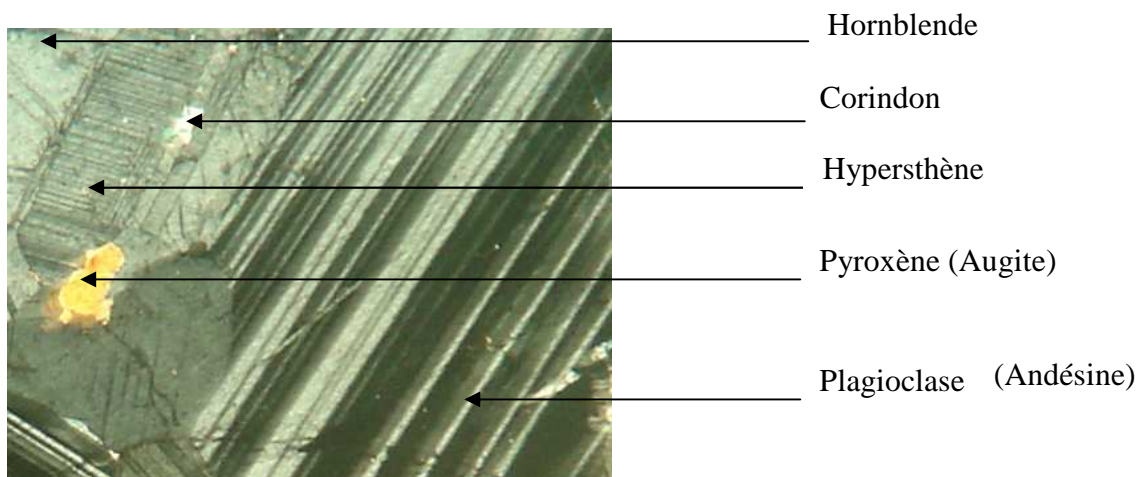
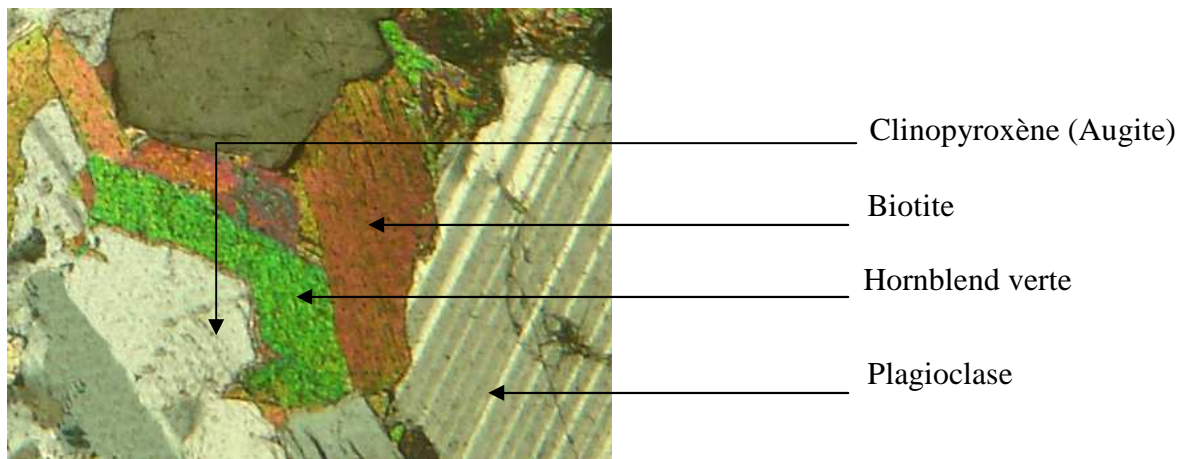
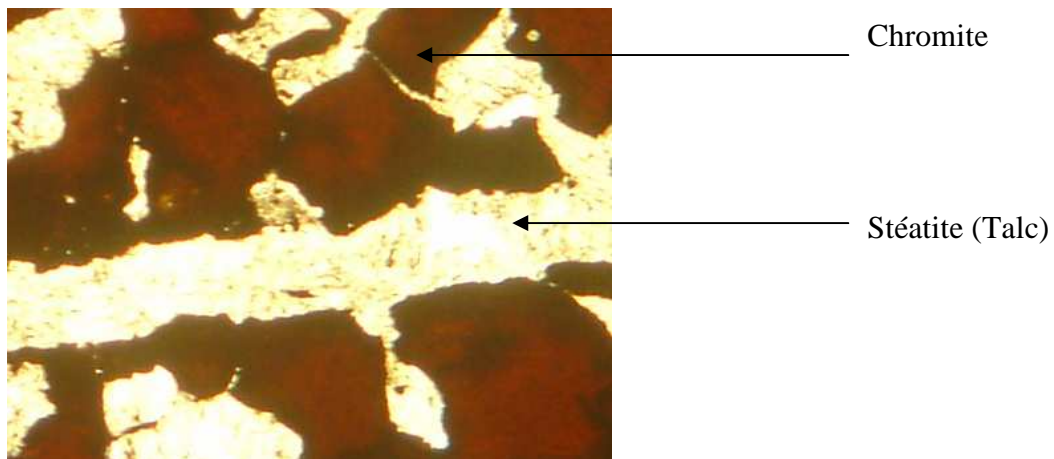


Figure 9 : Agrandissement 50 fois, A13 LP, Plagioclase

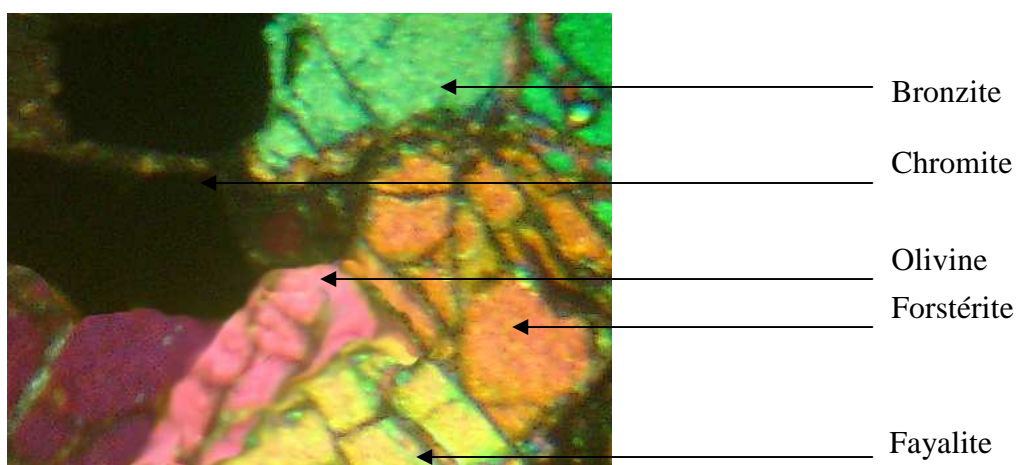




**Figure 10 : Agrandissement 50 fois, A13 LPA, Plagioclase à biotite**

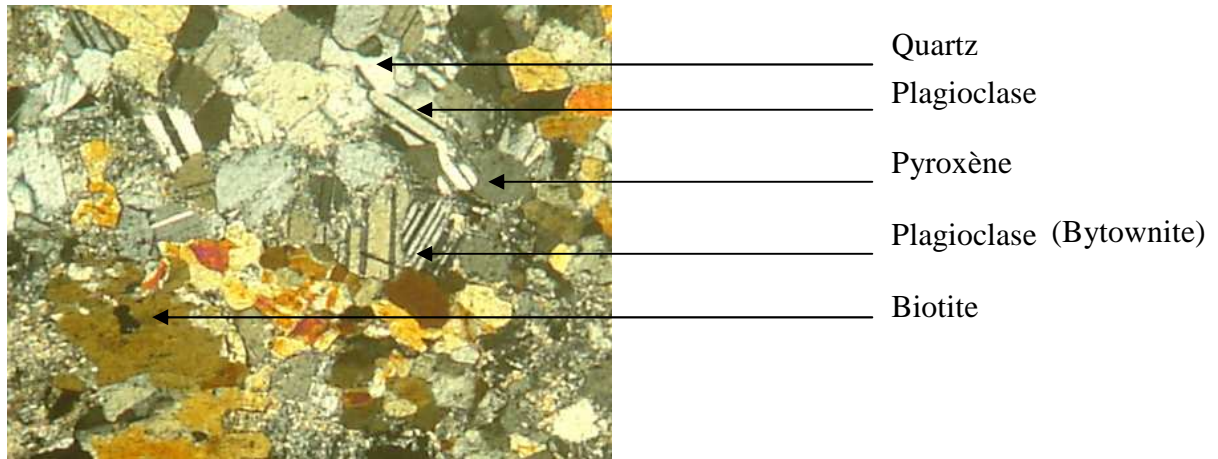


**Figure 11 : Agrandissement 50fois, F1-1 LPnA, Chromite**

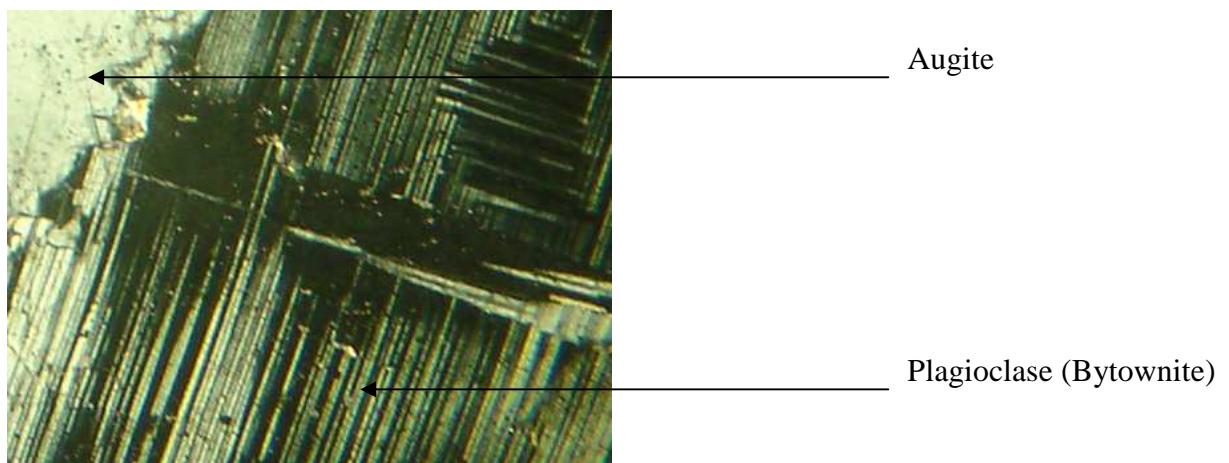


**Figure 12 : Agrandissement 50fois, A7 LPA, Pyroxénite**

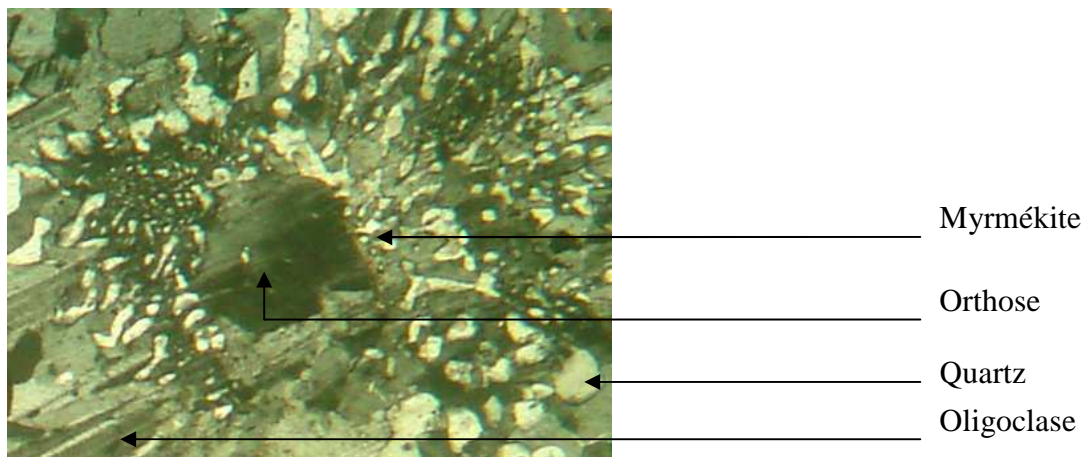




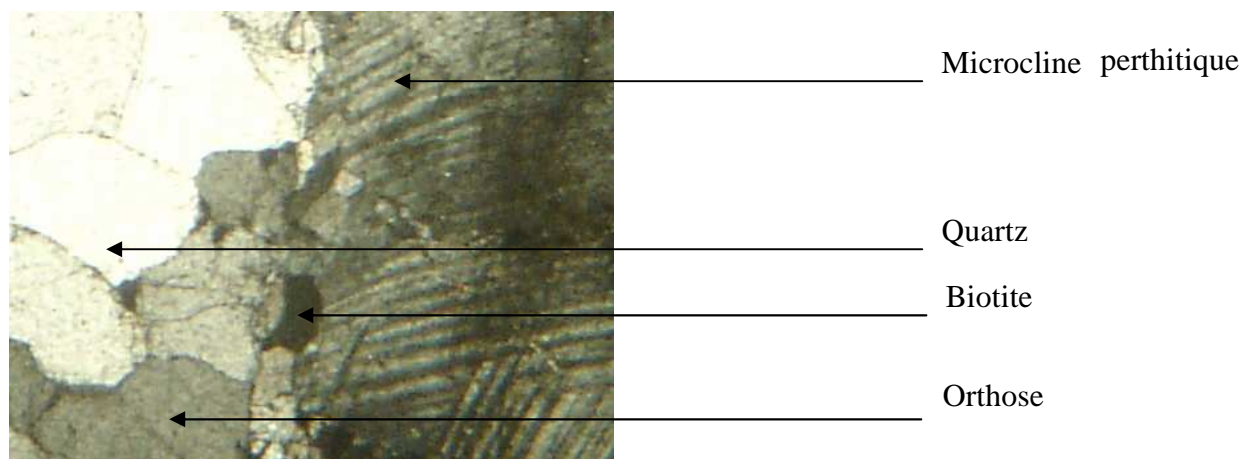
**Figure 13 : Agrandissement 50 fois, A9 LPA**



