

## GLOSSAIRE

- Amas** : gîte de forme quelconque dont toutes les dimensions sont de même ordre de grandeur.
- Auget** : petit récipient à l'usage des maçons, des cimentiers, etc.
- Bauxite** : roche sédimentaire ou résiduelle qui est un minerai d'aluminium (40 % au moins d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).
- Clarke** : teneur moyenne d'un élément chimique dans la croûte terrestre, exprimée en g/t, ou en ppm (partie pour million), ou en pourcentage %.
- Dolérite** : roche magmatique intermédiaire entre les gabbros et les basaltes, à grain visible à la loupe.
- Dyke** : filon de roche magmatique s'élevant en direction de la surface à partir d'un autre gisement magmatique.
- Ferrochrome** : alliage de fer et de chrome pour la fabrication des aciers inoxydable spéciaux.
- Filon** : lame de roche, épaisse de quelques centimètres à quelques mètres recouplant les structures de l'encaissant.
- Foliation** : présent dans les roches métamorphiques, ensemble de plans parallèles suivant lesquels cristallisent les minéraux nouveaux.
- Fusion** : passage d'un corps de la phase solide à la phase liquide.
- Gisement** : accumulation des minéraux susceptibles d'être exploités ; lieu où l'on rencontre une substance ou des objets déterminés.
- Gîte** : synonyme de gisement au premier sens, mais réservé le plus souvent à des masses minérales comportant un ou plusieurs métaux susceptibles d'être exploités.
- Gîtologie** : étude des gîtes métallifères en particulier.

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Godet</b>        | : sorte d'auge utilisée dans certains appareils de manutention ou engins de travaux publics.  |
| <b>Goulotte</b>     | : sorte de couloir ou de tuyau incliné guidant la descente de colis ou de matériaux qui se déplacent sous l'action de la pesanteur.   |
| <b>Granodiorite</b> | : roche magmatique plutonique, grenue, voisine des granites contenant du quartz supérieur à 10 %, de feldspath avec moins d'orthose que de plagioclases.  |
| <b>Isotrope</b>     | : se dit d'un milieu dont les propriétés ne dépendent pas de la direction suivant laquelle on les évalue ; les corps isotropes (gaz, liquide, verre) sont homogènes, sans forme définie, et non cristallisés (atomes constitutifs disposés en désordre).                      |
| <b>Lentille</b>     | : formation géologique d'étendue limitée.   |
| <b>Lopolites</b>    | : massif de roche magmatique plutonique en grosse lentille en forme de cuvette plate. L'ensemble est sensiblement parallèles aux structures de l'encaissant et de ce fait nommé massif concordant.  |
| <b>Mylonitique</b>  | : en relation avec la mylonite, brèche qui se forme dans les zones de failles. Toute roche broyée au point que les cristaux originels ne soient plus identifiable à l'œil nu.   |
| <b>Ophiolites</b>   | : ensemble des roches vertes magmatiques basiques et ultrabasiques plus ou moins serpentiniisées et métamorphisées.   |
| <b>Percolation</b>  | : pénétration lente des eaux météoriques dans le sol.   |
| <b>Péridotite</b>   | : roche magmatique, grenue, jaune sombre huileux ou plus souvent noirâtre, holomélanocrate avec 90 à 100 % de minéraux ferromagnésien avec olivine dominante accompagnée de pyroxène et de spinelle comme la chromite, et parfois d'amphibole brune, de biotite et de grenat. |
| <b>Tannerie</b>     | : établissement où l'on transforme en cuir la peau naturelle brute des animaux, sous l'action chimique des tanins ou d'autres produits.   |

## LISTE DES TABLEAUX

|                     |  |            |
|---------------------|--|------------|
| <b>Tableau I</b>    | Normes requises des produits   | 31         |
| <b>Tableau II</b>   | Principaux gîtes de chromite de Madagascar                             | 36         |
| <b>Tableau III</b>  | Production mine 1997 à 2004  | 48         |
| <b>Tableau IV</b>   | Production mensuelle de mineraï brut pour<br>l'année 2004              | 49         |
| <b>Tableau V</b>    | Production laverie de 2000 à 2004                                      | 49         |
| <b>Tableau VI</b>   | Exportation de chromite de 2000 à 2004                                 | 51         |
| <b>Tableau VII</b>  | Evolution du volume des exportations de<br>grandes substances minières | 60         |
| <b>Tableau VIII</b> | Fiche pédagogique de la classe de seconde                              | 63         |
| <b>Tableau IX</b>   | Inventaire des engins d'exploitation                                   | Annexe V   |
| <b>Tableau X</b>    | Norme américaine et norme française<br>d'équivalence                   | Annexe IX  |
| <b>Tableau XI</b>   | Curriculum des principaux minérais malagasy                            | Annexe XVI |

## LISTE DES FIGURES

|                  |  |             |
|------------------|--|-------------|
| <b>Figure 1</b>  | : Exemples de roches encaissantes de la chromite.....                      | 4           |
| <b>Figure 2</b>  | : Coupe verticale simplifiée du complexe ophiolitique.....                 | 5           |
| <b>Figure 3</b>  | : Cristallisation fractionnée discontinue et continue des minéraux         | 6           |
| <b>Figure 4</b>  | : Coupe schématique de la lentille de chromite de Bemanevika...            | 8           |
| <b>Figure 5</b>  | : Echantillons de chromite.....  | 9           |
| <b>Figure 6</b>  | : Carte de gisement de chromite dans le monde.....                         | 14          |
| <b>Figure 7</b>  | : Localisation de la zone d'étude.....                                     | 23          |
| <b>Figure 8</b>  | : Région d'Andriamena avec des lavaka en digitations<br>subverticales..... | 24          |
| <b>Figure 9</b>  | : Cité de Brieville.....   | 25          |
| <b>Figure 10</b> | : Carte géologique de Madagascar .....                                     | 27          |
| <b>Figure 11</b> | : Cadre géologique de la zone à chromite de Brieville .....                | 28          |
| <b>Figure 12</b> | : Carte structurale de l'unité d'Andriamena avec coupe .....               | 29          |
| <b>Figure 13</b> | : Bloc d'Andriamena montrant la tectonique de cette région.....            | 31          |
| <b>Figure 14</b> | : Plan d'exploitation du gisement de Bemanevika.....                       | 33          |
| <b>Figure 15</b> | : Paramètres mis en jeu lors d'une exploitation.....                       | 34          |
| <b>Figure 16</b> | : Gisement d'Ankazotaolana montrant les gradins.....                       | 34          |
| <b>Figure 17</b> | : Usine de traitement de la laverie.....                                   | 39          |
| <b>Figure 18</b> | : Crible à maille carrée.....  | 40          |
| <b>Figure 19</b> | : Vue d'en haut des tables de traitement de chromite.....                  | 42          |
| <b>Figure 20</b> | : Spirale.....   | 43          |
| <b>Figure 21</b> | : Schéma du traitement des concentrés de chromite.....                     | 44          |
| <b>Figure 22</b> | : Rocheux.....   | 45          |
| <b>Figure 23</b> | : Petit concasseur du laboratoire pilote.....                              | 46          |
| <b>Figure 24</b> | : Répartition des recettes d'exportation minière.....                      | 59          |
| <b>Figure 25</b> | : Pelle à chenille.....  | ANNEXE VI   |
| <b>Figure 26</b> | : Matériel de chargement.....  | ANNEXE VI   |
| <b>Figure 27</b> | : Engin de perforation.....  | ANNEXE VII  |
| <b>Figure 28</b> | : Engin de terrassement.....   | ANNEXE VII  |
| <b>Figure 29</b> | : Expogel type V10 (Charge de fond) .....                                  | ANNEXE VIII |
| <b>Figure 30</b> | : Ammonium Nitrate Fuel Oil (ANFO) (Charge de colonne).....                | ANNEXE VIII |
| <b>Figure 31</b> | : Dynamite.....  | ANNEXE VIII |
| <b>Figure 32</b> | : Répartition de gîtes de chromite à Madagascar.....                       | ANNEXE XVII |

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE I** : Dosage d'oxyde de chrome
- ANNEXE II** : Dosage d'oxyde de phosphore
- ANNEXE III** : Dosage de silice
- ANNEXE IVa** : Dosage d'oxyde de fer
- ANNEXE IVb** : Dosage d'oxyde ferrique
- ANNEXE V** : Matériels à la disposition de la KRAOMA (Situation Décembre 2004)
- ANNEXE VI** : Matériels de chargement
- ANNEXE VII** : Matériel de perforation et engin de terrassement
- ANNEXE VIII** : Explosifs utilisés pour faire des trous de mines
- ANNEXE IX** : Norme américaine et norme française d'équivalence
- ANNEXE X** : Différents concasseurs à la disposition de la KRAOMA
- ANNEXE XI** : Fonctionnement des broyeurs
- ANNEXE XII** : Mode de fonctionnement des spirales et d'un hydroclassificateur
- ANNEXE XIII** : Mode de fonctionnement des tables à secousses
- ANNEXE XIV** : Séparation par liqueurs denses
- ANNEXE XV** : Rapport des maladies avec les activités
- ANNEXE XVI** : Programme classe de seconde : Principaux minéraux malagasy
- ANNEXE XVII** : Répartition de chromite à Madagascar

## LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SIGLES

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ANFO</b>     | : Ammonium Nitrate Fuel Oil  |
| <b>AUF</b>      | : Agence Universitaire de la Francophonie                            |
| <b>BRGM</b>     | : Bureau de Recherche Géologique Minière                             |
| <b>Ca</b>       | : Calcium  |
| <b>CCAC</b>     | : Centre Culturelle Albert Camus                                     |
| <b>CEG</b>      | : Collège d'Enseignement Général                                     |
| <b>CIDST</b>    | : Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique |
| <b>CITE</b>     | : Centre d'Informations Techniques et Economiques                    |
| <b>CNRIT</b>    | : Centre National de Recherches Industrielles et Technologiques      |
| <b>COMINA</b>   | : Compagnie Minière Nationale  |
| <b>CO</b>       | : Consultation revient pour la même maladie                          |
| <b>Cr</b>       | : Chrome   |
| <b>CT</b>       | : Consultation malade vue pour la première fois pour le mois         |
| <b>DMG</b>      | : Direction des Mines et de la Géologie                              |
| <b>DSRP</b>     | : Document Stratégique de la Réduction de la Pauvreté                |
| <b>EIE</b>      | : Etude d'Impact Environnemental                                     |
| <b>EMP</b>      | : Employé  |
| <b>ENS</b>      | : Ecole Normale Supérieure   |
| <b>ESPA</b>     | : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo                      |
| <b>FAM</b>      | : Famille  |
| <b>Fe</b>       | : Fer  |
| <b>FID</b>      | : Fond International pour le Développement                           |
| <b>INSPC</b>    | : Institut National de Santé Publique et Communautaire               |
| <b>INSTAT</b>   | : Institut National de la Statistique                                |
| <b>INTERNET</b> | : International Network  |
| <b>IST</b>      | : Infections Sexuellement Transmissibles                             |
| <b>KRAOMA</b>   | : Kraomita Malagasy  |
| <b>MECIE</b>    | : Mise En Comptabilité des Investissements avec l'Environnement      |
| <b>MEM</b>      | : Ministère de l'Energie et des Mines                                |
| <b>Na</b>       | : Sodium   |
| <b>PREE</b>     | : Programme d'Engagement Environnemental                             |
| <b>PRISMM</b>   | : Projet de Réforme Institutionnelle du Secteur Minier de Madagascar |
| <b>SAF FJKM</b> | : Sahan'Asa ny Fianganan'i Jesoa Kristy eto Madagasikara             |
| <b>TOT</b>      | : Total  |

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

### PREMIERE PARTIE : GENERALITES SUR LA CHROMITE

|   |    |
|---|----|
| I- MINERAI.....   | 2  |
| II- CHROMITE.....   | 2  |
| 1- Historique de la découverte de chromite.....             | 3  |
| 2- Description.....   | 3  |
| 3- Genèse et gisement de chromite.....                      | 4  |
| 4- Traits caractéristiques de la chromite.....              | 8  |
| III- UTILISATION.....                                       | 10 |
| 1- Métallurgie .....  | 10 |
| 2- Chromite utilisée en chimie ou en parachimie .....       | 11 |
| 3- Chromite utilisée dans les réfractaires .....            | 12 |
| 4- Sable de fonderie.....                                   | 12 |
| IV- REPARTITION DE GISEMENTS DE CHROMITE DANS LE MONDE..... | 13 |

### DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODE

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| I- RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE..... | 15 |
| II- ENQUETE SOCIO-ECONOMIQUE..... | 16 |
| 1- Visites.....                   | 16 |
| 2- Entretiens.....                | 17 |
| III- MATERIELS UTILISES.....      | 18 |

### TROISIEME PARTIE : CHROMITE D'ANDRIAMENA

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| I- HISTORIQUE .....                 | 19 |
| II- KRAOMA.....                     | 21 |
| 1- Adresse.....                     | 21 |
| 2- Capital souscrit.....            | 21 |
| 3- Mode de formation.....           | 21 |
| 4- Fonctionnement de la KRAOMA..... | 21 |
| III- ANDRIAMENA.....                | 23 |

|   |           |
|---|-----------|
| 1- Géographie physique.....                 | 23        |
| 2- Géographie économique .....              | 25        |
| 3- Situation géologique et gîtologique..... | 26        |
| <b>IV- EXPLOITATION DE LA CHROMITE.....</b> | <b>32</b> |
| 1- Mode et méthode d'exploitation .....     | 32        |
| 2- Plan d'exploitation.....                 | 35        |
| 3- Matériels d'exploitation .....           | 36        |
| 4- Traitement de chromite .....             | 38        |
| <b>V- IMPORTANCE DE LA CHROMITE.....</b>    | <b>47</b> |
| 1-Production.....                           | 47        |
| 2- Exportation.....                         | 50        |
| <b>VI- TRANSPORTS DES MINERAIS.....</b>     | <b>52</b> |
| 1- Transport routier .....                  | 52        |
| 2- Transport ferroviaire.....               | 52        |
| 3- Transport maritime.....                  | 53        |

#### **QUATRIEME PARTIE : IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET INTERET PEDAGOGIQUE**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I- CADRE LEGISLATIF.....</b>                                      | <b>54</b> |
| 1- Décret MECIE.....   | 54        |
| 2- Code Minier.....  | 54        |
| <b>II- ANALYSE DES IMPACTS.....</b>                                  | <b>55</b> |
| 1- Impacts positifs et impacts négatifs.....                         | 55        |
| 2- Impact immédiat ou direct et impact à long terme ou indirect..... | 55        |
| 3- Impacts faibles, moyens et forts.....                             | 56        |
| <b>III- EVALUATION DES IMPACTS A ANDRIAMENA.....</b>                 | <b>56</b> |
| 1- Impacts socio-économiques.....                                    | 56        |
| 2- Intérêt pédagogique.....  | 60        |
| <b>CONCLUSION.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>                              | <b>67</b> |

# **PREMIERE PARTIE**

## **GENERALITES SUR LA CHROMITE**

## INTRODUCTION

Madagascar est une île présentant des espèces endémiques de faunes et de flores uniques au monde. Les réserves du sous-sol n'en sont pas moins. Elle présente un potentiel minier important du fait de son contexte géologique. En effet, on y voit des pierres précieuses comme l'émeraude, le saphir et le rubis ; des pierres semi-précieuses de toutes les couleurs comme l'améthyste et la citrine ; des produits énergétiques comme le charbon et surtout des produits industriels où figurent la chromite, le mica, le graphite et l'ilménite.

La découverte de la chromite facilite et améliore la vie quotidienne de l'homme dans plusieurs domaines tels que la métallurgie, l'industrie chimique et l'industrie réfractaire. Elle joue un rôle important dans l'industrie moderne grâce à ses propriétés spécifiques. Ainsi, la demande en cette substance augmente de façon proportionnelle à la croissance démographique. Afin de répondre à certains de ces besoins, Madagascar a décidé d'exploiter ses réserves.

Pourtant, les régimes miniers utilisés depuis n'ont pas totalement contribué à l'économie du Pays. Divers problèmes se manifestent quant aux ressources humaines, la recherche géologique, l'exploitation, la source de financement et la commercialisation. Afin de donner un exemple, la création des grandes entreprises comme l'exploitation de la chromite d'Andriamena est nécessaire.

L'importance du rôle joué par la chromite dans le développement économique de notre pays et son étude dans le programme de la seconde scientifique nous ont incité à fixer notre choix de sujet de Mémoire sur la chromite d'Andriamena. Sans doute, il existe déjà d'excellents ouvrages d'initiation à l'étude des minerais malagasy mais, ce qui manquait jusqu'ici c'était une illustration de l'enseignement par des exemples concrets. Ce mémoire a été rédigé à l'intention des professeurs des lycées pour leur fournir une documentation locale aux élèves de notre pays. Nous avons essayé de donner des informations complètes et utiles relatives :

- au mode de formation de mineraux de chrome,
- à ses traits caractéristiques,
- à sa localisation à Madagascar,
- à son exploitation et son traitement avec ses produits fournis,
- à sa commercialisation,
- à ses impacts surtout socio-économiques,
- et à son intérêt pédagogique.

## I- MINERAI

Un minéral est un élément de terrain contenant des substances utiles en pourcentage suffisant pour justifier une exploitation. Il nécessite un traitement spécial pour être utilisé par l'industrie.

En pratique, dans la majorité des cas, le terme minéral désigne les substances métalliques. De ce fait, les matériaux de construction et les matériaux combustibles en sont exclus. Ainsi, les minéraux du minéral ont une valeur économique importante sur le marché international.

Dans la nature, on distingue plusieurs variétés de minéraux selon la substance métallique que l'on veut obtenir. À savoir :

- la bauxite, d'où l'on extrait l'aluminium,
- la chromite, le seul minéral d'où l'on extrait le chrome.

A partir de ces exemples, on constate qu'un minéral est un minéral dont on extrait un métal. Mais, il arrive qu'à partir de plusieurs minéraux, on extrait un seul type de métal [9].

### **Exemple :**

À partir de :

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

on extrait uniquement le fer.

Il existe aussi un minéral d'où l'on extrait un ou plusieurs métaux. C'est le cas de la smaltine ( $\text{CoNi}_x\text{As}_{(3-x)}$ ) où on y extrait à la fois le nickel (Ni) et le cobalt (Co).

Un minéral se trouve rarement à l'état pur. Ainsi, il répond rarement à sa formule théorique. En réalité, il est souvent entouré des gangues de minéraux qui constituent les stériles.

## II- CHROMITE

Elle est le seul minéral de chrome pratiquement exploitable dans la nature. Le chrome a un Clarke d'environ  $100 \text{ g.t}^{-1}$  dans l'écorce terrestre mais cette valeur peut s'élèver jusqu'à  $1800 \text{ g.t}^{-1}$  dans les roches ultrabasiques, si elle n'est que  $200 \text{ g.t}^{-1}$  dans les gabbros et seulement  $5 \text{ g.t}^{-1}$  dans les granites [19].

## 1- Historique de la découverte de chromite

En 1761, LEHMANN J.-G., trouva un mineraï rouge orange dans les montagnes de l'Oural, qu'il nomma le plomb rouge de Sibérie. Le mineraï composé de plomb (Pb) avec du sélénium (Se) et du fer (Fe) qui n'était qu'un crocoïte : chromate de plomb ( $PbCrO_4$ ) qui peut contenir du zinc (Zn).

En 1770, PALLAS P.-S., partit du même site que LEHMANN et confirma qu'il s'agit d'un mineraï de plomb rouge. Il trouva son utilisation dans les peintures. Ainsi un jaune brillant obtenu à partir de crocoïte devient une couleur très à la mode.

En 1797, VAUQUELIN N.-L., fut capable de produire de l'oxyde de chrome en additionnant de l'acide chlorhydrique à la chromite. En 1798, il isola le chrome métallique en chauffant l'oxyde dans un four à charbon. Il fut aussi capable de détecter des traces de chrome dans certaines pierres précieuses comme les rubis ou les émeraudes. Avec LAUGIER, ils démontrèrent qu'on en trouvait dans presque toutes les météorites [13].

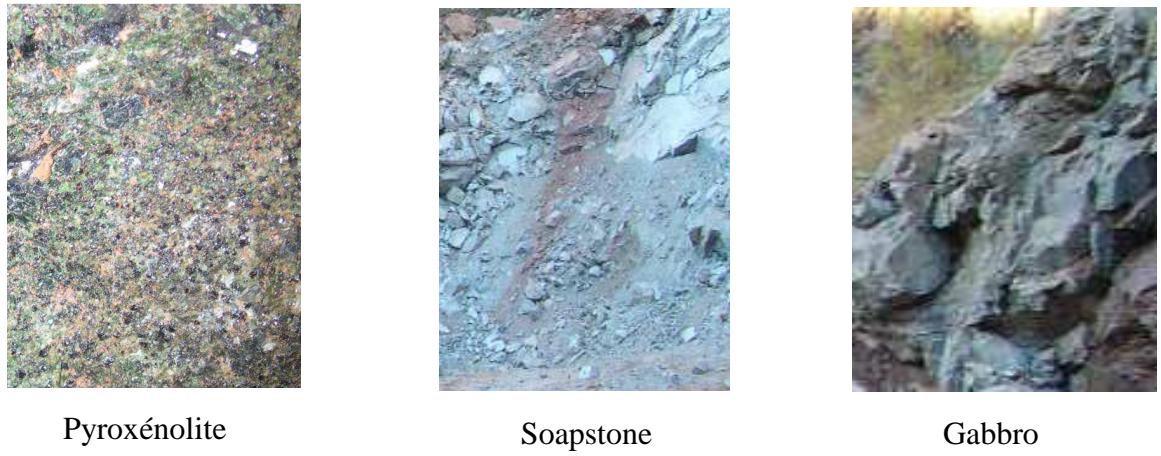
## 2- Description

La chromite fait partie des minéraux industriels comme le graphite et le mica. Le nom actuel de chromite est dû à HAIDINGER en 1845. Autrefois, elle était connue sous diverses appellations, notamment celles de fer chromaté aluminé (VAUQUELIN), fer chromaté (HAÜY) : ferrochromate, sidérochrome (HUOT) et chromoferrite (CHAPMAN).

Du point de vue macroscopique, ce mineraï est formé par une association de petits grains noirs à éclat brillant de spinelle chromifère, de taille inférieure au millimètre

(0,3 à 0,5 mm). Ces grains sont noyés dans une gangue blanchâtre ou verdâtre, de faible dureté, inférieure à celle de l'ongle et constitués essentiellement de silicates de magnésies phylliteux tels que le talc et la chlorite [9]. Dans certains cas, ces grains se trouvent noyés dans une gangue ultrabasique de pyroxénolite formée d'hypersthène, de soapstone et parfois d'une amphibole du groupe trémolite- actinote, ou plus rarement de périclase.

Ainsi, quel que soit le type de gisement de chromite, celle-ci s'associe dans la plupart des cas avec des roches basiques ou ultrabasiques comme l'indique la Figure 1.



**Figure 1: Exemples de roches encaissantes de la chromite**

### 3- Genèse et gisement de chromite

Le gisement de chromite est de type éruptif. Dans ce cas, la chromite provient du magma et présente une basicité élevée. Suivant la nature des roches encaissantes et le matériel originel, on distingue différents modes de formation de chromite.

#### 3- 1- Mécanisme de formation et de mise en place

##### 3- 1- 1- Gisement ophiolitique [41]

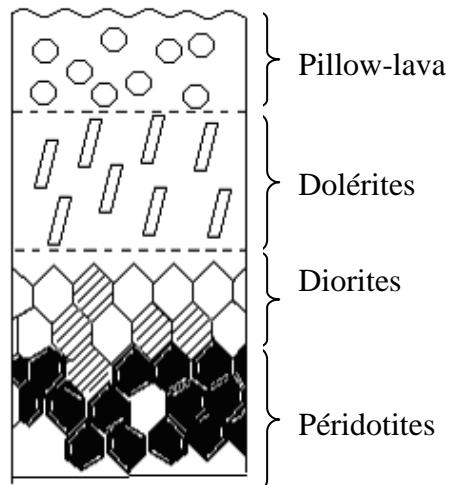
La plupart de gisements de chromite du monde sont encaissés par des roches basiques et ultrabasiques. Ce sont probablement des roches ophiolitiques.

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 [14]. Dans ce cas, un complexe ophiolitique montre un passage entre basaltes et péridotites. La Figure 2 nous indique le passage entre ces roches.

BOWEN suggère que ces deux roches proviennent de la fusion d'une roche mère ayant la composition d'une péridotite à feldspaths :

- 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.



