

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Faculté des sciences de la terre  
Département des Mines

## Mémoire

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de  
MAGISTER en MINES

Option : Gestion et valorisation des ressources minérales

### THEME

# ***CARACTERISATION ET CHOIX D'UN SCHEMA DE TRAITEMENT DU MINERAI CUIVRE-FER DE DOUAMIS (OUENZA)***

Présenté par

**AYADI Brahim**

Soutenu devant le jury composé de :

<u>Président</u> :	<b>A.IDRES</b>	MC.A	Université Badji Mokhtar-Annaba
<u>Rapporteur</u> :	<b>M.BOUNOUALA</b>	Pr	Université Badji Mokhtar-Annaba
<u>Examineurs</u> :	<b>K.TALHI</b>	MC.A	Université Badji Mokhtar-Annaba
	<b>M.CHETTIBI</b>	MC.A	Université Badji Mokhtar-Annaba
	<b>ML.BOUKELLOUL</b>	MC.A	Université Badji Mokhtar-Annaba

Année universitaire 2009/2010

## **Remerciements**

**A**près trois ans de travail et de sacrifices, on est arrivé à mené à terme ce modeste mémoire de magister par l'aide d'Allah le tout puissant, dont Je me dois de le remercier pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de ce travail.

Je désire adresser en premier lieu, un merci tout particulier, à mon encadreur Mr BOUNOUALA M, professeur au département des mines de l'université d'Annaba, ses pertinents et judicieux conseils m'ont grandement aidé tout au long des différentes étapes inhérentes au processus de recherche et à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie vivement l'ensemble des membres du jury, en commençant par monsieur TALHI K, Maître de conférences au département des mines à l'Université d'Annaba, pour avoir accepté d'être parmi le jury de ce mémoire. Je remercie également Messieurs, BOUKELLOUL et CHETTIBI, Maîtres de conférences au département des mines à l'université d'Annaba pour avoir intéressés à mon travail et avoir bien voulu être membres du jury.

Je ne peux jamais oublier, d'adresser des sincères remerciements à Mr IDRES A, Maître de conférence au département des mines à l'université d'Annaba, pas seulement pour avoir suivi avec un grand intérêt mon travail et pour m'avoir fait l'honneur de l'examine et de présider la commission de jury, mais pour son soutien, et ses encouragements et aides sans cesse durant tout mon cycle de formation supérieur.

Je suis reconnaissant à Mr AULMI A, ex-responsable de la division production au sein d'Arcelor Mittal Tébessa (mine de l'Ouenza) pour les encouragements et l'intérêt constant qu'il a porté à mon travail sans se soucier ni de son temps ni de son énergie pendant toute la durée de mon stage.

Je tiens à témoigner de mon plus profond respect à Mr AOULI Saïd, PDG de l'ORGM pour m'avoir aidé à faire des analyses chimiques au sein de laboratoire minéralogie de l'ORGM.

Je tiens à consacrer une pensée affectueuse à toute ma famille, et en particulier à mes parents et mon grand frère, pour leur soutien indéfectible durant ces années d'étude. Je suis heureux d'avoir pu lire de la joie et de la fierté dans leur regard.

Enfin j'exprime mes reconnaissances et ma sympathie à, tous mes amis et collègues d'étude, mes frères dans la foi en particulier Samir IBALIDEN, Bachir SAKAA, Mohamed BARKANE, Nabil AKSSA, Abdeslam CHAIB, Mouloud NEFICE, Fatih BOUCENNA, Fouad BAAZIZ, Mouloud LABIOD, Mohamed BAADACH...etc. à toute personne qui de près ou de loin a rendu agréable mon séjour à Annaba.

Ils sont Nombreux ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail, auxquels je dois avec joie, présenter à eux tous mes profonds remerciements et gratitude.

**Brahim AYADI**

## LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
<b>Figure 1</b> : Carte des gisements de fer en Algérie (Tirée de la carte du potentiel minéral en Algérie, ORGM, 2001).....	5
<b>Figure 2</b> : Colonne stratigraphique de la région de l'Ouenza .....	17
<b>Figure 3</b> : Schéma structural des confins Algéro-tunisiens (Vila, 1980, in L. Sami, 2004).....	18
<b>Figure 4</b> : Coupe dans la structure anticlinale de la mine de l'Ouenza .....	18
<b>Figure 5</b> : Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza	22
<b>Figure 6</b> : Structure géologique du quartier Douamis .....	25
<b>Figure 7</b> : Colonne stratigraphique du quartier Douamis .....	25
<b>Figure 8</b> : Schéma montre les points de prélèvement des échantillons soit à la partie souterraine ou à ciel ouvert.	
<b>Figure 9</b> : Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyses granulométriques et chimiques.....	32
<b>Figure 10</b> : Micrographie de cuivre gris en section polie (LP) <b>Cu</b> : Cuivre gris, <b>Ma</b> : Malachite. ....	33
<b>Figure 11</b> : Microphotographie de Malachite ( <b>Ma</b> ) associée à l'Azurite ( <b>Az</b> ) .....	34
<b>Figure 12</b> : Microphotographie de l'Hématite ( <b>Hé</b> ) associée à la Malachite ( <b>Ma</b> ).....	34
<b>Figure 13</b> : Principe de la diffraction des rayons .....	34
<b>Figure 14</b> : Exemple d'un spectre obtenu par la DRX .....	35
<b>Figure 15</b> : Tamiseuse électro vibrante .....	36
<b>Figure 16</b> : Courbe granulométrique .....	38
<b>Figure 17</b> : Teneurs du Fe en fonction des rendements poids .....	38
<b>Figure 18</b> : Teneurs du Cu en fonction des rendements poids.....	39
<b>Figure 19</b> : Tranches granulométriques sous microscope, pour observation de degré de libération des particules .....	40
<b>Figure 20</b> : Schéma de traitement combiné (Flottation-Séparation magnétique) du minerai de fer cuivreux de l'usine de Bakhache (ex-URSS).....	53
<b>Figure 21</b> : Schéma technologique de traitement du minerai de fer cuivreux de Palabora (Afrique du Sud) .....	54
<b>Figure 22</b> : Schéma de concentration par séparation magnétique-Flottation du fer cuivreux de Tacou (Canada) .....	55
<b>Figure 23</b> : Schéma de traitement combiné (séparation magnétique- flottation) proposé du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza .....	59
<b>Figure 24</b> : Schéma de traitement par flottation du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza . ....	61
<b>Figure 25</b> : Schéma de traitement Flottation-SMBI .....	62
<b>Figure 26</b> : Schéma de traitement du minerai de fer-cuivre de Douamis(Ouenza).....	64
<b>Figure 27</b> : Schéma de principe de séparation.....	68
<b>Figure 28</b> : Exemple d'appareils déferrailleurs.....	69
<b>Figure 29</b> : Séparateurs à BI en voie sèche à tambour .....	69
<b>Figure 30</b> : Séparateurs à basse intensité en voie humide .....	71
<b>Figure 31</b> : Séparateur à haute intensité en voie sèche à rotor induit.....	72
<b>Figure 32</b> : Séparateur à HI en voie humide type Jones DP 317 double rotor (KHD Humboldt Wedag) .....	74
<b>Figure 33</b> : Séparateur à électroaimant de type laboratoire à champ magnétique à haute intensité.....	76
<b>Figure 34</b> : Séparateur magnétique à aimant permanent (type laboratoire) .....	80
<b>Figure 35</b> : Angle de contact pour un système Solide-Liquide-Gaz .....	85

<b>Figure 36</b> : Cellule de flottation subaérée Denver Sala Sub-A .....	86
<b>Figure 37</b> : Schéma d'une colonne de flottation.....	86
<b>Figure 38</b> : Schéma de traitement du minerai de fer-cuivre de Douamis(Ouenza).....	92
<b>Figure 39</b> : Flow sheet de traitement de minerai Cu-Fe de Douamis-Ouenza .....	94
<b>Figure 40</b> : Répartition massique des sources de poussières pour l'exploitation d'une mine à ciel ouvert-hors traitement .....	99
<b>Figure 41</b> : Conditions et sources d'un drainage minier acide .....	104
<b>Figure 42</b> : Schéma simplifié du phénomène d'oxydation de la pyrite .....	105

## LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Pages
<b>Tableau 1</b> : Principaux pays producteurs de minerai de fer (en Mt).....	2
<b>Tableau 2</b> : Productions (en Mt) de Cu en 2007 .....	7
<b>Tableau 3</b> : Consommation mondiale de cuivre en Mt par secteurs .....	8
<b>Tableau 4</b> : Procédés minéralurgiques et leurs conditions et limites d'utilisation.....	11
<b>Tableau 5</b> : État des réserves de la mine de l'Ouenza (30/06/2006).....	21
<b>Tableau 6</b> : Exemple de production planifiée pour l'année 2008. ....	23
<b>Tableau 7</b> : Les principales informations et conditions de prélèvement des échantillons du quartier Douamis .....	30
<b>Tableau 8</b> : Résultats d'analyse préliminaire par fluorescence X du minerai fer cuivreux de Douamis.....	31
<b>Tableau 9</b> : Résultats d'analyse granulométrique .....	37
<b>Tableau 10</b> : Caractéristiques techniques des principaux minéraux de minerai .....	41
<b>Tableau 11</b> : Distribution des minéraux en fonction de densité.....	42
<b>Tableau 12</b> : Distribution des minéraux selon leur conductibilité. ....	42
<b>Tableau 13</b> : Classification des métaux selon leur flottabilité .....	43
<b>Tableau 14</b> : Susceptibilités magnétiques spécifiques $c$ de quelques minéraux ( $c > 0$ ) ou diamagnétiques ( $c < 0$ ) .....	44
<b>Tableau 15</b> : Différents types de séparateurs magnétiques .....	75
<b>Tableau 16</b> : Caractéristiques des séparateurs pour un minerai de fer hématitique .....	75
<b>Tableau 17</b> : Résultats et condition des essais de la (SMHI) .....	79
<b>Tableau 18</b> : Résultats et condition des essais de la (SMBI) précédée par grillage à 800°C.....	82
<b>Tableau 19</b> : Domaine de variation de la consommation de réactifs de flottation.....	87
<b>Tableau 20</b> : Paramètres technologiques des principales opérations de traitement du minerai de Douamis. ....	91
<b>Tableau 21</b> : Sources de différents agents de pollution et de nuisances .....	98

## Résumé

Le gisement de l'Ouenza est le principal fournisseur en minerai de fer hématitique du complexe sidérurgique d'El Hadjar, par conséquent l'élaboration de l'acier se heurte à des problèmes techniques liés à la présence des minéraux cuivreux en proportion importante dans les différents quartiers du gisement de fer, en particulier, Douamis et Hallatif. A cet effet un traitement minéralurgique préalable est préconisé pour remédier aux perturbations techniques d'élaboration métallurgique.