**Figure 14 : Agrandissement 50 fois, A17 LPA partie claire, Plagioclase**



**Figure 15 : Agrandissement 50 fois, A21 LPA, Myrmékite contenu dans Migmatite**



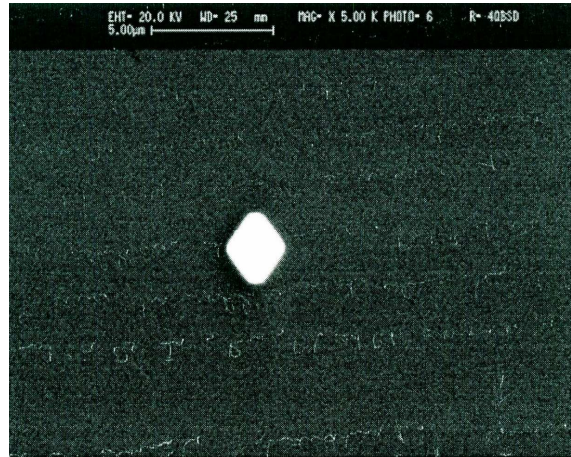
**Figure 16 : Agrandissement 50 fois, A22 LPA, Pegmatite**

## **VI– Différentes formes de EGP**

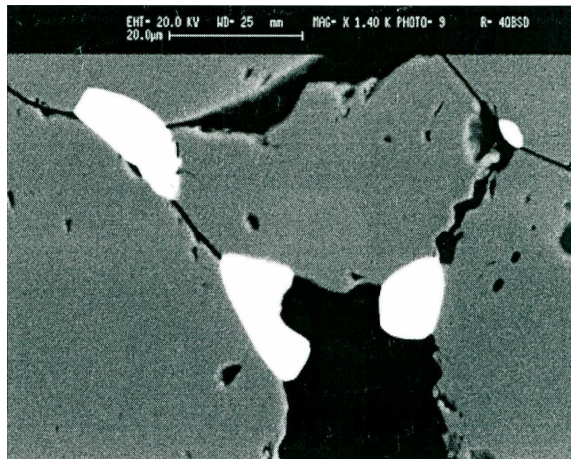
Signalons qu'on ne peut pas observer les EGP au microscope optique. Dans ce cas on doit recourir à des microsondes. D'après le Docteur en Géologie Monsieur RAKOTOMANANA Dominique, les EGP se trouvent sous forme d'inclusions dans la chromite. Ainsi, ils peuvent être de deux formes soit :

- sous formes minérales (braggite, sperrylite) dans l'interstice des grains de chromites,
- sous formes de substituants des éléments des cristaux de chromite.

Les figures 17 et 18 suivantes nous montrent ces deux formes. Elles sont prises à l'Université de Milan en Italie.



**Figure 17 : EGP dans la chromite sous forme d'inclusion. (Université de Milan en 2006)**



**Figure 18 : EGP sous forme de substituant en contact avec le zircon. (Source : Université de Milan en Italie en 2006)**

**TROISIEME PARTIE**  
**LA CHROMITE D'ANDRIAMENA ET LES EGP**

# CHAPITRE I : LA CHROMITE D'ANDRIAMENA

Andriamena se trouve dans la partie Nord de l'île dans la commune rurale de la région de Betsiboka. Elle dépend de la sous préfecture de Tsaratanana, dans la province de Majunga.

Andriamena appartient au socle cristallin malagasy.

## I- Situation géologique et gîtologique

La géologie malgache comprend deux grandes parties :

- les formations sédimentaires, composées du Karroo et du post-Karroo, présentant une structure monoclinale, légèrement inclinée vers l'Ouest et qui couvrent le tiers occidental de l'île,
- le socle cristallin fortement plissé et métamorphisé et qui constitue les deux tiers.

### I-1- Le socle cristallin

Il comporte :

- le Katarchéen entre 4500 MA et 3200 MA : représenté par des massifs ou dômes granitiques ou migmatitiques et des metabasites,
- l'Archéen entre 3000 et 2600 MA : qui comprend de bas en haut :
  - les rides anticlinoriales granitoïdes et migmatitiques de direction subméridienne,
  - le système Andriamena-Manampotsy à deux faciès : l'un à dominance silico-alumineuse et graphiteuse, et l'autre à dominance calcaro-ferromagnésienne représentée par les séries d'Andriamena, Maevatanana, Beforona et Alaotra,
  - le Protérozoïque représenté par des formations plus récentes, entre 2 600 et 550 MA.

La Figure 19 suivante nous montre ces différentes formations géologiques sur une carte de Madagascar. La lecture des légendes s'effectue de bas en haut.



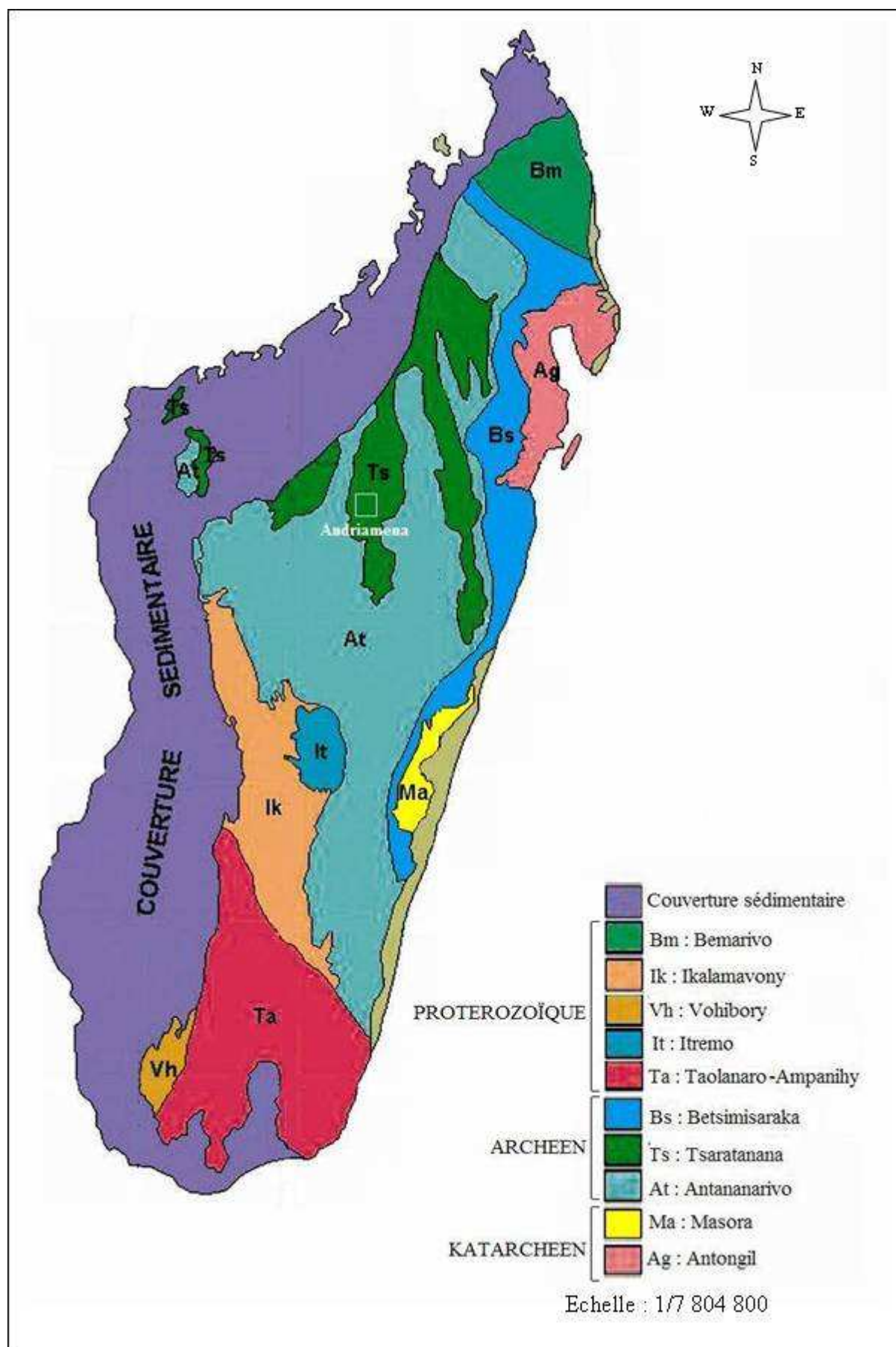
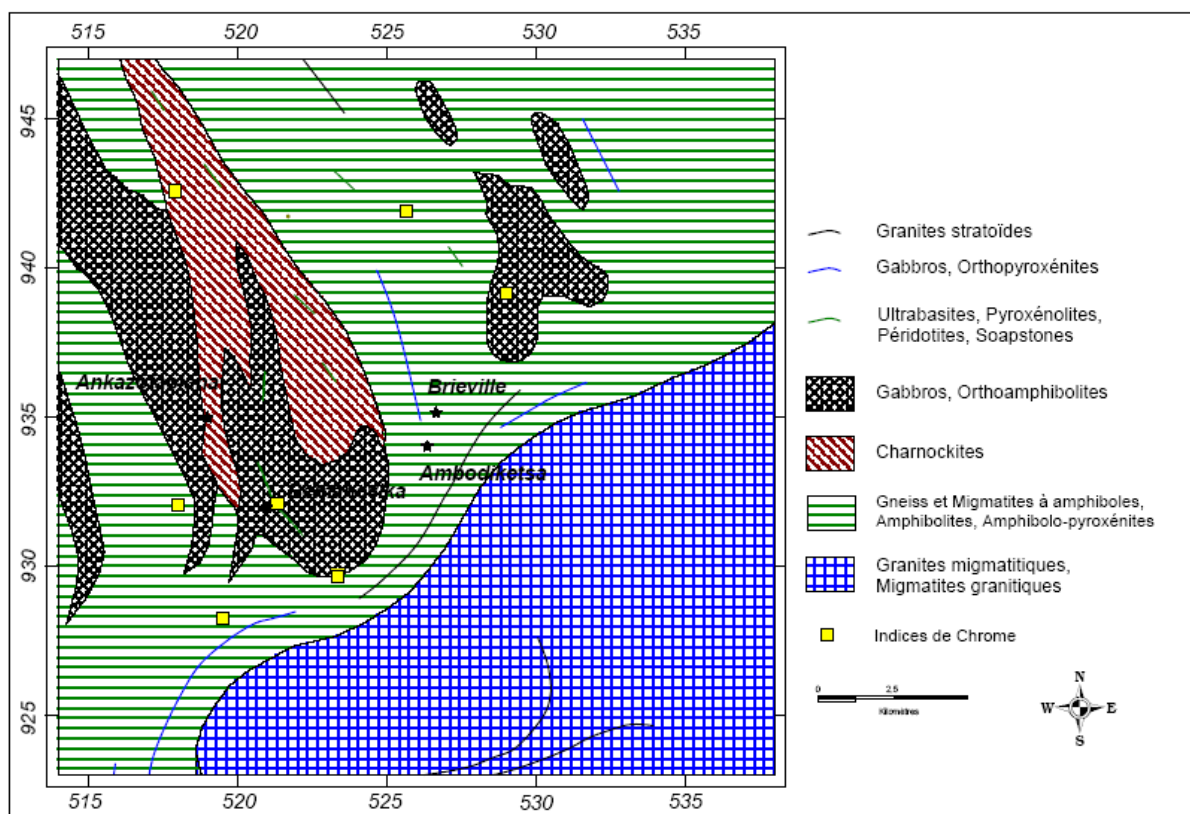


Figure 19 : Carte géologique de Madagascar (Source : PGRM)