**Figure 2 : Coupe verticale simplifiée du complexe ophiolitique**

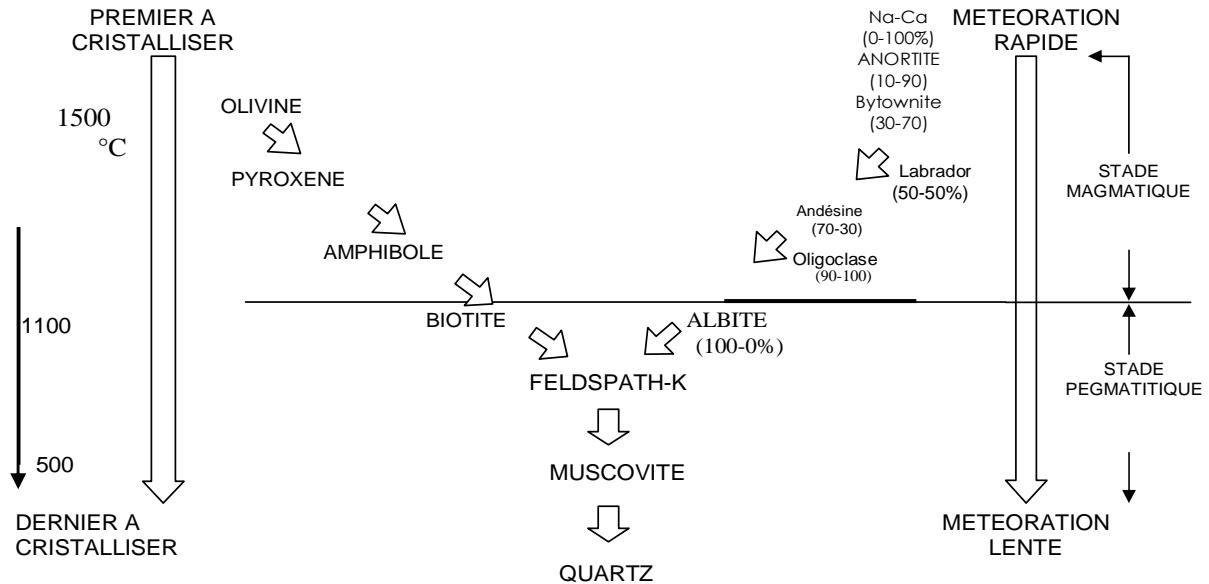
Ce cortège ophiolitique résulte d'une différenciation magmatique par fusion- percolation- ségrégation donnant ces roches basiques et ultrabasiques. Les gisements ophiolitiques résultent de l'association de ces roches avec les roches microlithiques correspondantes. Ce cortège recèle des précieuses minéralisations de chrome [7].

### **3- 1- 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 [9].

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



**Figure 3 : Cristallisation fractionnée discontinue et continue des minéraux [14]**

Cette Figure 3 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.

#### **a) 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 à de la platine.

**Exemples :** Les gisements de chromite du Bushveld (en Afrique du Sud) et du grand dyke de Zimbabwe [25].

#### **b) Gisement magmatique tardif**

C'est après la cristallisation du magma que la chromite prend naissance. Les silicates formés constituent le ciment du mineraï. Quelquefois, ils remplissent les fissures dans les roches mères formant ainsi les filons de mineraï. Ainsi, la chromite présente un grand développement de corps filoniers 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.

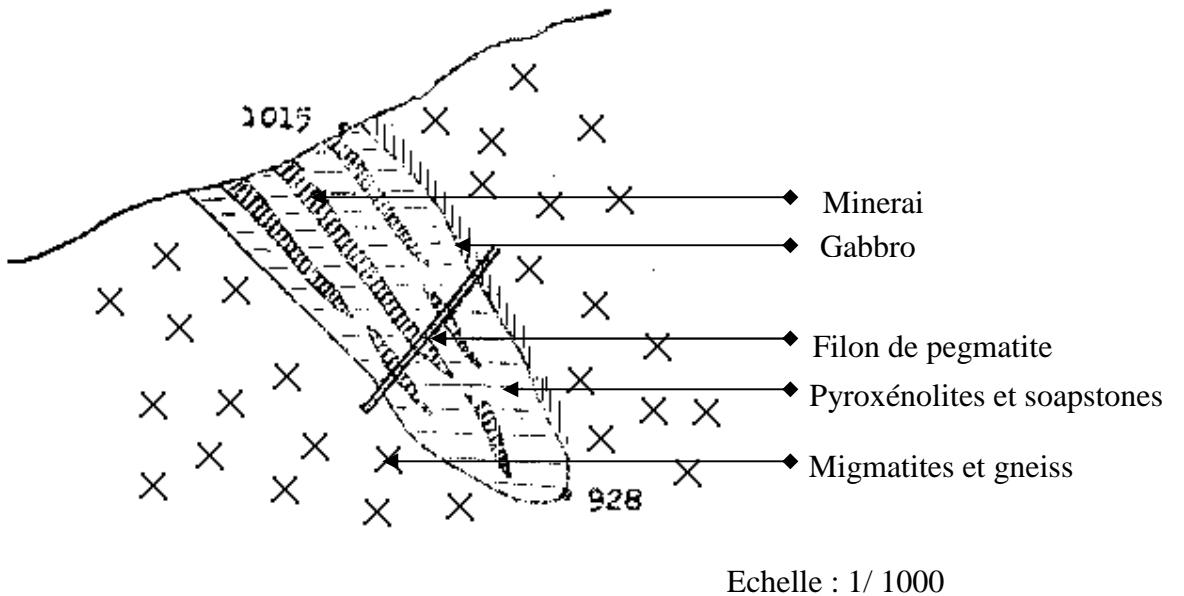
Les géologues supposent alors que le processus de formation de chromite a été accompagné de déformation tectonique.

**Exemples :** Gisements en Russie, chromite de Fethiye en Turquie, chromite du Mont de Polog sur les îles Philippines [37].

### **3- 2- Gîtes de chromite [19]**

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 minérais de densité élevée se trouvant à la base, sont surmontés des roches basiques. La Figure 4 montre un exemple de disposition de chromite en lentille à l'intérieur des roches basiques et ultrabasiques.



**Figure 4 : Coupe schématique de la lentille de chromite de Bemanevika [10]**

## 4- Traits caractéristiques de la chromite

### 4- 1- Composition chimique

La chromite pure contient 32,02% de FeO et de 67,91% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cependant, la présence d'impuretés comme le magnésium (Mg), le manganèse (Mn) et d'autres en petites quantités de calcium (Ca) et de silicium (Si) et le remplacement d'une partie du fer par du chrome, et inversement limitent à 50-52% le taux de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contenu dans les chromites commerciales. Ainsi, au chrome peut se substituer une importante quantité de fer à l'état ferreux jusqu'à 25% de FeO et de l'aluminium jusqu'à 23% d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cette dernière substitution s'accompagne d'une forte teneur en magnésium [27].

### 4- 2- Cristallographie

La chromite cristallise dans le système cubique, elle se présente rarement en cristaux automorphes. Elle est communément massive, finement granulaire à compacte avec une cassure grenue ou écailleuse, celle de chaque grain étant conchoïdale. Lorsqu'elle est disséminée dans une matrice de péridot, le plus souvent claire ou transformée en serpentine claire et le mineraï est dénommé « chromite léopard » avec des grains à contour arrondi.

### **4- 3- Propriétés physiques**

La chromite présente un éclat métallique à mat. Ses particules en se détachant forment une poussière noire. Elle est infusible au chalumeau. La chromite est dépourvue de clivage. Mais un plan préférentiel de séparation peut être mis en évidence chez certains échantillons. La cassure est inégale. On remarque que la chromite devient magnétique au test de la flamme. La dureté à l'échelle de Mohs de la chromite se situe aux environs de 5,5 ; tandis que la densité calculée de la chromite pure atteint 5,12.

### **4- 4- Propriétés chimiques**

Le chrome extrait de la chromite assure une protection très efficace contre la corrosion, mais de plus, il communique aux surfaces ainsi traitées un caractère esthétique. L'eau ne produit aucune action sur la chromite. Il s'agit d'un minéral inoxydable. Elle est inattaquable par l'acide chlorhydrique et insoluble dans les acides. Mais, elle se décompose par fusion dans  $\text{KHSO}_4$  [13].

### **4- 5- Propriétés optiques**

La chromite est translucide à opaque et présente une variété de couleurs suivant la lumière. En lumière naturelle, elle est verte, noire à noir brunâtre. La Figure 5 nous montre ces différentes couleurs. Tandis qu'en lumière réfléchie, elle est blanc grisâtre avec des réflexions internes brunâtres.



**Figure 5 : Echantillons de chromite [40]**

Minéral isotrope, son indice de réfraction varie de 2,08 à 2,16. Son pouvoir réflecteur varie de 12,7 à 11,6% pour des longueurs d'onde comprises entre 4700 à 6500 Å.

### **III- UTILISATION**

La composition chimique de la chromite varie avec son contenu en cations  $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+})(\text{Cr}^{3+}, \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+})\text{O}_4$  et de la teneur en minéraux des roches encaissantes (Olivine, pyroxénolite, talc,...). Ainsi, en fonction de cette composition, on distingue quatre principales utilisations de la chromite :

- en métallurgie,
- en chimie ou parachimie,
- comme réfractaire,
- comme sable de fonderie.

#### **1- Métallurgie [13]**

Pour que la chromite soit utilisée en métallurgie, elle exige les caractéristiques suivantes :

- teneur en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  supérieure ou égale à 47%,
- rapport pondéral Cr/Fe supérieur à 3,
- teneur en silice ( $\text{SiO}_2$ ) comprise entre 8 et 10%,
- granulométrie : minerai rocheux de 25 mm.

Cependant, cette qualité devient de plus en plus rare. Ainsi, avec les nouvelles recherches, il est possible d'utiliser des ferrochromes contenant 52% de Cr ayant 40 à 46% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  pour un ratio de l'ordre de 1,5 à 2.

Le chrome extrait de la chromite résiste à l'oxydation quel que soit les agents atmosphériques (eau, air, ...). En effet, en métallurgie, la chromite est utilisée pour améliorer la résistance à la corrosion d'un métal :

- comme constituant d'alliage, par exemple dans l'acier inoxydable,
- dans le plaquage au chrome,

Les chromites métallurgiques sont utilisées comme :

- un enduit pour protéger le métal sous-jacent contre une oxydation plus profonde,
- un métal inaltérable à l'air, et il communique cette inaltérabilité aux aciers auxquels il est allié dans des proportions au moins égales à 15%,
- conférant aux aciers des qualités mécaniques améliorées (dureté, résistance à l'abrasion, module d'élasticité) même en faible pourcentage.

- entrant dans des alliages avec les métaux du groupe du fer (nickel, cobalt) afin d'obtenir des superalliages utilisables dans des conditions difficiles : hautes températures, atmosphères oxydantes et humides.
- recouvrement des métaux usuels (fer, acier, nickel, cuivre) par des couches fines, homogènes et parfois brillantes, afin de protéger les substrats contre l'oxydation et les décorer simultanément.

## **2- Chromite utilisée en chimie ou en parachimie [25]**

### **2- 1- Utilisation comme oxydant ou réducteur**

Le chrome, à valence supérieure à 6, est utilisé en chimie comme agent d'oxydation ; à valence inférieure à 2 comme agent réducteur. Il est souvent employé comme oxydant sous forme de chromates et bicarbonates.

### **2- 2- Phosphochromatation**

C'est une opération où on forme par attaque superficielle une couche fine de phosphochromate ou de chromate du métal à protéger (zinc, aluminium, cadmium). La couche déposée facilite et améliore l'accrochage des vernis et peintures appliqués ensuite. Si l'application ne représente pas de tonnages importants de chrome, elle est appelée à traiter de très nombreuses surfaces métalliques, bandes d'aluminium pour conserverie, aciers galvanisés, tous revêtements électrolytiques de zinc.

### **2- 3- Utilisation à titre d'acide fort**

L'acide chromique peut être utilisé dans le :

- polissage des métaux,
- satinage des lingeries,
- brillantage chimique ou électrolytique.

### **2- 4- Applications superficielles du chrome**

Elles protègent les substrats métalliques contre la corrosion. Elles décorent et améliorent les propriétés mécaniques, car les couches déposées présentent une dureté et une résistance mécanique accrue.

## 2- 5- Fabrication de pigments [13]

Le chromate de plomb et de zinc fournit des teintes allant du jaune citron au rouge et employé dans la peinture, le caoutchouc et les revêtements du type linoléum,

D'autres composés chromiques sont préparés et utilisés comme pigments et employés dans les peintures, vernis, porcelaines, faïences, ...

## 2- 6- Tannerie

Une solution de bichromate de sodium provoque une réduction superficielle et une formation d'oxyde de chrome trivalent s'imprégnant dans la peau,

La peau bichromatée est soumise à l'action d'un réducteur (hyposulfate de sodium en solution acide, sulfite de sodium, glucose). L'oxyde de chrome se fixe dans la peau et lui confère une teinte bleu- vert.

## 3- Chromite utilisée dans les réfractaires [25]

Elle nécessite les caractéristiques suivantes:

- teneur en  $(Cr_2O_3 + Al_2O_3)$  se situe entre 57% et 63%,
- teneur en magnésie inférieure à 15%,
- teneur en fer inférieure à 10%, teneur en chrome voisine de 25% et celle de  $Cr_2O_3$  voisine de 38%.

Cet emploi tient compte de la teneur en alumine des minéraux. Ce type de chromite présente une grande stabilité vis-à-vis des réactifs acide ou basique à hautes températures. Ainsi, les chromites réfractaires sont utilisées pour la fabrication des briques réfractaires ; exemple : revêtement des fours Martin.

## 4- Sable de fonderie

La chromite est utilisée dans les moules, en concurrence avec l'olivine et le zircon à cause de sa meilleure résistance à une haute température, de sa bonne conductibilité thermique, de sa résistance à la pénétration par les métaux fondus en particulier quand il s'agit du moulage d'acières spéciaux ou au carbone.

## **IV- REPARTITION DE GISEMENTS DE CHROMITE DANS LE MONDE**

La Russie, l'Afrique du Sud, la Turquie, la Zimbabwe et les Philippines assurent environ 85% de la production mondiale.

Les minerais de la Russie, de la Turquie et de Madagascar présentent un ratio élevé qui correspondent au domaine d'utilisation métallurgique. Ces chromites représentent 15 à 25% des réserves mondiales.

Les minerais de chromite de la Zimbabwe, appelée autrefois la Rhodésie du Sud, sont localisés dans la région de Seloukwé, et les gisements de minerais se trouvent en Transvaal.

Les gisements de chromite de l'Afrique du Sud portent le nom de Bushveld et se localisent dans la région de Rutenburg.

Les minerais de la Russie se trouvent dans les régions de Kartaly et Khrom-taou. Les gisements de chromite de la Turquie sont répartis dans les régions de Fethye et Bursa. Les minerais de la Russie et de la Turquie sont des gisements en amas, situées dans l'Oural.

Quant aux chromites réfractaires, elles n'occupent que 10% des réserves mondiales. Elles sont situées dans l'Oural et sur le Mont de Polog aux îles Philippines.

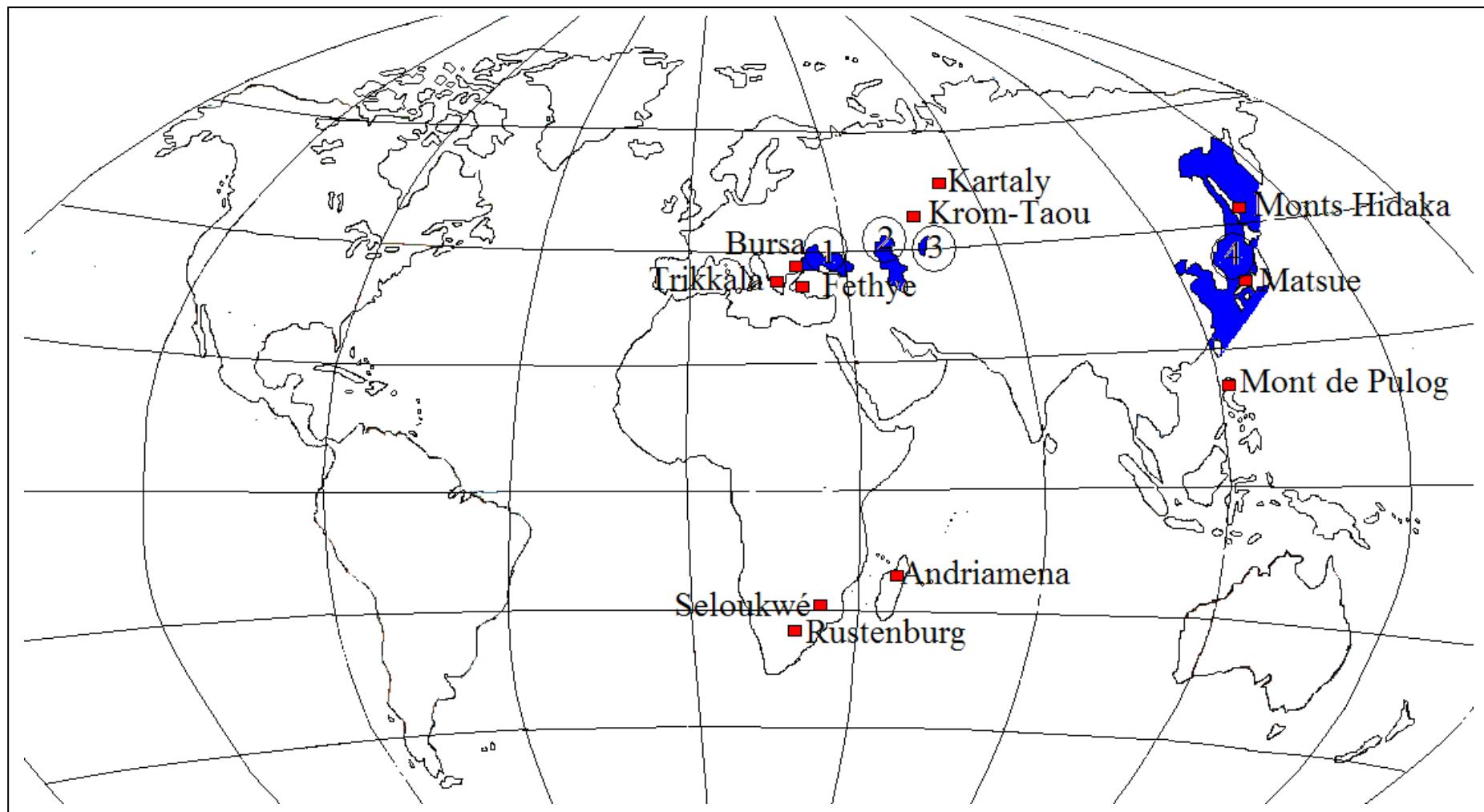
D'autres petits gisements de chromite se répartissent dans d'autres régions du monde telles que :

- la région de Matsue et sur le Mont Hidaka au Japon,
- la Trikkala en Grèce,
- la région de Seloukwé en Tanzanie.

### **Remarques :**

- Madagascar contribue 0,01% de la production mondiale de chromite,
- Jusqu'à l'heure actuelle, aucun gisement de chromite n'a encore été signalé sur le continent américain et en Australie.

La Figure 6 nous permet de voir sur une carte la distribution de gisement de chromite dans le monde, et nous donne le nom de la région de localisation de la chromite à la surface du globe terrestre.



1 : Mer Noire

2 : Mer Caspienne

3 : Mer d'Aral

4 : Mer de Japon

Echelle : 1/133 333 000

**Figure 6 : Carte de gisement de chromite dans le monde**

## **DEUXIEME PARTIE**

## **MATERIEL ET METHODE**

La réalisation de ce mémoire tient :

- à mettre à la disposition de tout le monde l'information sur la chromite, ses traits caractéristiques et sa répartition à Madagascar,
- à réactualiser l'état de la chromite d'Andriamena,
- à fournir des renseignements sur l'exploitation et le traitement de chromite,
- à mettre en valeur les impacts socio- économiques de son exploitation.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons mené :

- des recherches bibliographiques,
- des enquêtes sur le terrain à Andriamena et à Ampefiloha, des entretiens et des visites d'usines et des laboratoires.

Ce mémoire est l'aboutissement de recherches bibliographiques, de l'analyse des données et des informations requises, et enfin, de la synthèse des résultats au cours de cette étude.

## I- RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce travail nécessite la visite :

- des établissements universitaires : Ecole Normale Supérieure d'Antananarivo (ENS), Facultés des Sciences d'Antananarivo en particulier le Département des Sciences de la Terre, Ecole Supérieure de Polytechnique d'Antananarivo.
- des Bibliothèques : Bibliothèque Nationale d'Ampefiloha, Bibliothèque du Service géologique d'Antananarivo (Ampandrianomby).
- des différents centres de documentations d'Antananarivo :
  - Centre d'Informations Technique et Economique (CITE d'Ambatonakanga),
  - Centre d'Informations et de Documentations Scientifiques et Techniques à Tsimbazaza (CIDST),
  - Centre Culturel Albert Camus à Analakely (CCAC),
  - Centre National de Recherches Industrielles et Technologiques (CNRIT) à Tsimbazaza- Fiadanana,
  - Direction des mines et de la géologie (DMG) d'Ampandrianomby,
- d'un organisme international : agence de la banque mondiale à Ampefiloha,
- de l'Institut National de la Statistique (INSTAT) qui nous a informé sur le prix d'exportation et la production de chromite (en valeur approximative),

- de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) qui nous a communiqué des documents sur l'utilisation de la chromite.

Pour clore la recherche bibliographique, nous avons consulté aussi des documents de la KRAOMA. Ils nous ont permis d'acquérir des informations très intéressantes sur l'histoire de chromite d'Andriamena, sur ses gisements, sur ses productions et son plan d'action.

## **II- ENQUETE SOCIO-ECONOMIQUE**

### **1- Visites**

Pour avoir des informations plus directes, plus proche de la réalité, nous avons effectué une visite d'une semaine à Andriamena.

#### **1- 1- Visite d'usine**

Elle nous a permis de suivre les différents processus de traitement subis par la chromite. Et elle nous a facilité de reconnaître le plan et le fonctionnement de l'usine (laverie), les matériels lourds (chargeur, pelle), les machines de traitement (tables à secousse, spirale) utilisés par la société.

#### **1- 2- Visite du laboratoire**

Elle nous a conduit sur la détermination :

- du ratio,
- du dosage de chrome,
- du dosage de phosphore,
- du dosage de silice,
- du dosage du fer,

afin que les produits marchands (concentré, rocheux) répondent aux normes internationales.

## **1- 3- Visite d'ateliers**

Cette visite nous a permis de connaître les engins d'exploitation tels que les dumpers, les bulls, les pelles, ... et les matériels de transport des personnels et des cadres. Mais surtout la visite nous a aidé à voir le mode de fonctionnement de cet atelier pour l'entretien et ou la maintenance de ces engins.

## **2- Entretiens**

Afin de compléter les données acquises lors de notre compilation bibliographique et des visites, nous avons effectué des entretiens auprès :

- du personnel administratif de la KRAOMA pour avoir une vue d'ensemble sur cette société,
- des géologues, des ingénieurs des mines et des ouvriers miniers pour acquérir des renseignements plus techniques sur les gisements de chromite et sur les différentes étapes d'exploitation de chromite,
- des responsables de la topographie, afin de déterminer le niveau le plus bas possible de l'exploitation,
- des responsables de la laverie pour poursuivre le traitement que subi la chromite brute (venant de la mine) jusqu'à l'obtention de chromite type rocheux ou concentré,
- des responsables du laboratoire pour connaître les diverses manipulations pour accéder au ratio et aux taux d'impuretés de chromite avant sa commercialisation,
- du chef de service d'atelier et de maintenance pour obtenir des informations sur les matériels d'exploitation et les engins de transport,
- du responsable du central électrique pour s'informer du mode de fonctionnement du système hydroélectrique,
- du chef de service de la cité pour se renseigner dans le domaine de logement (nombre, entretien, sécurité),
- du responsable social et santé afin d'obtenir des renseignements sur la santé des gens de la région, les loisirs et les activités des jeunes en dehors de l'étude ou de l'activité de la KRAOMA,
- des paysans pour obtenir leur opinion sur les impacts socio-économiques et sur l'exploitation de la chromite.