Cependant l'étude du minerai a été menée sur la caractérisation minéralogie-chimique du minerai de fer-cuivre. Des échantillons prélevés ont été soumis à des observations par microscopie, DRX, FX et analyses chimiques complémentaires par absorption atomique. Les minéraux ainsi identifiés sont principalement (Hématite, Sidérose) pour le fer et (Chalcopirite, Pyrite, Tétrahédrite et l'Azurite) pour le cuivre. La gangue est représentée essentiellement par la calcite et le quartz.

Les échantillons analysés titrent en moyenne 0,9% (Cu) et 50% (Fe). Après une étude des propriétés physico-mécaniques des constituants du minerai, on préconise ainsi une séparation du minerai par séparation magnétique à haute intensité puis à basse intensité précédé par un grillage magnétisant à 800C°, pour l'extraction en premier lieu des minéraux ferrières puis une concentration des minéraux cuivreux par une flottation directe.

Les résultats du premier essai de séparation magnétique à haute intensité n'ont donné aucun signe de séparation pour raison de la faible susceptibilité magnétique du minerai, mais la séparation prend de l'efficacité avec la séparation magnétique à basse intensité, avec un grillage qui a abouti à une extraction moyenne de 76% fer et 30% cuivre avec des teneurs respectives de 58% et 1.17%.

L'extraction du cuivre des rejets de la séparation magnétique a été facilement réalisée par une flottation directe, dont les teneurs (15%) et degré d'extraction de (85%) de cuivre témoignent l'efficacité de ce procédé de séparation.

**Mots clés** : Mine Ouenza, Minerai Fe-Cu, Traitement des minerais, Séparation magnétique, DRX

**Abstract**

The deposit of Ouenza is the main supplier of the hematite iron ore steel complex El Hajar. Therefore, the development of the steel faces technical problems related to the presence of copper minerals in proportion in different parts of the iron deposit, in particular, Douamis and Hallatif. For this purpose, a mineral processing is called for to address prior to disturbance metallurgical processing techniques.

However, the study of ore has been conducted on the mineralogical and chemical characterization of iron-copper ore. Samples were subjected to microscopy observations, XRD, chemical analysis and FX additional atomic absorbance. The minerals identified are mainly (Hematite, Siderite) for iron and (Chalcopyrite, Pyrite, Tétrédrite and Azurite) for copper. The gangue is mainly represented by calcite and quartz.

Samples analyzed evaluate by an average of 0.9% Cu and 50% Fe. After a study of physico-mechanical components of the ore, it recommends a separation of the ore by magnetic separation with high intensity and low intensity preceded by a fence magnetizing at 800C ° for the first extraction of iron minerals, and concentration of copper minerals by direct flotation.

The results of the first test of high intensity magnetic separation has been no sign of separation because of low magnetic susceptibility of the ore, but the separation takes the efficiency with low magnetic intensity that resulted in an average extraction 76% iron and 30% copper with respectively 58% and 1.17%.

The extraction of Copper in the tailings magnetic separation was easily achieved by direct flotation whose content (15%) and the degree of extraction (85%) of copper, show the effectiveness of the separation process.

**Keywords:** Ouenza mine, Fe-Cu ore, Mineral Processing, Magnetic Separation, XRD.

## ملخص

يعتبر منجم الحديد بالونزة الممّون الرئيسي للمركب الصناعي بالحجار بالحديد الخام إلا أن صناعة الفولاذ بهذا الأخير تواجهها عراقيل تقنية ذات الصلة بوجود معادن النحاس بنسب معتبرة لاسيما في الحديد الخام المستخرج من الجزء المسمى الدواميس و لهذا الغرض تستوجب عملية صناعة الحديد معالجة مسبقة للمادة الخام من أجل إزالة المادة الزائدة من النحاس للحصول على نوعية جيدة من الفولاذ المنتج .

وقد أجريت هذه الدراسة على المادة الخام من أجل التوصل إلى طريقة لفصل العناصر المعدنية و الكيميائية للحديد الخام المستخرج من منجم الوزنة وبالضبط من الجزء المسمى الدواميس حيث تم أخذ عينات للفحص و التحليل بمختلف الطرق الفيزيائية و الكيميائية ( المجهر , FX , DRX.....) وتم فصل المكونات الحديدية عن المكونات النحاسية إضافة إلى بعض العناصر و المكونات المعدنية العقيمة.

وأظهرت نتائج التحليل أن متوسط النحاس يبلغ 0,9 % و متوسط الحديد يمثل 50 % من محتوى المادة الخام وبعد دراسة الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للمكونات الأساسية للمادة الخام تم اقتراح بعض الطرق لفصل بعضها عن بعض. أولاً بطريقة الفصل المغناطيسي بشدة اقل بعد تحميمها في درجة حرارة تقارب 800 م° من أجل فصل المكونات الحديدية وثانياً بطريقة الطفو المباشر لاستخراج المكونات النحاسية أما النتائج فكانت غير مشجعة بالنسبة للتجربة الأولى ويرجع ذلك إلى ضعف قدرة التمغنط لدى المادة الخام ولهذا عند استعمال طريقة التحميم تم الفصل المغناطيسي ذو الشدة الضعيفة تم استخراج 76 % من الحديد و 30% من النحاس وبمحتوى 58% و 1,17% على التوالي. أما عملية استخراج النحاس فقد تمت بسهولة وفعالية أفضلت إلى 15 % من النحاس من الكمية المستخرجة.

كلمات البحث : الوزنة ، خام الحديد ، النحاس ، معالجة المعادن ، الفصل المغناطيسي ، XRD

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	I
LISTE DES FIGURES .....	II
LISTE DES TABLEAUX .....	III
RESUME .....	IV

### INTRODUCTION

INTRODUCTION .....	1
--------------------	---

### CHAPITRE I

#### ANALYSE TECHNIQUE DE L'EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU MINERAI DE (Cu-Fe)

1. INTRODUCTION .....	2
2. PRODUCTION DU MINERAI DE FER DANS LE MONDE .....	2
3. MARCHÉ DU MINERAI DE FER .....	3
Prix .....	3
Établissement des prix .....	3
4. PRODUCTION DU MINERAI DE FER EN ALGERIE .....	4
5. MINERAIS DE CUIVRE .....	5
5.1 Gisements .....	5
5.2 Minerais .....	6
5.3 Traitement des minerais .....	6
5.4 Production .....	7
5.5 Secteurs d'utilisations .....	7
5.6 Production du cuivre en Algérie .....	8
6. METHODES D'ENRICHISSEMENT DES MINERAIS .....	8
Introduction .....	8
6.1 Ressource minières et développement de la minéralurgie .....	9
6.2 Méthodologie de la minéralurgie .....	10
Conclusion .....	10
7. OBJECTIFS RECHERCHES PAR LA PRÉSENTE ETUDE .....	11
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	13

### CHAPITRE II

#### ANALYSE GEOLOGIQUE ET MINIERE DE LA MINE DE L'OUENZA

1. TYPE DES GISEMENTS FERRIFÈRES .....	14
1.1 Quartzites ferrugineux .....	14
1.2 Gisements associés .....	15
1.3 Minerais de ségrégation dans les roches acides .....	15
1.4 Minerais oolithiques .....	15
1.5 Autres types .....	15
2. ANALYSE DES CONDITIONS GÉOLOGIQUE DU GISEMENT DE L'OUENZA .....	16
2.1 NATURE DU GISEMENT .....	17
2.2 MORPHOLOGIE ET STRUCTURE DE GISEMENT .....	18
2.3 MINERALISATION .....	18
2.4 CARACTERISTIQUES ET PARTICULARITEES .....	19
2.5 HYDROGÉOLOGIE .....	20
2.6 PROSPECTION ET ETAT DES RESERVES .....	20
2.7 METHODE D'EXPLOITATION .....	21
Réserves et production .....	23
3. CARACTERISTIQUES GENERALES DU QUARTIER DOUAMIS .....	24



3.1 STRATIGRAPHIE .....	24
3.2 STRUCTURE ET TECTONIQUE.....	24
3.3 MINERALISATIONS.....	26
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i> .....	27