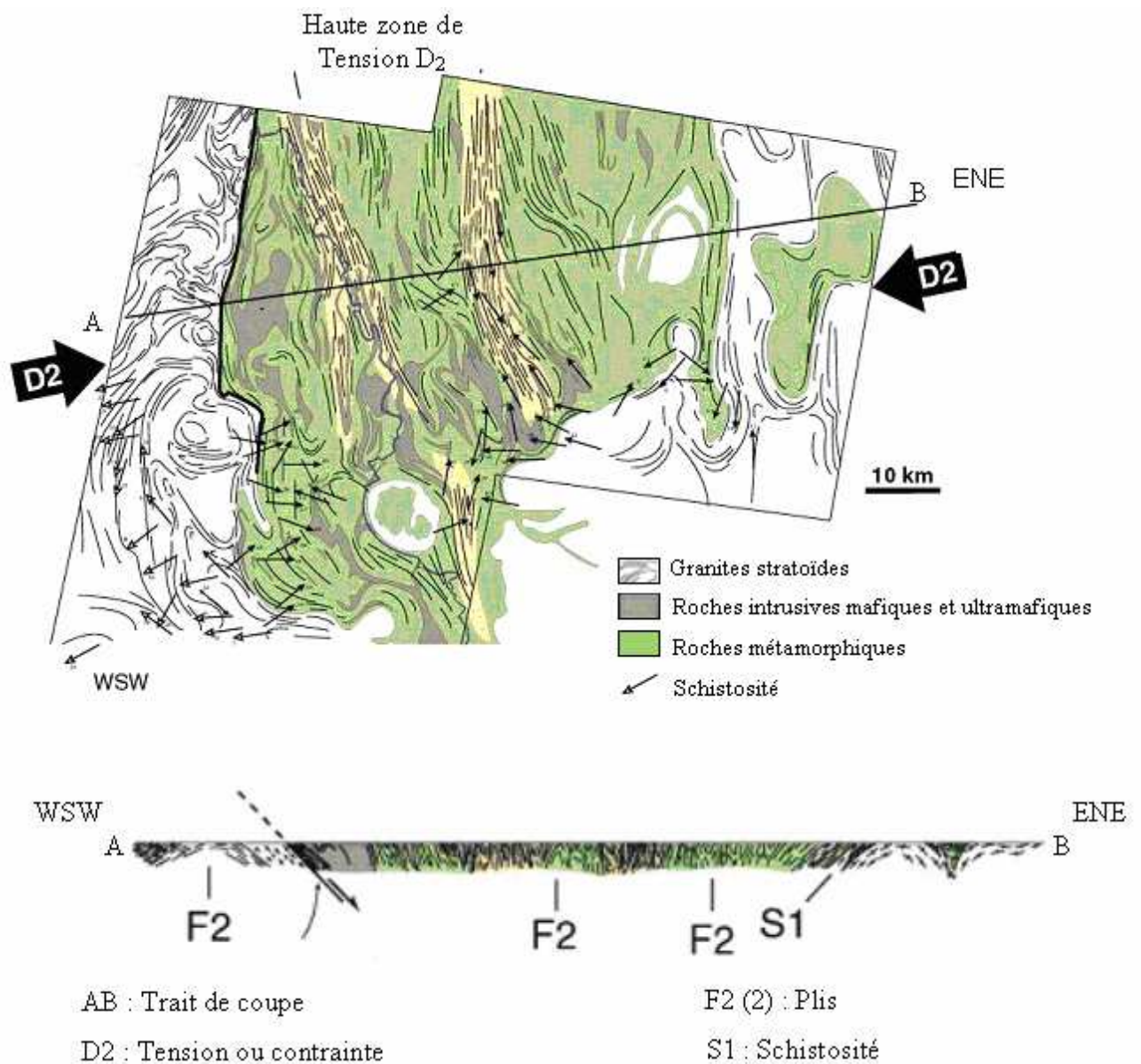
## I-2- Géologie régionale du périmètre chromifère d'Andriamena

Le périmètre chromifère d'Andriamena fait partie de l'Archéen, du système Andriamena-Manampotsy, à dominance calcaro-ferromagnésienne. La Figure 20 indique ce périmètre chromifère d'Andriamena situé dans le même cadre géologique que la cité de Brieville.



**Figure 20 : Cadre géologique de la zone à chromite de Brieville (Source : SIGM)**

La zone chromifère d'Andriamena forme un vaste synclinorium constitué par une série gneissique et migmatitique qui contient des roches basiques et ultrabasiques plus ou moins métamorphisées. Ces roches forment des lentilles allongées et conformes à la schistosité cristallophyllienne régionale située à l'Ouest du massif noritique. La chromite se dispose en amas ou inclusions dans ses roches. Elle provient de la fusion partielle et locale du manteau par montée diapirique. La Figure 21 résume ces différents phénomènes géologiques.



**Figure 21 : Carte structurale de l'unité d'Andriamena avec coupe [13]**

Cette région connaît une altération météorique due aux roches riches en Fe, Mg et SiAl. Ainsi, la chromite apparaît en surface par le phénomène de lavakisation.

Divers phénomènes ont affecté la région au cours des temps géologiques ; il s'agit :

- d'un métamorphisme de tension,
- de la transformation des structures ophiolitiques en résiduelles,
- des transformations chimiques, résultats d'une altération hydrothermale préférentielle.

### **I-3- Roches encaissantes de la chromite**

La chromite se trouve dans des roches basiques et ultrabasiques telles que :

- les pyroxénolites à olivine et leurs dérivées : soapstone, actinotite, trémolite,
- les péridotites type harzburgite formé d'hypersthène et d'augite,



- les gabbros de type norite à l'hypersthène ferrifère avec labrador,
- les pyroxènes basiques sont formés par de clinopyroxène et de diallage.

La chromite est emballée ainsi dans une masse de péridotites (altérées soit en soapstone, soit en serpentine) et de pyroxénolites. La composition chimique et minéralogique des roches encaissantes influent sur la qualité du minerai ainsi que les produits de leur altération [19].

D'après la figure 22, la région d' Andriamena contient non seulement des roches basiques et ultrabasiques mais aussi d'autres roches leucocrates. Ce sont surtout des charnockites, des gneiss et des migmatites. Aux gneiss sont associés les termes de sillimanite et de cordiérite. Ces derniers sont les minéraux indicateurs de métamorphisme.

# CARTE GEOLOGIQUE DE MANAKANA

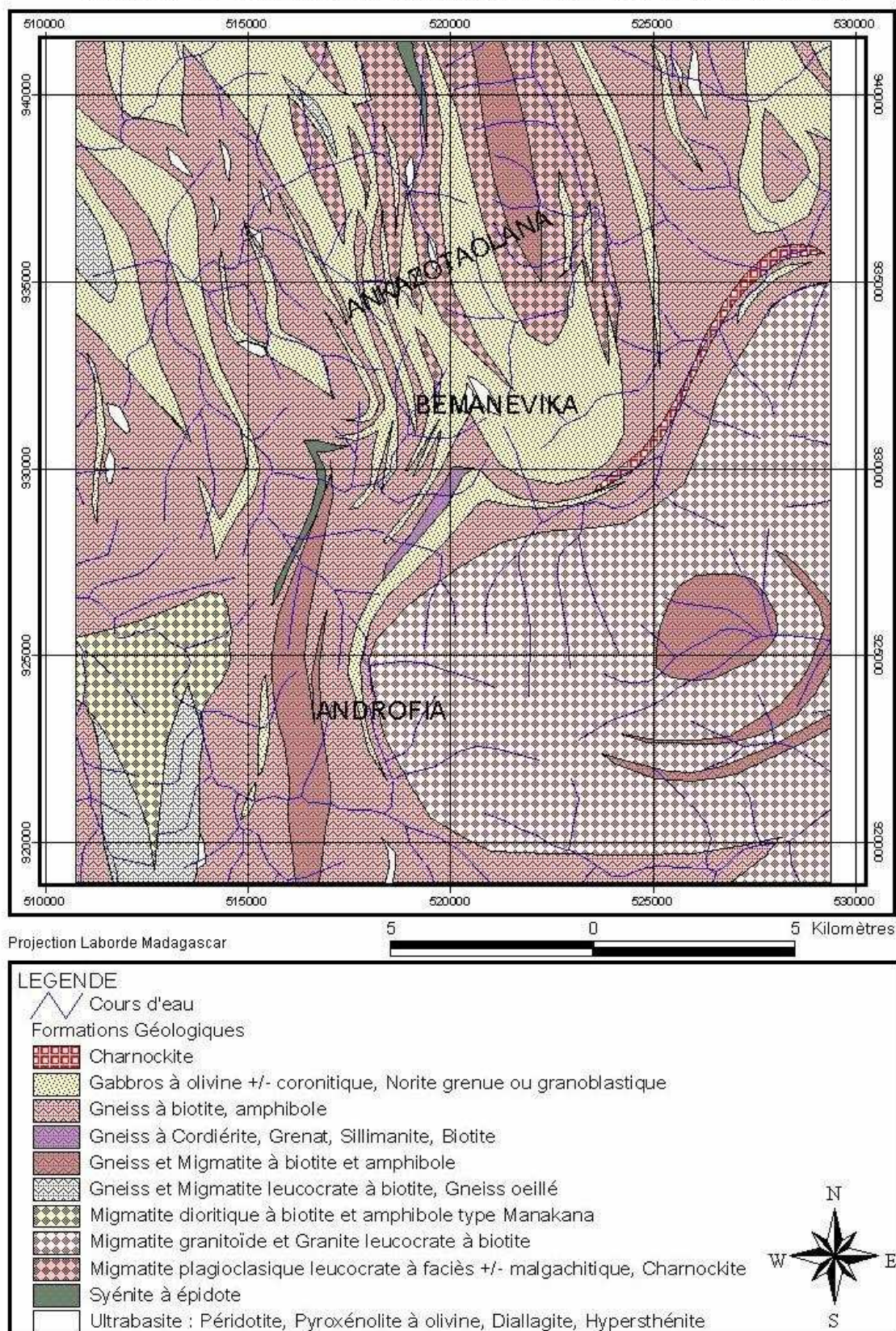


Figure 22 : Les trois principaux gîtes de chromite d'Andriamena

## II- Chromite d'Andriamena

Elle se présente dans des associations minérales de haute intensité métamorphique soit :

- les faciès « granulite » qui sont représentés dans le domaine des sous faciès B-2-3 (sillimanite, almandin, orthose). Ils couvrent la quasi- totalité de la zone axiale,
- les faciès granulites à hornblende (série d'Andriamena et de l'Androna),
- les roches à paragenèse de granulite à hornblende dans un environnement B-2-3.

Le minéral de la gangue primaire d'Andriamena est généralement une orthopyroxène (Bemanevika fait exception avec l'olivine). La chromite d'Andriamena se dispose soit en lentille ou inclusion au milieu des roches ultrabasiques soit en amas laminé [17].

### II-1- Qualité de la chromite d'Andriamena

Cette qualité dépend de la nature des roches encaissantes. Il apparaît qu'elle est d'autant meilleure que la teneur en fer de la gangue est plus basse et le ratio Cr/Fe est plus élevé. Ainsi, les minerais associés à des péridotites (altérées soit en soapstone, soit en serpentine) sont de meilleure qualité que ceux liés à des pyroxénolites [19].

On notera que la minéralisation est essentiellement chromifère et que les teneurs en nickel sont infimes. Dans ce cas, le ratio de chromite d'Andriamena est plus riche en chrome au moins égal à 2 et peut atteindre ou dépasser 3. Il s'agit plutôt d'une chromite type magnésien dont le rapport est compris entre autre

$$r = 0,4 < \frac{\text{MgO}}{\text{MgO} + \text{FeO}} < 0,5$$

En se rapportant au classement de chromite, celle d'Andriamena est destinée pour la métallurgie dont la teneur en chrome est supérieure à 46% et celle du fer inférieure à 15%.

Le Tableau 11 ci-après représente les normes requises des produits d'Andriamena pour les concentrés et les rocheux.

D'après ce Tableau, la chromite type concentré présente un pourcentage plus élevé en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et en FeO que celle de type rocheux. Tandis que la première présente un pourcentage moindre en MgO et en SiO<sub>2</sub>, la seconde avec une teneur en eau plus élevée.



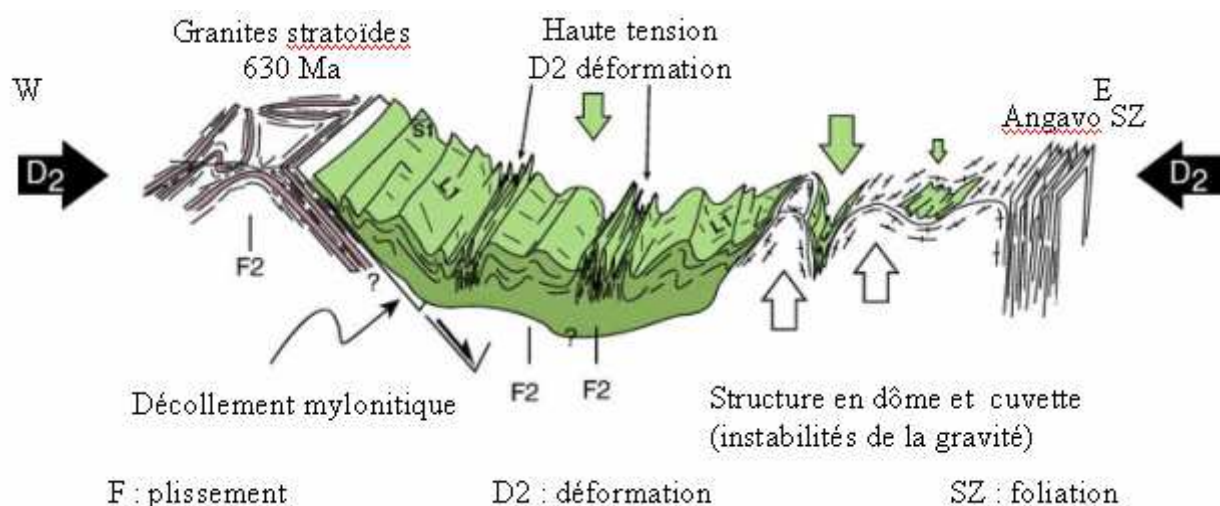
COMPOSANTS	Concentrés	Rocheux
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49% minimum	42% minimum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13-16%	13-16%
FeO	17-18%	13-16%
MgO	12-14%	17-20%
P	0,009% maximum	0,007% maximum
Cr/Fe	2,4/1	2,5/1
SiO <sub>2</sub>	6%	12-14%
H <sub>2</sub> O	6%	1% maximum
Granulométrie	90% entre 40 et 1000 µm	70% entre 25 et 150 mm, 30% moins de 25 mm

**Tableau 11 : Normes requises des produits (Source : KRAOMA)**

## ***II-2-Tectonique***

Andriamena est affecté par des failles de faible pendage de direction côte Est à faible pendage Ouest (5 à 15°). Cette région est intensément faillée de direction côte Est.