### **III- MATERIELS UTILISES**

Pour la réalisation de ce mémoire, nous avons utilisé :

- des livres consultés au niveau des centres de documentation des services ministériels, des établissements universitaires, d'un organisme international et de la Bibliothèque Nationale,
- des rapports publiés par l'INSTAT, l'AUF et la KRAOMA,
- des outils informatiques : « Intel inside celeron », (processeur 667 Mhz, ram 128 Mo, HDD 20 Go), imprimante : « HP office jet T45 »,
- un appareil photographique : F3.5, glass lens made in Japan D<sub>X</sub> SM111.

# **TROISIÈME PARTIE**

## **CHROMITE D'ANDRIAMENA**

## I- HISTORIQUE

La chromite à Madagascar a été découverte au début du XX<sup>e</sup> siècle. D'après LACROIX en 1922, plusieurs indices ont été signalés. Seulement, la plupart ne présentaient que de qualité médiocre.

En 1948, les premiers indices alluvionnaires découverts par R.KOENIG se trouvent à Ranomena et au voisinage de Manakana.

En 1954, une révision et une prospection de reconnaissance de la feuille géologique aux levers à 1/200 000 ont eu lieu. Ainsi, plusieurs années se sont écoulées et en 1954-1955 eut lieu la découverte de nouveaux indices alluvionnaires sur place par P.GIRAUD. Cette recherche est réalisée à Andriamena. Sous l'impulsion de la société UGINE (nom de la société) (Région de Ranomena et Sud Andriamena) et du BRGM (Nord Andriamena), une prospection systématique est aussitôt entreprise et débouche sur de nombreuses découvertes suivies de sondages. De ce fait, cette société commence l'exploitation dès 1957.

De 1958 à 1964, sur une surface étendue de 5600 km<sup>2</sup>, 631 indices de chromite ont été prospectés et détectés dont les plus importants sont Bemanevika et Ankazotaolana distants l'un de l'autre de 3 km. Ils ont un ratio au moins égale à 2, pouvant dépasser 3. Leur capacité est évaluée à plus de 5 Millions de tonnes.

Entre Toamasina et Foulpointe, deux gisements de chromite ont été exploités à l'Est du Lac Alaotra et à Ranomena de 1960 à 1965, tandis que celui d'Andriamena est entré en exploitation en 1969. Notons aussi que d'autres petits gisements ont été découverts à Maevatanana et à Befandriana Nord. A cette même époque, la COMINA s'est installée. Il poursuit la construction d'une cité minière et d'une usine d'enrichissement gravimétrique.

Puis en 1969, UGINE en collaborant avec la COMINA poursuit une deuxième exploitation à Andriamena. Ensuite, on a établi une ligne de chemin de fer de 27 km reliant Morarano et Vohidiala. De ce fait, les produits finaux de minerais sont transportés par semi-remorques sur 94 km jusqu'à Morarano, puis sont acheminés par chemin de fer jusqu'au port de Toamasina soit à peu près 400 km. Pour cette même période, de nouvelles chromitites sont mises en évidence dans la région de Befandriana Mandritsara (en 1956), de Mananara (en 1966), de Beforona Alaotra, de l'Ampasary de Maevatanana et à l'Ouest d'Antananarivo, mais seule une partie a donné lieu à une mise en exploitation en 1975 dans le secteur de Zafindravoay par COMINA.

De 1969 à 1972 avaient lieu les premières expéditions de concentré de chromite à Bemanevika. Malheureusement, de 1972 à 1973 des éboulements de stériles ont été signalés

rendant l'exploitation difficile. Depuis, l'exploitation a été suspendue. Vers novembre 1973, on exploitait le gisement d'Ankazotaolana.

En 1976, la COMINA devient une propriété de la République Démocratique Malagasy sous la dénomination KRAOMA. La saison 1975 à 1976 a été prospère puisque la production de concentré est largement supérieure à 175 000 t mais pourtant la capacité moyenne de la laverie n'était que 120 000 t.

En 1977, l'Etat malgache a construit une usine de déphosphoration, car on constatait que l'apatite (phosphate de calcium) dans les pegmatites qui recourent les lentilles de chromite faisait augmenter la teneur en phosphore. En effet, le phosphore est en grande partie lié à l'apatite, minéral diamagnétique, alors que la chromite a un comportement paramagnétique. Cette usine de déphosphoration comprend un four de séchage et des séparateurs magnétiques de basse et de haute intensité. Elle permet d'épurer les concentrés phosphoreux, la capacité de traitement est de 20 à 30 t/h [24].

En 1979, on pratiquait l'exploitation sur Ankazotaolana et Bemanevika. Le 08 octobre 1979, la KRAOMA devenait une entreprise socialiste. Vers la fin des années 1980, l'usine pour la liqueur dense a été installée. Elle permet d'obtenir des rocheux.

En 1982, la baisse du cours mondial du minerai se traduit par une importante diminution de rendement à 28 000 t en 1982 (elle avait atteint 345 000 t en 1975), car la société faisait face aux difficultés d'approvisionnement en carburants, en pièces de rechange et aussi au problème de transport ferroviaire.

A la suite d'une prospection commerciale fructueuse, la situation s'améliore et l'on procède notamment, en 1985, à des investissements pour renouveler les équipements de carrière et de transport de concentrés.

En 1990, on a décidé de reprendre l'étude de Bemanevika dans le but de reconfirmer l'existence de minerai de chrome en évaluant les réserves par sondage ; tandis qu'à partir de 1995 jusqu'à l'heure actuelle la KRAOMA est redevenue une société anonyme. Il est à noter que l'usine de déphosphoration n'est plus en service depuis 2002, du fait de la dépense de gazole pour le séchage. Malgré les difficultés traversées par la société, l'exploitation de Bemanevika ne sera reprise que le 31 mars 2005 quand le gisement d'Ankazotaolana s'épuisera.

L'ouverture officielle de l'exploration de Bemanevika a eu lieu le 21 octobre 2005, et cette mine a été inaugurée par le Président de la République Marc RAVALOMANANA. La société KRAOMA vient d'être dotée de nouveaux matériels et engins lourds comme une pelle mécanique et des bulls pendant l'inauguration \*.

\* le « Quotidien » du 24/10/2005, N° : 621

## **II- KRAOMA**

Le sigle « KRAOMA » signifie Kraomita Malagasy. C'est la seule entreprise exploitant la chromite à Madagascar. Elle effectue plusieurs activités telles que l'extraction, le traitement et l'exportation de chromite.

### **1- Adresse**

Elle présente les traits caractéristiques suivantes :

**Siège social :** BP 936 Ampefiloha Antananarivo 101

Rue Andrianaivoravelona

**Téléphone :** 020 22 243 04 / 02 22 346 88

**Fax :** 22 246 34

**Email :** kraoma@bow.dts.mg

### **2- Capital souscrit**

La KRAOMA est une société anonyme entièrement détenue par l'Etat malgache, mais elle est sous le régime de gestion privée. Son capital souscrit est de 8.533.713.332 Ariary.

### **3- Mode de formation**

La société est créée le 13 février 1966 sous la forme d'une société anonyme. Elle est nationalisée en 1976 suivant l'ordonnance N° 76024 du 06 juillet 1976. Puis, par arrêté N° 4310/79 du 08 octobre 1979 elle est devenue une Entreprise Socialiste. Enfin, à l'heure actuelle, il s'agit d'une société anonyme appartenant à l'Etat.

### **4- Fonctionnement de la KRAOMA**

A Andriamena, la société possède 7 services. Ils ont chacun leur fonction spécifique. Chaque service collabore en cycle. Ils sont interdépendants ; ainsi si l'un se trouve en panne, la société toute entière en subit la conséquence néfaste.

Le « **Service mine** » cherche des indices par prospection et sondage. Il envisage l'exploitation du gisement.

Le « **Service topographie** » coopère avec ce service et envisage le niveau d'exploitation le plus rentable et à quel niveau il serait épuisé.

Le « **Service atelier** » veille à ce que les moyens de transport, d'exploitation miniers, de déplacement des personnels soient en bon état permanent. Ainsi, il lui arrive de fabriquer des pièces appropriées adaptables en cas de nécessité.

Le « **Service central hydroélectrique** » assure l'alimentation en énergie électrique de la laverie, de la cité, des bâtiments administratifs et même les bâtiments environnants.

Le « **Service social et santé** » s'occupe du bien-être de la population, de l'éducation des enfants, des jeunes et d'un centre d'accueil « le club » pour les visiteurs.

Le « **Service cité** » est responsable de la sécurité et l'installation des visiteurs. Ainsi, il collabore avec la gendarmerie de la région. Il s'occupe aussi de la logistique et même du reboisement.

Enfin, le « **Service laverie** » assure le traitement du minerai brut afin d'obtenir des produits finaux qui constituent le concentré et le rocheux.

Il est à noter que chaque service possède trois postes. Chaque poste effectue 8 heures journalières de travail. Elle fonctionne en cycle et le tour de chaque poste change chaque semaine. Notons que ces services sont sous l'encadrement d'un Directeur d'Exploitation (DE).

A Ampefiloha se trouve le siège social de la société. Il s'occupe de la commercialisation et de la gestion économique des produits. Il s'occupe aussi des projets, des études et la recherche des clients. Ainsi, on y trouve les bureaux :

- du Directeur Général,
- du Directeur des projets et des études,
- du Directeur commercial,
- du Directeur des ressources humaines.

Dans tous les cas, à Andriamena ou à Ampefiloha, tous les personnels sont sous le patronage d'un Directeur Général (DG).

Le personnel de la KRAOMA compte au total 435 employés (35 à Antananarivo et 400 à Andriamena). Il se répartit en :

- cadres,
- agents de maîtrise,
- personnels permanents,
- personnels temporaires.

### III- ANDRIAMENA

#### 1- Géographie physique

##### 1-1- Localisation

Andriamena est une commune rurale de la région de Betsiboka. Elle dépend de la sous-préfecture de Tsaratanana, dans la province de Majunga.

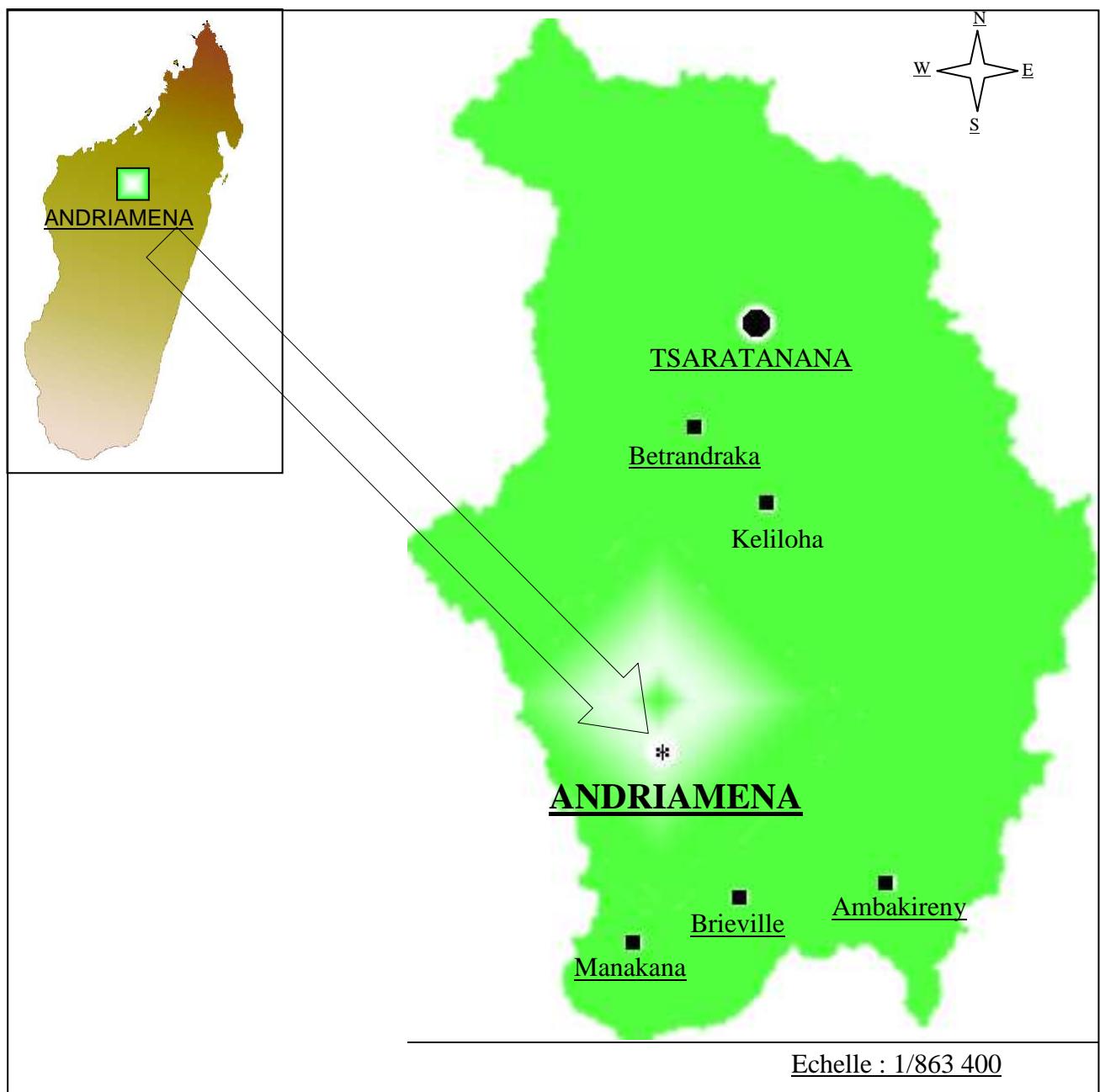


Figure 7 : Localisation de la zone d'étude

Elle est située au Nord d'Antananarivo à 160 km à vol d'oiseau, avec les coordonnées suivantes :

- longitude 47°21` à 47°49`,
- 17°47` à 18°08` de latitude Sud,
- 950 m à 1050 m d'altitude au-dessus du niveau de la mer.

## 1-2- Relief

La région d'Andriamena est une zone montagneuse à sommet arrondi marquant une pénéplanation. Elle présente un sol latéritique mis à nu par l'érosion, laissant par endroits des lavaka en digitations subverticales. Les zones de collines ont une altitude moyenne de 400 m au Nord et de 800 m au Sud, tandis que les dénivellations entre sommets et vallées sont assez importantes (400 à 500 m environ). On remarque que les pentes y sont dépourvues de végétation arbustive. La Figure 8 présente ce phénomène.



**Figure 8 : Région d'Andriamena avec des lavaka en digitations subverticales**

## 1-3- Climat

Il est tempéré sans variation brutale de température : un été chaud (20 à 35° C) et un hiver doux (10 à 25 °C). La pluviométrie annuelle atteint son apogée de janvier à mars (430 mm environ en 91 jours). L'eau de pluie, par une multitude de petits ruisseaux se déverse dans la Mahajamba, le Kamoro et la Betsiboka. Des pluies ruissellent à la surface du sol latéritique par absence de végétation. Ainsi, la dégradation du terrain est accélérée. La région s'expose à l'érosion hydrique.

## 2- Géographie économique

### 2- 1- Population

La population de la région est formée d'un mélange de tribus de l'île, nommé le Marofotsy. D'après le Maire, elle compte 20.000 habitants environ dans la circonscription d'Andriamena. Tandis que la KRAOMA abrite 1.700 âmes sur la colline de Brieville dont 400 travaillent pour la société.

### 2- 2- Infrastructures

A part les bâtiments administratifs et le club, on compte quelques centaines de bâtiments répartis en 12 villas, 38 studios, 215 « petites maisons » réservées aux ouvriers (Source : Service cité).

Pour que les personnels et leur famille bénéficient du confort, la KRAOMA dispose d'une centrale hydroélectrique qui alimente la cité, la laverie et les bâtiments environnants, ainsi qu'un dispensaire, une école maternelle, une Ecole Primaire Publique (EPP) et un Collège d'Enseignement Général (CEG). Outre l'activité minière, la population pratique l'élevage des bœufs, d'oies, les cultures du riz, d'arachide, de la canne à sucre et l'exploitation aurifère pour « augmenter » les ressources financières. La Figure 9 nous présente ces infrastructures.



**Figure 9 : Cité de Brieville**

### **3- 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.

#### **3- 1- Le socle cristallin**

Il comporte :

- le Katarchéen entre 4 500 MA et 3 200 MA : représenté par des massifs ou dômes granitiques ou migmatitiques et des métabasites,
- l'Archéen entre 3 000 et 2 600 MA : qui comprend de bas en haut :
  - les rides anticlinoriales granitoïdes et migmatitiques de direction submérienne,
  - 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 10 nous montre ces différentes formations géologiques sur une carte de Madagascar.

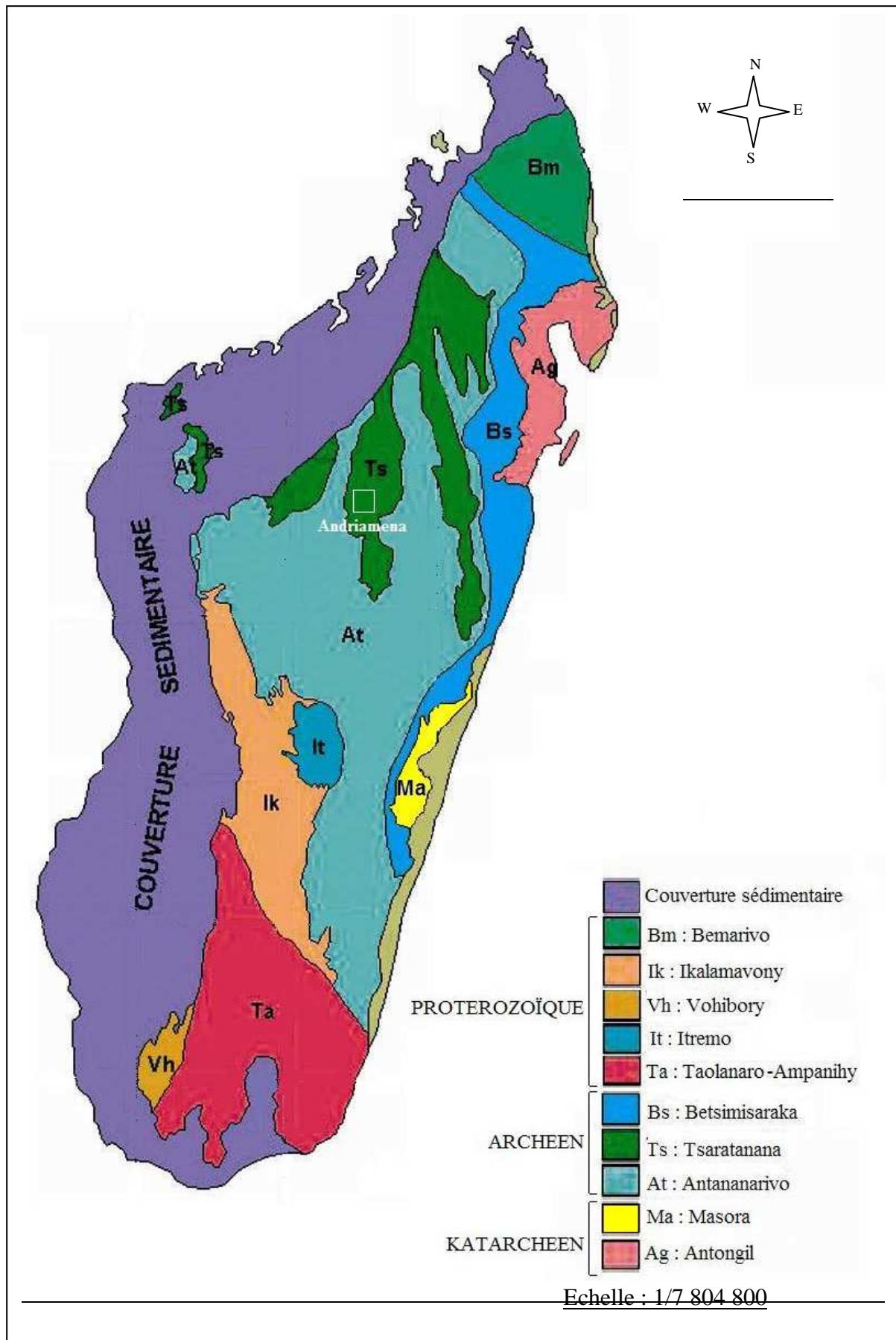
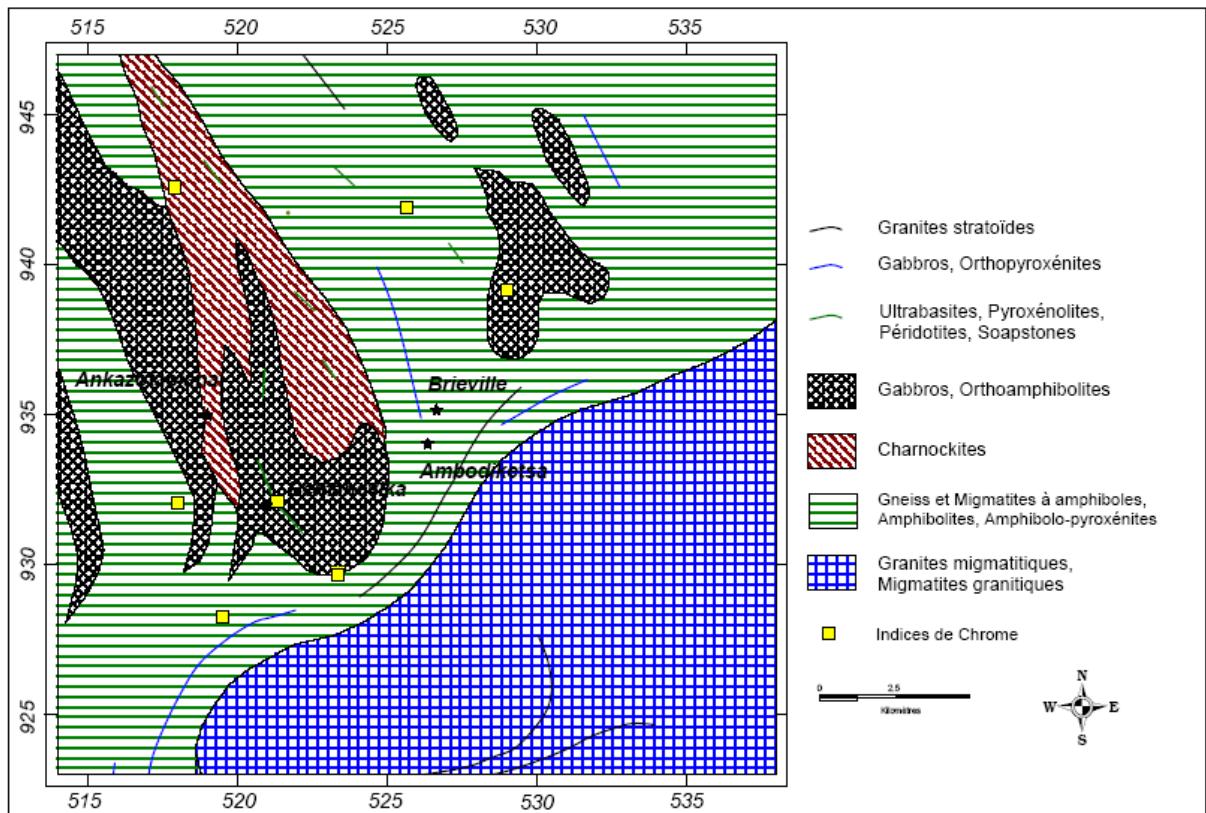


Figure 10 : Carte géologique de Madagascar (Source : BGRM)

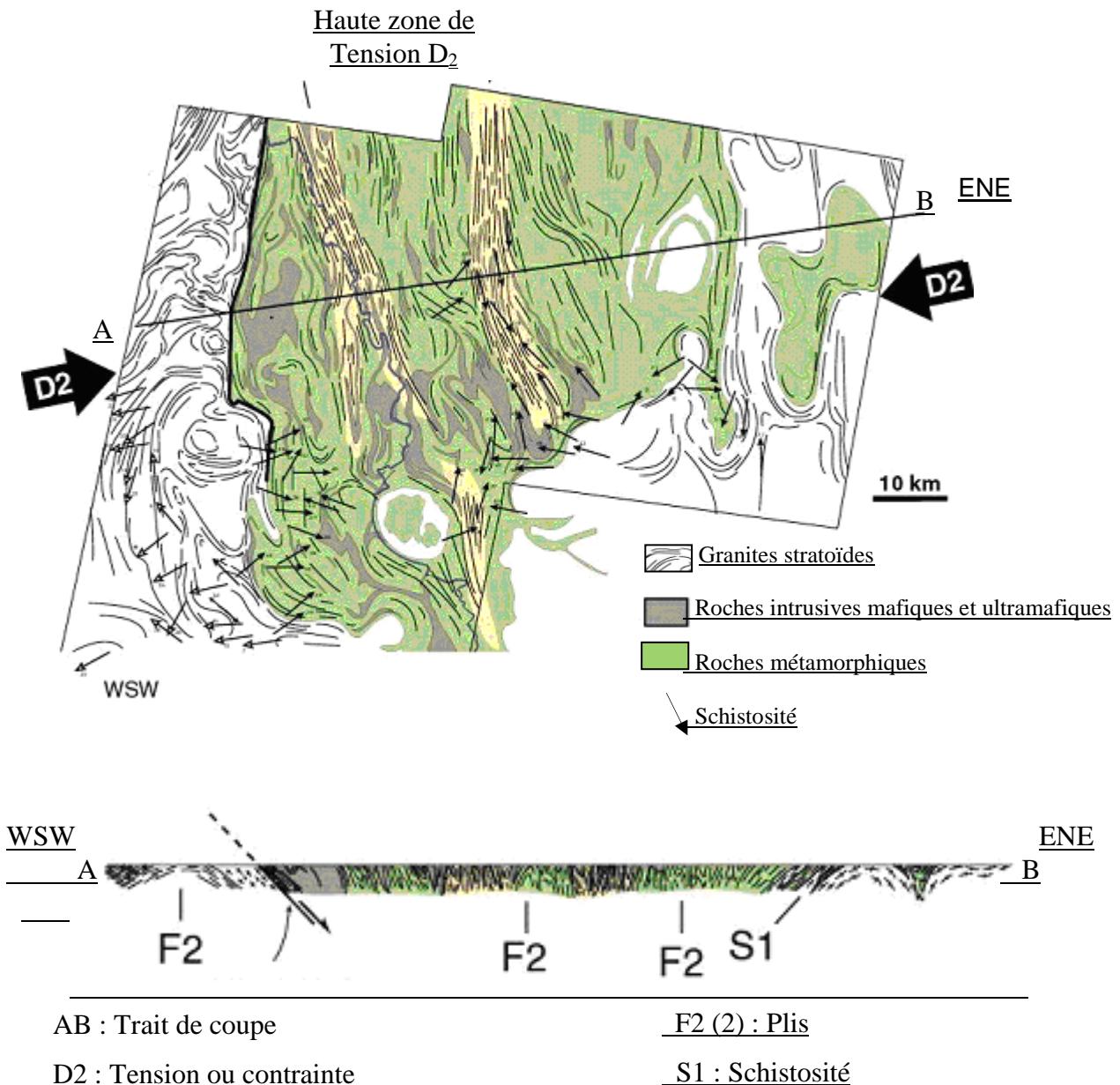
### 3- 2- Géologie régionale du périmètre chromifère d'Andriamena

Le périmètre chromifère d'Andriamena fait partie de l'Archéen, du système Andriamena-Manampotsy, à dominance calcaro-ferromagnésienne. La Figure 11 indique ce périmètre chromifère d'Andriamena situé dans le même cadre géologique que la cité de Brieville.