**CHAPITRE III**  
**CARACTERISATION MINERALOGIQUE DU MINERAI CUIVRE- FER DE DOUAMIS**

<b>1. INTERET DE L'ETUDE MINERALOGIQUE.....</b>	<b>28</b>
<b>2. LA CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE.....</b>	<b>28</b>
2.1 Prélèvement et préparation des échantillons .....	29
2.2 Préparation des échantillons .....	31
<b>3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES ECHANTILLONS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Observations macroscopiques .....	33
3.1.2 Observation de sections polies en lumière réfléchie .....	33
3.2 Analyse diffractométrique .....	34
3.2.1 Principe de la diffraction des rayons X .....	34
3.2.2 Observation de sections polies en lumière réfléchie .....	35
3.3 Analyse granulométrique.....	35
3.3.1 Description de l'essai .....	36
3.3.2 Expression des résultats de la courbe granulométrique.....	37
<b>4. ÉTUDE DES PROPRIETES DES CONSTITUANTS</b>	
<b>DU MINERAI « DOUAMIS » .....</b>	<b>40</b>
4.1 Dureté .....	41
4.2 Densité.....	41
4.3 Conductibilité électrique .....	42
4.4 Susceptibilité magnétique.....	42
4.5 Flottation.....	43
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>44</b>
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i> .....	45

**CHAPITRE IV**  
**RECHERCHE D'UN SCHEMA RATIONNEL D'ENRICHISSEMENT DU MINERAI Cu-Fe DE DOUAMIS**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>46</b>
<b>2. PARAMETRES GENERAUX DU MINERAI DE FER.....</b>	<b>46</b>
2.1.Principaux minéraux ferrifères .....	47
2.2. Principaux minéraux non ferrifères .....	47
2.3. Composition chimique.....	48
<b>3. INFLUENCE DU CUIVRE SUR LA PRODUCTION DE LA FONTE.....</b>	<b>49</b>
<b>4. Recherche sur le schéma de traitement du minerai fer-cuivre de Douamis .....</b>	<b>50</b>
4.1. Enrichissement des minerais fer cuivreux .....	50
4.2. Enrichissement des minerais de cuivre-magnétite.....	50
4.2.1 Traitement par Flottation-Séparation magnétique.....	51
4.2.2 Schéma de traitement combine : Séparation magnétique-Flottation .....	53
4.2.3 Enrichissement par grillage magnétisant suivi de séparation magnétique à basse intensité (GM+SMBI) : .....	55
Conclusion.....	55
<b>5. ÉTUDE ET CHOIX DE SCHEMA DE TRAITEMENT</b>	
<b>DU MINERAI DE DOUAMIS .....</b>	<b>56</b>

I <sup>ère</sup> variante : Séparation magnétique.....	56
II <sup>ème</sup> variante : Séparation magnétique-Flottation .....	57
III <sup>ème</sup> variante : Flottation .....	58
IV <sup>ème</sup> variante : Flottation-Séparation magnétique.....	60
CONCLUSION .....	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	64

## CHAPITRE V

### ETUDE DE SCHEMA DE TRAITEMENT DU MINERAI CUIVRE-FER DE DOUAMIS (OUENZA)

1. INTRODUCTION .....	65
2. BASES THEORIQUES DE LA SEPARATION MAGNETIQUE .....	65
3. SEPARATION MAGNETIQUE A BASSE INTENSITE (SMBI) .....	67
3.1 Séparateurs en voie sèche.....	67
3.1.1.1.Équipements de protection et de déferrailage .....	68
3.1.1.2.Séparateurs à tambour et centrifuge .....	68
3.1.1.3.Exemple d'application à la concentration en voie sèche d'un minerai de fer 69	
3.2 Séparation en voie humide .....	69
4. SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE INTENSITE (SMHI).....	71
4.1 Séparateurs à circuits conventionnels (électroaimants).....	71
4.1.1. Séparateurs en voie sèche.....	71
4.1.1.1.Séparateurs travaillant par extraction .....	71
4.1.1.2.Séparateurs travaillant par déviation .....	72
4.1.2. Séparateurs en voie humide.....	72
5. SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE INTENSITE DU MINERAI DE DOUAMIS .....	75
5.1 Principe et conditions de l'essai de séparation.....	75
5.2 Interprétation des résultats de SMHI .....	76
6. SEPARATION MAGNETIQUE A BASSE INTENSITE (SMBI) DU MINERAI DE DOUAMIS.....	79
6.1 Principe de l'essai .....	79
6.2 Grillage magnétisant .....	79
6.3 Conditions de séparation .....	80
6.4 Résultats de la séparation .....	80
7. FLOTTATION DIRECTE DU CUIVRE.....	81
7.1 INTRODUCTION .....	81
7.2 BASES THEORIQUE SUR LA FLOTTATION.....	82
7.2.1 Définition .....	82
7.2.2 Principes de la flottation.....	82
7.2.3 Machines de flottation.....	84
7.2.4 Exemple de flottation d'un minerai oxyde de fer.....	85
8. FLOTTATION DU MINERAI Cu-Fe DE « DOUAMIS » .....	86
8.1 REACTIFS UTILISES .....	86
8.2 PRINCIPE.....	88
8.3 REGIME DES OPERATIONS DE TRAITEMENT .....	89
9. DONNEES ECONOMIQUES .....	92
10. CONCLUSION .....	94
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	95

**CHAPITRE VI**  
**EVALUATION DES AGENTS POLLUANTS ET NUISANCES SUR L'ENVIRONNEMENT**  
**MINIER DE L'OUENZA**

1. INTRODUCTION .....	96
2. OBJET DE L'ETUDE .....	96
3. PRINCIPAUX SOURCES D'EMISSION DES POLLUANTS ET NUISANCES .....	96
3.1 Poussières .....	97
3.2 Phénomènes vibratoires .....	98
3.3 Bruit .....	99
3.4 Gaz et lubrifiants .....	99
3.5 Fosses et vides .....	100
3.6 Milieu naturel : la faune et la flore .....	100
3.7 Hydrologie .....	100
3.8 Hydrogéologie .....	100
4. MESURES D'ATTENUATION .....	101
5. REMISE EN ETAT DES LIEUX .....	102
6. DRAINAGE MINIER ACIDE (DMA) ET LA MINE DE L'OUENZA .....	102
6.1 Drainage minier acide (DMA) .....	102
6.2 Origine du DMA, l'oxydation des sulfures .....	103
6.3 Caractéristiques des effluents du drainage minier .....	104
6.4 L'impact environnemental du drainage minier .....	105
Conclusion .....	105
6.5. RISQUE D'UN DMA AU NIVEAU DE LA MINE DE L'OUENZA .....	105
6.5.1. Hydrologie et hydrogéologie .....	106
7. CONCLUSION .....	106
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i> .....	108

**CONCLUSION**

CONCLUSION .....	109
ANNEXE .....	111

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

L'Algérie vient d'enregistrer un saut particulier dans son parcours économique en particulier le secteur minier qui vient de connaître un nouveau souffle de reprise à de nouvelles ambitions de développement, après avoir vécu une longue période d'extinction. En juillet 2001, l'Etat algérien a pris l'initiative de le libérer de son monopole et de l'ouvrir au privé pour lui permettre une meilleure évolution de ce secteur stratégique.

Depuis l'événement de la nouvelle loi minière, de nombreux titres miniers ont été attribués, c'est ainsi que les mines de fer de Ouenza et Boukhadra, sont octroyées à un groupe international étranger (Arcelor Mittal) leader dans son créneau d'activité.

La forte demande de l'acier sur le marché national et international a entraîné un accroissement de la production du minerai de fer au niveau des deux uniques mines de fer en vue de répondre aux besoins du seul complexe sidérurgique du pays, en matière de production et de qualité.

La mine de l'Ouenza est le principal fournisseur en minerai de fer de la sidérurgie nationale avec la mine de Boukhadra en second lieu, à l'état actuel, elles ne peuvent pas assurer dans quelques années à venir la production demandée en matière de qualité. A cet effet la présente étude tourne autour d'un éventuel enrichissement de minerai fer de la mine de l'Ouenza. On s'intéresse et particulièrement au minerai cuivreux du quartier Douamis, qui représente la plus grande réserve en Cu-Fe.

L'introduction de nouvelles méthodes de valorisation permet d'obtenir des concentrés répondant aux exigences de plus en plus strictes des consommateurs. L'objectif de l'enrichissement de minerai de fer cuivreux de l'Ouenza (quartier Douamis particulièrement) est de multiplier les réserves industrielles de substances utiles à partir des minerais pauvres, et en deuxième lieu, contribué au développement de la production de l'acier, ainsi que le cuivre comme étant un second produit de cet enrichissement.

A travers cette étude (caractérisation et choix d'un schéma d'enrichissement du minerai fer-cuivre de Douamis-Ouenza), on suggère un schéma rationnel d'enrichissement de ce minerai. Dans le cadre de cette recherche des travaux ont été menés pour en solutionner ce problème, donc il s'agit de cerner et développer les parties suivantes :

- Les deux premiers chapitres sont consacrés à la littérature sur le minerai de fer, notamment celui de la mine de l'Ouenza, ainsi que les conditions géologiques et minières de la région.
- Le plan d'échantillonnage, la caractérisation minéralogique et l'étude des propriétés physico-mécaniques des constituants de minerai de Douamis sont détaillées au troisième chapitre.

L'étude de caractérisation nous a orienté à faire une étude bibliographique sur les schémas contemporains de traitement des minerais de cuivre et de fer. Le dernier volet de ce mémoire concerne la conception d'un flow-sheet d'enrichissement de ce type de minerai et la cinquième partie est totalement orientée vers l'expérimentation, des échantillons soumis à la séparation magnétique, au grillage magnétisant et à la flottation pour pouvoir cerner l'aspect des caractéristiques qualitative et quantitative du minerai étudié. L'étude d'impact des facteurs polluants et de nuisance ont été aussi pris en considération dans le présent travail.