Les principaux alignements d'ultrabasites archéens sont soit subméridiens (Ampasary) soit N 20°W (Beforona- Alaotra, Ouest Mandritsara, zone chromifère d'Andriamena). La Figure 23 nous indique les déformations tectoniques souples et cassantes de la zone d'Andriamena.



**Figure 23 : Bloc d'Andriamena montrant la tectonique de cette région**

La trajectoire des foliations de l'unité d'Andriamena montre la prédominance de direction N160° à N180°. Elle est semblable à la direction des couches de gneiss composées de lits parallèles de mafiques, de gneiss quartzo-feldspaths, et des corps mafiques-ultramafiques. Le

plan de foliation SZ est plissé à l'échelle variable par le plissement F2 fortement incliné à plan axial Nord-Sud et à axes sub-horizontaux.

La direction N160° - N180° et la structure synforme Nord-Sud correspondent au plissement F2 qui est en accord avec le raccourcissement horizontal Est-Ouest D2. Cette déformation D2 est hétérogène et se manifeste sous deux aspects :

- une large zone à faible contrainte où les formations sont faiblement plissées,
- un réseau de zone à forte contrainte de dimension environ 10 km orienté N160° - N180° où les foliations sont sub-verticales, caractérisées par un fort raccourcissement sub-horizontale des formations.



1 : Banquette

2 : Gradin

**Figure 24 : Gisement d'Ankazotaolana montrant les gradins**

Nom du gîte (secteur)		Bemanevika (Sud Andriamena)	Ankazotaolana (Sud Andriamena)
Coordonnées	X	521	519
	Y	932	935
Substances		Cr	Cr
Minéraux caractéristiques		Chromite	Chromite
Morphologie		Lentille stratiforme	Lentille stratiforme
Direction générale de la minéralisation		SSE-NNW	SE-NW
Roches encaissantes	Âge	Archéen	Archéen
	Nature	Pyroxénolite, Harzburgite	Pyroxénolite, Péridotite, Gabbro
Données économiques	Taille	3	3
	Tonnage métal kt	950	1700
	Teneur % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,5	40,7
Carte géologique		MANAKANA P-44	MANAKANA P-44

**Tableau 12 : Principaux gîtes de chromite de Madagascar**

D'après le Tableau 12, on constate que Bemanevika et Ankazotaolana se localisent dans un même contexte géologique (Sud Andriamena, d'âge archéen). Seulement le gîte d'Ankazotaolana présente une teneur Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plus élevée que le gîte de Bemanevika. Les deux gîtes présentent de bonne qualité et répondent à la norme internationale.

### III – Traitement de chromite d'Andriamena

C'est une opération qu'il faut formellement exécuter, afin d'obtenir des produits marchands de bonne qualité. Elle consiste à traiter le minerai brut en suivant les évolutions du traitement à la laverie.

#### III-1- Objectif

Il consiste à obtenir un concentré de chromite à partir du minerai brut, de tout venant. Pour atteindre ce but, il faut tenir compte de la teneur des composants du minerai (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ...), de la granulométrie, de la quantité d'eau présente et des impuretés.

## II-2- Procédé

La KRAOMA dispose quatre sections :

- le concassage,
- la laverie proprement dite,
- la liqueur dense,
- la déphosphoration,

et les produits finaux obtenus seront soumis au contrôle des laboratoires.

### III-2-1- Concassage

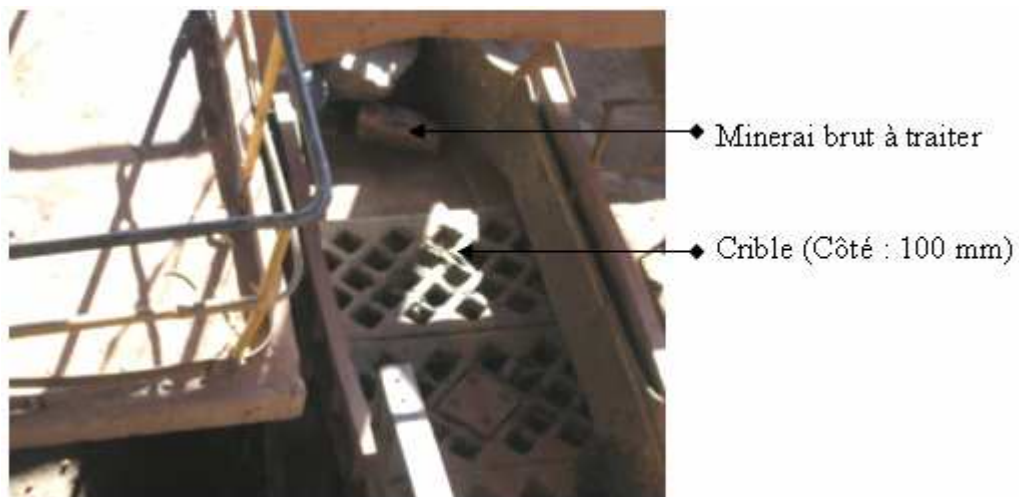
Le minerai transporté par le chargeur passant aux trémies, est soumis à des forces mécaniques, et se casse en particules de différentes tailles. Ces éléments passent dans le crible à maille carrée dont le côté est de l'ordre de 100 mm.

Le criblage et le tamisage ont pour but le fractionnement granulométrique des minerais en les faisant passer par les ouvertures de toiles métalliques à mailles en général carrées.

Pour définir un criblage, on indique en millimètres l'ouverture des trous ; par exemple la fraction 30 – 50 indique que le lot est passé dans des trous carrés de côté 50 mm et a été refusé par des trous carrés de 30 mm

Pour les petites ouvertures, on s'exprime en général en mailles, procédé américain désignant un nombre d'ouvertures par unité de longueur.

La Figure 25 nous montre un exemple de forme de crible qui est à maille carrée.



**Figure 25 : Crible à maille carrée**

Les éléments qui n'ont pas pu traverser cette maille passent au concasseur et suivent la bande transporteuse jusqu'au crible. Ce crible comporte trois étages de différentes mailles.

Les plus petits éléments passent à l'étage inférieur dont la maille du crible est de 14 mm. Après, ils suivent une bande transporteuse et s'accumulent dans le silo laverie.

Les éléments de taille moyenne passent à l'étage moyen du crible dont l'ouverture de la maille est de l'ordre de 25 mm. Après, ces éléments subissent un traitement dans les concasseurs giratoires. Ils deviennent réduits et rejoignent la laverie proprement dite. Ces deux produits obtenus alimentent donc le silo laverie. Le produit final de ce traitement constitue le concentré. Enfin, les gros éléments restent à l'étage supérieur du crible dont l'ouverture de la maille est de 40 mm. Ces derniers traversent une bande transporteuse et alimentent le circuit de la liqueur dense, afin d'obtenir le produit final des rocheux.

Bref, le concassage permet la réduction de la granulométrie des blocs de chromite pour l'alimentation de la laverie (granulométrie inférieure à 40 mm), et pour celle de la liqueur dense (granulométrie comprise entre 40 et 150 mm).

### ***III-2-2- Laverie proprement dite***

La laverie se divise en 2 groupes : le broyage et le traitement.

#### ***III-2-2-1- Broyage***

Les minerais accumulés dans le silo laverie se mélangent. Ils suivent la bande transporteuse et arrivent dans le crible à maille rectangulaire d'ouverture 3,5 mm. Ensuite le broyeur à boulets les réduit en particules plus fines. Ils vont dans la pompe à pulpe et traversent le crible statique ayant comme maille 2,5 à 3 mm d'ouverture. Ainsi deux cas peuvent se présenter :

- les minerais qui ont passé ce crible vont être pompés et entrent dans le répartiteur tournant,
- ceux qui n'ont pas pu traverser la maille du crible vont être rebroyés et après, passent dans le répartiteur tournant.

#### ***III-2-2-2- Traitement***

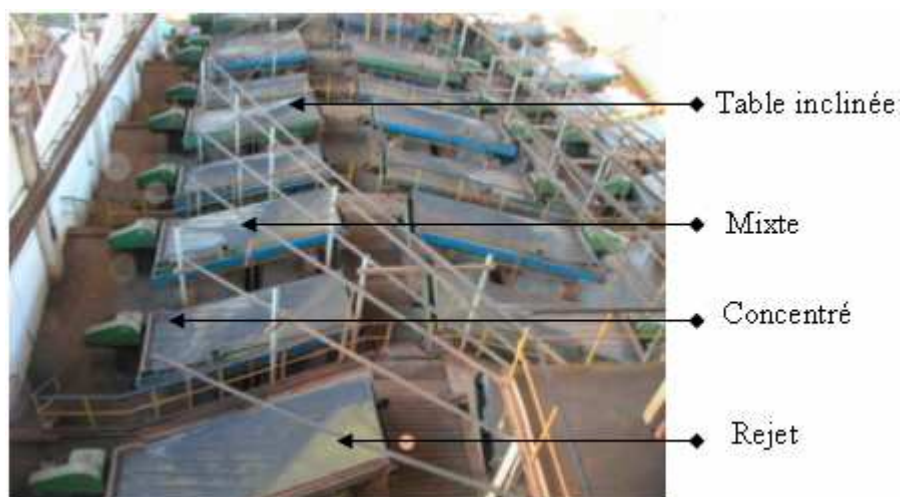
Puis ces éléments se concentrent au niveau de l'hydroclasseur ou hydro classification qui commande la distribution des produits au niveau des tables à secousse et comme l'indique la Figure 26. Celles-ci se répartissent en 2 classes :

- les tables primaires qui sont alignées en trois rangées de six, soient au nombre de 18,
- les tables secondaires ou tables de retraitement.



Ces tables sont plus ou moins inclinées dont la face supérieure est formée par de rifles plats. Les tables permettent de distribuer les produits en concentré- mixte- rejet. Le principe est basé sur la gravimétrie.

La chromite ayant une forte densité se trouve accumulée au niveau du concentré, tandis que le rejet de faible densité sera emporté par l'eau. Au milieu, on a le produit mixte. Ainsi pour récupérer la chromite, ce produit mixte passe au niveau des tables secondaires ou tables de retraitement.



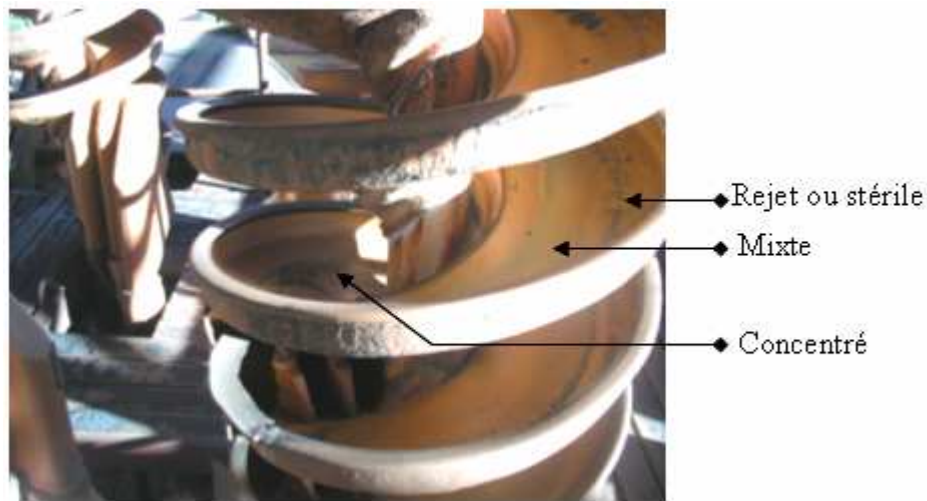
**Figure 26 : Vue d'en haut des tables de traitement des chromites**

De ce fait, le concentré à 50% au niveau des tables primaires passent par les goulottes et vont au niveau de l'aire de stockage. Le produit mixte après son passage au niveau des tables secondaires va être broyé par le broyeur de retraitement. Puis, il va au niveau du crible de 2,5mm d'ouverture. Ensuite, il va être de nouveau pompé et entre au niveau de l'hydroclasseur. Après, le concentré de mixte traverse la pompe à pulpe et entre au niveau des spirales au nombre de quatre.

Signalons que la spirale joue le même rôle que les tables primaires. Trois forces interviennent au niveau de cette spirale:

- la force centrifuge qui permet d'éloigner les stériles de l'axe de la spirale,
- la gravimétrie qui permet de mesurer la composante verticale du champ de pesanteur,
- la force de pesanteur est une valeur proportionnelle à la masse de la chromite, qui se

traduit par l'existence d'une force verticale, le poids de ce minerai, appliquée au centre de gravité. La Figure 27 permet de distinguer la distribution des minerais en rejet ou stérile, en mixte et en concentré au cours de leur passage au niveau des spirales pendant le traitement de chromite.



**Figure 27 : Spirale**

Ainsi les produits obtenus du concentré des mixtes se répartissent en trois :

- le rejet ou le stérile,
- le mixte ou le rejet spiral,
- le concentré.

**NB :** le rejet spiral suit le traitement de déphosphoration si c'est rentable ; le concentré est mis au niveau de l'aire de stockage. Tandis que, ce concentré avant de se trouver au niveau de l'aire de stockage, suit le circuit du broyeur de retraitement et passe au niveau du crible. Il va être pompé et entre dans le tamiseur « Saulas » [15]. Il suit la bande transporteuse qui l'amène au niveau de l'aire de stockage, et le stérile sera jeté.

La Figure 28 résume le traitement que subit la chromite au cours de son passage dans la section laverie afin d'obtenir des concentrés.