**Figure 11 : 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 noristique. 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 12 résume ces différents phénomènes géologiques.



**Figure 12 : Carte structurale de l'unité d'Andriamena avec coupe [17]**

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.

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

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

- les pyroxénolites et leurs dérivées : soapstone, actinotite, trémolitite,
- les périclases type harzburgite formé d'hypersthène et d'augite,
- les gabbros de type norite à l'hypersthène ferrifère avec labrador.

La chromite est emballée ainsi dans une masse de périclases (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 [18].

### **3- 4- 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 [33].

#### **3– 4- 1- Qualité de la chromite d'Andriamena [30]**

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 minéraux associés à des périclases (altérées soit en soapstone, soit en serpentine) sont de meilleure qualité que ceux liés à des pyroxénolites.

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

$$\frac{\text{MgO}}{\text{MgO} + \text{FeO}}$$

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 I représente les normes requises des produits d'Andriamena pour les concentrés et les rocheux :

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

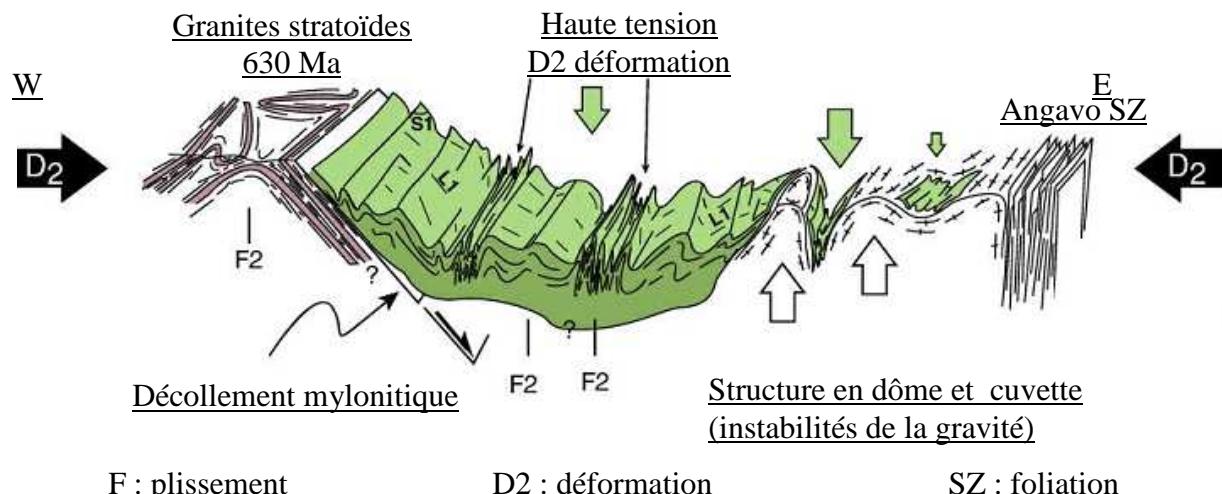
| COMPOSANTS                     | Concentrés              | Rocheux                                       |
|--------------------------------|-------------------------|---|
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 49% minimum             | 42% minimum                                   |
| Al <sub>2</sub> 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,<br>30% moins de 25 mm |

D'après ce Tableau I, 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.

### 3- 4 – 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 13 nous indique les déformations tectoniques souples et cassantes de la zone d'Andriamena.



**Figure 13 : 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 [31].

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 [18].

## **IV- EXPLOITATION DE LA CHROMITE**

### **1- Mode et méthode d'exploitation**

#### **1- 1- Mode**

C'est la manière d'accéder au minerai qui peut se faire à ciel ouvert ou en souterrain.

Comme les gisements de chromite sont peu profonds, le mode d'exploitation correspondant est à celui ciel ouvert.

#### **1-2- Méthode d'exploitation**

C'est l'ensemble des procédures effectuées dans le chantier afin d'obtenir un rendement économique élevé. Afin d'atteindre cet objectif, il faut tenir compte des paramètres suivants :

- la sécurité du personnel,
- la sécurité de l'exploitation,
- l'environnement minier,
- la qualité de la production,
- la rentabilité économique.

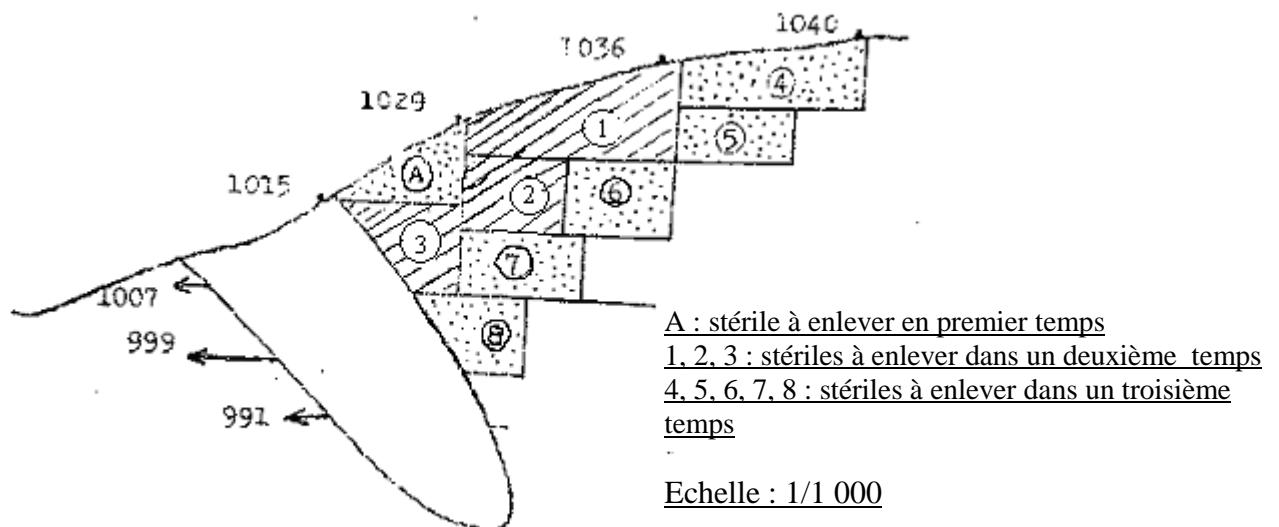
Pour le cas de gisement d'Ankazotaolana, la société a choisi la méthode d'exploitation par gradins successifs. Cette méthode consiste à décaper les stériles, puis d'abattre les minerais. Elle a aussi utilisé cette même méthode pour l'exploitation de Bemanevika.

## 1- 2- 1- Décapage

Il consiste à enlever les gangues qui sont des matériaux, formés de roches encaissantes plus ou moins altérées.

## 1- 2- 2- Abattage du mineraï

On constate que les matériaux sont friables jusqu'à une profondeur moyenne égale à 40 m. Ainsi, l'abattage du mineraï se fait par le ripage effectué par des techniciens de la KRAOMA. La Figure 14 montre un exemple d'exploitation d'un gisement de chromite de Bemanevika qui commence par un enlèvement des stériles.



**Figure 14 : Plan d'exploitation du gisement de Bemanevika**

## 1- 2- 3- Paramètres mis en jeu [27]

### a) Hauteur du front

La hauteur du front d'abattage est généralement fixée à 10m. Cette valeur peut varier légèrement pour les niveaux supérieurs, et la valeur des gradins devra être inférieure à 10 m.

### b) Banquette ou plate-forme du gradin

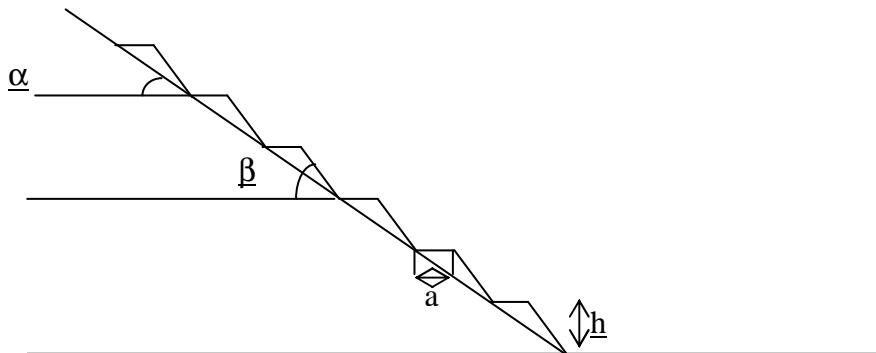
Elle permet la circulation des camions pour l'exploitation et le transport du mineraï. Pour cette raison, il faut une largeur variant de 4 m à plus de 20 m. Il est à noter qu'au fur et à mesure qu'on descend vers la profondeur de la fosse, cette largeur doit être au moins égale à 10 m pour favoriser les manœuvres des camions. La hauteur du gradin doit être de 10 m du niveau 960 au niveau 890, et met de 20 m en dessous du niveau 890 m.

### c) L'angle optimal de talus

Il diminue lorsque le niveau de celui-ci se trouve à une altitude plus élevée. Une banquette de 4 m de large et d'une hauteur de front de 10 m demande une pente enveloppante optimale de  $56^\circ$ . Tandis que pour les niveaux inférieurs, il nécessite un angle de  $68^\circ$ . La pente moyenne de gradin varie avec la profondeur de la fosse [3] :

- au-dessus du niveau 890 :  $40^\circ$  dans les matériaux altérés et  $70^\circ$  dans les matériaux sains,
- en dessous du niveau 890 :  $80$  à  $90^\circ$ .

La Figure 15 résume ces différents paramètres au cours d'une exploitation de chromite.



$\alpha = 56^\circ$  (pente enveloppante)

$a = 4$  à  $20$  m (largeur de la banquette)

$\beta = 50$  à  $68^\circ$  (pente de gradin)

$h = 10$  m (hauteur des gradins)

**Figure 15 : Paramètres mis en jeu lors d'une exploitation**



1 : Banquette

2 : Gradin

**Figure 16 : Gisement d'Ankazotaoana montrant les gradins**

## **2- Plan d'exploitation**

### **2- 1- Description**

C'est un document sous forme de coupe graphique fournissant les informations nécessaires, adéquates pour l'extraction et l'exploitation.

### **2- 2- Conception du plan d'exploitation**

Elle s'avère d'une grande importance, car, elle permet d'envisager l'obtention maximum de minerais (en décapant le minimum de gangues) et le niveau final d'exploitation, ce qui demande une grande stabilité du talus des fosses conçues. Cette conception nécessite une étude approfondie des cartes géologiques [27].

### **2- 3- Gisements étudiés**

Il s'agit du gisement d'Ankazotaolana comme nous montre la Figure 16 dont l'exploitation s'achève cette année et le gisement de Bemanevika dont l'ouverture d'exploitation a commencé le 31 mars 2005.

Mais, l'ouverture officielle de son exploitation n'a eu lieu que le 21 octobre 2005. La KRAOMA vient d'être dotée ce jour de nouveaux matériels et engins lourds d'investissements comme une pelle mécanique et des bulls, lors de l'inauguration de ce nouveau gîte de Bemanevika, par le Président de la République Marc RAVALOMANANA. L'estimation de production de ce gisement est environ de 2 millions de tonnes \*.

Les deux gîtes se trouvent sur Manakana P-44 dans une carte géologique à 1 /100 000.

\* le « Quotidien » du 24/10/2005, N° : 621

**Tableau II : Principaux gîtes de chromite de Madagascar [21]**

| 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                    |

D'après le Tableau II, 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.

### **3- Matériels d'exploitation**

L'extraction est l'enlèvement des matières brutes de chromite avant leur transport au chantier. L'exploitation des minerais de chrome nécessite des matériels de types divers comme (Annexe V) :

- le matériel de chargement,
- le matériel de forage.

## **3- 1- Matériel de chargement**

### **3- 1- 1- Pelle**

C'est un matériel qui peut être pneumatique ou à chenille avec une pelle hydraulique, comme l'indique la Figure 25 de l'Annexe VI, transportant le minerai abattu vers les camions transporteurs Renault.

Cet engin a une capacité de godet de  $C = 3 \text{ m}^3$ , et avec un coefficient de remplissage égal à 80%, d'où sa capacité effective est de  $2,4 \text{ m}^3$ , la durée d'un cycle de la chargeuse est de 31 s, et la productivité de la pelle est de  $130 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### **3- 1- 2- Camions transporteurs**

Ils permettent le transport soit des minerais bruts du chantier vers la laverie, soit le transport des stériles sur le lieu de stockage. Ces camions ont chacun une capacité de 20 à 22t, comme nous montre la Figure 26 de l'Annexe VI.

### **3- 1- 3-Dumpers**

Ils permettent l'évacuation des stériles de la fosse pour faciliter le chargement du minerai. Quelquefois, ils servent à transporter le minerai jusqu'à l'usine si les stériles sont évacués.

La productivité d'un engin de transport dépend de la capacité de sa benne (en  $\text{m}^3$  ou en t), de sa vitesse moyenne, et de la distance à parcourir. Le volume transporté par cycle et par Dumper est de  $7 \text{ m}^3$  [30].

### **3- 1 -4- Bulls**

Ils sont utilisés pour le nettoyage de la carrière après chaque tir. Ils servent aussi de gerbage du minerai et des stériles pour faciliter le chargement de ceux-ci.

### **3- 1- 5- Brise blocs**

Comme son nom l'indique, elle permet de réduire en morceaux les grands filons de chromite afin de faciliter leur transport et leur traitement.

## **3- 2- Matériel de forage**

Il permet d'exécuter le tir afin d'obtenir le minerai. L'engin de perforation est l'ensemble compresseur-crawlair. Le compresseur est une commande perforatrice, tandis que le crawlair est

un matériel pour forer. Le compresseur fournit de l'air au crawlair dont le rôle est de faire des trous dans le minerai ou dans le stérile pour foisonner ceux-ci en vue de faciliter le chargement.

La profondeur des trous de mine varie selon les besoins des mineurs de 5 à 25 m, avec un diamètre de 100 mm. Le forage consiste alors à faire des trous de mine. Dans chaque trou de mine, on installe des explosifs (Annexe VIII), à savoir :

- la charge de fond qui est l'explogel type V10 de couleur noire,
- la charge de colonne qui est l'ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) de couleur blanche,
- de la dynamite de couleur rouge.

Le forage est réalisé à l'aide de deux crawlair Ingersoll Rand CM 350 équipés de marteaux ; hors de trou et/ou fond de trou et alimentés par deux compresseurs Diesel DxL750. En 1998, pour des trous de 12 à 24 m environ de profondeur, l'avancement moyen est de 7 m par heure de marche. Ce faible rendement s'explique par l'hétérogénéité et la fracturation de la roche, l'extrême dureté de certains gabbros, et surtout, l'état de fatigue des compresseurs (pression d'air insuffisante).

Par expérience, on peut dire qu'un rendement de 9 à 10 m/h de marche devrait être atteint. La consommation des explosifs (ANFO + gomme F15, explogel est de : 115 g/m<sup>3</sup> de stérile, 75 g/t de minerai en 1998).

**Remarque :** L'évacuation des eaux de la mine se fait naturellement jusqu'au niveau 900 m par un fossé raccordé à un cours d'eau au Nord. On a maintenu, par la suite, l'exhaure naturelle presque jusqu'au niveau 870 m. Et, à partir de 870 m, l'évacuation des eaux se fait par pompage à l'aide des pompes d'évacuation de 125 kVA, de débit 50 m<sup>3</sup>, un rateau de 200 m<sup>3</sup>/h. La durée de travail dans la mine s'élève à 16 h en deux équipes avec un effectif de 100 personnes [23].

## 4- Traitement de chromite

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. La Figure 17 indique la laverie.



1 : concentré                  2 : déclassé                  3 : silo laverie                  4 : silo liqueur

**Figure 17 : Usine de traitement de la laverie**

#### **4- 1- Objectif**

Il consiste à obtenir un concentré de chromite à partir du mineraï brut, de tout venant. Pour atteindre ce but, il faut tenir compte de la teneur des composants du mineraï ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ...), de la granulométrie, de la quantité d'eau présente et des impuretés.

#### **4- 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.

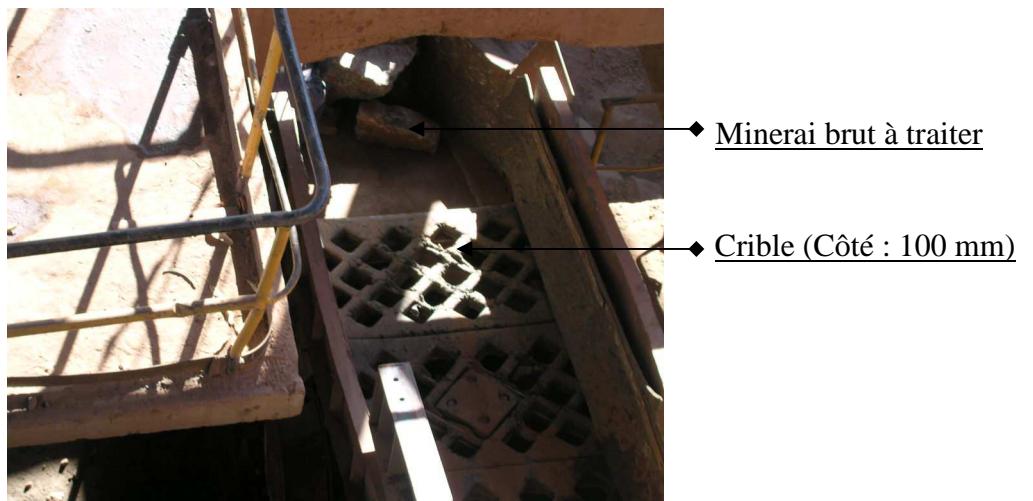
##### **4– 2– 1- Concassage**

Le mineraï 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 [34]

Pour les petites ouvertures, on s'exprime en général en mailles, procédé américain désignant un nombre d'ouvertures par unité de longueur. Le Tableau partiel d'équivalence : mailles- ouvertures en millimètres (norme américaine et norme française) est indiqué en Annexe IX. La Figure 18 nous montre un exemple de forme de crible qui est à maille carrée.



**Figure 18 : Crible à maille carrée**

Les éléments qui n'ont pas pu traverser cette maille passent au concasseur (Annexe X) 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).

#### **4– 2– 2- Laverie proprement dite**

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

##### **a) 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 (Annexe XI) 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.

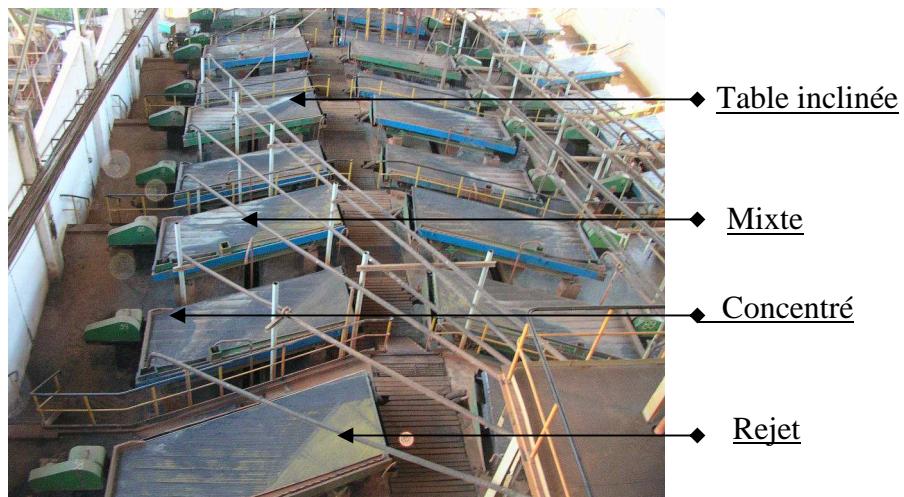
##### **b) Traitement**

Puis ces éléments se concentrent au niveau de l'hydroclasseur (Annexe XII) ou hydro classification qui commande la distribution des produits au niveau des tables à secousse et comme l'indique la Figure 19. 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 (Annexe XIII). Les tables permettent de distribuer les produits en concentré- mixte- rejet. Le principe est basé sur la gravimétrie.

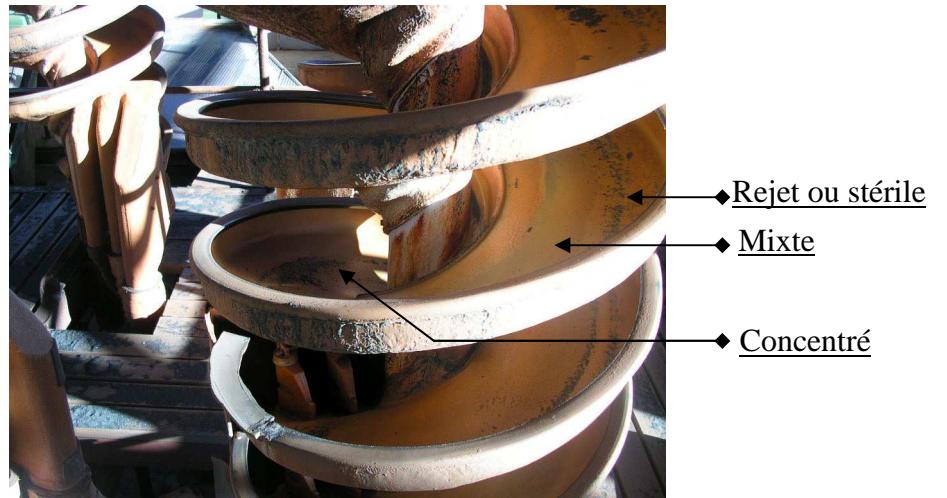
La chromite ayant une forte densité se trouve accumulée au niveau du concentré, tandis que le rejet de faible densité sera emporté par l'eau. Au milieu, on a le produit mixte. Ainsi pour récupérer la chromite, ce produit mixte passe au niveau des tables secondaires ou tables de retraitement.