# **CHAPITRE I** ANALYSE TECHNIQUE DE **L'EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU MINERAI DE CUIVRE-FER**

*En Algérie, l'exploitation des gisements des minerais de fer a toujours eut une place prépondérante dans l'industrie extractive du pays, c'est ainsi que dans notre cas d'étude, le gisement de l'Ouenza, le principal fournisseur en minerai de fer hématitique du complexe sidérurgique d'El Hadjar, l'élaboration de l'acier se heurte à des problèmes techniques liées à la présence des minéraux cuivreux en proportions importantes du cuivre, dans quelques quartiers du gisement de fer, en particulier, Douamis et Hallatif.*

*Est pour remédier ce problème, objectif principal de notre présent travail de recherche est l'élaboration d'une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de la mine de Ouenza*

1. INTRODUCTION

Le nom du fer vient du latin *ferrum*. Les plus lointaines découvertes du fer remontent à environ 4000 ans avant le début du calendrier chrétien. L'on retrouve ces artefacts chez les Égyptiens et les Sumériens

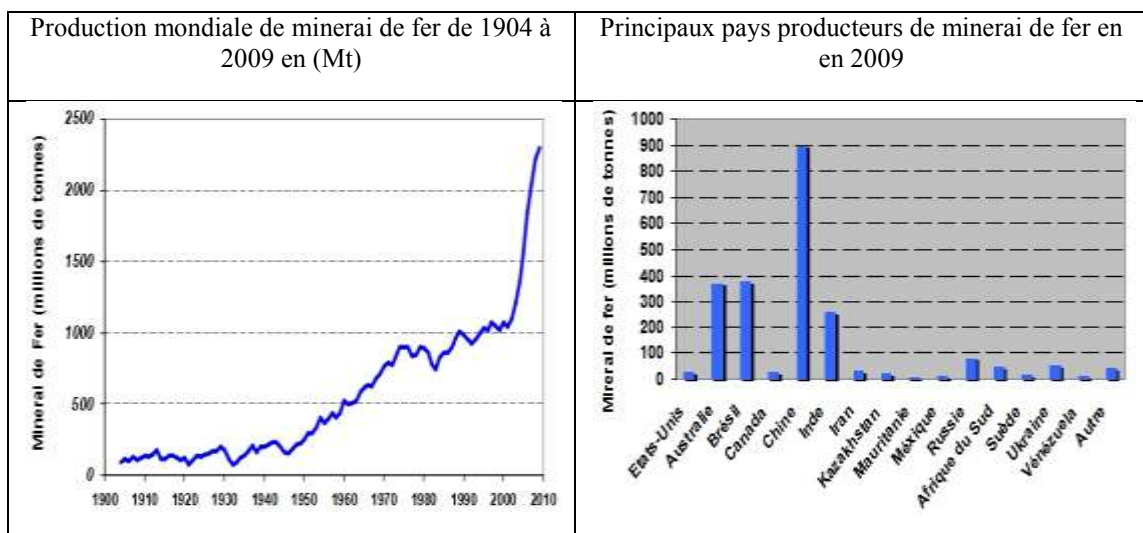
Le minerai de fer se compose de roches et de minéraux desquels du fer métallique peut être extrait de manière rentable. Le minerai extrait est habituellement riche en oxydes et en carbonates de fer et de couleur gris foncé, jaune éclatant, pourpre foncé ou rouille. Le fer lui-même se trouve généralement sous la forme de magnétite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), d'hématite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), de goethite, de limonite ou de sidérite ; l'hématite est aussi appelée « minerai naturel ». Le minerai de fer est la matière première de la fonte de première fusion, qui est elle-même la matière première principale de l'acier. [1]

En général, le minerai le plus riche en fer est le plus rentable. Lorsque sa teneur est supérieure à 54 %, il est considéré comme riche et ne nécessite aucune valorisation à part son calibrage. Lorsqu'elle est inférieure à 54 %, il est considéré comme pauvre et doit être valorisé pour en permettre la commercialisation. Il existe deux calibres de minerai de fer à forte teneur. Le premier est le minerai d'une granulométrie supérieure à 8 mm, qui est appelé « minerai en morceaux », et le second, celui d'une granulométrie inférieure à 8 mm, qui est appelé « minerai fin ».

2. PRODUCTION DU MINERAI DE FER DANS LE MONDE

Les principaux pays producteurs de minerai de fer en (Mt) et l'évolution de production depuis 1900, sont présentés au tableau 1.

Tableau 4 : Principaux pays producteurs de minerai de fer (en Mt)



Malgré le remplacement du fer dans certaines utilisations par des matériaux plus « modernes » (les plastiques et aluminium notamment), l'essor des pays émergents depuis le début des années 2000 a continué de faire exploser la demande mondiale.

L'industrie du minerai de fer était devenue très vivante et en pleine évolution dans les années soixante-soixante-dix grâce aux besoins de la sidérurgie. Le développement du transport maritime par des minéraliers de plus en plus puissants et la découverte en de nombreux points du monde d'importants gisements de minerais riches en ont considérablement modifié le commerce. [2]

La production mondiale d'acier brut, passée de 28 à 902 Mt entre 1900 et 2002 est indissociable de la mise en exploitation de nombreux gisements de minerais de fer à haute teneur. [3]

### **3. MARCHÉ DU MINÉRAI DE FER**

Dans le passé, les distances avaient divisé le monde en marchés individuels des minerais de fer. Depuis quelques décennies, on assiste à l'approvisionnement des grandes sidérurgies par des minerais ayant accompli des trajets maritimes très longs. [2]

Il n'existe pas de marché formel organisé du minerai de fer et de l'acier. La formation des prix n'est en cela pas transparente, toutefois, l'usage veut que les prix soient fixés de gré à gré entre grandes sociétés internationales.

#### **3.1 PRIX**

Bien que le prix du minerai de fer soit influencé par de nombreux facteurs subtils et variables, comme les coûts, les tarifs de fret, la qualité des produits et les taux de change, il demeure principalement tributaire de l'offre et de la demande.

Généralement, le prix du minerai de fer est d'abord négocié à huis clos entre un certain nombre d'exploitants de mines et leurs clients producteurs d'acier d'Asie et d'Europe, puis, une fois qu'un certain nombre d'ententes et de contrats annuels ont été signés, le reste des exploitants emboîtent le pas et un « prix du marché » est fixé.

#### **3.2 ÉTABLISSEMENT DES PRIX**

Il semble que la négociation annuelle d'un prix du minerai de fer avec les utilisateurs s'avère de plus en plus difficile, à mesure que l'on abandonne les contrats à long terme pour profiter du prix au comptant élevé du précieux minerai.

Le développement d'un marché financier diversifié du minerai de fer permettrait aux exploitants d'usines de traitement et aux producteurs de fixer leurs prix de manière à courir moins de risques et de favoriser un équilibre entre les prix de référence et les prix au comptant, ainsi qu'entre leurs intérêts respectifs, afin d'éliminer la combativité et la tension inhérentes aux négociations annuelles. [1]

Le minerai de fer est commercialisé sous plusieurs formes : les morceaux, blocs rocheux, de plus de 40 mm environ (lumps ou calibrés), les fines (0-10 mm) pour agglomération sur grille (ou *sinter-feed*), les boulettes (10-20 mm) ou pellets, fabriquées à partir de minerais très fins (moins de 100 mm). [2]



On estime à près de 98% la part du minerai de fer employé pour la fabrication d'acier. Ce pourcentage très élevé s'explique notamment par le caractère extrêmement polyvalent de ce métal en comparaison avec la fonte.

#### 4. PRODUCTION DU MINERAI DE FER EN ALGERIE

En dehors des hydrocarbures, le fer est l'un des principales richesses minières de l'Algérie, L'exploitation des gisements des minerais de fer a toujours eut une place prépondérante dans l'industrie extractive du pays. [4]

Les ressources nationales en matière du minerai de fer sont localisées et réparties sur six gisements dont ceux de l'Ouenza et Boukhadra situés à l'Est du pays, exploités par le groupe *Arcelor-Mittal Tébessa*, les réserves géologiques sont de 87 millions de tonnes avec 48 % Fe. Avec une production de 2 millions de tonnes/an, la minéralisation hématitique est encaissée dans les calcaires récifaux Aptiens. Actuellement dans la même région, le gisement de *Chaabet-el-Ballout* (Souk-Ahras), de réserves géologiques de 10 millions de tonnes avec 53% Fe. La minéralisation ferrifère localisée au contact Calcaires-formations grés-marneuses du Crétacé, et actuellement en phase d'étude afin de relancer son exploitation.

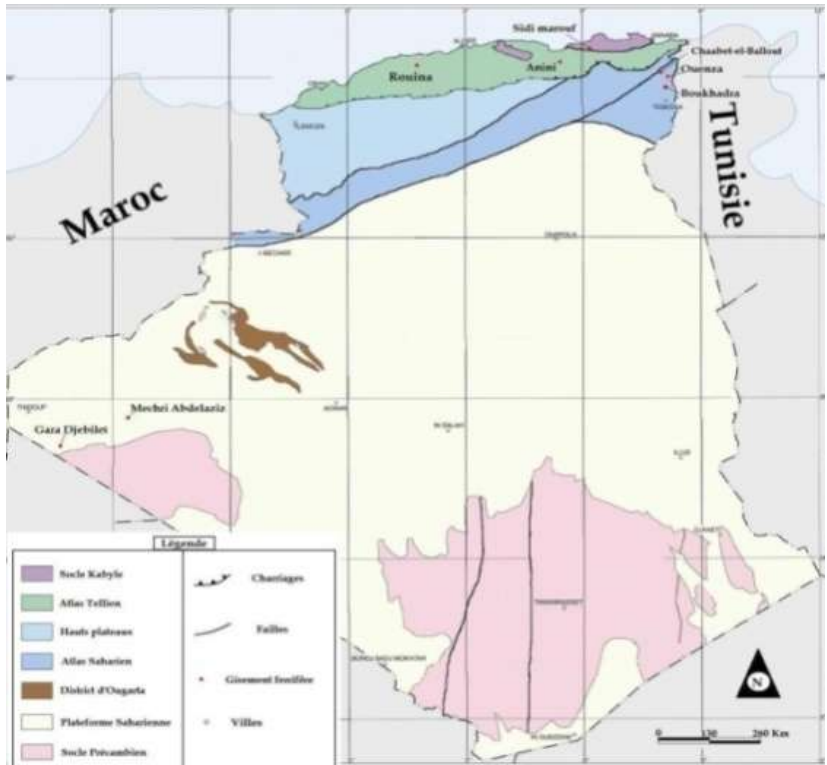
La filiale *SOMIFER-spa*, du groupe *Ferphos* à travers ses mines de *Khanguet* (Tébessa), *Sidi Maarouf* (Jijel), *Djebel Anini* (Sétif) ce dernier a des réserves géologiques de 6,75 millions de tonnes avec 55 % Fe, la Minéralisation hématitique encaissée dans les calcaires du lias sous forme de filons et de poches. Le gisement de *Rouina* (Ain Defla) assure une production du minerai de fer représenté par de l'hématite destinée essentiellement pour la fabrication du ciment. [2]