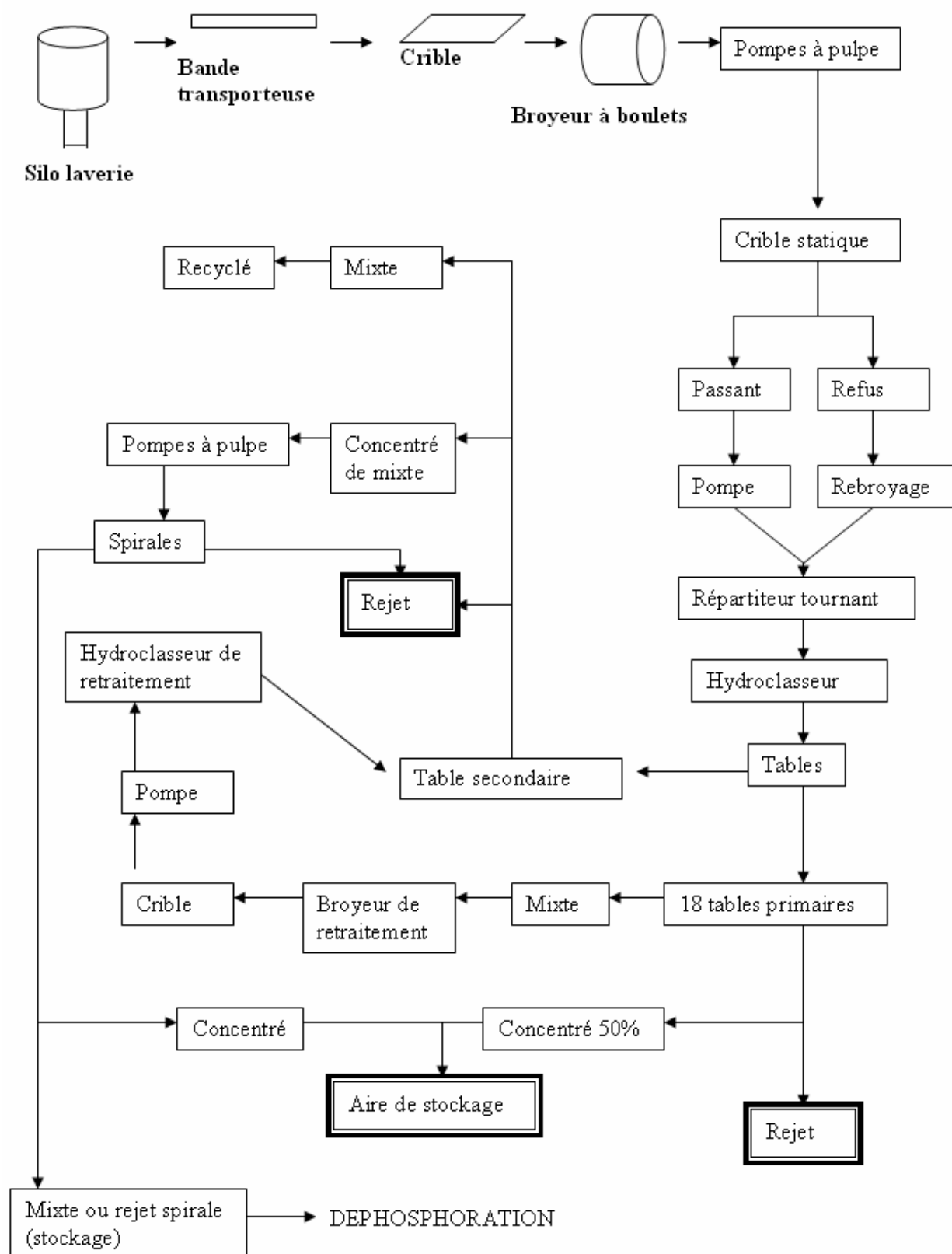


Figure 28 : Schéma du traitement des concentrés de chromite

### ***III-2-3- Liqueur dense***

C'est un traitement qui permet d'obtenir des produits sous forme « rocheux ». Le minerai obtenu après le concassage dans le premier étage du crible, ayant un diamètre supérieur à 40 mm, s'accumule dans le silo liqueur. Ce minerai sera transporté au niveau du crible par une bande transporteuse. Ce crible est muni de toile de criblage à mailles différentes : 20 mm, 40mm.

Le minerai, obtenu après passage dans ce crible, se répartit en deux : le déclassé et le produit utile passant dans le tambour séparateur. Dans ce dernier se trouve la liqueur dense constituée surtout par des ferrosiliciums. Le tambour en tournant mélange le produit sous l'action d'un auget. Au cours de ce phénomène, les roches de forte densité s'accumulent au fond, tandis que celles de densité faible (stériles) vont être expulsées et rejetées. Puis, les roches obtenues passent au crible de rinçage, traversent la bande transporteuse et s'accumulent dans le lieu de stockage. Ces produits vont être transportés par camions semi-remorques vers Morarano.

### ***III-2-4- Déphosphoration***

C'est une usine qui permet d'épurer les concentrés phosphoreux. Elle comprend un four de séchage et des séparateurs magnétiques basses et hautes intensités.

La section déphosphoration des concentrés a été mise en service en 1977. Mais elle perturbe le prix de revient en raison de la quantité de gazole utilisée pour le séchage. Or, il s'avère que la teneur en phosphore dans trois ou quatre premières tables reste dans les normes de la commercialisation ; ne pas déphosphorer ces concentrés, qui représentent 75% de la production, reviendrait à réduire d'autant la consommation de gazole.

Depuis l'année 2002, cette usine de déphosphoration n'est plus utilisée du fait de la dépense en carburant trop élevée. Sa fonction est en grande partie remplacée par les spirales. Mais, le déclassé des mixtes pourra être retraité par la déphosphoration en cas de besoin et si le marché le permet. Actuellement, le déclassé des mixtes est stocké dans un endroit sécurisé. Signalons que les échantillons devront passer par une analyse chimique aux laboratoires avant d'être commercialisés, car, le prix de chromite est fonction de la teneur en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  et du ratio. Ces variables ne peuvent être obtenues qu'après traitement aux laboratoires. La société dispose de deux laboratoires :

- laboratoire pilote qui se charge de la préparation des échantillons à tester. Chaque échantillon passe au broyage à mâchoire, puis subit l'action du concasseur et pour finir dans le broyeur cylindrique. Après, chaque échantillon passe au broyeur à disque qui se place sur le vibrobroyeur.
- laboratoire chimique qui permet de déterminer les divers dosages de chrome, de silice, de phosphore et de fer.

## **CHAPITRE II : LES PLATINOÏDES D'ANDRIAMENA**

### **I- Platinoïdes à Madagascar**

Les platinoïdes à Madagascar sont considérés comme des sous produits du fait de sa faible teneur. Pourtant, l'île renferme une part importante des roches éruptives basiques et ultrabasiques favorables pour les platinoïdes. Mais les indices signalés jusqu'à l'heure actuelle ne permet pas à un meilleur rendement.

Les indices se répartissent dans trois contextes spécifiques [40] :

#### **I-1- Formations archéennes ou andriaméniennes**

Elles sont les plus importantes en nombre. Elles sont liées à des roches basiques et ultrabasiques riches en calco-ferromagnésiennes, associées ou non à des chromatites. Elles sont marquées soit :

- par des lentilles d'ultrabasites,
- par des intrusions basiques stratifiées.

Parmi les six éléments de EGP, trois sont présents le platine, le palladium et le ruthénium. C'est le cas par exemple de la production de l'Anosibe et de l'Antara. Ces métaux peuvent être exprimés sous différentes formes :

- native,
- sulfurée,
- arsénisée (sperrylite, laurite).

#### **I-2- Formations androyennes**

Ces formations se localisent à cheval sur la limite des groupes de Fort Dauphin et de Tranomaro. Elles sont enrichies en roches volcaniques acides et en sédiments. Ainsi, les indices sont alluvionnaires, résultants de la destruction de sills noritiques présents.

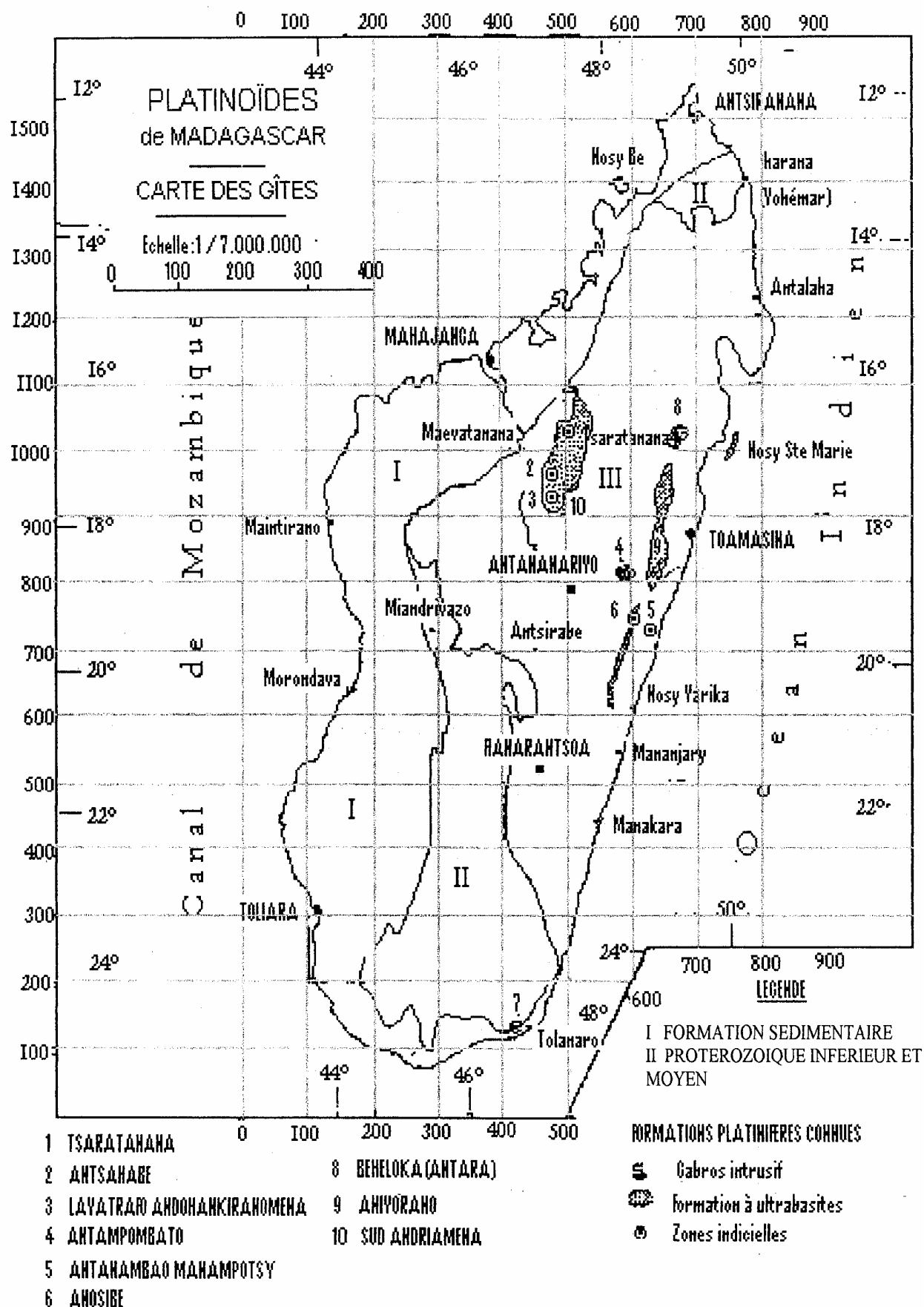
#### **I-3- Formations d'Antampombato**

Elles sont caractérisées par des gîtes de nickel, de fer latéritiques et des traces de sulfures contenues dans des pyroxénolites. Les métaux de EGP sont sous la forme arsénisée de laurite ou d'osmiridium.