**Figure 19 : Vue d'en haut des tables de traitement de chromite**

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 2,5 mm 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 (Annexe XII) :

- 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 minéral, appliquée au centre de gravité. La Figure 20 permet de distinguer la distribution des minéraux en rejet ou stérile, en mixte et en concentré au cours de leur passage au niveau des spirales pendant le traitement de chromite.



**Figure 20 : 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 ». Il suit la bande transporteuse qui l'amène au niveau de l'aire de stockage, et le stérile sera jeté.

La Figure 21 résume le traitement que subit la chromite au cours de son passage dans la section laverie afin d'obtenir des concentrés.

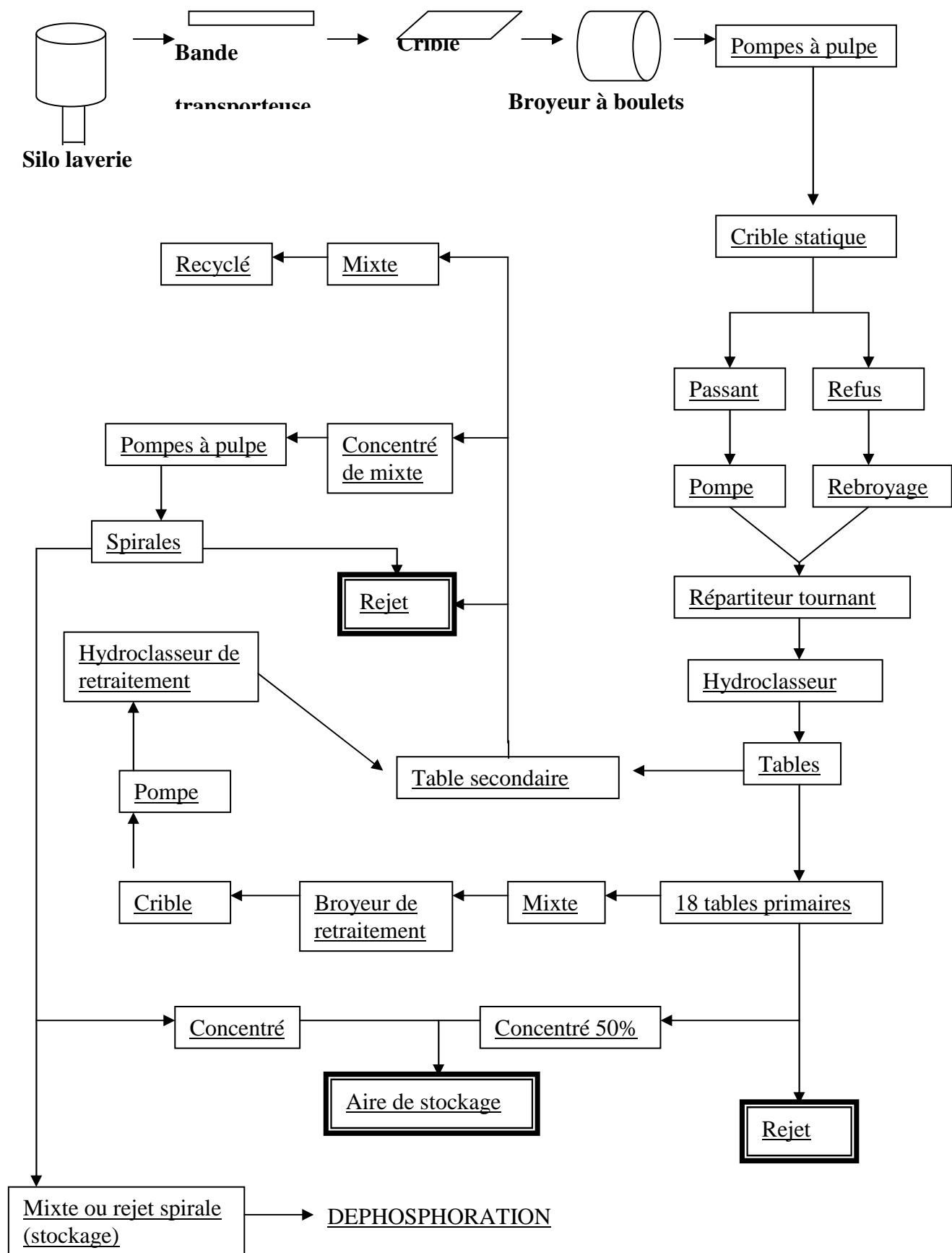
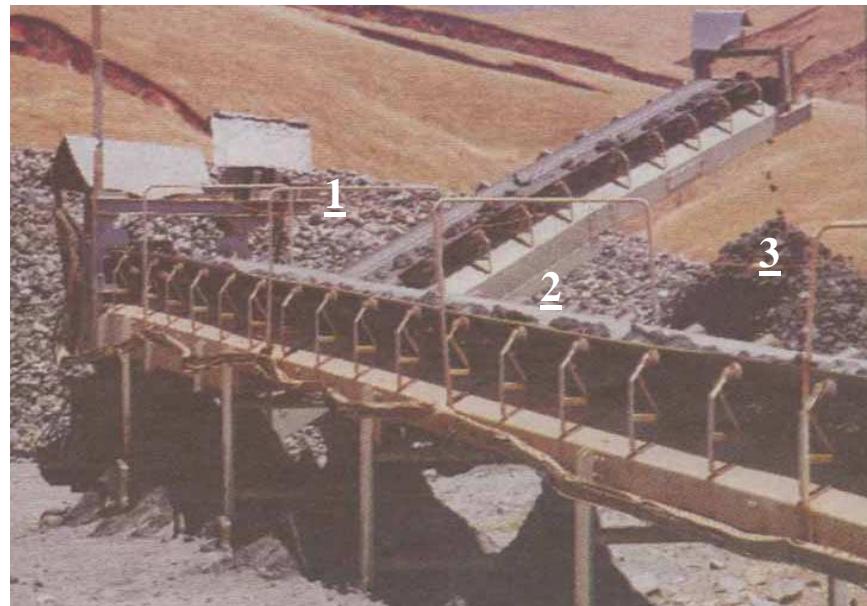


Figure 21 : Schéma du traitement des concentrés de chromite

#### **4– 2– 3- La 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. La Figure 22 présente le produit de traitement à la liqueur dense qui est le rocheux.



1 : rocheux

2 : bande transporteuse

3 : déclassé

**Figure 22 : Rocheux**

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 (Annexe XIV) constituée surtout par des ferrosiliciums. Le tambour en tournant mélange le produit sous l'action d'un auger. 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.

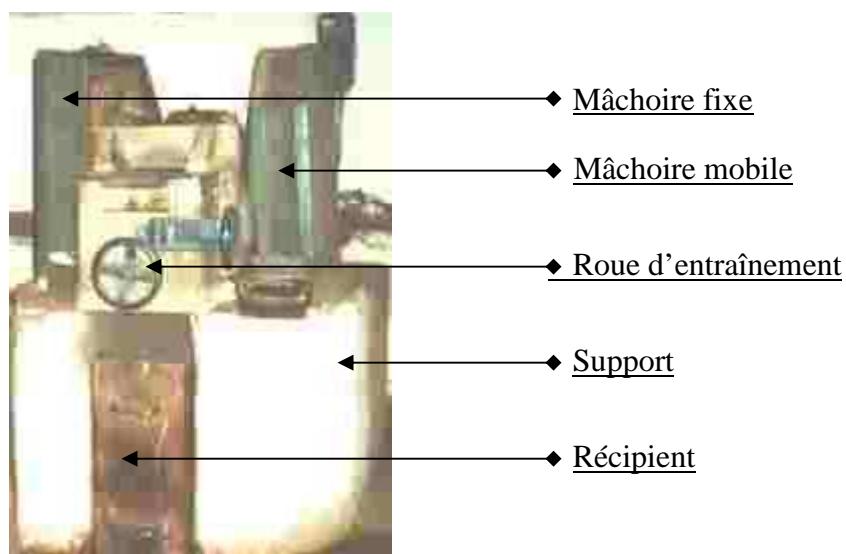
#### **4– 2 – 4 - La déphosphoration**

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 comme l'indique la Figure 23 et pour finir dans le broyeur cylindrique. Après, chaque échantillon passe au broyeur à disque qui se place sur le vibrobroyeur. Cet échantillon se réduit en poudre. On le divise en quatre, puis on prend les deux morceaux, car, le taux de doublage de chrome est de 0,5,
- laboratoire chimique qui permet de déterminer les divers dosages de chrome, de silice, de phosphore et de fer.



**Figure 23 : Petit concasseur du laboratoire pilote**

## V- IMPORTANCE DE LA CHROMITE

La chromite présente divers usages dans la vie quotidienne de l'homme sans qu'il ne s'en rend compte. Suivant la qualité de chromite, elle s'emploie en métallurgie, en industrie chimique, en industrie textile et bien d'autres utilisations (chromage, teinture, peinture,...). Elle s'emploie même en biologie comme un oligo-élément essentiel pour le métabolisme du sucre chez l'être humain, car, un déficit en chrome peut affecter le potentiel de l'insuline à réguler le niveau de sucre dans l'organisme. Ainsi, la demande augmente avec l'explosion démographique.

### 1-Production

Nous savons que Madagascar présente plusieurs indices de chromite (631 sur toute l'île), 511 indices dans la région Nord Andriamena (dont 193 amas en place, 235 indices éluvionnaires et 63 indices alluvionnaires) [23].

En effet, quand un gisement s'épuise, on commence l'exploitation de l'autre. C'est le cas d'Ankazotaolana et de Bemanevika. L'exploitation de ce dernier est prévue le 31 mars 2005 si l'exploitation du premier s'achève cette année.

Ankazotaolana présentait au sommet d'un amas de roches ultrabasiques contenant une lentille de chromite de plusieurs millions de tonnes (sondage 1962 à 1966). Elle est évaluée à 6,2 Mt de minerai dilué, longue de 450 m, et se développe sur 220 m de dénivellation (980 à 760 m) avec une puissance de 120 m. Cet amas est orienté vers NNW-SSE.

Parmi les principaux producteurs de chromite, on peut citer le grand dyke de Zimbabwé, le Bushveld d'Afrique du sud, la chromite russe dans les régions de Kartaly de Khrom-Taou, et celle de la Turquie dans les régions de Fethye et de Bursa.

Actuellement, Madagascar occupe le 10<sup>ème</sup> rang (KRAOMA) avec une production moyenne de 121 000 t.

## 1- 1- Production mine

### 1- 1- 1- Production annuelle

C'est le minerai brut extrait du chantier et ne subit pas encore de traitement.

**Tableau III : Production mine de 1997 à 2004 (Source : KRAOMA)**

| ANNEE            | 1997    | 1998     | 1999   | 2000    | 2001   | 2002   | 2003    | 2004    |
|------------------|---------|----------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|
| Minerai en tonne | 143 812 | 136 093. | 11 310 | 186 799 | 55 713 | 13 243 | 100 829 | 121 000 |

D'après le Tableau III, on constate que la production mine varie d'une année à l'autre. De 1997 à 1999, la diminution est due à la vétusté des matériels d'exploitation.

En 2000, la production augmente et atteint 186 000 t grâce à l'ensemble des techniques de direction, d'organisation et de gestion de l'entreprise apporté par la nouvelle équipe dirigée par RAKOTOARISOA Simon.

De 2001 à 2002, on constate une baisse flagrante de production. D'après notre enquête, elle est due à une mauvaise gestion de la société. Tandis que la baisse de production pour l'année 2002 est due à la crise économique qu'a traversé le pays. De 2003 à 2004, la production commence à se remettre à une valeur moyenne de 110 000 t. Et cette année 2005, on prévoit une production pouvant atteindre une valeur moyenne de 150 000 t ; ceci est dû à la collaboration de la société avec les partenaires étrangers qui investissent une somme importante dans les produits miniers. C'est le cas du gouvernement français qui a accordé un don de 1 200 000 Euros en 2004 pour le projet de réforme institutionnelle du secteur minier de Madagascar (PRISMM) pour une durée de 3 ans [26].

### 1- 1- 2- Production mensuelle

La production mine varie aussi d'un mois à l'autre. Elle n'est jamais constante. Cette variation est fonction de la pluviométrie annuelle de la région.

En période de pluie (Février, Mars), la production est nulle car l'eau envahit le chantier et l'emploi des engins d'exploitation devient difficile, les personnels ne sont pas en sécurité, car, l'environnement est inondé. Tandis qu'en période sèche (à partir du mois de Mai à Décembre), elle peut atteindre jusqu'à une valeur supérieure à 25 000 t, cette production oscille, en général, entre de 2 000 à 32 000 t. Le Tableau IV résume cette variation.

**Tableau IV : Production mensuelle de minerai brut pour l'année 2004.**

| Mois        | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai  | Juin |
|-------------|---------|---------|------|-------|------|------|
| Minerai (t) | 3311    | 00      | 00   | 88    | 2243 | 8732 |

| Juillet | Août  | Septembre | Octobre  | Novembre  | Décembre  | Total      |
|---------|-------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|
| 8632    | 13155 | 9624      | 32.624,1 | 26.083,95 | 17.555,21 | 122.048,26 |

## 1- 2- Production laverie

### 1-2-1- Définition

C'est le produit obtenu après traitement dans la laverie du minerai brut extrait du chantier en produit marchand. Ce produit marchand est de deux types : le concentré et le rocheux. La production journalière moyenne de concentré est de 300 t/ j, tandis que celle des rocheux est de 500 t/ j (Source : Service laverie).

### 1- 2- 2- Evolution de la production

#### a) Production annuelle 2000 à 2004

La production laverie 2004 se répartit en 30 575 t de concentré et 52 268 t de rocheux, soit 82 843 t de produits marchands pour cette année.

La production laverie varie d'une année à l'autre. Elle oscille aux alentours de 100 000 t. L'an 2000 est une année de prospérité avec une production supérieure à 120 000 t. Malheureusement, la société n'a pas pu maintenir cette production, ainsi elle se trouve en baisse pour les années 2001 et 2002. Ceci est dû probablement à la crise économique du pays.

C'est seulement après, (en 2003) que la production oscille autour de 100 000 t. Depuis, on observe une hausse de 6 000 t pour l'an 2004, et cette année la société prévoit une production pouvant atteindre 150 000 t. Ce qui nécessite 200 000 t environ de minerai brut. Le Tableau V nous montre cette variation de la production laverie au cours des cinq dernières années.

**Tableau V : Production laverie de 2000 à 2004 (Source : INSTAT).**

| Année       | 2000    | 2001   | 2002  | 2003   | 2004    |
|-------------|---------|--------|-------|--------|---------|
| Tonnage (t) | 131 293 | 23 637 | 1 002 | 99 000 | 105 000 |

### b) Répartition de la production

La laverie permet d'obtenir 3 types de produits :

- le concentré,
- le rocheux,
- le déclassé.

Le concentré est le produit fini provenant du traitement du silo laverie. Il est friable, sous forme de poussière noire dont la teneur en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est supérieure à 49%.

Le rocheux est le produit fini, obtenu après un traitement à la liqueur dense, provenant du silo liqueur. Comme son nom l'indique, il est sous forme de roche massive dont la teneur en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est environ 42%.

Le déclassé résulte des déchets du concentré et des mixtes (concentré mélangé à de la silice). Il est souvent riche en phosphore, d'où le nom de déclassé des mixtes.

La production laverie pour l'année 2004 est de l'ordre de 105 000 t. Elle se répartit en :

- 30 575 t de concentré,
- 52 628 t de rocheux,
- 22 175 t de déclassé de mixte rangé dans un lieu de stockage.

**Remarque :** à ce rythme, la production journalière moyenne de chromite est de 300 t de concentré et de 500 t de rocheux.

## 2- Exportation

### 2- 1- Exportateur

Le seul exportateur de chromite à Madagascar est la société KRAOMA. Le prix varie avec la valeur des cours mondiaux et surtout en fonction des besoins mondiaux en chromite.

### 2- 2- Evolution de l'exportation de 2000 à 2004

La Norvège n'importe plus la chromite de Madagascar depuis l'an 2000. De ce fait, les clients potentiels de la KRAOMA sont la Suède, le Japon et la Chine.

La Suède est le client le plus fidèle, car, elle importe en grande partie la chromite malagasy. C'est le premier client qui importe nos produits.

Ensuite la Chine tient la seconde place avec une importation de quelques dizaines de milliers de tonnes (21 864 en 2003 et 15 000 t en 2004).

Tandis que le Japon prend quelques centaines de tonnes (100 t en 2002, 240 t en 2003 et 300 t en 2004) comme le montre le Tableau VI,

- le prix pratique varie d'une année à l'autre mais aussi d'un pays à un autre. En effet, en 2000 la Suède a acheté nos produits à 398 FMG le kilo,
- à 204 FMG pour l'année 2001, à 302 FMG en 2002, à 420 FMG en 2003 et à 1015 FMG pour l'année 2004.

Nos produits sont vendus moins cher à la Suède par rapport aux autres pays, car, elle en importe en grande quantité. Parmi les trois clients, le Japon achète nos produits à un prix le plus élevé (405 FMG le kilo en 2002 si la Suède en prend pour 302 FMG, 524 FMG le kilo en 2003 si ce n'était que 421 FMG pour la Suède, 1453 FMG en 2004 le kilo pour le Japon s'il a été 1015 FMG pour la Suède) du fait qu'il ne nous importe qu'une faible quantité.

Le Tableau VI résume ces variations.

**Tableau VI : Exportation de chromite de 2000 à 2004 (Source : INSTAT)**

| Année | PAYS    | Poids (en kg) | Prix FOB (en FMG) |
|-------|---------|---------------|-------------------|
| 2000  | NORVEGE | 23 000 000    | 9 327 000 000     |
|       | SUEDE   | 95 000 000    | 37 739 000 000    |
| 2001  | SUEDE   | 73 518 000    | 14 969 201 295    |
| 2002  | JAPON   | 100 000       | 40 442 280        |
|       | SUEDE   | 61 181 000    | 19 072 000 000    |
| 2003  | CHINE   | 21 864 000    | 9 377 229 400     |
|       | JAPON   | 240 000       | 125 638 679       |
|       | SUEDE   | 22 000 000    | 9 252 894 640     |
| 2004  | CHINE   | 15 000 000    | 19 933 440 000    |
|       | JAPON   | 300 000       | 435 676 320       |
|       | SUEDE   | 48 500 060    | 49 202 965 132    |

En 2004, la KRAOMA a réalisé un chiffre d'affaire de 80 milliards de francs malgache. Elle a réalisé un bénéfice net de 28 milliards avec une exportation de 80 000 t environ contre 40 000 t en 2003.

Le cours mondial de chromite évolue chaque année. En effet, on constate qu'entre 1998 à 2002 il n'était que de 40 à 50 dollars la tonne. Il n'a pris son souffle que vers la fin 2002. En 2003, la valeur moyenne se stabilisait à 70 dollars la tonne. L'année dernière, cette

valeur oscille aux alentours de 100 dollars si on prévoit sur le marché international une valeur de 100 à 150 dollars la tonne ; elle est à l'heure actuelle de 136 dollars<sup>\*</sup>.

## VI- TRANSPORTS DES MINERAIS

Les transports des minerais de chrome (concentré et rocheux) s'effectuent sur camions d'Andriamena à Morarano, en train de Morarano à Toamasina et par voie maritime de Toamasina vers les pays importateurs.

### 1- Transport routier

Le tout venant est transporté à la tête de la laverie sur une distance de 12 km par camions CBH de 18 à 22 t chargés et réalisent théoriquement 10 voyages par jour (8 en moyenne) soit 144 tonnes/jour/camion.

La chromite est transportée à la gare de Morarano-Chrome sur 94 km par camions semi-remorques de 22 t à 25 t chargés et qui réalisent 4 voyages par jour (3 en moyenne soit 66 t par jour par camion).

A l'heure actuelle, le transport de produit fini de l'Atelier-Brieville-Morarano-Chrome se fait par sous-traitance avec les camions des chinois.

#### Remarques :

- la perte au cours du transport par route est d'environ de 3%,
- état de la route : la route a été mise en service en 1969. Depuis plusieurs années le revêtement de bitume se dégrade (fissures, nids, dos d'ânes), car, les produits d'éboulements ont infesté certains points de la route et ont ralenti et parfois même empêché le passage de camions. Afin de dégager les éboulis, le travail occasionnel est effectué par le traxcavateur, et il se fait périodiquement.

### 2- Transport ferroviaire

Le Chemin de Fer Malagasy (CFM) transporte la chromite par wagons minéraliers de 16 à 40 t et trains de 480 t ou 660 t, de Morarano gare vers le port de Tamatave. La tarification a subi un taux d'augmentation anormalement élevé et pèse lourdement sur le coût de la chromite.

\* « Midi Madagascar » du 22 /10/2005, N° : 6756

### **3- Transport maritime**

Le port de Toamasina possède des bandes transporteuses et un stocker qui, alimentés par deux chargeurs CAT-966 permettent de charger un bateau de 12 000 à 15 000 t de concentrés en 48 h.

L'installation comporte 5 bandes transporteuses, en partie horizontale et une partie d'une inclinaison allant jusqu'à 19°. La longueur totale est de 559 m. Les bandes ont une vitesse de chargement variant entre 2 et 3 m/s. La largeur des bandes varie entre 650 et 800 mm. Le chargement de 10 000 t à 12 000 t de concentré dure 36 à 48 h.

## **QUATRIEME PARTIE**

# **IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET INTERET PEDAGOGIQUE**

---

L'exploitation minière pourrait, d'une part, présenter des conséquences néfastes et d'autre part, participe au développement économique du pays. L'accès à ces ressources minières est régi par les dispositions du nouveau code minier et par la loi sur l'environnement.

Leur exploitation peut entraîner des conséquences qui peuvent se traduire par une dégradation de l'environnement, mais en contre partie, favorise le développement économique de notre pays et engendre des impacts socio-économiques avantageux.

## **I- CADRE LEGISLATIF [27]**

### **1- Décret MECIE**

C'est l'ensemble des procédures de mise en comptabilité des investissements avec l'environnement. Il s'agit du Décret N° 99-954 du 15 décembre 1999 qui oblige l'exploitant à protéger et remettre en état l'environnement pendant et après les activités de prospection et d'exploitation. Par conséquent, tout projet tentant à déjouer ce décret, sera soumis soit :

- à une Etude d'Impact Environnemental ou EIE,
- à un Programme d'Engagement Environnemental ou PREE.

L'EIE est une étude scientifique qui décrit le projet d'exploitation, et analyse les impacts positifs ou négatifs de ce projet sur l'environnement. Cette étude s'achève par le programme d'engagement environnemental.

Le PREE est un document développé par l'exploitant en vue de l'obtention du Permis Environnemental. Il décrit les mesures de protection de l'environnement et de réhabilitation du site pendant et après l'exploitation [5].

### **2- Code Minier**

Il s'agit de la loi N°99-022 et du Décret N°2000-170. La plupart des articles de ce code exigent la responsabilité des exploitants vis-à-vis des impacts environnementaux produits lors de l'exploitation minière. Cette responsabilité concerne la prise en charge des mesures de protection nécessaires pour minimiser et réparer tout dommage pouvant résulter des travaux conduits dans le cadre de son activité (article 99) [39].

## **II- ANALYSE DES IMPACTS**

L'exploitation minière est de deux types. Elle peut se faire artisanalement ou industriellement selon la nature des produits miniers :

- les produits miniers exploités industriellement comme la chromite, le graphite, le mica, les calcaires et les argiles pour cimenterie,
- les produits miniers exploités artisanalement représentés par les beryls, les pierres de couleur, le quartz pour fonte, les argiles, la dolomie et le calcaire pour chaux [28].

En tout cas, quel que soit le type d'exploitation minière, elle entraîne des changements sur l'environnement et la vie économique d'une nation. Ces changements se nomment : impacts.

On distingue plusieurs types d'impacts :

- impacts positifs et impacts négatifs,
- impacts immédiats ou directs et impacts à long terme ou indirects,
- impacts faibles, moyens et forts.