Certains autres gisements de fer de réserves plus réduites sont dans les prospectives d'une exploitation et d'autres épuisées ou en voie d'épuisement (Béni-saf)

Les autres gisements non encore exploités se trouvent dans la région du sud-ouest du pays : Il s'agit de grand gisement de *Gara-Djebilet* : les réserves géologiques arrivent jusqu'à 2 milliards de tonnes avec 57% Fe et de minéralisation ferrifère oolithique sous forme de corps lenticulaires encaissés dans les grès du Dévonien inférieur (Praguien).

*Mecheri-Abdelaziz* : réserves géologiques sont de 1 350 millions de tonnes avec 52% Fe, une minéralisation ferrifère oolithique localisée sous forme de lentilles dans les grès du Dévonien supérieur (Fammenien) [5].

La carte ci-dessous (figure 1) montre les principaux gisements de fer en Algérie.



**Figure 1 :** Carte des gisements de fer en Algérie (Tirée de la carte du potentiel minéral en Algérie, ORGM, 2001)

**5. MINERAIS DE CUIVRE**

Le cuivre est un métal naturellement présent dans la croûte terrestre et essentiel au développement du plusieurs secteurs. C’est le plus ancien métal utilisé par l’homme : les premières pièces de monnaie en cuivre datent de 8 700 ans avant JC. Les réserves naturelles minières de cuivre sont estimées actuellement à 2,3 milliards de tonnes.

**5.1. GISEMENTS**

Les ressources mondiales sont associées à un nombre restreint de type de gisements : porphyres cuprifères, gisements de gros volume à faible teneur, d’importance croissante depuis un demi-siècle quoiqu’exploités depuis la décennie 1910-1920, surtout au Chili, parfois avec skarns associés; gisements stratiformes dans des sédiments : schistes cuprifères, grès cuprifères ou Red bed cuprifères ; amas sulfurés volcanogéniques, où le cuivre est le plus souvent incorporé dans des minéralisations polymétalliques; gisements sulfurés à Cu-Ni des complexes basiques - ultrabasiques. Les grands producteurs correspondent aussi à un nombre de pays restreint (Chili, USA, Canada, Russie, Zambie, Pérou, Pologne, Australie, Chine, Indonésie).

**5.2. MINERAIS**

Très divers, plus de 165 variétés de minéraux. Les teneurs des minerais exploités sont généralement comprises entre 0,5 et 2 %, exceptionnellement jusqu’à 5 %. Les minerais se présentent sous deux formes chimiques principales qui conditionnent leur traitement :

- *Sulfurée* : 80 % de la production mondiale : Chalcopirite ( $\text{CuFeS}_2$ ), Bornite ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Chalcosine ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )... Ces gisements sont principalement de type porphyres cuprifères et sont présents dans les cordillères ouest américaines et les chaînes alpines.

- *Oxydée* (principalement sous forme de carbonates) : Malachite ( $\text{CuCO}_3$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ), Azurite ( $2\text{CuCO}_3, \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), Cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )... Les minerais oxydés sont souvent présents dans les parties supérieures des gisements, zones d'altérations importantes, le cœur de ces derniers étant sulfuré.

De nombreux autres éléments métalliques sont souvent associés au cuivre : Fe, Ni, Zn, Pb, Co, Mo, Ge, Au, Ag... Les minerais de cuivre sont une ressource importante de molybdène et de rhénium. Dans le cas particulier de la mine d'Olympic Dam (Australie) le cuivre est associé à l'uranium. La présence d'autres éléments valorisables peut parfois permettre l'exploitation de gisement de faible teneur en cuivre, comme le cas de la mine de l'Ouenza.

### 5.3. TRAITEMENT DES MINERAIS

La plus grande partie des minerais (représentant, 80 % de la production primaire de cuivre) subit une concentration avant des opérations pyrométallurgiques suivies d'un raffinage. Une partie des minerais (représentant, 20 % de la production primaire de cuivre) est traitée, sans concentration, selon les procédés de dissolution-extraction par solvant, puis électrolyse, donnant directement du cuivre de qualité commerciale sous forme de cathodes.

Pour la concentration, ce qui concerne les minerais sulfurés c'est le broyage fin des minerais (grains  $< 0,15$  mm) suivi d'une concentration par flottation dans des cellules de 60 à 100  $\text{m}^3$ . La molybdénite ( $\text{MoS}_2$ ) contenue ; par exemple flotte naturellement, le sulfure de cuivre étant alors déprimé à l'aide de sulfure de sodium (0,2 g/L). Le taux de récupération du molybdène est compris entre 27 et 60 %. La flottation des sulfures de cuivre est réalisée en présence de xanthates (25 à 300 g/t) ou de dithiophosphates (100 à 150 g/t). Le taux de récupération du cuivre atteint 90 à 95 %. Les concentrés obtenus contiennent environ 31 % de Cu. Les opérations de concassage et broyage représentent jusqu'à 85 % des coûts de concentration dans les usines de traitement du cuivre [8].

La métallurgie du cuivre traité s'effectue selon deux voies :

- Pyrométallurgiques destinée aux minerais sulfurés. Elle concerne, 84 % de la production et nécessite un raffinage ultérieur. Elle est approvisionnée principalement par des concentrés qui représentent 85 % du cuivre traité. Les 15 % restant proviennent du recyclage de déchets.

- Hydrométallurgique destinée aux minerais oxydés ou aux minerais sulfurés pauvres traités par biolixiviation. Elle concerne, 16 % de la production et ne nécessite pas de raffinage ultérieur. Elle est réalisée dans des installations obligatoirement proches de l'extraction minière.

#### 5.4. PRODUCTION

Le marché mondial de cuivre en constante progression, dominé par l'Europe et la Chine. Au niveau mondial, l'usage de cuivre a atteint 22,450 millions de tonnes à fin 2004, alors qu'il était inférieur à 10 millions de tonnes en 1970. La demande mondiale de cuivre a progressé de 37 % sur les 10 dernières années, dont 5,4 % pour la seule année 2004. à titre d'exemple le tableau 2 donne la production mondiale de cuivre en 2007.

**Tableau 5 : Productions mondiale de Cu en (Mt)**

Chili	5,557	Chine	946	Russie	690
Pérou	1,190	Australie	871	Canada	589
Etats-Unis	1,177	Pologne	452	Zambie	528
Indonésie	789	Kazakhstan	407	Mexique	347

#### 5.5. SECTEURS D'UTILISATIONS

Le cuivre est de plus en plus utilisé dans le monde. Selon le dernier rapport de l'International Copper Study Group (ICSG), en 2007, l'utilisation totale a atteint 23,7 millions de tonnes (+5 % par rapport à 2006), utilisé pour ses propriétés uniques : meilleur conducteur électrique et thermique parmi les métaux d'usage courant, durable, antibactérien, etc. (Voir tableau 3)

**Tableau 6 : Consommation mondiale de cuivre en million de tonnes par secteurs**

	France	Europe	Etats-Unis	Japon
Electricité	43 %	41%	21 %	33 %
Bâtiment	29 %	31 %	50 %	22 %
Transport	12 %	10%	10 %	8 %
Mécanique	6 %	10 %	9 %	7 %
Electroménager	6 %	5 %	10 %	18 %
Chimie	3 %	-	-	-

Le cuivre est un matériau central pour l'innovation dans de nombreux secteurs : énergies renouvelables et amélioration de l'efficacité énergétique, bâtiment durable, transports de demain, hôpitaux...

## **5.6. PRODUCTION DU CUIVRE EN ALGERIE**

Le minerai de cuivre a resté longtemps comme un produit auxiliaire dans l'exploitation minière vu au manque de gisements à des teneurs exploitables, son extraction est due principalement à l'exploitation des gisements de minerais complexes.

Actuellement et avec la nouvelle loi minière qui ouvert les portes d'investissement dans les mines au secteur privé, des nouvelles prospections ont mis en évidence des gisements dans le grand Sud, principalement à Tamanrasset détenais par des sociétés étrangères (Mines Cancor Inc-Canada, Travaux Hydraulique Shaolinè-Chine) ou leur exploitation est démontrée grâce aux nouvelles techniques d'enrichissement approuvées qui peuvent contribuer à une exploitation rentable. Les gisements sont en phase d'étude de faisabilité et leur exploitation aura lieu dans quelques années. [5]

## **6. METHODES D'ENRICHISSEMENT DES MINERAIS**

De tous temps les mineurs ont eu la nécessité de séparer les minerais métalliques qu'ils extraient du sous-sol, de la gangue qui les entours. Les méthodes employées au moyen âge puis pendant les siècles qui suivirent furent longtemps désignées sous le nom de préparation mécanique des minerais. Il s'agissait en effet de lavage dans des appareils fort simples, tels que le « bac à piston », ces lavages ayant simplement pour objet de séparer les corps en fonction de leur densité.