Nom du gîte (secteur)	Coordonnées		Substance	Minéraux caractéristiques	Morphologie	Roches encaissantes		Données économiques			Carte géologique 1/1 000 000
	X	Y				Age	Nature	Taille	Tonnage	Teneur mg/m <sup>3</sup>	
MORAFENO (TSARATANANA)	510	1070	Ir Pt Ru Os Au	Sperryllite, Laurite, Osmiridium, Or	Alluviale	Archéen	UB	0		Traces	TSARATANANA P - 41
AMPASINDAVA (TSARATANANA)	510	1040	Ir Pt Ru Os Au	Sperryllite, Laurite, Osmiridium, Or	Alluviale	Archéen	UB	0		Traces	TSARATANANA P-41
MANAKANA (Sud ANDRIAMENA)	515	930	Ir Pt Ru Os Au	Sperryllite, Laurite, Osmiridium, Duomite, Or	Alluviale	Archéen	UB	0		Traces	MANAKANA P - 44
BOANA (Sud ANDRIAMENA)	485	930	Ir Pt Ru Os Au	Sperryllite, Laurite, Osmiridium, Duomite, Or	Alluviale	Archéen	UB	0		Traces	TSARAMASOANDRO O - 44
ANTSAHABE (Ouest ANDRIAMENA)	484	960	Pt	Sperryllite, Platine.	Alluviale	Archéen	UB	0		0-60 Pt 0-789 Au	LONDOKOMANANA O - 43
	484,4	961	Pt Pd Ni Cu	Melonite, Chalcopyrite, Pyrrhotine, Pentlandite	Dissemination	Archéen	UB	(1 puissance = 140m)		0,31 g/t Pt q. Cu 0,35 à 0,95%	
LAVATRAFO (Ouest ANDRIAMENA)	484	933	Pt, Au	Sperryllite, or natif	Alluviale	Archéen	UB	0		5,9 – 728 Pt 0,6 – 5,9 Au	LONDOKOMANANA O - 43
ANDOHAKIRANOMENA (Ouest ANDRIAMENA)	484	928	Pt, Au	Sperryllite, Or natif	Alluviale	Archéen	UB	0		0 – 50,7 Pt <0,6 Au	LONDOKOMANANA O - 43

Nom du gîte (secteur)	Coordonnées		Substance	Minéraux caractéristiques	Morphologie	Roches encaissantes		Données économiques			Carte géologique 1/1 000 000
	X	Y				Age	Nature	Taille	Tonnage	Teneur mg/m <sup>3</sup>	
ANDOHAKIRANOMENA (Ouest ANDRIAMENA)	484	928	Pt, Au	Sperrylite, Or natif	Alluviale	Archéen	UB	0		0 – 50,7 Pt <0,6 Au	LONDOKOMANANA O - 43
AMBATOVY – ANALAMAY (MORAMANGA)	598	808	Ru Ir Os Pt Pd Au	Laurite, Osmiridium, Sperrylite, Coopérite, Stibiopalladinite, Or natif	Alluviale	Crétacé	Cabbro	0		7 – 32 Pt	LAKATO S - 47
ANTANAMBAO MANAMPOTSY (SW VATOMANDRY)	633	720	Pt, Au	Platine natif, Or	Alluviale	Archéen	Trémolite soapstones	0			MAHANORO T - 49
ANOSIBE (SUD MORAMANGA)	600	740	Pt, Au	Platine natif, Or	Alluviale	Archéen	UB	0		5 Pt	MANAMPOTSY S - 48
BEHELOKA – ANTARA	675	1010,8	Pt, Au	Platine, Or natif	Alluviale	Archéen	Cabbro	0		Traces	ANTARA U - 42
ANIVORANO (Sud BEFORONA)	620	830	Pt	Platine,	Alluviale	Archéen		0		Traces	FIERENANA S - 46
RANOMAINTY (TOLAGNARO)	411,5	127,8	Pt, Ru, Au	Platine, Sperrylite, Or	Alluviale	Protérozoïque	Orthogneiss basiques	0		Traces	RANOPIISO M - 62
TSIATORO (TOLAGNARO)	428,5	122,2	Pt, Au	Platine, Or	Alluviale	Protérozoïque	Orthogneiss basiques	0		Traces	RANOPIISO M - 62

**Tableau 13 : Principaux gîtes de platinoïdes de Madagascar**  
(Source : Direction des Mines et de la Géologie)



**Figure 29 : Carte des gîtes de platinoïdes de Madagascar**

Source : Direction des Mines et de la Géologie



## **II- Platinoïdes d'Andriamena**

Les formations archéennes (ou andriaméniennes) qui se répartissent dans les deux tiers nord de Madagascar comprennent les quatre grands chenaux synclinoriaux subméridiens d'Ouest en Est. Il s'agit des synclinoriums de :

- Maevatanana,
- Andriamena,
- Alaotra,
- Vavatenina.

Ces formations présentent différents niveaux :

- un niveau inférieur marqué par des dépôts détritiques siliceux ou des conglomérats de base,
  - un niveau supérieur marqué par des intrusions ou intercalations basiques et ultrabasiques.
- Elles portent les deux grands gisements de chromite qui sont Ankazotaolana et Bemanevika.

### **II-1- Localisation de la zone d'étude**

Cette zone est caractérisée par des formations basiques et ultrabasiques riches en dunites et norites. Elle renferme aussi des braggites. Située à 65 km à vol d'oiseau au Nord Ouest d'Ambatondrazaka, dans la province de Majunga, elle est délimitée par les coordonnées suivantes : A (380 000, 980 000 m), B (560 000, 980 000 m); C (560 000, 900 000 m); D (380 000, 900 000 m) et présentée sur la carte [22].

La rivière de Betsiboka est la limite de partage de la zone Est et de la zone Ouest d'Andriamena.

### **II-2- Caractéristiques [22]**

#### ***II-2-1- Zone ouest de Betsiboka***

Les gisements dans cette zone sont caractérisés par :

- Coordonnées : X = 473 à 476; Y = 925 à 958 (km),
- Indices de minéralisations primaires,
- Les principaux EGP sont le platine et le palladium et exprimés sous forme d'arséniures, disséminés avec des sulfures de Cu-Ni au sein de pyroxénolites interstratifiées dans les norites,
- Elle présente trois zones d'étude représentées dans le tableau 13. Ce tableau nous permet de distinguer les différents gîtes de platinoïdes dans la zone Ouest de Betsiboka et les différentes teneurs correspondantes de chaque zone en fonction des prélèvements.

	<b>Antsahabe</b>	<b>Andohankiranomena</b>	<b>Lavatrafo</b>
Coordonnées		X = 470 000 m Y = 920 000 m	
Teneur Surface de 30 ha	0,7 à 60 mg/m <sup>3</sup> de Pt et 0,6 à 5,9 mg/m <sup>3</sup> d'or	0,001 à 0,15 ppm Gîte primaire : 0,4 ppm ppm à 0,22 ppm	- prélèvement à 1 m : 0,6 -prélèvement à 40 cm : 1,650 en Pt et 1,850 ppm en Pd -prélèvement dans le Clinopyroxenite : 0,6 ppm de Pt et 0,39 en Pd
Ni-Cu	Disséminés sous forme des "bouffées" à teneur insignifiante		

**Tableau 14 : Répartition de gisement de EGP dans la zone Ouest de Betsiboka [40]**

#### ***II-2-2-Zone Sud d'Andriamena***

Elle est caractérisée par :

- Coordonnées (X : 500 000, Y : 920 000 m),
- dans 761 prélèvements, 78 seulement ont présenté des indices de EGP et d'or dont la teneur en ceux-ci est très faible sur une longueur de 50 m, largeur de 2 à 15 m et une puissance de 25 m.

#### ***II-2-3- Zone Est de Betsiboka***

L'analyse au laboratoire indique l'existence de EGP dans la chromite. Les EGP se trouvent sous forme d'inclusions dans celle-ci ou sous la forme de substituant. C'est le résultat de notre analyse au laboratoire génie chimique de Vontovorona.

#### ***II-2-4- Zone Nord d'Andriamena***

Les indices ne sont pas mentionnés, car les corps minéralisés sont du même type que les corps sans chromite.

#### ***II-2-5-Zone Ouest d'Andriamena***

L'étude des platinoïdes dans cette zone permet de voir la discordance entre la minéralisation et les caractères lithologiques dunitiques ou pyroxénitiques.

### II-3- Relations entre minéralisation filonienne et les roches encaissantes

D'après l'étude effectuée par l'OMNIS, on peut affirmer que quelque soit la nature pétrographique des roches encaissantes, la minéralisation en platinoïde se trouve toujours en discordance avec ces roches.

Signalons que la minéralisation d'Antanambao Manampotsy ne fait pas partie de la minéralisation d'Andriamena. Elle se localise dans la région côtière de Tamatave. Elle se situe à 40 km à vol d'oiseau au Sud Ouest de Vatamandry sur la rive droite de Vantana [22].

Ainsi, le tableau 14 nous indique la véracité de cette étude dans trois principaux gîtes.

	<b>Lavatrafo</b>	<b>Andohakiranomena</b>	<b>Antanambao-Manampotsy</b>
<b>Roches encaissantes</b>	Pyroxénites Pyroxénites trémolitisées Noyaux de dunites avec des pyroxénites massives et cassantes Dunites	Orthopyroxénites à gros grains recoupés par des veinules de chromite	Orthopyroxénites à gros grains Pegmatites Gabbros
<b>Platine</b>	Associé à des pyroxénites à platine rouillé	Associé à des orthopyroxénites	Associé à des gabbros
<b>Minéralisation de platinoïdes par rapport aux roches encaissantes</b>	Discordante		
<b>Structure de la minéralisation</b>	Linéaire de 50 à 300 m de longueur, parfois parallèles dans des dykes ou filons redressés de roches basiques et ultrabasiques		

**Tableau 15 : Comparaison des trois principaux gîte de platinoïde à Madagascar**

### III-Etude comparative des complexes platinifères d'Andriamena et d'Antanambao Manampotsy

L'étude du complexe d'Antanambao Manampotsy a été effectuée pour la première fois vers le début du siècle dernier. La production alluvionnaire connue de platine est de 450 g pour deux années d'exploitation de 1909 à 1911 [40].

Ressemblances		Différences		
<i>Complexes platinifères d'Andriamena</i>	<i>Complexe platinifère d'Antanambao Manampotsy</i>	<b>Caractéristiques</b>	<i>Complexes platinifères d'Andriamena</i>	<i>Complexe platinifère d'Antanambao Manampotsy</i>
<b>Intrusions</b>	filoniennes	<b>Date de mise en place des intrusions</b>	Rifting Crétacé	Protérozoïque
<b>Formations Orogénèse</b>	Archéennes 2600 MA			
<b>Platinoïdes</b>	intrusifs	<b>Présence de platinoïdes</b>	Dans les ferrogabbros	Dans les gabbros
<b>Filons de platinoïdes</b>	Subverticales à verticales	<b>Lithologie à dominance</b>	Basites	Ultrabasites
<b>Minéralisation de platinoïdes</b>	Liée aux sulfures			
<b>Roches encaissantes des platinoïdes</b>	Orthopyroxénites à gros grains Granite pegmatitique recoupant les intrusions	<b>Concentration des platinoïdes</b>	Alluvionnaires	Associée à des chromatites

**Tableau 16 : Comparaison des complexes platinifères d'Andriamena et d'Antanambao Manampotsy [22]**

### IV- Gîtes platinifères d'Andriamena par rapport aux autres gîtes mondiaux

Les trois grands gîtes mondiaux sont considérés comme références (type Oural, type Bushveld et type Thompson). Par analogie, le gîte d'Andriamena devrait ressembler à celui du type Bushveld par leur localisation géographique rapprochée. Pourtant, les minéralisations en platinoïde d'Andriamena ne correspondent pas au type Bushveld. Mais les deux présentent une certaine ressemblance. Par exemple, ils sont rattachés à un ensemble d'intrusions de roches basiques, ultrabasiques et sont engendrés par des rifts intracontinentaux dont les roches encaissantes présentent à peu près les mêmes caractéristiques minéralogiques et pétrographiques.

La différence se manifeste au niveau des corps porteurs de minéralisation. En effet le type Bushveld ont des corps porteurs de minéralisation des sulfures de nickel ou de cuivre associés à des chromites ferrifères, si ceux d'Andriamena sont essentiellement des arséniures associés à des chromites non ferrifères sauf exception pour Antsahabe.

La formation des complexes arséniés ou sulfurés dépend de la fugacité en oxygène et la capacité en soufre des magmas. Ainsi, les complexes platinifères d'Andriamena possèdent des particularités et peuvent se présenter en deux modèles lithologiques soit :

- étroitement associé à la différenciation magmatique et à la mise en place des roches mélanocrates
- à un control structural de la mise en place du magma et de la distribution des faciès lithologiques suivi des phénomènes hydromagmatiques postérieurs lors des mouvements tectoniques cisailants.

Dans ce dernier cas, le rôle joué par les fluides d'infiltration métasomatique est important. Ces fluides facilitent le transport et le dépôt des platinoïdes dans les ultrabasites [22].



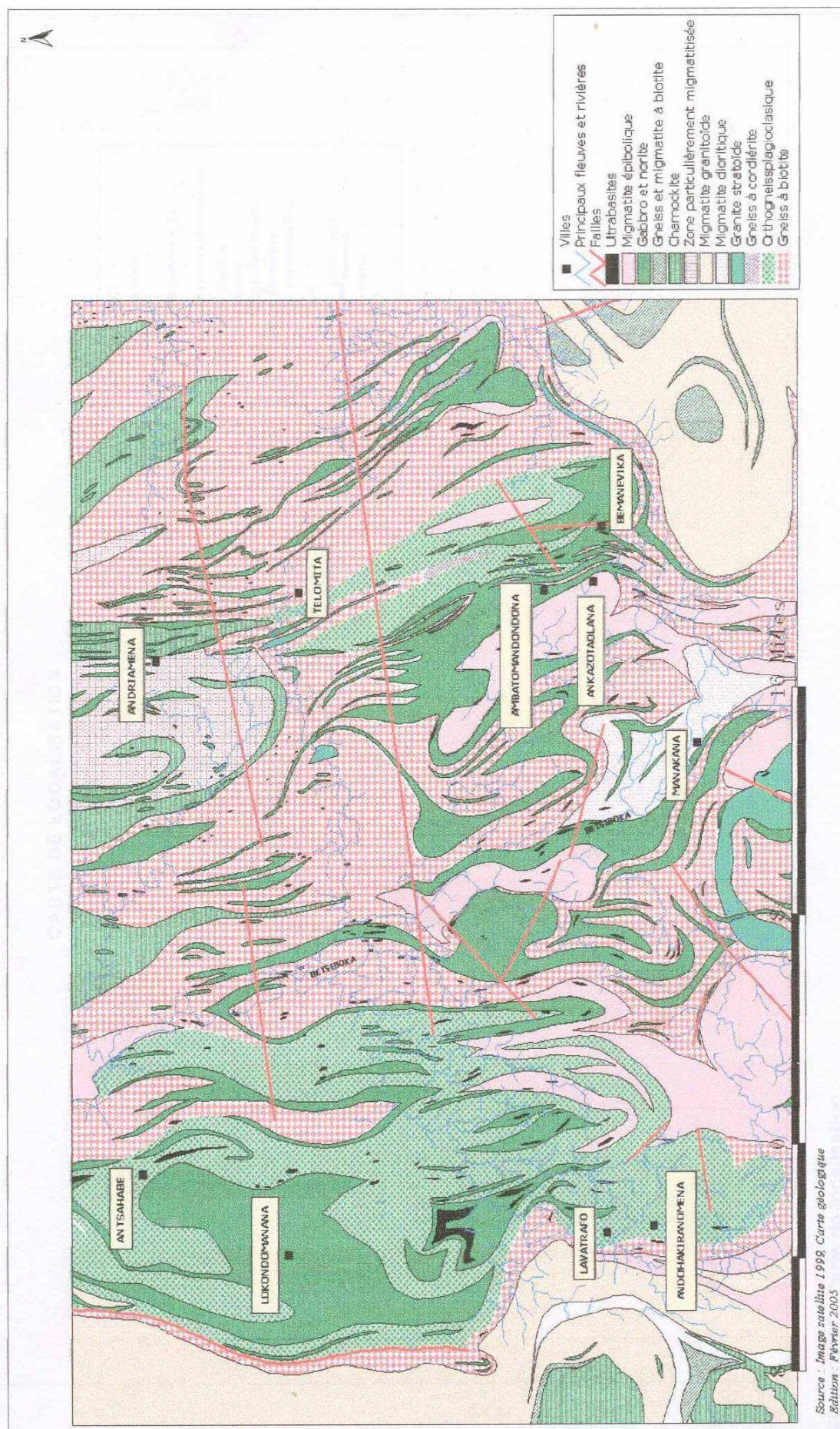


Figure 30 : Localisation des gîtes de platinoïdes d'Andriamena [22]