### **1- Impacts positifs et impacts négatifs**

Un impact d'exploitation minière est négatif si celle-ci apporte des dégradations néfastes sur l'environnement : la pédologie, la détérioration des qualités physique et chimique du sol par les tas de déblais.

Il est dit positif dans le cas où cette exploitation participe au développement économique du pays : augmentation de la valeur annuelle des investissements dans le secteur minier s'élève à 10 millions \$ dollars en 2002 à 85 millions \$ dollars en 2005 (DSRP).

### **2- Impacts immédiats ou directs et impacts à long terme ou indirects**

Le temps joue un rôle important. Un impact est immédiat s'il se manifeste tout de suite après une activité minière. Signalons que cet impact est en relation directe avec cette activité ; l'action de l'érosion provoquée par l'exploitation minière est un impact direct négatif.

### **3- Impacts faibles, moyens et forts**

On différencie un impact suivant l'intensité de la dégradation sur le milieu ou sur la population cible. Le choix de certains de travailler aux mines, pour remplacer le travail agricole est un impact de faible ou moyenne importance car le nombre de gens qui quittent l'agriculture est assez faible.

## **III- EVALUATION DES IMPACTS A ANDRIAMENA**

L'exploitation de chromite dans la région d'Andriamena présente des côtés positifs et négatifs non seulement pour cette région, mais aussi pour toute la population malgache :

### **1- Impacts socio-économiques**

#### **1- 1- Sur le site d'exploitation**

Tout au long de l'exploitation minière, il faut prendre conscience dès le départ qu'elle conduira à un changement de l'environnement par la présence des fosses.

#### **1– 1– 1- Plan environnemental**

A Tsaratanana, l'impact néfaste sur l'environnement mérite une attention particulière car la prospection, la recherche et l'exploitation minière risquent de détruire l'environnement si des dispositions de réhabilitation ou d'atténuation ne sont pas prises à temps.

Les ressources minières sont non renouvelables du moins à l'échelle humaine. De ce fait, l'exploitation minière conduit tôt ou tard à un épuisement des ressources. L'extraction minière laisse parfois des fosses qui n'ont aucune importance économique. Ainsi, les impacts sur l'environnement commencent par la dénudation du paysage, résultat des déblayages, des excavations et des manœuvres des engins d'exploitation. Ensuite, au fur et à mesure de l'exploitation, une partie de terrain est emportée par l'érosion due à la rareté de la végétation. Ainsi, les habitants trouvent des difficultés pour le pâturage. Il s'agit d'un impact négatif à long terme et de moyenne importance.

En 2003, le cyclone Gafilo a sévi sur Bemanevika qui a été gravement touché. C'est aussi un impact à la fois immédiat, direct et à forte importance de l'exploitation minière dans cette région, par absence de végétation qui pourrait avoir accru l'intensité du vent de ce cyclone, car

les dégâts ont été importants. Parmi eux, figure la destruction du Bureau de la Commune, du Centre de Santé de Base niveau II, du logement du Médecin, du Collège d'Enseignement Général (CEG) et du marché de Bemanevika. Son passage sur une vaste surface a fortement perturbé la vie de bon nombre d'habitants de cette région. De ce fait, la reconstruction demande beaucoup de temps et engage beaucoup d'argent, car, les dégâts sont estimés à 200 Millions d'Ariary. La réparation est assurée par l'enveloppe financière débloquée sur le Fond d'Intervention pour le Développement (FID) et l'organisation non gouvernemental SAF FJKM. Les bâtiments rénovés ont été inaugurés le 25 Juin dernier [4].

### **1– 1– 2- Sur le plan économique**

Malgré les divers obstacles que traverse la KRAOMA depuis sa création, elle demeure la seule entreprise qui exploite industriellement le chrome à Madagascar.

A l'heure actuelle, l'exportation de chromite détient la deuxième place, après le graphite pour sa rentabilité. Dans le cadre de cette exportation, elle fait entrer des devises ; cette année elle prévoit une exportation de 150 000 tonnes environ pour 136 \$ US la tonne \*. Dans ce cas, il s'agit d'un impact largement positif à long terme.

Par ailleurs, le cours du chrome sur le marché international influe beaucoup sur le marché de la chromite d'Andriamena. Il arrive que la société subisse une baisse du cours du chrome comme toutes les autres grandes firmes ; KRAOMA pourrait connaître des hauts et des bas, selon le Directeur d'Exploitation (Sylvain RANDRIANARIVO). Mais quoi qu'il en soit, la KRAOMA participe au développement économique du pays, car, elle exporte tous ses produits marchands.

### **1– 1–3- Impact sur le plan social**

L'installation de la KRAOMA à Andriamena a favorisé la création d'une nouvelle ville, la Cité de Brieville. A cet endroit, un système d'accommmodation a été installé pour abriter les personnels de la Société ainsi que leur famille.

Cette « Cité » dispose maintenant d'un dispensaire, d'une Ecole Maternelle, d'une Ecole Primaire Publique (EPP), d'un Collège d'Enseignement Général (CEG) et d'un centre de loisir dont le fonctionnement revient à la KRAOMA. On y trouve aussi un marché qui vend les Produits de Premières Nécessités (PPN), des vêtements, des boissons et de la nourriture. Ainsi, l'exploitation de chromite constitue une des principales activités génératrices de revenus pour toute la circonscription.

\* « Midi Madagascar » du 22/10/2005, N° : 6756

Dans ce cas l'exploitation minière permet d'élargir et de créer une ville. Il s'agit d'un impact positif et à long terme, car cette activité a duré au moins 20 ans. De même, à l'heure actuelle, la société d'Etat aborde l'exploitation de Bemanevika qui peut durer jusqu'à 15 ans d'exploitation pour un tonnage de 2 millions de tonnes. L'ouverture de ce chantier changera en effet la vie de toute une commune, et par extension, la vie de toute une nation. Ainsi, « de KRAOMA naquit une ville, et de cette ville naquit l'espoir de la nation \* ».

#### **1– 1– 4- Impact sur le plan sanitaire**

L'exploitation minière entraîne un certain nombre de maladies. Elles sont causées par les bruits et les vibrations provoquées par les engins d'exploitation et le groupe électrogène. Elles sont engendrées surtout par l'émanation de poussière et des particules polluant l'atmosphère. Ainsi, le type de maladie affectant cette circonscription varie en fonction de chaque service et de la saison d'exploitation.

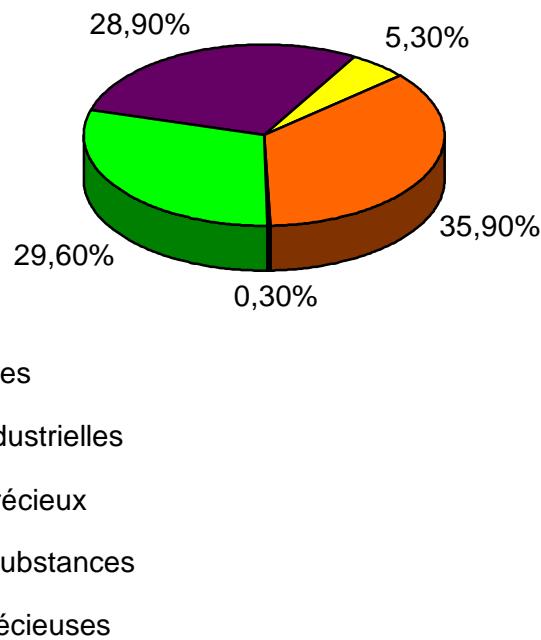
En effet, les personnels du « **Service mine** » sont atteints de maladies respiratoires, de la peau, car, ils sont exposés pour la plupart du temps au soleil et à la poussière. Tandis que les conducteurs d'engins peuvent attraper des maladies de l'appareil digestif. Elles sont dues à l'heure du repas variable. Différentes autres maladies peuvent affecter tant les familles que les employés telles que les Infections Sexuellement Transmissibles (IST) ; elles sont provoquées par la prostitution liée à la prospérité d'autres exploitations minières, (Annexe XV). En saison de pluie, on constate moins d'employés malades qu'en saison sèche où l'époque d'exploitation se manifeste. D'après notre enquête, sur toute l'année, les employés malades se localisent surtout dans 3 services, piliers de l'entreprise :

- le « **Service atelier** » où l'on maintient tous les équipements miniers et des transports des personnels ;
- le « **Service mine** » qui exploite le minerai brut du chantier et le transporte jusqu'à la laverie ;
- le « **Service laverie** » qui s'occupe de la transformation du minerai brut en produits marchands et même jusqu'à tester ces produits aux laboratoires pour qu'ils répondent à la norme internationale.

## 1- 2- Impact de l'exploitation de la chromite sur l'économie minière

La chromite malgache est réputée pour sa qualité. En effet, Madagascar exporte en grande quantité de la chromite. C'est un impact positif à long terme. Selon les données fournies par la Direction Générale des Mines, le total des recettes d'exportation minière n'a pas cessé de croître depuis 2003. Ce total est passé de 158 à 172 milliards de FMG en 2003 à 282 milliards de FMG en 2004. La Figure 24 indique cette répartition des recettes d'exportation minière.

Après plusieurs années d'exploitation, le gîte d'Ankazotaolana a pris fin, laissant place à Bemanevika. La KRAOMA a décidé d'injecter de nouveaux investissements estimés à 8 millions d'Ariary pour son exploitation [4].



**Figure 24 : Répartition des recettes d'exportation minière**

On constate que les pierres industrielles, les grandes substances et les pierres précieuses constituent la plupart des recettes d'exportation minière malgache. Les grandes substances occupent la deuxième place après les pierres industrielles.

**Tableau VII : Evolution du volume des exportations de grandes substances minières  
(En tonnes, source : MEM/DGM/INSTAT)**

| ANNEE    | 1998    | 1999    | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| GRAPHITE | 9 944   | 140 936 | 16 801 | 11 363 | 9 034  | 8 346  |
| CHROMITE | 115 226 | 81 500  | 70 024 | 50 500 | 66 080 | 67 240 |
| MICA     | 1 769   | 769     | 1 283  | 1 246  | 81     | 115    |
| TOTAL    | 126 936 | 96 363  | 88 109 | 63 109 | 75 196 | 75 701 |

Mais parmi les grandes substances industrielles, la chromite tient la première place des exportations minières en 2002 avec 66 milliers de tonnes. Le graphite occupe la deuxième place avec 9 milles tonnes, puis le mica. La tendance reste la même en 2003, mais seulement on peut constater une légère baisse des exportations en graphite et une hausse des exportations aussi bien en chromite qu'en mica, ce qui explique la légère hausse des recettes d'exportation enregistrées entre 2002 et 2003 comme le montre le Tableau VII.

## 2- Intérêt pédagogique

### 2-1- Méthodes pédagogiques

Ce mémoire peut servir de base de documentation pour les enseignants des Lycées de l'enseignement général de la classe de seconde en tant qu'un exemple de minéral malagasy. Il peut illustrer la méthode inductive. En effet, l'élève doit partir du vécu, quelque chose de concret et de l'environnement immédiat de l'élève. De ce fait, le type d'apprentissage répond à l'étude « taxonomique de BLOOM », qui fait que l'élève doit partir du plus simple au plus complexe :

- la connaissance de certains matériels utilisés par la société à partir des photos en couleur des matériels d'extraction de chromite et des matériels de chargement, ...,
- la compréhension : l'élève doit transposer, interpréter et extrapolier des informations du mode de fonctionnement d'un matériel de terrassement par exemple,
- l'application : l'élève est en mesure de saisir l'utilisation de la chromite dans sa vie quotidienne :
  - en métallurgie : acier inoxydable inaltérable à l'air,
  - en chimie : fabrication de pigments, peinture, vernis,
  - en industrie textile : fixation de teinture,

- l'analyse : l'élève est en mesure de trouver des relations qui existent entre les caractéristiques (inoxydable,...) de ce mineraï et son utilisation,
- la synthèse : à partir de ses recherches personnelles, l'élève est en mesure de connaître l'importance économique de ce mineraï et sa destination commerciale,
- l'évaluation : à ce stade, l'élève peut faire des critiques interne ou externe qui pourraient favoriser le développement de son pays. Dans ce cas, il pourrait se demander pourquoi dans son pays n'existe pas d'usine sidérurgique, ou autre usine qui utilise les produits marchands ?

Et l'enseignant devrait attirer l'attention des élèves sur l'utilisation de la chromite dans la vie quotidienne de l'homme. Comme étant une substance inoxydable, la chromite protège la plupart des substances métalliques contre la corrosion. En effet, tout ce qui est produit inoxydable ; (exemples : appareils électroménagers, appareils électroniques, couvert,...) fait intervenir l'utilisation du chrome, tiré de la chromite. A partir de ces exemples, l'élève se rend compte de l'importance de ce mineraï, ce qui stimule sa curiosité et l'incite à voir ce mineraï. Vu que, ce qu'il faut que les élèves soient capables d'accomplir à la fin d'une période d'apprentissage ce qu'ils n'étaient pas capable d'accomplir avant.

Ainsi, l'enseignant devrait organiser une sortie avec les élèves afin que ces derniers puissent voir, observer ce qui se passe au sein d'une usine d'exploitation minière. Dans ce cas, l'élève pourra admirer le mineraï brut extrait du chantier et poursuivre le traitement que subit ce mineraï.

A l'heure actuelle, la vulgarisation de l'éducation est une priorité de chaque nation. Ainsi s'est créée l'éducation pour tous (EPT). Dans ce domaine, la concrétisation de l'enseignement est nécessaire à l'approche par compétence (APC) pour faciliter la compréhension d'une leçon.

## 2-2- Fiche pédagogique

**Numéro :**

**Classe :** Seconde

**Sujet à aborder :** Etude de minérais de chromite

**Durée :** 3 heures

**Objectifs :** Après les cours théoriques et pratiques, les élèves doivent être capables de :

- reconnaître un minéral de chromite et les roches encaissantes de ce minéral,
- énumérer et préciser les étapes de la formation de la chromite,
- expliquer l'importance économique de ce minéral en tant que richesse du pays.

**Prérequis :**

- minéralogie : propriétés physiques et chimiques des minéraux,
- pétrographie des roches magmatiques, des roches sédimentaires et des roches métamorphiques,

**Principe :** faire participer autant que possible les élèves en partant du concret vers l'abstrait, du plus simple au plus difficile. Exemple : un outil métallique traditionnel est rouillé tandis qu'un outil chromé est inoxydable.

**Matériels utilisés :**

- différents échantillons de chromite,
- loupe pour observer les éléments constitutifs du minéral et de ses gangues,
- lame de verre, clou pour remplacer l'échelle de Mohs,
- photos ou diapositives pour donner une idée sur :
  - les gisements d'Andriamena,
  - les différentes parties d'usine,
  - les matériels d'exploitation et de traitement,
  - la carte de répartition de gisements de chromite à Madagascar.

Le Tableau VIII indique une proposition de fiche pédagogique pendant une période d'apprentissage des minéraux malagasy tels que la chromite.

**Tableau VIII : Fiche pédagogique de la classe de seconde**

| Objectif  | Etapes  | Méthodes  | Supports  | Participations des élèves  |
|---|---|---|---|--|
| L'élève doit être capable de (d') :<br>➤ définir :<br>✓ le mineraï,<br>✓ l'importance du mineraï. | ➤ définition du mineraï par rapport à un minéral, | ➤ parler du point commun entre un minéral et un mineraï,<br>➤ parler de la différence entre un minéral et un mineraï, | ➤ minéral, mineraï,   | ➤ dire qu'un minéral est formé par des éléments chimiques. C'est un corps solide inorganique,<br>➤ expliquer qu'un mineraï est aussi un minéral dont on extrait un élément chimique présentant une valeur économique importante, |
| ➤ reconnaître l'utilisation de la chromite dans la vie quotidienne de l'homme                     | ➤ propriétés physiques et chimiques des minérais, | ➤ découverte,   | ➤ des objets inoxydables, des pigments utilisés dans la peinture, dans la teinture, ... | ➤ énoncer les applications les plus frappantes telles que : inoxydable, teinture, peinture, ...  |

|   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ expliquer le mode de formation d'un mineraï,</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ compréhension de la formation des roches magmatiques, des roches sédimentaires et des roches métamorphiques,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ active</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ prenez des échantillons de roches pour chaque type,</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ énoncer qu'une roche se distingue d'une autre par son origine, sa couleur et du mode de disposition de chaque élément constitutif de cette roche,</li> <li>➤ mentionner qu'un mineraï tel que la chromite est lié à des roches basiques et ultrabasiques de couleur sombre (roches magmatiques),</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ décrire les méthodes d'extraction et de traitement ainsi que les matériels utilisés pendant l'exploitation,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ observer l'extraction du mineraï du chantier et le traitement à l'usine,</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ découverte</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ engins d'exploitation du mineraï (chargeur, crawlair, bull,...),</li> <li>➤ lois de la physique (pesanteur, densité, gravimétrie).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ mentionner que tout objet de la terre est lié à une force de pesanteur,</li> <li>➤ dire qu'un élément léger se déplace plus vite qu'un objet lourd.</li> </ul>  |

# CONCLUSION

La chromite est un minéral de type spinelle de formule  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}$  d'où l'on extrait le chrome (Cr). C'est une pierre industrielle présentant en général différentes couleurs allant du brun au noir brunâtre selon le taux d'impuretés en magnésium (Mg), en manganèse (Mn) et même en calcium (Ca) et en silicium (Si).

La chromite provient d'un magma, masse pâteuse de haute température d'origine profonde, présentant une basicité élevée. Suivant la nature des roches encaissantes originelles, on distingue différents modes de formation de chromite entraînant deux types de gisement :

— gisement ophiolitique où la chromite est encaissée par des roches :

- basiques comme les gabbros,
- ultrabasiques comme les péridotites.

Ce sont probablement des fragments de la croûte terrestre de type océanique provenant de la zone externe du manteau supérieur.

— gisement magmatique normal où la formation de la chromite peut avoir lieu avant ou après la cristallisation fractionnée des silicates. Ainsi, on distingue deux gisements magmatiques :

- gisement magmatique précoce : au cours de la cristallisation du magma, la chromite se sépare de lui et se forme avant la naissance des silicates,
- gisement tardif : après la cristallisation du magma, la chromite prend naissance, et les silicates formés constituent le ciment du minérai.

La plupart des gisements de chromites malgaches qui se trouvent au Nord de la ligne Bongolava Ranotsara appartiennent au premier type comme le grand gisement d'Ankazotaolana et de Bemanevika.

La formule de base de la chromite est de :  $\text{Cr}_2\text{FeO}_4$  mais, la vraie composition chimique varie avec les cations qu'elle renferme, d'où la formule :

$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) (\text{Cr}^{3+}, \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}) \text{O}_4$  qui varie aussi en fonction de la teneur des minéraux des roches encaissantes comme l'olivine et le talc.

La qualité de la chromite dépend surtout de sa teneur en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , en  $\text{SiO}_2$ , en  $(\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ , en magnésium (Mg) et du rapport pondéral  $\text{Cr}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ . Et suivant cette qualité, elle peut être utilisée dans plusieurs domaines, tels que :

- en métallurgie : pour améliorer la résistance à la corrosion d'un métal comme alliage ou comme enduit,

- en chimie ou parachimie :
  - comme oxydant ou réducteur qui facilitent ou améliorent l'accrochage des vernis, des peintures appliquées,
  - fabrication des pigments de teintes comme le jaune citron,
- en industrie textile : on l'utilise comme fixateur des teintures,
- utilisée dans les réfractaires comme revêtement des fours (sidérurgie).

Quel que soit l'utilisation de la chromite, elle doit subir un traitement à la laverie, afin d'obtenir des produits marchands. C'est une usine par traitement par gravimétrie de minerai à laquelle participent la force de pesanteur, la densité et la force centrifuge. Au cours de ce traitement, le minerai de densité élevée se sépare de ses gangues stériles. Ensuite, ces produits marchands subissent d'autres traitements selon leurs usages. Malheureusement, Madagascar ne dispose pas encore d'usine de traitement pour avoir de vrais produits marchands. Dans ce cas, notre pays ne fait qu'exporter des produits semi-traités, réparties en trois types :

- le concentré : sous forme de poussière dont la teneur en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est supérieure à 45 % provenant du silo laverie,
- le rocheux : sous forme de roche massive dont la teneur en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est environ 42 %, il est obtenu après un traitement à la liqueur,
- le déclassé résulte des déchets, il est rangé dans un lieu de stockage.

Seuls le concentré et le rocheux sont exploités par la KRAOMA vers les clients potentiels comme la Suède, le client le plus fidèle, le Japon et la Chine. Le prix varie avec la valeur des cours mondiaux et surtout en fonction des besoins mondiaux. Ainsi, il varie d'une année à l'autre et aussi d'un pays à l'autre.

L'exploitation de gisement de chromite entraîne toujours des impacts :

- négatifs sur l'environnement avec l'accélération de la dégradation du sol et l'érosion, la pollution de l'air et la prolifération des différentes maladies,
- positifs au niveau du domaine socio-économique avec la construction du Centre de Santé de Base niveau II, des écoles primaires, d'un Collège d'Enseignement Général (CEG), d'un dispensaire, de la création de la cité de Brieville, et d'un centre de loisir.

Enfin, ce mémoire pourrait illustrer le programme de géologie de la classe de seconde (étude de minéralogie).

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ALLARD M., AUBERT J.-M., LACOSTE Ph., 1970  
Géologie de Madagascar, éditions de l'Ecole, 89p
2. AMADO G., BERRY M., FRANCK L., FUNABASHI H., FORTIN J., FRIEDBERG E., KERVERN G.-Y., LAGADEC P., LATOUR B., MARBACH C., VILLETTÉ M., février 1991 "Réalités industrielles" Minéraux et métaux en France et dans le monde. Tendances, Faits et chiffres, Panorama de la production et de la consommation, éditions ESKA, 84p
3. ANDRIAMAHANDRISOA L.B., 2000  
Analyse des problèmes hydrogéotechniques d'une exploitation minière à ciel ouvert. Application aux cas des mines de chromite KRAOMA à Andriamena. Mémoire de l'ESPA Vontovorona
4. ANDRIAMIARISOA Henintsoa., 22 Juillet 2005  
Reconstruction : Bemanevika renoue avec le développement, « Express »
5. AQUATERRE, 2002  
Cahier didactique pour l'artisanat minier de Madagascar. Les normes environnementales dans les mines. Num 7, 89p
6. AUBERT G., GUILLEMIN C., PIERROT R., 1978  
Précis de minéralogie, MASSON et BRGM, 335p
7. AUBOUIN J., BROUSSE R., LEHMAN J.P., novembre 1985  
Précis de géologie, Dunod Université 2<sup>ème</sup> édition, 717p
8. BERNARD J., MICHEL A., PHILIBERT J., TALBOT J., 1991  
Métallurgie générale, Paris 2<sup>ème</sup> édition Masson, 651p
9. BESAIRIE H., 1964  
Contribution du service géologique plan minier de Madagascar. Etudes par substances : calcaire, cassiterite, céramique, charbon, charges pour pesticides et peintures, chromite (26p), ciment, cobalt, columbo-tentalite, corindon, cuivre. Tome 2

10. BESAIRIE H., 1966

Gîtes minéraux de Madagascar, 437p

11. BONIN B., DUBOIS R., GOHAO G., janvier 1997

Le métamorphisme et la formation des granites. Evolution des idées et concepts actuels, Paris, Nathan, 319p

12. CAILLEUX A., 1962

Guide de travaux pratiques de géologie S.P.C.N Tome I, 129p

13. DEFRENCE, 1998

Métallurgie du chrome, vol 3. Num M2245, Vandoeuvre lès Nancy France, 10p

14. DERCOURT J., PACQUET J., 1995

Géologie: Objet et méthode 9<sup>e</sup> édition, Paris DUNOD, 403p

15. FANJANARIVO S., Août 2004

Mine: des géologues faussent la donne, Mada journal. Num 49, p9-10

16. FOUCAULT A., RAOULT J.F., 1995

Dictionnaire de géologie

17. GIRAUD P., 1960

Haut commissariat de Madagascar et dépendances. Travaux du bureau géologique. Num 68.