Mais peu à peu, et surtout à partir du début du XX<sup>e</sup> siècle, apparurent d'autres méthodes telles que la flottation qui mettent simultanément en jeu les paramètres physiques et chimiques des corps en présence.

Les choses évoluant de plus en plus, on se trouve aujourd'hui devant un ensemble de procédés qui au total, constituant une véritable discipline dont l'importance est fondamentale pour l'approvisionnement de l'économie mondiale en matière minérale.

A la fusion directe (sans procédés d'enrichissement) est soumise seulement une faible partie de minerai de fer, l'augmentation de l'élaboration de l'acier et de la fonte provoque la diminution des réserves des minerais riches.

C'est pourquoi récemment dans tous les pays, y compris l'Algérie on met en exploitation des gites de minerais pauvres qui ne peuvent pas être soumis à la fusion directe car il ne réponde pas aux exigences du traitement métallurgique ou chimique d'après la teneur en composants utiles. [7]

### **6.1. RESSOURCE MINIERES ET DEVELOPPEMENT DE LA MINERALURGIE**

Au fur et à mesure que les ressources minières sont plus rares et que l'on exploite des gisements plus pauvres, alors que les pays développés doivent de plus en plus compter sur leur technologie et leur matière grise pour conserver leur place dans le monde, au moment ou l'opinion publique à juste titre met l'accent sur les problèmes de l'environnement et les

conditions de travail, la compétence en matière de valorisation des minerais doit être pour notre pays un atout précieux.

Comme dans de nombreux domaines techniques des industries primaires, l'évolution des procédés de séparation physiques des minéraux se déroule à une cadence qui peut paraître très lente par rapport aux progrès spectaculaires d'autres secteurs (industrie électronique, industrie pétrolière et chimique fine,...), la présentation qui suit s'efforcera de mettre en évidence certaines contraintes limitatives essentielles qui peuvent contribuer à expliquer l'inertie de ce développement, tout faits marquants dès les années quatre vingt, dans le domaine de traitement des minerais, ou minéralurgie.

La minéralurgie peut être considérée comme l'ensemble des procédés et des techniques de préparation, de séparation et d'épuration des espèces minérales ou des éléments chimiques de valeur, à partir d'une matière brute, en vue d'obtenir un concentré utilisable industriellement. En fait la minéralurgie s'étend non seulement au secteur traditionnel minier, mais encore à tous les domaines où peut se présenter, sous forme naturelle, artificielle ou résiduelle, le minerai ou l'élément chimique, dans le sol, les eaux ou l'air, en tant que produit de valeur à extraire ou à récupérer ou facteur de nuisance à éliminer.

L'objectif de la minéralurgie est de traiter les minerais afin d'en extraire, dans des conditions économiques données et sur un site dont il conviendra de préserver l'environnement, des produits de consommation primaire utiles que l'on puisse vendre avec bénéfice. Dans cette brève définition, apparaissent déjà les contraintes extérieures, rigides, imposées au minéralurgiste : le minerai, le contexte économique, l'écologie du site, les conditions de vente qui sont des données sur lesquelles il n'a pas de possibilité d'action directe.

## **6.2. METHODOLOGIE DE LA MINERALURGIE**

Quels sont les moyens, procédés ou technologie de la minéralurgie qui permettent de résoudre un problème particulier, compte tenu des contraintes que l'on vient d'exposer ?

La seule possibilité pour le minéralurgiste est d'exploiter les différences entre les propriétés des minéraux contenus dans le minerai. Cette possibilité est malheureusement limitée pratiquement par les difficultés suivantes :

La texture des roches constituant le minerai conditionne la manière dont les minéraux vont se séparer au cours des opérations de fragmentation (Concassage, Broyage). La libération des minéraux les uns des autres est une condition sine qua non de la mise en application des différences entre les propriétés des minéraux. Les propriétés des minéraux ne sont pas constantes, non seulement d'un gisement à un autre, mais également à l'intérieur d'un même gisement.

Les méthodes de séparation qui sont utilisées en pratique industrielle ont leurs limitations (tableau 4). Chaque méthode possède un domaine de dimensions (pour les particules de minerai soumises au traitement).

Il existe une limite de discrimination dans la différence entre les propriétés des minéraux, pour chaque appareil, que l'on peut définir comme la sensibilité de la méthode.

Par ailleurs, lorsque l'on essaye de faire un bilan des propriétés de minéraux qui sont effectivement utilisées pour réaliser des séparations minéralurgiques, il est clair que le nombre de ces propriétés est très faible.

**Tableau 4** : Procédés minéralurgiques et leurs conditions et limites d'utilisation

Procédés	Propriétés	Conditions et limites d'utilisation
Concentration gravimétrique	Différence de masse volumique entre les minéraux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taille des particules supérieure à 1 µm</li> <li>- Différence entre les masses volumiques des matériaux à séparer supérieure à 1g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Degré élevé de libération des contaminants inorganiques</li> </ul>
Flottation	Propriétés hydrophobes et hydrophiles des surfaces des particules	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taille des particules supérieure à 5 µm</li> <li>- Surfaces des particules à séparer démontrant des propriétés hydrophobes de façon naturelle ou stimulée (ajout de réactifs chimiques)</li> <li>- Degré moyen de libération des contaminants inorganiques (exempts de phases inorganiques incluses)</li> </ul>
Séparation magnétique	Propriétés magnétiques des minéraux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminants métalliques présentant des propriétés ferromagnétiques (fer, magnétite)</li> <li>- Taille des particules supérieure à 75 µm</li> <li>- Degré moyen de libération des contaminants inorganiques</li> </ul>
Séparation électrostatique	Différence de conductivité électrique entre les minéraux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taille des particules comprise entre 60 et 500 µm</li> <li>- Les matériaux à séparer doivent être parfaitement secs</li> <li>- Degré élevé de libération des contaminants inorganiques</li> </ul>



### 6.3. CONCLUSION

La minéralurgie, dans ce qui vient d'être exposé apparaît dans son évolution traditionnelle relativement lente dans le développement de procédés nouveaux, mais ferme dans ses réussites techniques industrielles, se dirigeant vers un gigantisme d'opération à la hauteur de sa vocation essentielle : fournir à la civilisation industrielle, au moindre coût des matières premières minérales aux qualités constantes, dont elle a besoin, à partir de minerais aux qualités variables dans le temps, mais de plus en plus pauvres, de plus en plus complexes, dans des conditions économiques sévères, en cherchant à intégrer ses opérations dans leur environnement naturel. [6]

### 7. OBJECTIFS RECHERCHES PAR LA PRESENTE ETUDE

Pour satisfaire les besoins de différents secteurs économiques en matière première, qui s'accroissent chaque année de façon exponentielle, les chercheurs se trouvent devant la nécessité de recourir à des produits à teneurs de plus en plus basses qui seraient rigoureusement inutilisables sans la mise en œuvre de méthodes d'enrichissement fort complexes qui requièrent une connaissance approfondie de facteurs physiques et chimiques. Et depuis plusieurs années les minerais de fer sont très souvent soumis à un enrichissement préalable avant d'être mis en traitement métallurgique, pour des raisons qui dépendent de l'aspect qualitatif du minerai, c'est-à-dire, celui-ci peut être pauvre ou contient des inclusions minérales nuisibles, ou d'autres substances utiles en forte teneurs, indésirables à l'élaboration de l'acier. C'est le cas dans lequel ce présent travail, va s'orienter pour la recherche d'un procédé d'extraction du cuivre présent dans le minerai de fer de l'Ouenza.

Le gisement de l'Ouenza, le principal fournisseur en minerai de fer hématitique du complexe sidérurgique d'El Hadjar, l'élaboration de l'acier se heurte à des problèmes techniques liés à la présence des minéraux cuivreux en proportions importantes dans quelques quartiers du gisement de fer, particulièrement, Douamis et Hallatif, qui représentent environ 40% des réserves. La totalité de l'exploitation est concentrée depuis longtemps sur différents quartiers (Chagoura Sud et Nord, 6 mai et Zerga) de minerais hématitiques riches qui représentent environ 60% des réserves totales.

A cet effet un traitement minéralurgique préalable est préconisé pour remédier aux perturbations techniques d'élaboration du métal.

D'un autre côté, la minéralisation cuprifère abondante associée à celle ferrifère favorise l'adoption d'un procédé de traitement qui va apporter une autre substance de valeur (cuivre) qui tient d'importance sur les marchés internationaux, à l'égard de celle du fer.

D'autres préoccupations environnementales existent aussi, les stocks de fer cuivreux générés par les anciens travaux d'exploitation peuvent mettre la région en face des menaces du phénomène du drainage minier acide (DMA) associé à l'oxydation des minéraux sulfureux, tels la pyrite, la chalcopryrite et la pyrrhotite.



Toutes ces raisons paraissent suffisantes pour mettre en place un procédé d'enrichissement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza, car son intérêt ne se limite pas à la purification du minerai de fer des inclusions cuprifères, mais surtout son enrichissement qui peut toucher d'autres gîtes de fer existants mais à faible teneurs, sans oublier l'intérêt sociaux-économique qui peut apportée l'implantation d'une installation pour son traitement dans la région.