## CONCLUSION

Comme la chromite, les EGP occupent une place importante dans la vie quotidienne de l'homme. En effet, il joue un rôle important dû à ses propriétés catalytiques et ses points de fusion élevés. Les EGP forment les 6 groupes de métaux qui sont : le platine, le palladium, le ruthénium, l'osmium, le rhodium, et le Rhodium. Ainsi ils sont utilisés en chimie, en parachimie en électronique, dans la médecine moderne et même en bijouterie. Mais le prix élevé de ses EGP limitent ses utilisations.

Plusieurs gîtes de EGP dans le monde ont été déjà exploités mais la demande augmente avec la croissance démographique et les gisements ne sont pas renouvelables. D'où la nécessité d'exploiter d'autres gisements. Madagascar possède des roches basiques et ultrabasiques qui sont les roches encaissantes de certains minerais comme la chromite. Cette dernière est susceptible de contenir des platinoïdes. En général, les platinoïdes sont sous forme d'oxyde, le platine et le palladium occupent un pourcentage élevé par rapport aux autres éléments.

Plusieurs auteurs ont déjà détecté la présence de platine et de palladium dans la chromite d'Andriamena. Mais l'isolement de ces EGP dans la chromite s'avère difficile. Nous avons effectué deux analyses pour confirmer l'existence de EGP dans la chromite, l'une permet l'analyse chimique utilisant des réactifs et de la spectrophotométrie UV, l'autre permet de voir la disposition des minéraux constitutifs de la chromite et de ses roches encaissantes.

Cependant, les résultats obtenus ne sont pas très satisfaisants du fait de nos moyens très limités, mais les valeurs obtenues sont exploitables et interprétables. Ainsi, la teneur en platine d'Ankazotaolana est comprise entre 2 à 4 ppm, celle de Bemanevika est comprise entre 1 à 2 ppm si celle d'Androfia est inférieure à 1 ppm. Nous aurions dû effectuer différentes analyses pour les 5 autres éléments du groupe de EGP mais les réactifs sont soit très cher, soit qu'ils n'existent pas à Madagascar. Dans ce cas, il faudrait recourir à des laboratoires étrangers pour faire analyser les échantillons avec des matériels plus perfectionnés.

Le premier procédé utilisé étant la fusion alcaline par le sulfate double de potassium et d'hydrogène  $\text{KHSO}_4$  suivie de la dissolution par l'eau régale puis l'analyse par spectrophotométrie par UV. Le second procédé consiste de faire des études à partir des lames minces la disposition des cristaux de la chromite et des roches encaissantes par l'utilisation d'un microscope polarisant. Mais les EGP sous forme d'inclusion dans la chromite ne sont pas visibles.

La collaboration avec des chercheurs étrangers de l'université de Milan en Italie nous a permis d'individualiser les EGP dans la chromite et leur disposition par rapport aux silicates. Parmi les méthodes qu'ils ont utilisé, figure la microsonde.

Les EGP d'Andriamena sont liés à des formations archéennes à dominance calco-ferromagnésienne associée ou non à des corps basiques ou ultrabasiques isolés et à des chromites. D'après M. RAKOTOMANANA, en 1996, le platine et le palladium se situent soit dans l'interstice des grains de chromite sous formes minérales soit sous forme de substituant des éléments des cristaux de chromite.

D'après nos recherches, les EGP existent dans les trois gîtes d'Andriamena mais la teneur diffère d'un site à l'autre. A l'heure actuelle, la KRAOMA exclut l'exploitation et la valorisation des EGP dans leurs activités, pourtant elles pourraient apporter une énorme contribution au développement économique du pays.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALLARD M., AUBERT J-M., LACOSTE Ph., 1970  
Géologie de Madagascar, Edition de 'Ecole, 89p
- [2] BARNES S.-J, COUTURE J-F., POITRAS.A., TREMBLAYC., 1993a  
Les éléments du groupe du platine dans la partie québécoise de la ceinture de roches vertes de l'Abiti. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, ET 91-04, 100p
- [3] BARNES.S-J., COUTURE. J-F., SAWYER EW., BOUCHAI BC., 1993b  
Nickel-copper occurrences in the Belleterre-Angliers Belt of the Pontiac Subprovince and the use of Cu-Pd ratios in interpreting platinum-group element distributions. Economic geology, vol88; p1402-1418.
- [4] BERNARD J., MICHEL A., PHILIBERT J., TALBOT., 1991  
Métallurgie générale, Paris 2<sup>ème</sup> édition Masson, 651p
- [5] BESAIRIE H., 1964  
Contribution du service géologique au plan minier de Madagascar : études par substances : phlogopite, phosphates, pigments, platine, plomb zinc, pouzzolanes, pyrochlore, Tome5.
- [6] CHARLOT G., 1974  
Chimie analytique quantitative : méthodes sélectionnées d'analyse chimique des éléments, tome 2.
- [7] CHESNEAU G., 1912  
Principe théorique et pratique d'analyse minérale. Paris et Liège/Librairie Polytechnique p345-636
- [8] CLARK Thomas : Distribution et potentiel des éléments du groupe du platine au Québec, PRO 2001-07, 14p
- [9] DEFRANCE, 1998  
Métallurgie du chrome, vol3. Num M2245, Vandoeuvre lès Nancy France, 10p
- [10] DERCOURT J., PACQUET J F., 1995  
Géologie : Objet et méthode 9<sup>ème</sup> édition. Paris DUNOD, 403p
- [11] DOMANGE L., FLAHAUT J., 1974  
Précis de chimie minérale, tome 2, troisième édition.
- [12] FOUCAULT A., RAOULT J.F, 1995  
Dictionnaire de Géologie
- [13] GONCALVES P., 2002  
Le centre Nord de Madagascar : extrait de la thèse de Goncalves p9-35
- [14] GUENAI S., 2002  
Contribution de la catalyse hétérogène à la dénitrification d'effluents radioactifs par l'acide formique, 179p
- [15] HAGEMANN R., TREUIL M., 1998  
Introduction à la géochimie et ses applications, Tome 1, 325p

- [16] HANITRINIALA F M C G., 2003  
Conception et réalisation : hydrocyclone en vue de récupération des concentrés en chromite dans les déchets fins de la société KRAOMA à Andriamena, 63p. ESPA. Département Mines
- [17] JOURDE G., RANDRIANARIVONY A., RAZANAKOLONA J., 1996  
Catalogue des principaux gîtes minéraux de Madagascar, 35p
- [18] LIVINGSTONE S E., BAILAR., 2001  
The chemistry of platinum metals. Pergamon Texts in Inorganic Chemistry
- [19] MAMPIHAO., 1999  
Synthèse sur la chromite de Madagascar.
- [20] PICOT P., JOHAN Z., 1977  
Atlas des minéraux métalliques. Mémoire du Bureau de recherches géologiques et minières. Edition du BGRM. Paris XV ; 403p
- [21] POUGH F H., 1979  
Guide des roches et des minéraux
- [22] RABEATOANDRO Z N J., 2004  
Etude de la phase de développement d'un projet d'exploitation des platinoïdes d'Andriamena, 53p. ESPA. Département Mines (Mémoire d'ingénieur)
- [23] RAFETIARISON A., RAMAMIARINOSY A., 1987  
Etude de l'extraction de composé de chrome à partir de la chromite
- [24] RAJERIARISON N., 1990  
Contribution à l'étude géologique de la série de Maevatanana (secteur Beanana) : Etude pétrographique et géochimique de la granodiorite, des quartzites à magnétite et des soapstones, 192p (Thèse de Doctorat). Faculté des Sciences Département Géologie
- [25] RAJOELISOA A., 2002  
Contribution à l'étude d'isolement du platine et du palladium à partir de la chromite d'Andriamena, 67p. ESPA. Département Génie Chimique (Mémoire d'ingénieur)
- [26] RAKOTOARIVONIZAKA I., 2004  
Méthodes d'analyse chimique minérale, ESPA, Département de Génie chimique, 46p
- [27] RAKOTOMANANA E.D, 1996  
Potentiel des complexes mafiques-ultramafiques de Madagascar;  
Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) et Centre de Recherche Pétrographique et géochimique (CRPG) (Thèse de Doctorat)
- [28] RANJAKASOA M A., 1991  
Audit de traitement de minerais à la KRAOMA, 65p
- [29] RAZAFINIPARANY A., 1978  
Métallogénie de Madagascar, 29p

- [30] RENNER H., 1992  
Platinum Group Metals and Compounds. "Ullman's Encyclopedia of industrial chemistry, vol. A21, p75-132
- [31] ROUESSAC F., ROUESSAC A., 1994  
Analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes, 2<sup>ème</sup> édition, Masson
- [32] SANDIER J., 1969  
Mise en valeur des gisements métallifères, Saint Germain, Masson, 149p
- [33] SAPPIN A-A., CONSTANTIN M., CLARK T., 2006  
Modèle métallogénique des principaux indices de Ni-Cu  $\pm$  EGP du domaine de Portneuf-Mauricie, 23p, RP2006-07
- [34] SCHUBNEL H-J., POULLEN J-F., SKROK J., GERMAIN G., 1987  
Larousse des minéraux, 363p
- [35] SHAW D M., ROUBAULT M., 1964  
Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines, MASSON, 233p
- [36] WILLIAM S., MacKENZIE., 1999  
Initiation à la pétrographie, 191p

### **Ouvrages particuliers**

- [37] - BGRM; 1998  
Mission platinoïdes Andriamena : rapport technique
- [38] - Document of the World bank, 17 avril 2003  
Projet Appraisal document on a proposed credit in the amount of 23.2 SDR (US \$ 32 million equivalent) to the republic of Madagascar  
Repot Num 25 777,72p.
- [39] Encyclopédie Géopolitique, 1988  
Edition Stock, 217p
- [40] - Ministère de l'énergie et des Mines (MEM), 1987  
Plan directeur d'action pour la mise en valeur des ressources du sol et du sous-sol de Madagascar.

### **Disponible sur internet**

- [41] [http : //www.cri.ensmp.fr/euomin/mineraux](http://www.cri.ensmp.fr/euomin/mineraux)
- [42] [http : //www.divex.ca](http://www.divex.ca)
- [43] [http : //www.madagascar-diplomatie.ch](http://www.madagascar-diplomatie.ch)
- [44] [http : //www.ro.unctad.org](http://www.ro.unctad.org)
- [45] [http : //www.webelements.com](http://www.webelements.com)