Etude géologique de la feuille Andriamena, 95p

18. GONCALVES P., 2002

Le centre Nord de Madagascar : extrait de la thèse de Goncalves, p9-35

19. HANITRINALA 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

Mémoire de l'ESPA Vontovorona. Filière Mine

20. JOO J., 1972

Le Mica industriel de Madagascar : contexte métallogénique et conjoncture économique, Annales scientifiques de l'Université de Clermont, 430p

21. JOURDE G., RANDRIANARIVONY A., RAZANAKOLONA J., 1996

Catalogue des principaux gîtes minéraux de Madagascar, BRGM, p35

22. JUNG J., 1963

Précis de Pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives, 2<sup>ème</sup> édition revue et mise à jour MASSON et C<sup>ie</sup>, 319p

23. MAMPIHAO., 1999

Synthèse sur la chromite de Madagascar

24. McMAHON G. and REMY F., 2001

Large mines and the community. Socioeconomic and Environmental. Effects in Latin America, Canada and Spain, 335p

25. MOULET S., septembre 1976

Le cycle du chrome et les possibilités de son recyclage, 70p

26. RAKOTONDRASATA L., 24 mai 2005

Gestion des permis miniers: la responsabilité du bureau du cadastre minier. Num 912, p28-29

27. RAKOTONDRAVALY D. A., 2002

Etude de faisabilité d'exploitation société KRAOMA, 100p

Mémoire de l' ESPA Vontovorona. Filière Mine

28. RAKOTONIRAINY N. N., 2003

Le quartz et les impacts socio-économiques de son exploitation à Madagascar

Mémoire CAPEN, CER SN, documentation ENS, 69p

29. RANDRIANARIVELO F, 2000

Cours d'exploitation à ciel ouvert 3<sup>ème</sup> Année. Filière Mine

30. RANJAKASOA M.A, 1991

Audit de traitement de minerais à la KRAOMA, 65p

31. RASAMIMANANA R. B., 2003

Les pegmatites à beryl d'Andranomielty, sous-préfecture d'Ankazobe : Essai d'évaluation des pegmatites durant les travaux de prospection et d'exploitation

Mémoire CAPEN, CER SN, documentation ENS, 73p

32. RASOLOMANANA E., RANDRIANJA R., 2002  
 Cahier didactique pour l'artisanat minier de Madagascar. Num 4. La planification de l'exploration et de l'exploitation minière, 67p
33. RAZAFINIPARANY A., 1978  
 Métallogénie de Madagascar, Antananarivo, 29p
34. SANDIER J., 1962  
 Mise en valeur des gisements métallifères, Saint Germain, Masson et C<sup>ie</sup>, 149p

### **Ouvrages particuliers**

35. Banque mondiale, 2002  
 Ouvrir les Portes: l'éducation de la banque, 32p
36. Document of the world bank., 17 avril 2003  
 Project Appraisal document on a proposed credit in the amount of 23.2 SDR (US \$ 32 million equivalent) to the republic of Madagascar for a mineral resouces governance project.  
 Report Num 25 777, 72p
37. Encyclopédie Géopolitique, 1988  
 Edition Stock, 217p
38. Encyclopédie Universalis, 1970, vol 11
39. Ministère de l'énergie et des mines, 132p  
 Code minier. Loi Num 99-022 et Décret Num 2000- 170 du 30 août 1999 et 20 février 2000

### **Disponibles sur Internet**

40. <http://www.cri.ensmp.fr/euromin/mineraux/CHROMITE.html>  
 41. [http://www.divex.ca/projets/sc7\\_fr.html](http://www.divex.ca/projets/sc7_fr.html)  
 42. <http://www.madagascar-diplomatie.ch/files/Mines/gisement>

### **Ouvrages usuels**

43. Le « Quotidien » du 24/10/2005, N° : 621  
 44. « Midi Madagascar » du 22/10/2005, N° : 6756

## ANNEXE I

### DOSAGE D'OXYDE DE CHROME

#### **1- But**

- contrôle du traitement de la laverie (usine),
- titrage pour obtenir le pourcentage de chrome.

#### **2- Matériaux**

- creuset de type fer,
- matériels usuels de laboratoire : tube à essai, bécher, récipient, pipette, ...

#### **3- Réactifs**

- acide sulfurique dilué à 50 %,
- sulfate ferreux.

#### **4- Mode opératoire**

- prise d'essai 0,5 g. Mélanger avec du peroxyde de sodium 5 g. Etape de fusion,
- ajouter une pierre ponce (produit déminéralisé),
- mettre dans un bécher teferon avec de l'eau tiède.
- rincer pour enlever les inclusions à l'intérieur,
- ajouter une cuillère de peroxyde,
- ajouter de l'eau bouillie jusqu'à 500 ml. Porter à l'ébullition, puis au bain mari (chrome attaqué),
- verser quelques gouttes d'acide sulfurique dilué à 50 %. Le chrome devient chrome acide,
- porter à l'ébullition et ajouter NaCl pour faire dégager le manganèse dans la chromite,
- bain mari, puis laisser refroidir. (Le pourcentage de chrome est déterminé au cours du titrage),
- mélanger du sulfate ferreux 20 CC avec de l'eau distillée et 70 ml d' $H_2SO_4$ ,
- verser du permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose. Le rose correspond au titrage du sulfate ferreux et du permanganate de potassium.

**ANNEXE II**  
**DOSAGE D'OXYDE DE PHOSPHORE**  
**(Source : KRAOMA)**

### **1- Principe**

- extraction du phosphore de l'échantillon par ébullition dans l'acide nitrique dilué par filtration,
- sur le filtrat clair, élimination de la silice par l'HF et de l'arsenic éventuellement présent dans l'acide bromhydrique,
- formation du complexe phosphovanadomobyldique en milieu nitrique spectrophotométrie.

### **2- Matériels utilisés**

- spectrophotométrie d'absorption moléculaire ou colorimètre,
- matériels courants d'un laboratoire d'analyse.

### **3- Réactifs**

- eau très pure exempte de phosphore,
- acide nitrique (solution d'acide nitrique 1 : 1),
- acide fluorhydrique d= 1,14 (solution 1 : 9 d'HF),
- acide bromhydrique d= 1,38,
- solution de molybdate d'ammonium à 120 g/l,
- solution de vanadate d'ammonium à 20 g/l.

### **4- Mode opératoire**

- introduire la prise d'essai dans une fiole conique de 500 ml large couverture avec 200 ml de solution 1 : 1 d'acide nitrique,
- porter à douce ébullition pendant 30 mn : le phosphore passe en solution,
- pétrir et filtrer sur double filtre serré (bande bleu) au dessus d'un bécher de 500 ml. Laver deux fois à l'eau bouillante. La solution obtenue doit être limpide,
- au filtrat limpide contenant le phosphore, ajouter 2 ml d'HF 1 : 9 et 5 ml d'acide bromhydrique d = 1,38,
- retirer et reprendre avec précaution 11 ml de solution 1 : 1 d'acide nitrique et chauffer doucement jusqu'à l'obtention d'une solution limpide,

- traverser dans une fiole jaugée de 50 ml. Ajouter successivement :
  - 1 ml de solution de vanadate d'ammonium à 20 g/l,
  - 5 ml de solution de molybdate d'ammonium à 120 g/l,
  - compléter à 50 ml avec de l'eau. Homogénéiser. Attendre 15 mn.
- dans des cuves de 20 mm d'épaisseur, effectuer les mesures photométriques par rapport à l'eau à une longueur d'onde 410 nm,
- retirer l'essai à blanc et à partir des courbes d'étalonnage déduire le pourcentage de phosphore de l'échantillon.

### **ANNEXE III**

### **DOSAGE DE SILICE**

#### **Mode opératoire**

- prise d'essai 1 g,
- mélanger avec 5 g de peroxyde de sodium,
- étape de fusion dans un bécher,
- mettre dans un flacon puis rincer avec la pissette, puis le mettre dans un bécher de 1000 ml,
- verser d'HCl concentré de 30 à 40 ml dans une éprouvette graduée,
- ajouter de l'acide perchlorique 60 à 70 ml,
- déposer le tout sur une plaque forte jusqu'à ce que le contenu devienne sec et il se dégage de la fumée blanche indique la présence du sel acide qui devient rouge,
- quand le produit devient brûler, on l'enlève de la plaque forte et on y ajoute de l'acide chlorhydrique concentré de 30 ml et de l'eau distillée jusqu'à 200 ml du flacon puis les mélanger,
- filtration,
- rinçage à l'eau chaude, puis distribuer le produit dans des creusets en platine,
- mettre au four afin de calciner,
- enlever le papier filtre avec le filtrat de silice qu'on met de nouveau dans un four pendant 1 h 30 mn,
- enfin, on peut calculer le taux de silice dans ce produit en mesurant la masse du filtrat sortie du four.

## ANNEXE IVa

### DOSAGE D'OXYDE DE FER

#### **1-Principe**

- frittage au peroxyde de sodium et reprise à l'eau. Dissolution sulfurique,
- précipitation du fer par NH<sub>4</sub>OH, filtration, redissolution du précipité par HCl, on obtient une solution sulfurique,
- réduction du Fe<sup>3+</sup> par le chlorure stanneux en excès, oxydation de l'excès du chlorure stanneux par le chlorure mercurique,
- dosage volumétrique du Fe<sup>2+</sup> par une solution titrée de bichromate de potassium N/20 en présence de diphénylamine sulfonate de baryum comme indicateur, en milieu phosphorique.

#### **2-Matériels**

- creuset alumine,
- balance de précision,
- four à moufle 0 à 700°C,
- plaque chauffante,
- verrerie courante de laboratoire.

#### **3-Réactifs**

- acide chlorhydrique RP Norma pur d =1,19,
- acide sulfurique RP Norma pur d =1,83,
- acide phosphorique RP Norma pur d =1,70,
- mélange d'acides,
- ammoniaque 28% RN Norma pur d = 0,895,
- sodium peroxyde RP Norma pur,
- chlorure d'étain,
- chlorure mercurique RP Norma pur,
- diphényle amine sulfonate de baryum RP Norma pur.

## **4-Mode opératoire**

- broyer l'échantillon jusqu'à passage total au tamis module AFNOR17 (ouverture de maille 0,040 mm),
- peser exactement 500 mg de mineraï broyé dans un creuset d'alumine,
- homogénéiser avec 5 g de peroxyde de sodium,
- porter au four au moufle 90 mn à 650°C. Il se produit une légère fusion à la surface du mélange,
- sortir au four et laisser refroidir,
- placer le creuset dans un bêcher de 1 000 ml, introduire une fois 300 ml d'eau distillée. Il se produit une effervescence. Attendre l'effet de l'effervescence et faire bouillir 2 à 3 mn,
- neutraliser en ajoutant avec précaution 40 ml de solution sulfurique 9 N qui dissout le précipité d'hydroxyde,
- retirer et rimer soigneusement le creuset d'alumine, à l'eau distillée chaude,
- chauffer le bêcher jusqu'à début d'ébullition et précipiter l'hydroxyde de fer par addition de 50 ml d'ammoniaque,
- porter à nouveau à début d'ébullition,
- filtrer sur filtre sans cendre bleu et laver soigneusement le précipité sur le filtre à l'aide d'un jet de pissette d'eau bouillante (la couleur jaune des bords du filtre due au chrome doit disparaître),
- percer le filtre à l'aide d'une tige de verre et entraîner l'essentiel du précipité d'hydroxyde dans un erlenmeyer de 500 ml à l'aide d'un jet de pissette d'eau chaude,
- ajouter 10 ml d'HCl concentré sur les parois du filtre et rincer à nouveau à l'eau distillée chaude,
- réduire à faible volume (inférieur à 100 ml) par évaporation sur plaque chauffante,
- ajouter à chaud (70°) goutte à goutte la solution de chlorure stanneux jusqu'à ce que la solution initialement jaune foncé devienne incolore ou verte (la couleur verte provenant du chrome réduit éventuellement présent),
- refroidir au bain-marie,
- ajouter 10 ml de la solution de chlorure mercurique,
- attendre 3 mn et diluer à 200 ml avec de l'eau,
- ajouter 15 ml du mélange acide et 5 gouttes de la solution de diphenyl sulfonate de baryum, puis titrer avec la solution de bichromate de potassium jusqu'à virage au vert au violet persistant.

**ANNEXE IVb**  
**DOSAGE D'OXYDE FERRIQUE**

**Mode opératoire**

- prise d'essai 0,5 g avec creuset alumine,
- ajouter 2 à 3 g de peroxyde de sodium  $\text{Na}_2\text{O}_2$  afin de dissoudre le chrome,
- mettre au four à température 650 à 700°C pendant une heure,
- laisser refroidir,
- verser dans des flacons,
- ajouter de l'eau distillée douce à la moitié de chaque creuset,
- verser de l'acide sulfurique dilué à 1/3 (quantité : 25 ml),
- rincer et laver le creuset. Verser de l'ammoniac 30 ml,
- filtrer pour enlever l'ammoniac,
- ajouter de l'eau bouillante pour qu'il ne reste plus que du fer,
- mettre dans un erlenmeyer le dépôt du filtre, puis mettre sur la plaque forte (le produit est de couleur jaune),
- bouillir puis verser de chlorure d'étain stanneux jusqu'à l'obtention le produit devienne incolore,
- refroidir au bain- marie,
- verser de chlorure mercurique 10 ml + mélange d'acide ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  6 ml + acide ortho phosphorique) + eau distillée 500 ml,
- ajouter 5 gouttes de diphenylamine,
- jauger dans l'eau distillée à 300 ml,
- titrage bichromate de potassium  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

## ANNEXE V

### MATERIELS A LA DISPOSITION DE LA KRAOMA

(Situation Décembre 2004)

**Tableau IX : Inventaire des engins d'exploitation**

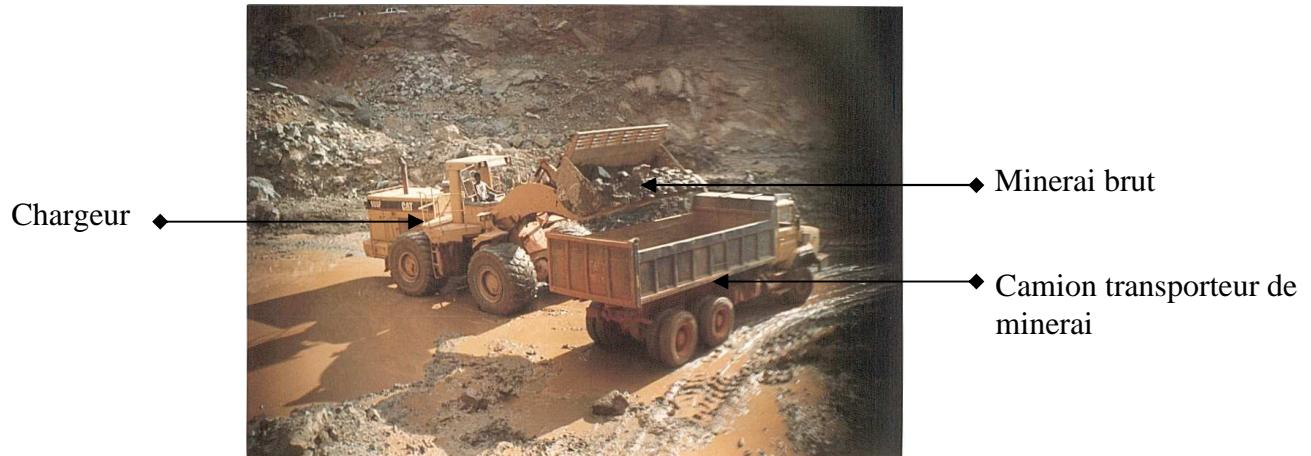
| N° Type             | Date d'acquisition | h ou km      | Engins                   |
|---------------------|--------------------|--------------|--------------------------|
| 030-CAT 5080        | Novembre 2004      | 7532 h       | Matériels de chargements |
| 071-CAT 988 F       | Août 1996          | 11 758 h     |                          |
| 079-CAT 966 F       | Juin 1996          | 7 165 h      |                          |
| 158-CAT 966 C       | 1978               |              |                          |
| 078-CAT 966 C       | Juillet 1990       |              |                          |
| 155-769 C           | Juillet 1987       |              | Dumper                   |
| 124-140 B           | Août 1990          | 11 723 h     | Grader                   |
| 171-D8N             | Juin 1991          | 7 410 h      | Bulls                    |
| 173-D8N             | Mai 1990           | 10 741 h     |                          |
| 160-215 CLC         | Septembre 2001     | 10 030 h     | Brise bloc               |
| 165-CIT/EAU         | Novembre 1998      | 9 545 h      | Bell équipement          |
| 033-4137 AC-CBH 320 | 1996               | 351 323 km   | Camions transporteurs    |
| 048-0699AC-CBH 320  | 1993               | 328 588 km   |                          |
| 135-0260AC-CLM 350  | 1993               | 956 836 km   |                          |
| 142-7734AB-CLM 340  | 1990               | 1 199 500 km |                          |
| 253-Comp.IR.VHP 700 | Mars 1992          | 6 000 h      | Matériels de forage      |
| 254-Comp.IR.VHP 700 | Septembre 1992     | 9 628 h      |                          |

h ou km : heure ou kilométrage déjà effectué par chaque matériel avant son arrivée à la KRAOMA.

**ANNEXE VI**  
**MATERIELS DE CHARGEMENT**



**Figure 25 : Pelle à chenille**



**Figure 26 : Matériel de chargement**

**ANNEXE VII**  
**MATERIEL DE PERFORATION ET ENGIN DE TERRASSEMENT**



**Figure 27 : Engin de perforation**



**Figure 28 : Engin de terrassement**

**ANNEXE VIII**  
**EXPLOSIFS UTILISES POUR FAIRE DES TROUS DE MINES**



**Figure 29 : Explogel type V10 (Charge de fond)**



**Figure 30 : Ammonium Nitrate Fuel Oil (ANFO) (Charge de colonne)**



**Figure 31 : Dynamite**

## ANNEXE IX

### Norme américaine et norme française d'équivalence

**Tableau X : Norme américaine et norme française d'équivalence**

➤ **Norme américaine Taylor**

|                     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mailles<br>(meshes) | 3    | 6     | 10    | 20    | 35    | 48    | 65    | 100   | 200   | 300   |
| Ouverture<br>en mm  | 6,68 | 3,327 | 1,651 | 0,833 | 0,417 | 0,295 | 0,208 | 0,147 | 0,074 | 0,046 |

➤ **Norme française AFNOR NF 11 – 501**

|                     |    |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Module              | 38 | 35  | 30  | 27  | 25   | 23   | 20   | 17   |
| Ouvertures<br>en mm | 5  | 2,5 | 0,8 | 0,4 | 0,25 | 0,16 | 0,08 | 0,04 |

## ANNEXE X

### **DIFFERENTS CONCASSEURS A LA DISPOSITION DE LA KRAOMA**

#### **- le concasseur à mâchoires**

Dans cet appareil, les blocs sont écrasés entre deux mâchoires dont l'une est animée d'un mouvement alternatif par un système excentrique ayant des ouvertures d'entrées de 2 m x 1,50 m, pesant 200 tonnes et débitant des centaines de tonnes à l'heure. Diverses formes de mâchoires et de mouvements existent, selon le calibre des morceaux de minerai brut et la nature de ce minerai : dureté, abrasivité, etc.

En général, on fait travailler ces concasseurs avec des taux de réduction granulométriques allant de 2 à 9.

#### **- le concasseur giratoire et le concasseur à cônes**

Le minerai est écrasé entre une couronne à axe vertical et un noyau conique dont l'axe est animé d'un mouvement spécial : point supérieur fixe point inférieur tournant dans un plan horizontal.

Il existe diverses formes de couronnes et de cônes selon les utilisations. Les taux de réduction sont plus forts que dans les appareils à mâchoires : 7 à 9 ; on est allé jusqu'à 24. Il ne convient pas pour les minerais argileux ayant tendance à bourrer. A dimension d'admission et à rapport de réduction égal, le débit d'un concasseur giratoire est quatre à cinq fois plus élevé que le débit d'un concasseur à mâchoires.

#### **- le concasseur à cylindres**

Le minerai passe entre deux rouleaux tournant en sens inverse. Ces cylindres sont cannelés ou lisses. Le taux de réduction est très faible (de l'ordre de 2 ; 4 au maximum) ; il présente l'avantage de donner peu de fines et de ne pas colmater avec des minerais humides, collants, etc.

Le domaine d'utilisation est actuellement plus restreint que celui des concasseurs à mâchoires et giratoires. Comme utilisation, on peut citer :

- concassage avant traitement gravimétrique (il est intéressant d'avoir peu de fines),
- concassage tertiaire avant broyage et après les giratoires, ce qui permet de faire marcher ces derniers ouverts.

On peut résumer les caractéristiques des types de concasseurs à la disposition de la KRAOMA pour traiter la chromite :

- dans un concasseur à cylindres, un seul écrasement : utilisable pour tous les minerais même collants ; taux de réduction faible,
- dans un concasseur à mâchoires, deux ou trois écrasements : utilisable pour les minerais moyens ; taux de réduction moyen,
- dans un concasseur giratoire, nombreux écrasements : utilisable pour les minerais cassant bien ; taux de réduction élevé.

## ANNEXE XI

### FONCTIONNEMENT DES BROYEURS

#### A. Broyeur à boulets

Les produits sortant des appareils de concassage ont des dimensions moyennes de quelques millimètres ou de quelques centimètres ; ils sont trop gros pour la flottation et les traitements chimiques, et doivent donc être soumis à un broyage. Dans la laverie de traitement de chromite, cette opération est très importante pour la suite des opérations ultérieures et également pour le rendement à cause de son prix (énergie, consommation de boulets et de revêtements).

Le broyeur à boulets est composé d'un corps cylindrique tournant autour de son axe horizontal et contenant des boulets en acier ; la pulpe, mélange de minerai et d'eau, rentre d'un côté et sort beaucoup plus fine de l'autre.

- vitesse de rotation lente (marche dite « en cascade »),
- vitesse de rotation normale (marche dite en « cataracte »),
- on appelle vitesse critique d'un broyeur la vitesse à partir de laquelle un petit boulet reste constamment plaqué à la paroi par force centrifuge.

Le fonctionnement de l'appareil semble complexe. Pendant la rotation à vitesse normale, les boulets montent, puis ils se détachent par leur poids et tombent au fond où ils recommencent leur course. Le travail de broyage se fait par le choc des boulets sur les grains à leur arrivée au fond et par écrasement entre boulets pendant leur remontée.

Les facteurs suivants sont plus importants pour obtenir un bon broyage, ainsi que les consommations les plus faibles possibles de boulets, de revêtements et d'énergie :

- les dimensions et la vitesse de rotation qui ne doit pas être trop forte, sinon les boulets seraient centrifugés sur toute leur course,
- le diamètre des boulets, en général 75 à 100 mm,
- la charge en boulets, de 35 à 45 % du volume du broyeur,
- la dilution de la pulpe, en général 60 à 70 % d'eau.

Le taux de réduction granulométrique est très fort : 50 à 100. Ces broyeurs sont réglés de façon à donner des produits d'une finesse déterminée, pouvant aller de - 48 mesh (0,295) à -200 mesh (0,074) ; ces produits n'ont pas de granulométrie dominante et contiennent beaucoup d'ultrat-fines.

Signalons l'existence des méthodes d'autobroyage. Le broyeur tourne sans être chargé de boulets. Ce sont les éléments gros et durs du minerai qui en broient les éléments fins et tendres. La méthode n'est pas évidemment pas générale.

## **B. Broyeur à barres**

Il a un corps cylindrique dans lequel tournent des barres. Son corps est plus long que celui du broyeur à boulets. La réduction granulométrique est due à l'action de roulement plus la chute des barres. Ces barres restent dans une certaine mesure, parallèles et l'on conçoit que cela produit certains effets de tamisage. On ne peut pas charger des gros (plus de 25 mm) qui écarteraient les barres et empêcheraient le broyage des fins. On ne peut obtenir des produits de très grande finesse (moins de 65 mesh), les barres étant écartées par les gros. Enfin les produits de sortie sont beaucoup mieux calibrés que si l'on utilise les broyeurs à boulets, il y a moins d'ultra-fines et c'est un avantage. La pulpe doit être épaisse.

En général, on prend un broyeur à barres pour le broyage primaire, et un broyeur à boulets pour le broyage secondaire.

**ANNEXE XII**

**MODE DE FONCTIONNEMENT DES SPIRALES ET D'UN**

**HYDROCLASSIFICATEUR**

**A. Des spirales**

À l'entrée des particules de minerais à traiter au niveau de la zone d'alimentation de la spirale intervient une force centrifuge faible. Mais la séparation des particules dépend de la longueur de la spirale qui les classent en :

- lourdes fines au centre sont délestées par les robinets,
- grosses légères remontent sur le bord éloignant l'eau et continuent jusqu'en bas.

**B. De l'hydroclassificateur**

Les classifyateurs permettent de distribuer les particules en diverses catégories par sédimentation dans l'eau. L'alimentation en eau doit toujours être constante et bien agitée pour que les particules légères et fines soient en suspension et partent avec l'eau de débordement, tandis que les grosses se concentrent continuellement dans la partie basse.