Donc notre objectif principal du présent travail de recherche est l'élaboration d'un schéma technologique de traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza. Et pour atteindre ce but nous nous sommes basés sur les tâches et méthodes scientifiques suivantes :

- Notre étude du minerai a été menée sur la caractérisation minéralo-chimique de minerai en premier lieu. Des échantillons prélevés ont été soumis à des observations optiques par microscopie (métallographique et binoculaire), à la diffractométrie à rayon X (DRX). Et en ce qui concerne l'aspect qualitatif du minerai brut, des analyses chimiques effectuées par la fluorescence X (FX) et la Spectrométrie.
- L'étude des propriétés physico-mécaniques des constituants du minerai fer cuivreux, est leur comportement, susceptibilités et limites envers les procédés de traitement existants.
- Etude et analyse des méthodes contemporaines d'enrichissement de ce type de minerai.
- Choix des procédés de traitement adéquats à un tel minerai de fer cuivreux ainsi que les opérations complémentaires nécessaires au traitement.
- Recherche expérimentale basée sur trois techniques de traitement choisies, à savoir : séparation magnétique à haute intensité (SMHI), séparation magnétique à basse intensité (SMBI), traitement hydrométallurgique par grillage magnétisant (GM) de 800C° et 1000C° ainsi que la flottation directe du cuivre.
- Régimes recommandés pour les opérations principales de traitement.
- Elaboration et recommandation d'une technologie de traitement du minerai fer cuivreux du « Douamis »
- Etude technico-économiques de l'installation nécessaire de traitement
- Etude de l'impact environnementale sur la région due aux rejets cuivreux issus de l'exploitation des quartiers « Douamis et Hallatif »



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **M. Dumont**, Annuaire des minéraux du Canada, 2007, pp 1, 8-9
- [2] **A. Idres et M. Bounouala** (2005) : Possibilité d'une nouvelle technologie de traitement des minerais de fer de l'Ouenza par radiométrie, Journal de Physique, éd. EDP sciences, France
- [3] **J. Bloneau** Élaboration et recyclage des métaux (Minerais et Fondants -Minerais de fer) Techniques de l'Ingénieur, M 7 040/2005
- [4] **M. Bounouala** (1988), Recherche et élaboration d'une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza. *Thèse magistère*, Université d' Annaba p8.
- [5] **MEM** (Ministère de l'Energie et des Mines), Direction générale des mines, Bilan des activités minières (2007), Vol.1 pp8-9.
- [6] **G. Barbery** l'évolution des procédés physiques de séparation (*Annale des mines : la valorisation des minerais*) Juin 1979 pp31642.
- [7] **K Mensour**, Recherche d'une méthode rationnelle de traitement du minerai hématitique (pauvre) de l'Ouenza. *Thèse magistère*, (1993) Université d'Annaba p10.
- [8] **SFC** (Société Française de la Chimie), cuivre ([www.sfc.fr](http://www.sfc.fr)), 2007.

# **CHAPITRE II** ANALYSE GEOLOGIQUE ET **MINIERE DE LA MINE DE L'OUENZA**

*Le gisement de Ouenza est à la fois le plus riche et le plus important gisement de fer en exploitation en Algérie, il fut découvert en 1878, son exploitation remonte en 1921. Proche de la frontière tunisienne, ce gisement est situé dans l'anticlinal dit Djebel Ouenza.*

*Différentes hypothèses ont été proposées par les géologues pour la formation des concentrations de sidérite qui se trouve oxydée dans la zone superficielle on formant des amas stratoïdes d'extension kilométrique, encaissés dans des calcaires récifaux de l'Aptien. Récemment les études disent que cette formation est liés à la mise en place de diapirs argilo-gypseux.*

*L'exploitation des réserves géologiques restantes, s'effectue à ciel ouvert, pour atteindre une production de 1,8 à 2 millions t/an avec un taux de découverte de 2,96.*

## 1. TYPE DES GISEMENTS FERRIFÈRES

Le fer est l'un des éléments les plus abondants de l'écorce terrestre qui en contient près de 5%. C'est très probablement un des constituants essentiels du noyau, il est également présent dans les météorites et les poussières cosmiques.

Il s'est concentré en gisements, à de nombreuses époques géologiques, en de multiples endroits de la croûte terrestre et dans des conditions génétiques variées.

Une des classifications géologiques les plus complètes est celle qui est basée sur la notion de type telle que l'a proposée F. Blondel en 1955 et que l'a développée P. Routhier en 1963. Elle ne distingue pas moins de quinze types de gisements et un certain nombre de sous-types.

Tous les types répertoriés n'ont évidemment pas la même importance sur le plan économique. Seuls ceux qui correspondent aux minerais le plus fréquemment utilisés par la sidérurgie

### 1.1 QUARTZITES FERRUGINEUX

Généralement rubanés, ce sont, à l'origine, d'énormes dépôts de quartzites ferrifères dont les seuls éléments sont pratiquement la silice et les oxydes de fer.

Ces formations apparaissent dans tous les vieux socles précambriens du monde : Amérique du Nord, Brésil, Venezuela, Afrique, Scandinavie, Russie, Ukraine, Inde, Australie, et portent divers noms consacrés par les usages locaux (*itabirite, iron formation, taconite, banded hematite, quartzite, jaspillite, etc.*). Leur origine sédimentaire par précipitation chimique est très généralement admise.

D'après une hypothèse formulée plus récemment, le dépôt pendant le Précambrien de quantités considérables de quartzites ferrugineux serait étroitement lié au développement de la vie dans les océans, à une époque où l'atmosphère était composée d'azote et de gaz carbonique, mais dépourvue d'oxygène, et où les eaux, rendues acides par ce gaz carbonique, pouvaient dissoudre de grandes quantités de fer à l'état de fer ferreux. La formation de ces quartzites limitait la pression de l'oxygène à un faible niveau par fixation de tout l'oxygène produit par photosynthèse ; ce n'est que lorsque le fer fut entièrement précipité que l'oxygène put s'accumuler dans l'atmosphère, permettant l'apparition de nouvelles formes de vie.

Ces dépôts très anciens ont été soumis à un métamorphisme plus ou moins intense, et parfois ont été fortement plissés, ce qui a favorisé leur évolution ultérieure et la formation des minerais riches à hématite.

Les premiers quartzites ferrugineux exploités ont été ceux du Lac Supérieur (États-Unis). Puis ont été mis en exploitation les gisements du Québec-Labrador, du bassin de Krivoï Rog, du bassin de Suède Centrale et du Liberia (Bong).

## 1.2 GISEMENTS ASSOCIES

La plupart des grands gisements de minerais riches à hématite se sont formés aux dépens des quartzites ferrugineux, par lessivage de la silice dans des conditions géologiques et géographiques particulières et encore mal élucidées avec, dans certains cas, remise en mouvement d'une partie du fer en dissolution.

Malgré leur origine semblable, les gisements de minerais riches à hématite présentent entre eux des différences importantes, liées au dépôt originel, aux influences métamorphiques et tectoniques (plissements) qu'ils ont pu subir et aux conditions particulières de leur altération.

Les minerais riches à hématite sont associés à la plupart des formations de quartzites ferrifères (Canada, États-Unis, Venezuela, Brésil, Inde, Mauritanie, Australie, etc.). Ils constituent souvent des amas de plusieurs centaines de millions de tonnes et sont exploités dans de très grandes mines à ciel ouvert.

## 1.3 MINERAIS DE SEGREGATION DANS LES ROCHES ACIDES

Ils sont tous associés à des laves acides et comprennent toujours de la magnétite, de l'oligiste (martite) et de l'apatite. Les teneurs en fer varient entre 50 et 71 %, avec 0,8 à 2 % de phosphore. Les alcalins sont relativement abondants, le titane et le vanadium sont fréquents.

Leur nom vient de l'interprétation que les géologues ont donné pendant longtemps de leur origine : il était admis que la minéralisation dérivait du même magma que les porphyres dont elle s'était différenciée en profondeur (d'où le terme de ségrégation).

## 1.4 MINERAIS OOLITHIQUES

Les minerais de fer oolithiques sont très répandus mais pratiquement plus exploités.

Les gisements se sont formés pendant les ères primaire et secondaire. Ce sont tous des gisements sédimentaires marins, caractérisés par une texture oolithique : les oolithes sont des grains ovoïdes concrétionnés formés de couches concentriques, leurs dimensions varient de 80 µm à 2 mm environ.

Sur le plan minéralogique, ces minerais sont caractérisés par une grande variété de constituants : limonite, hématite rouge, oligiste, chlorites, magnétite, sidérose, pyrite, quartz et calcite, dont les proportions peuvent varier d'un gisement à l'autre mais aussi à l'intérieur d'un même gisement. (Gîte oolithique d'Ain Babouche, Gara Djebilet en Algérie)

## 1.5 AUTRES TYPES

On se limitera à trois d'entre eux, qui présentent ou ont présenté jusqu'à une date récente un certain intérêt pour les sidérurgistes.

**-Gisements pyrométasomatiques** sont caractérisés par la présence d'une formation particulière appelée skarns, très colorée et riche en espèces minérales variées, due à un métamorphisme de contact ou régional intense. Les minerais correspondants sont à magnétite et à oligiste. Ils peuvent être pauvres ou riches en manganèse et contiennent souvent des éléments

indésirables : cuivre, phosphore, etc. Les gisements de l'Oural, le gisement de Marcona au Pérou, Rouina-Anini, et Aïn Sedma en Algérie, aussi de nombreux gisements chinois sont rattachés à ce type.

**-Gisements de substitution** se sont formés par circulation d'eaux hydrothermales chargées en fer, qui ont entraîné le remplacement de calcaire par de la sidérose. Celle-ci s'est ensuite transformée en hématite par altération au contact des eaux de surface. Le gisement d'Ouenza, en Algérie, appartient à ce type.