## **ANNEXES**

## ANNEXE 1

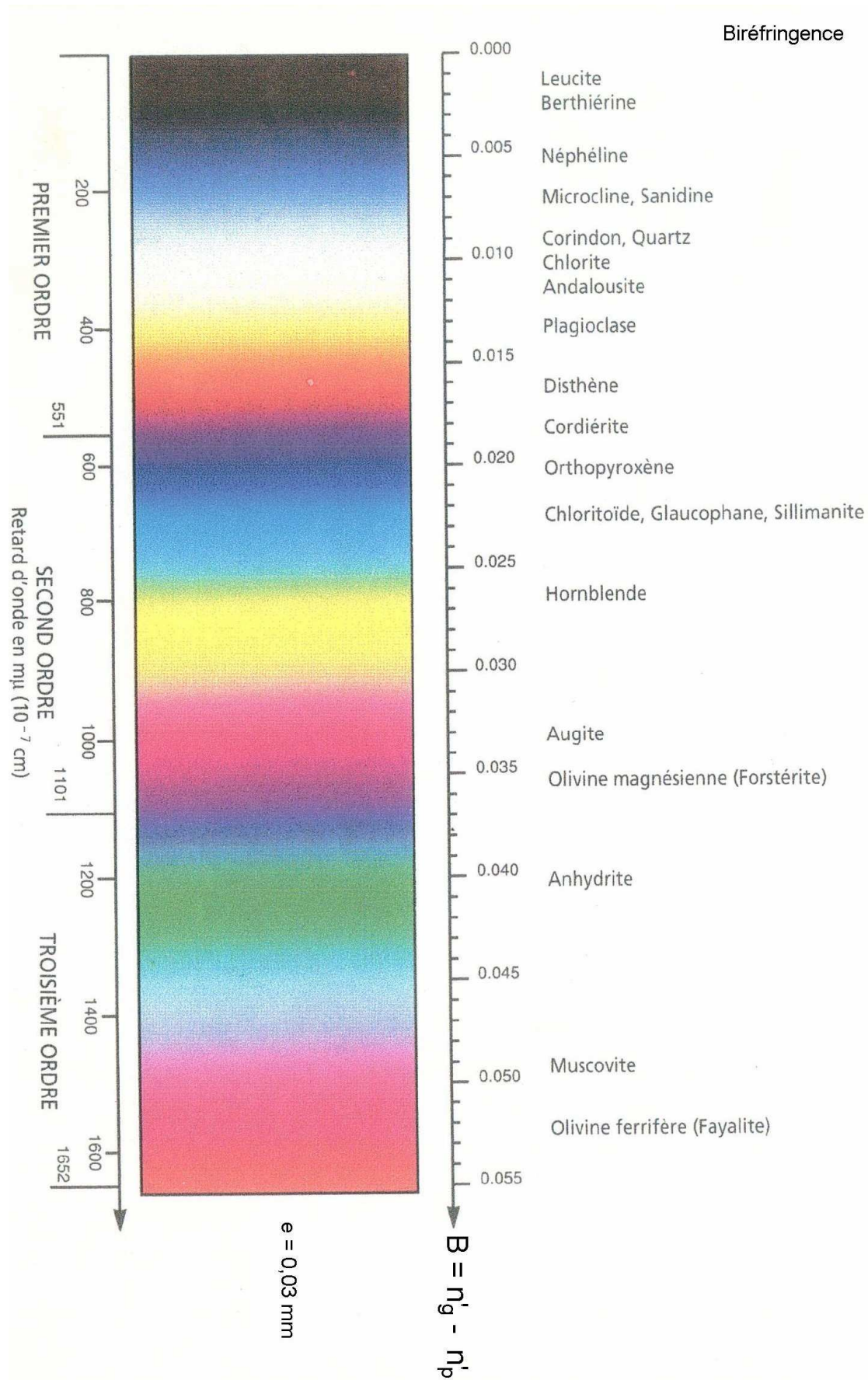


Figure 31 : Echelle de biréfringence

## ANNEXE 2 : Matériel de laboratoire



**Figure 32 : Four pouvant atteindre une température de 1000°C**

# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : LA CHROMITE DANS LE MONDE .....	2
I- MINERAL.....	2
II- CHROMITE.....	2
II-1-HISTORIQUE DE LA DECOUVERTE .....	3
I-2- Description.....	3
II-3- Genèse et gisement de chromite.....	3
II-3-1- Genèse .....	3
II-3-2- Gisement de chromite .....	3
II-4- Gîtes de chromite .....	4
II-4-1- Gisement ophiolitique [43] .....	4
II-4-2- Gisement magmatique normal .....	5
II-4-2-1- Gisement magmatique précoce.....	6
II-4-2-2- Gisement magmatique tardif .....	7
II-5- Répartition et différentes formes de gisements de chromite dans le monde .....	7
II-5-1- Niveaux stratiformes déformés.....	8
II-5-2- Podiforme dans les tectonites mantelliques .....	8
II-6- Traits caractéristiques de la chromite .....	8
II-6-1- Composition chimique .....	8
II-6-2- Cristallographie .....	8
II-6-3- Minéraux associés à la chromite .....	8
II-6-4- Propriétés physiques .....	8
II-6-5- Propriétés chimiques .....	9
II-6-6- Propriétés optiques .....	9
II-7- Utilisations .....	9
III- CHROME.....	10
IV- METALLOGENIE .....	10
CHAPITRE II : LE PLATINE ET LES PLATINOÏDES .....	11
I- HISTORIQUE DU PLATINE.....	11
I-1- Description .....	12
I-1-1- Métaux natifs.....	12
I-1-2- Métaux de la famille de platine .....	12
I-1-3- Principaux éléments associés au platine .....	12
I-1-4- Minerais de platine.....	12
I-2- Types de gisements de platine [18].....	13
I-2-1- Oural.....	13
I-2-2- Bushveld .....	13
I-2-3- Thompson .....	13
II- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DE PLATINE .....	13
II-1- Propriétés physiques .....	13
II-2- Propriétés chimiques.....	13
II-3- Composition .....	14
II-4- Propriétés catalytiques .....	15
II-5- Gisement.....	15
II-6- Répartition des platinoïdes .....	15
III- CRITERES D'EVALUATION DU POTENTIEL EN EGP .....	17
III-1-Magma .....	17
III-1-1- Magma appauvri en EGP .....	17
III-1-2- Magma enrichi en EGP .....	18
III-2- Interprétation.....	18
III-3- Evaluation du potentiel en EGP [8].....	18
IV- UTILISATIONS.....	19
IV-1- Génie chimique .....	19
IV-2- Génie électrique .....	20
IV-3- Génie industriel.....	20
IV-4- Médecine moderne .....	20
IV-5- Matériels de laboratoires .....	21
IV-6- Bijouterie .....	21
IV-7- Autres utilisations .....	21
V- PRINCIPALES SOURCES D'EXPOSITION (SELS) .....	21

ETUDES EXPERIMENTALES .....	22
INTRODUCTION.....	22
CHAPITRE I : ANALYSE CHIMIQUE .....	23
I-SCHEMA DE LA METHODE EXPERIMENTALE REALISEE.....	24
II- ECHANTILLONNAGE.....	25
II-1- Préparation des échantillons .....	25
II-2- Solubilisation .....	26
III - FUSION ALCALINE .....	27
III-1- Prise d'essai .....	27
III-2- Préparation de l'acide HCl 3,5 M .....	31
III-2- Préparation de la solution de SnCl(II) .....	31
III-3- Préparation de la solution d'eau régale.....	31
III-4- Mise en solution de platine étalon .....	31
IV- DETERMINATION DE LA TENEUR EN PLATINE DES ECHANTILLONS PAR LA SPECTROPHOTOMETRIE UV....	33
CHAPITRE II : L'ETUDE SUR LAMES MINCES.....	37
I- CONFECTION DES LAMES MINCES .....	37
I-1- Scies .....	37
I-2- Tour lapidaire .....	37
I-3- Polisseuse.....	37
I-4- Plaques chauffantes .....	38
I-5- Plaque de verre porte objet.....	38
I-6- Echantillon de roche .....	38
I-7- Rectifieuse automatique de géologie (RAG).....	38
II- METHODES .....	38
II-1- Identification de l'échantillon .....	38
II-2- Sciage .....	38
II-3- Dressage et surfaçage .....	39
II-3-1- Dressage .....	39
II-3-2- Surfaçage .....	39
II-4- Dépolissage de la plaque de verre porte objet .....	39
II-5- Collage.....	39
II-6- Usinage.....	39
II-7- Mise en épaisseur de la lame mince .....	39
III- CRISTALLOGRAPHIE DES PRINCIPAUX MINERAUX CONSTITUTIFS DE LA CHROMITE OU DES ROCHES ENCAISSANTES VISIBLES SUR LES LAMES MINCES .....	40
III-1- Orthopyroxène – ( $Si_2O_6$ ) (Fe, Mg).....	40
III-2- Quartz ( $SiO_2$ ) .....	40
III-3- Biotite .....	40
III-4- Olivine.....	41
III-5- Myrmékites .....	41
III-6- Plagioclases .....	41
IV- PETROGRAPHIE ET INTERPRETATION DES LAMES .....	41
IV-1- Echantillon A20 .....	42
IV-2- Echantillon A9 .....	42
IV-3- Echantillon A13 .....	42
IV-4- Echantillon A7 .....	43
IV-5- Echantillon A17.....	44
IV-6- Echantillon A22 .....	44
IV-7- Echantillon A21 .....	45
IV-8- Echantillon F1-1.....	45
IV-9- Echantillon A11 .....	45
IV-10- Echantillon A5 .....	45
IV-11- Echantillon A4 .....	45
IV-12- Echantillon A2 .....	46



IV-13- Echantillon A14.....	46
IV-14- Echantillon A12.....	46
V- DISPOSITION DES CRISTAUX SUR LES LAMES MINCES (FIGURES).....	47
VI- DIFFERENTES FORMES DE EGP .....	50
<b>CHAPITRE I : LA CHROMITE D'ANDRIAMENA.....</b>	<b>52</b>
<b>I- SITUATION GEOLOGIQUE ET GITOLOGIQUE .....</b>	<b>52</b>
I-1- <i>Le socle cristallin</i> .....	52
I-2- <i>Géologie régionale du périmètre chromifère d'Andriamena</i> .....	54
I-3- <i>Roches encaissantes de la chromite</i> .....	55
<b>II- CHROMITE D'ANDRIAMENA .....</b>	<b>58</b>
II-1- <i>Qualité de la chromite d'Andriamena</i> .....	58
II-2- <i>Tectonique</i> .....	59
<b>III – TRAITEMENT DE CHROMITE D'ANDRIAMENA .....</b>	<b>61</b>
II-1- <i>Objectif</i> .....	61
II-2-1- <i>Concassage</i> .....	62
II-2-2- <i>Laverie proprement dite</i> .....	63
II-2-2-1- <i>Broyage</i> .....	63
II-2-2-2- <i>Traitement</i> .....	63
II-2-3- <i>Liqueur dense</i> .....	67
II-2-4- <i>Déphosphoration</i> .....	67
<b>CHAPITRE II : LES PLATINOÏDES D'ANDRIAMENA .....</b>	<b>68</b>
<b>I- PLATINOÏDES A MADAGASCAR.....</b>	<b>68</b>
I-1- <i>Formations archéennes ou andriaméniennes</i> .....	68
I-2- <i>Formations androyennes</i> .....	68
I-3- <i>Formations d'Antampombato</i> .....	68
<b>II- PLATINOÏDES D'ANDRIAMENA.....</b>	<b>72</b>
II-1- <i>Localisation de la zone d'étude</i> .....	72
II-2- <i>Caractéristiques</i> .....	72
II-2-1- <i>Zone ouest de Betsiboka</i> .....	72
II-2-2- <i>Zone Sud d'Andriamena</i> .....	73
II-2-3- <i>Zone Est de Betsiboka</i> .....	73
II-2-4- <i>Zone Nord d'Andriamena</i> .....	73
II-2-5- <i>Zone Ouest d'Andriamena</i> .....	73
II-3- <i>Relations entre minéralisation filonienne et les roches encaissantes</i> .....	74
<b>III-ETUDE COMPARATIVE DES COMPLEXES PLATINIFERES D'ANDRIAMENA ET D'ANTANAMBAO MANAMPOTSY .....</b>	<b>75</b>
<b>IV- GITES PLATINIFERES D'ANDRIAMENA PAR RAPPORT AUX AUTRES GITES MONDIAUX .....</b>	<b>75</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>78</b>

**TITRE : Contribution à l'étude d'un modèle métallogénique des indices de**  
**Nom et prénom : RAKOTOBE Vololonirina Aina**  
**Adresse : lot 415 AB/IV Ambohimamory, Faritra Ankadivory, Itaosy Andranonahoatra**  
**Nombre de figures : 34**  
**Nombre de tableaux :**  
**Nombre de pages :**

## **RESUME**

Ce mémoire résulte de la coopération de l'ESPA avec la KRAOMA et des chercheurs étrangers. Il vise à confirmer l'existence des EGP à Andriamena, plus spécialement du platine dans la chromite. Afin d'atteindre ce but, nous avons utilisé la méthode de caractérisation par spectrophotométrie UV et l'étude des lames minces.

Les EGP se présentent sous forme d'interstice dans la chromite (sous formes minérales) soit sous forme de substituant des éléments des cristaux de chromite. Cette méthode de spectrophotométrie UV nous a permis de détecter les EGP sous forme d'oxyde. Parmi les éléments constituant les EGP (Pt, Pd, Ir, Os, Rh, Ru) nous n'avons pu extraire que le platine (à l'état oxydé) car l'extraction et la détection de ces métaux ne sont pas encore réalisables à Madagascar, il faudrait recourir à des matériaux sophistiqués et sensibles comme les microsondes.

Les EGP sont relativement rares et présentent des caractéristiques physico-chimiques spéciaux (température de fusion, énergie de sublimation et potentiel d'ionisation très élevés), ce qui explique leurs prix élevés.

Cependant, la demande en EGP sur le marché mondiale ne cesse d'augmenter. Alors il faudrait exploiter d'autres gisements d'EGP parmi lesquels figure celui d'Andriamena.

## **ABSTRACT**

This memory results from the co-operation of the ESPA with the KRAOMA and the foreign researchers. Its aim is to confirm the existence of EGP in the site of Andriamena, especially of platinum in chromite. In order to achieve this goal, we used the method of characterization by spectrophotometry UV and the analysis of the dissection.

The EGP are presented in the form of interstice in chromite (in mineral forms) or in the form of substituent of the elements of the chromite crystals. This method of spectrophotometry UV permit us to detect the EGP in the form of oxyd.

With the raised demographic growth, the demand for EGP does not cease increasing. Then it would be necessary to exploit other layers of EGP among which figure that of Andriamena.

**MOTS CLES :** chromite, roches basiques et ultrabasiques, EGP, Ankazotaolana, Bemanevika, Androfia, Andriamena, spectrophotométrie UV, lames minces, analyse, fusion.

**DIRECTEUR DE MEMOIRE : RANDRIANJA Roger**

**MOTS CLES :** chromite, roches basiques et ultrabasiques, EGP, Ankazotaolana, Bemanevika, Androfia, Andriamena, spectrophotométrie UV, lames minces, analyse, fusion.

**DIRECTEUR DE MEMOIRE :** RANDRIANJA Roger