Dans ce cas, les classifyateurs sont des appareils qui diluent avec l'eau les particules et les distribuent selon leur taille. L'hydroclassificateur fait partie d'un cyclone ou VORTEX THICKENER. Un cyclone contient une chambre cylindro-conique à pointe tournée vers le bas. C'est dans la partie supérieure (surverse ou overflow) qu'on introduit des particules de minéral, ou des minéraux en suspension dans l'eau sous pression avec un mélange d'air.

A l'intérieur de ce cyclone se manifeste un mouvement tourbillonnaire qui soumet les particules à des accélérations centrifuges très fortes. Ainsi, dans cet hydroclassificateur les grains plus lourds de chromite sont centrifugés et se localisent vers le bas, les particules légères étant évacuées par le haut.

## ANNEXE XIII

### MODE DE FONCTIONNEMENT DES TABLES A SECOUSSES

Il existe divers types de tables en fonction des minerais à traiter mais le principe reste la même, car, l'action des tables à secousses résulte de plusieurs effets :

➔ Lorsque sur une surface lisse en pente, l'on envoie un courant d'eau, il se forme un film liquide. La vitesse de ce film est nulle au contact de la surface solide et atteint sa vitesse maximale au contact de l'air. Son épaisseur varie avec le débit d'eau, de la densité de la viscosité du liquide et de l'angle d'inclinaison de la surface. On sait que plus le débit est grand, plus la vitesse d'une couche se trouvant à une distance donnée de la surface support est grande. Dans ce cas, les particules qui se trouvent dans ce film seront soumises à trois forces :

- la pesanteur,
- le frottement sur le support,
- l'angle critique en dessous duquel le minéral ne glisse pas.

Le frottement sur le support varie en fonction de la particule :

- particules plates ou en forme de prisme dont la base a un petit nombre de côtés. On dit que ces particules glissent,
- particules en formes de prismes dont la base a un grand nombre de côtés (octogones,...) ou des particules arrondies. On dit qu'elles roulent,

Les particules entraînées par ce film liquide se classent comme suit :

- fines lourdes au fond,
- grosses lourdes et fines légères au centre,
- grosses légères au centre en surface.

La séparation de ces produits se fera bien si les fines lourdes sont de plus retenues par glissement sur table (formes plates) et les légers roulent (formes arrondies).

#### ➔ Les tables à secousses

Elles sont animées d'un mouvement cyclique dans une direction faisant un certain angle avec la direction d'écoulement de l'eau. Ce mouvement est asymétrique de manière à ce que l'eau et les particules soient entraînées dans un certain sens.

Les couches d'eau au voisinage de la table, et donc les particules lourdes, suivent son mouvement (50 µm de diamètre), tandis que les couches d'eau en surface (grosses particules plus de 0,5 mm) ne suivent pas le mouvement de cette table.

Ainsi pour le cas des tables utilisées pour le traitement de chromite, les particules lourdes sont les chromites et les grosses particules légères sont les stériles qui sont surtout des silicates.

**Remarque :** Cette classification présente une certaine modification par la viscosité de l'eau qui, au total, rend l'avancement des particules grosses et lourdes plus rapide que celui des particules légères et fines.

#### → Les rifles

Elles sont de petites baguettes fixées sur les tables à secousses dans une direction parallèle à leur mouvement ou dans une direction voisine. Elles ont la capacité de rendre plus épaisses les couches d'eau que sur les tables lisses. De plus, ces rifles changent le mode de distribution des particules car on constate qu'entre deux rifles les fines particules sédimentent le long des rifles tandis que les grosses sautent dessus. Dans la région de sortie des particules, les rifles se terminent en biseau.

## **ANNEXE XIV**

### **SEPARATION PAR LIQUEURS DENSES**

La séparation par liqueurs denses de produits de densités différentes est un procédé classique de laboratoire pour la détermination des minéraux en grains. On utilise surtout pour cela des liquides organiques : par exemple un mélange de bromoforme et d'alcool donnant une gamme de densités allant de 0,9 à 2,85 selon les proportions des constituants. A l'échelle industrielle, ces procédés seraient trop coûteux à cause des pertes des réactifs. Le milieu dense y a donc été réalisé d'une autre manière : nous savons que la suspension de solides fins dans l'eau donne, avec un brassage permanent, un pseudoliquide se comportant pour quelques unes de ses propriétés comme un liquide de viscosité accrue et de densité égale à sa densité réelle.

TAGGART compare le phénomène à celui des sables mouvants qui, dans une certaine mesure, soutiennent en surface des corps assez lourds. On en arrive donc à voir un bac (cône ou tambour) dans lequel on brasse de façon constante de l'eau, un solide fin et le minerai. Au fond viennent les parties lourdes (plongeant) évacuées avec une partie du médium ; en surface débordent les parties légères (flottant) et le reste du médium eau solide. Il est nécessaire de récupérer la partie solide du médium si c'est un élément coûteux.

Les procédés actuels utilisent en général comme médium des suspensions dans l'eau de matières magnétiques fines récupérées par des séparateurs magnétiques.

**ANNEXE XV**  
**RAPPORT DES MALADIES AVEC LES ACTIVITES**

➤ CLASSIFICATION DES MALADIES

| MALADIES                                  | Janvier |     |     | Février |     |     | Mars |     |     |
|---|---------|-----|-----|---------|-----|-----|------|-----|-----|
|   | EMP     | FAM | TOT | EMP     | FAM | TOT | EMP  | FAM | TOT |
| Maladies respiratoires                    | 59      | 106 | 165 | 45      | 114 | 159 | 84   | 205 | 289 |
| Maladies infectieuses                     | 23      | 80  | 103 | 26      | 118 | 144 | 44   | 116 | 100 |
| Paludisme                                 | 22      | 65  | 87  | 24      | 113 | 137 | 42   | 110 | 152 |
| Maladies de l'Appareil digestif           | 39      | 59  | 98  | 62      | 97  | 159 | 54   | 91  | 145 |
| Maladies neuronales et organes de sens    | 33      | 72  | 105 | 35      | 77  | 112 | 32   | 75  | 107 |
| Maladies cardio-vasculaires.              | 14      | 15  | 29  | 20      | 21  | 41  | 21   | 28  | 49  |
| Maladies de la peau.....                  | 12      | 26  | 38  | 22      | 22  | 44  | 17   | 20  | 37  |
| Maladies Rhumatismales                    | 9       | 3   | 12  | 13      | 7   | 20  | 10   | 5   | 15  |
| Maladies gynécologiques                   | 2       | 7   | 9   |         | 16  | 16  |      | 15  | 15  |
| Maladies métaboliques et endocrinologies. | 10      | 5   | 15  | 11      | 13  | 24  | 16   | 16  | 32  |
| Maladies génitales urinaires              |         |     |     | 1       | 3   | 4   | 1    |     | 1   |
| Autres affections. Non classées           | 1       | 11  | 12  | 1       | 10  | 11  | 1    | 8   | 7   |
| Plaies et traumatismes                    | 9       | 3   | 12  | 14      | 14  | 28  | 17   | 10  | 27  |

| 1er trimestre |     |     | Avril |     |     | Mai |     |     | Juin |     |     |
|---------------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| EMP           | FAM | TOT | EMP   | FAM | TOT | EMP | FAM | TOT | EMP  | FAM | TOT |
| 188           | 425 | 613 | 76    | 180 | 256 | 75  | 198 | 273 | 73   | 216 | 289 |
| 93            | 314 | 407 | 51    | 315 | 366 | 56  | 153 | 209 | 53   | 138 | 191 |
| 88            | 288 | 376 | 50    | 293 | 343 | 52  | 146 | 198 | 49   | 131 | 180 |
| 155           | 247 | 402 | 56    | 82  | 138 | 40  | 83  | 123 | 50   | 73  | 123 |
| 100           | 224 | 324 | 32    | 45  | 77  | 48  | 66  | 114 | 23   | 70  | 93  |
| 55            | 84  | 119 | 13    | 17  | 30  | 26  | 28  | 54  | 15   | 19  | 34  |
| 51            | 88  | 119 | 6     | 14  | 20  | 12  | 24  | 36  | 11   | 24  | 35  |
| 32            | 15  | 47  | 7     | 2   | 9   | 13  | 10  | 23  | 5    | 8   | 13  |
| 2             | 36  | 40  | 1     | 17  | 18  |     | 20  | 20  |      | 8   | 8   |
| 37            | 34  | 71  | 7     | 4   | 11  | 8   | 7   | 15  | 9    | 10  | 19  |
| 2             | 3   | 5   | 2     | 2   | 4   |     |     |     |      |     |     |
| 3             | 27  | 30  | 2     | 1   | 3   | 3   | 4   | 7   | 3    | 2   | 5   |
| 40            | 27  | 62  | 12    | 15  | 27  | 2   | 17  | 19  | 5    | 13  | 18  |

| 2ème trimestre |     |     | Juillet |     |     | Août |     |     | Septembre |     |     |
|----------------|-----|-----|---------|-----|-----|------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| EMP            | FAM | TOT | EMP     | FAM | TOT | EMP  | FAM | TOT | EMP       | FAM | TOT |
| 224            | 594 | 618 | 88      | 150 | 238 | 87   | 201 | 288 | 56        | 121 | 177 |
| 160            | 606 | 766 | 18      | 53  | 71  | 35   | 76  | 111 | 25        | 87  | 112 |
| 151            | 570 | 721 | 17      | 35  | 52  | 33   | 54  | 87  | 25        | 62  | 87  |
| 146            | 238 | 364 | 64      | 87  | 151 | 78   | 105 | 183 | 51        | 59  | 110 |
| 103            | 161 | 264 | 32      | 45  | 77  | 48   | 80  | 128 | 45        | 60  | 105 |
| 54             | 64  | 118 | 13      | 17  | 30  | 23   | 25  | 48  | 21        | 19  | 40  |
| 29             | 62  | 91  | 6       | 22  | 28  | 11   | 40  | 51  | 9         | 35  | 44  |
| 26             | 20  | 45  | 8       | 8   | 16  | 23   | 14  | 37  | 29        | 6   | 35  |
| 1              | 45  | 46  |         | 7   | 7   |      | 9   | 9   | 1         | 9   | 10  |
| 24             | 21  | 45  | 2       | 6   | 8   | 2    | 6   | 8   | 8         | 16  | 24  |
| 2              | 2   | 4   |         |     |     |      | 1   | 1   | 1         | 1   | 2   |
| 8              | 7   | 15  | 4       | 7   | 11  | 2    | 7   | 9   | 5         | 6   | 11  |
| 19             | 45  | 64  | 17      | 8   | 25  | 13   | 17  | 30  | 16        | 19  | 35  |

| 3ème trimestre |     |     | Octobre |     |     | Novembre |     |     |
|----------------|-----|-----|---------|-----|-----|----------|-----|-----|
| EMP            | FAM | TOT | EMP     | FAM | TOT | EMP      | FAM | TOT |
| 231            | 472 | 703 | 69      | 136 | 205 | 30       | 123 | 153 |
| 78             | 216 | 294 | 37      | 113 | 150 | 19       | 113 | 132 |
| 75             | 151 | 226 | 32      | 66  | 98  | 19       | 81  | 100 |
| 193            | 251 | 444 | 45      | 81  | 126 | 41       | 61  | 102 |
| 126            | 185 | 310 | 31      | 74  | 105 | 35       | 57  | 92  |
| 67             | 61  | 116 | 35      | 17  | 52  | 32       | 55  | 87  |
| 26             | 97  | 123 | 11      | 31  | 42  | 9        | 34  | 43  |
| 60             | 28  | 88  | 23      | 16  | 39  | 14       | 4   | 18  |
| 1              | 25  | 26  |         | 13  | 13  |          | 14  | 14  |
| 12             | 28  | 40  | 7       | 16  | 23  | 7        | 12  | 19  |
| 1              | 2   | 3   |         | 1   | 1   |          |     |     |
| 11             | 20  | 31  | 3       | 8   | 11  | 1        | 7   | 8   |
| 46             | 44  | 90  | 13      | 7   | 20  | 14       | 10  | 24  |

➤ EMPLOYES MALADES PAR SERVICE :

| SERVICES    | Janvier |    |     | Février |    |     | Mars |    |     |
|-------------|---------|----|-----|---------|----|-----|------|----|-----|
|             | CT      | CO | TOT | CT      | CO | TOT | CT   | CO | TOT |
| CITE        | 9       | 2  | 11  | 27      | 8  | 35  | 30   | 8  | 38  |
| ATELIER     | 47      | 14 | 61  | 70      | 16 | 94  | 94   | 36 | 130 |
| SOCIAL      | 25      | 6  | 31  | 20      | 8  | 28  | 19   | 3  | 22  |
| CENTRALE    | 7       |    | 7   | 14      | 11 | 25  | 10   | 6  | 16  |
| ADM/MAGASIN | 12      | 13 | 25  | 18      | 8  | 26  | 19   | 9  | 28  |
| LAVERIE     | 25      | 10 | 35  | 37      | 14 | 51  | 46   | 20 | 66  |
| MINE        | 30      | 17 | 47  | 30      | 14 | 44  | 52   | 18 | 70  |
| CADRES      | 11      | 7  | 18  | 19      | 9  | 28  | 19   |    | 19  |

| 1 <sup>er</sup> trimestre |    |     | Avril |    |     | Mai |    |     | Juin |    |     |
|---------------------------|----|-----|-------|----|-----|-----|----|-----|------|----|-----|
| CT                        | CO | TOT | CT    | CO | TOT | CT  | CO | TOT | CT   | CO | TOT |
| 66                        | 18 | 84  | 19    | 2  | 21  | 27  | 15 | 42  | 14   | 13 | 27  |
| 220                       | 85 | 285 | 84    | 32 | 116 | 75  | 32 | 107 | 76   | 33 | 109 |
| 64                        | 17 | 81  | 22    | 10 | 32  | 27  | 18 | 45  | 25   | 9  | 34  |
| 31                        | 17 | 48  | 12    | 14 | 26  | 12  | 5  | 17  | 6    | 1  | 7   |
| 49                        | 30 | 78  | 16    | 5  | 21  | 10  | 8  | 18  | 8    | 1  | 9   |
| 108                       | 44 | 152 | 51    | 22 | 73  | 52  | 25 | 77  | 47   | 23 | 70  |
| 135                       | 38 | 173 | 45    | 23 | 68  | 60  | 29 | 89  | 49   | 7  | 56  |
| 49                        | 11 | 60  | 14    | 3  | 17  | 20  | 6  | 26  | 22   |    | 22  |

| 2 <sup>ème</sup> trimestre |    |     | Juillet |    |     | Août |    |     | Septembre |    |     |
|----------------------------|----|-----|---------|----|-----|------|----|-----|-----------|----|-----|
| CT                         | CO | TOT | CT      | CO | TOT | CT   | CO | TOT | CT        | CO | TOT |
| 60                         | 30 | 90  | 39      | 17 | 56  | 39   | 4  | 43  | 29        | 5  | 34  |
| 235                        | 97 | 332 | 78      | 10 | 88  | 90   | 11 | 101 | 70        | 41 | 111 |
| 74                         | 37 | 111 | 12      | 3  | 15  | 24   |    | 24  | 26        | 14 | 40  |
| 30                         | 20 | 50  | 10      |    | 10  | 12   | 1  | 13  | 10        | 5  | 15  |
| 34                         | 14 | 48  | 15      | 4  | 19  | 12   | 1  | 13  | 12        | 1  | 13  |
| 150                        | 70 | 220 | 38      | 12 | 50  | 52   | 4  | 56  | 50        | 21 | 71  |
| 154                        | 69 | 213 | 48      | 2  | 50  | 71   | 8  | 79  | 48        | 10 | 58  |
| 56                         | 9  | 65  | 15      |    | 15  | 21   |    | 21  | 11        |    | 11  |

| 3 <sup>ème</sup> trimestre |    |     | Octobre |    |     | Novembre |    |     |
|----------------------------|----|-----|---------|----|-----|----------|----|-----|
| CT                         | CO | TOT | CT      | CO | TOT | CT       | CO | TOT |
| 107                        | 26 | 133 | 32      | 3  | 35  | 20       | 10 | 30  |
| 238                        | 62 | 300 | 69      | 22 | 91  | 55       | 20 | 75  |
| 62                         | 17 | 79  | 22      | 5  | 27  | 25       | 6  | 31  |
| 32                         | 6  | 38  | 19      | 4  | 23  | 11       | 1  | 12  |
| 39                         | 6  | 45  | 17      |    | 17  | 10       | 1  | 11  |
| 140                        | 37 | 177 | 65      | 34 | 99  | 36       | 24 | 60  |
| 167                        | 20 | 187 | 37      | 12 | 49  | 33       | 15 | 48  |
| 47                         |    | 47  | 13      | 4  | 17  | 12       | 1  | 13  |

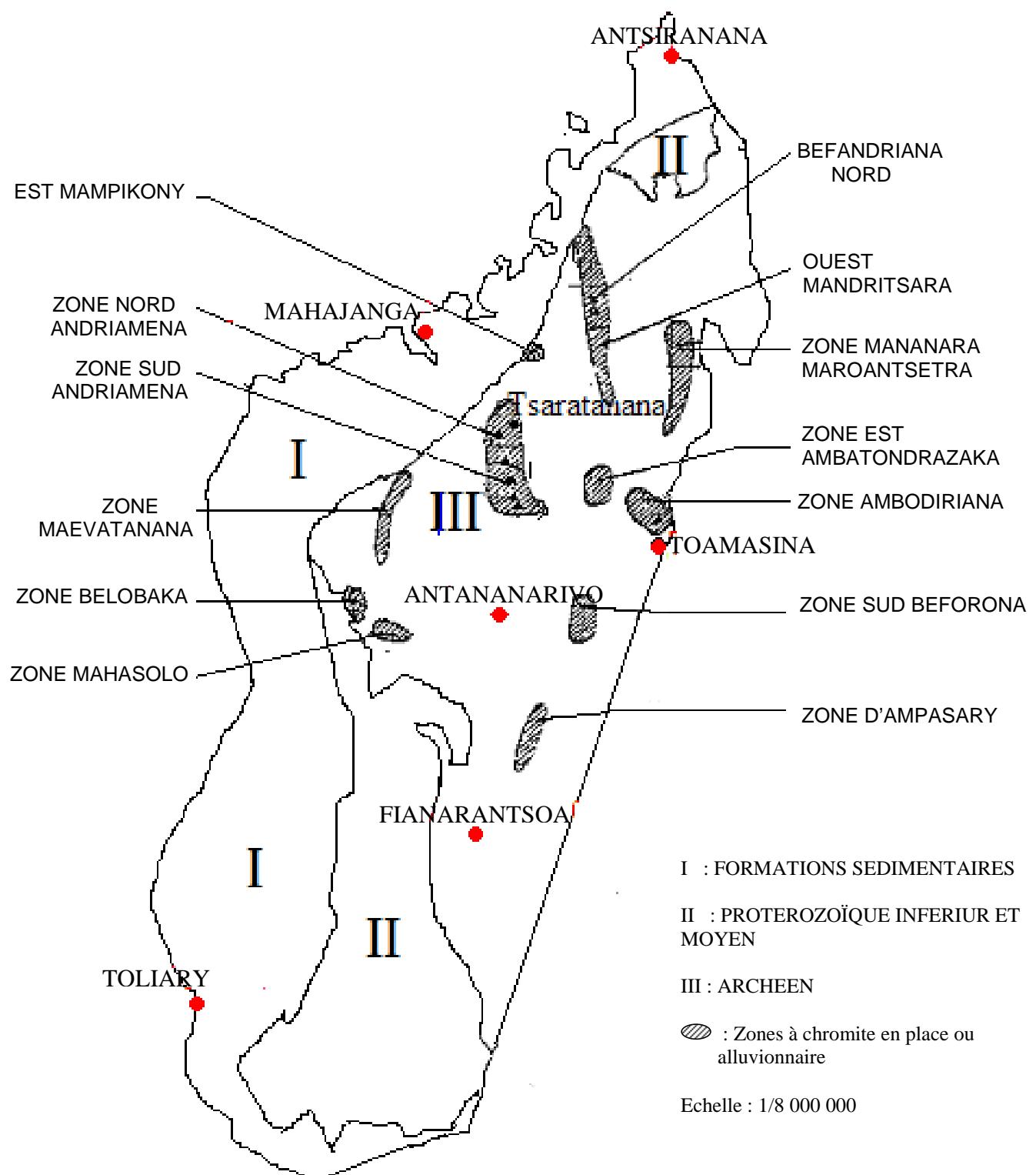
## ANNEXE XVI

### PROGRAMME CLASSE DE SECONDE : PRINCIPAUX MINERAIS MALAGASY

**Tableau XI : Curriculum des principaux minerais malagasy**

| Objectifs spécifiques  | Contenu   | Observations  |
|--|---|---|
| <p>L’élève doit être capable de (d’) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Donner une définition simple ou du mot « minéral » ;</li> <li>➤ Expliquer l’importance du minéral étudié ;</li> <li>➤ Caractériser le minéral ;</li> <li>➤ Expliquer la formation du minéral ;</li> <li>➤ Connaître les méthodes d’extraction et de traitement ;</li> <li>➤ Connaître l’utilisation du minéral ;</li> <li>➤ Se rendre compte de l’importance économique du minéral ;</li> <li>➤ Localiser sur une carte de Madagascar les principaux gisements de minéral ;</li> <li>➤ Comparer les importances des minéraux étudiés.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Définition de minéral</li> <li>➤ Etude d’un minéral</li> <li>➤ Forme et propriété</li> <li>➤ Origine</li> <li>➤ Extraction et traitement</li> <li>➤ Utilisation</li> <li>➤ Importance économique</li> <li>➤ Répartition à Madagascar</li> <li>➤ Etude synthétique de deux autres minéraux</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Faire une étude approfondie d’un minéral, ex : le graphite</li> <li>➤ Faire manipuler des échantillons du minéral.</li> <li>➤ Commenter des documents.</li> <li>➤ Visiter un chantier d’extraction et de traitement du minéral (ou commenter des documents)</li> <li>➤ Faire inventorier l’utilisation du minéral.</li> <li>➤ Etudier les variations de la production et du prix du minéral au cours des années successives.</li> <li>➤ Commenter et reproduire la répartition du minéral à partir de la carte de métallogénie de Madagascar.</li> <li>➤ Des exposés peuvent être faits par les élèves pour les deux autres minéraux, ex : chromite, mica.</li> <li>➤ Etablir un tableau de synthèse.</li> </ul> |

**ANNEXE XVII**  
**REPARTITION DE CHROMITE A MADAGASCAR**



**Nom** : RAKOTOBE Vololonirina Aina  
**Adresse de l'auteur** : Lot 415 AB Ambohitsaratelo-Ambohimamory-Andranonahoatra  
**Titre** : **LA CHROMITE D'ANDRIAMENA ET LES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES DE SON EXPLOITATION**

**Nombre de Pages** : 70

**Nombre de Figures** : 32

**Nombre de** : 11

### Tableaux

**Directeur** : Monsieur RAJERIARISON Noëlson

### RESUME

La chromite, minéral de chrome, est un spinelle de formule générale  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}$  ou  $\text{Cr}_2\text{FeO}_4$ . Elle présente en général, une couleur sombre allant du blanc grisâtre à noir brunâtre suivant les inclusions. La chromite malgache, d'origine ophiolitique, se localise dans :

- les roches magmatiques basiques comme les gabbros de types norite,
- les roches ultrabasiques comme les péridotites et les pyroxénolites.

Ses gisements se trouvent au Nord de la zone de dislocation de Bongolava-Ranotsara, ils y sont représentés par le gisement de Bemanevika et le gisement d'Ankazotaolana. Suivant sa qualité, basée sur la teneur en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  et sur le rapport  $\text{Cr}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  on l'utilise dans la métallurgie, l'industrie chimique, l'industrie réfractaire et comme sable de fonderie.

La KRAOMA est la seule entreprise qui exploite la chromite à Madagascar. La totalité de la production est exportée en Suède, en Chine et au Japon sous forme de produits marchands (concentrés et rocheux).

Malgré les impacts négatifs assez atténués sur l'environnement, l'exploitation de la chromite malgache participe activement au développement durable de l'économie du pays : infrastructures routières, création de la cité de Brieville, écoles primaires, ...

Ce mémoire pourrait illustrer le programme de géologie de la classe de seconde (minéralogie).

**Mots clés :** chromite, roches basiques et ultrabasiques, exploitation, traitement, Andriamena.