**-Les placers** sont des dépôts de minéraux lourds le long des rivages ou dans les rivières. Certains rivages présentent ainsi de grandes accumulations de minéraux ferrifères (magnétite associée généralement à de l'ilménite) mélangés à du sable et faciles à enrichir. De tels gisements sont exploités à grande échelle en Nouvelle-Zélande. [3]

## **2. ANALYSE DES CONDITIONS GÉOLOGIQUES DU GISEMENT DE L'OUENZA**

Au-dessus des plateaux qui s'étendent entre l'Oued Mellègue et les monts de Tébessa apparaissent des reliefs isolés, dont les points culminants varient de 1.200 à 1,400 mètres. Le Djebel Ouenza appartient à cette série de chaînons situés de part et d'autre de la frontière Algéro-tunisienne. Constitués par des calcaires aptiens effondrés qui affectent la forme de dômes coupés de failles, ce massif renferme d'important gisement de minerai de fer, dont l'existence est connue depuis l'Antiquité. [9]

Le gisement de l'Ouenza est situé à l'extrême NNE de l'Algérie à proximité de la frontière Algéro-Tunisienne ; à 120 Km SSE du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba) auquel est relié par une ligne de chemin de fer et à 90 Km au NNE du chef lieu de la Wilaya de Tébessa. Il fait partie des confins Algéro-tunisiens (figure 3) qui sont géologiquement connus par leur caractère presque exclusivement sédimentaire. Il est à la fois le plus riche et le plus important gisement de fer en exploitation en Algérie (*cf. annexe : Histoire de l'Ouenza*), il fut découvert en 1878 et son exploitation remonte en 1921.

La minéralisation se présente sous forme de filons couches substructure ou la confusion de leurs sommets leur donne un aspect de champignons à plusieurs pieds.

Au quartier Zerga, la minéralisation se présente sous forme d'amas bien circonscrits.

La plus grande variation morphologique se rencontre dans les sommets ou les nids, lentilles, filons couches, et autres amas s'enchevêtrent parfois en un chaos indescriptible.

### **2.1 NATURE DU GISEMENT**

Les formations les plus anciennes exposées en surface sont les évaporites entremêlées (marnes bariolées à gypse, blocs de dolomies plus ou moins stratifiées, calcaires, cargneules, grès et rarement des ophites) du Trias. Selon les travaux de terrain et les observations faites par Dubourdieu 1956, [16]. La structure du Trias de l'Ouenza consiste en trois appareils diapiritiques distinctes ; Centrale, Nord-ouest et Sud-est. Cependant, les études géologiques récentes (Bouzenoune, 1993 ; 1995 & Vila, 1994 ; 1995) révèlent une structure à un seul diapir extrusif central avec deux épaulements NW et SE séparés par deux arêtes de calcaire aptiens

renversés. Un troisième diapre du trias apparaît au cœur de l'anticlinal à partir de 06 Mai au NE les trois injections se rejoignent, quant à l'axe de 06 Mai Douamis décroché par rapport à Chagoura Sud se complique en une pseudo-instruction asymétrique.

Le gisement de l'Ouenza est encaissé dans les calcaires aptiens (figure 2), l'allure principale du gîte correspond à un alignement minéralisé qui débute un peu plus au NE du pic (cote 1235), s'étend sur une longueur de 5 Km dont l'exploitation a engendré sa division en

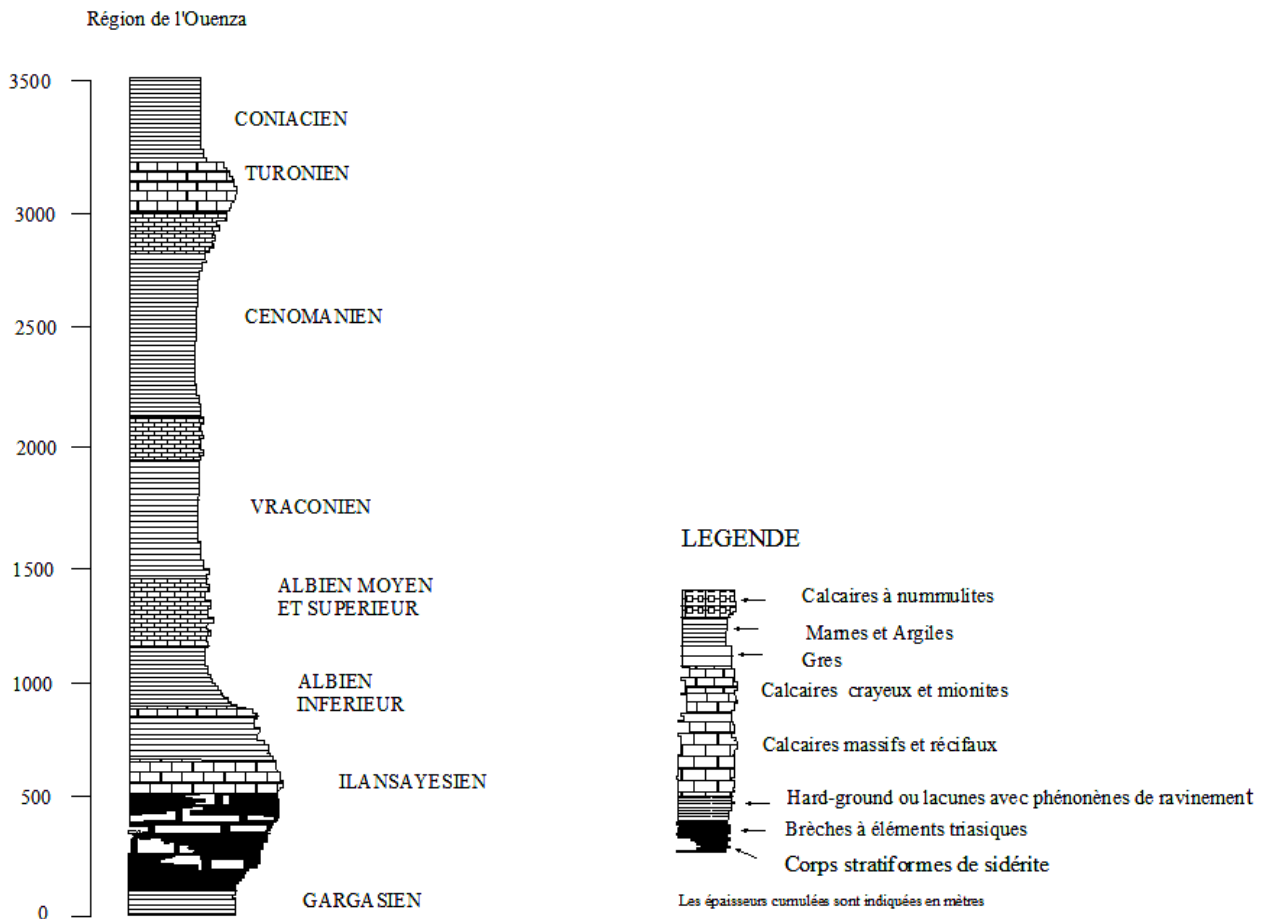


Figure 2 : Colonne stratigraphique de la région de l'Ouenza

plusieurs quartiers du NE vers le SW : Douamis, Hallatif, Conglomérats, Sainte Barbe, et les deux Chagoura Nord et Sud, de la grande structure anticlinale se localise le quartier Zerga. Au dessus du niveau hydrostatique, l'oxydation des carbonates au contact de l'air a donné naissance à l'hématite au dessous, le minerai se présente sous forme de sidérite (carbonate de fer). [10]

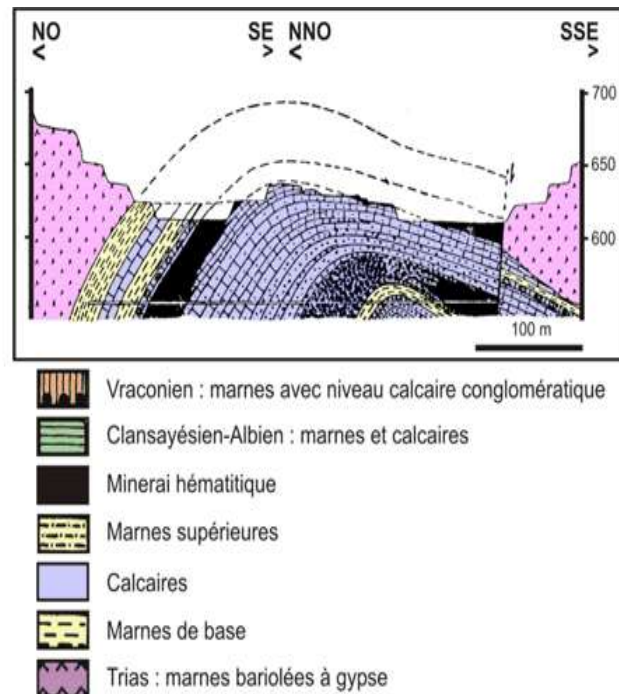
## 2.2 MORPHOLOGIE ET STRUCTURE DE GISEMENT

Le gisement de l'Ouenza se situe dans le Djebel Ouenza qui est un grand anticlinal (figure 4) de direction SW-NE. Si l'on s'éloigne de la partie périclinale SW qui se présente d'une manière spectaculaire pour aller vers le NE on verrait la masse énorme des calcaires récifaux de l'aptien qui forme l'ossature de la montagne.

Une grande faille longitudinale qui coupe le récif aptien dans une zone où il devait avoir tendance à s'amincir abaisse les terrains situés au SE du Djebel. Celle-ci se prolonge vers le NE en passant au pied du pic de l'Ouenza, et après avoir été éjecté par de petits accidents secondaires logent au Nord des parties minéralisées de la mine entre 06 Mai et Hallatif. Deux lames triasiques viennent s'injecter dans les marnes de l'albien au Nord et au Sud du Djebel. La lame Sud a fait remonter des lambeaux d'aptiens minéralisés (Quartier Zerga). [10] La présente structure du massif est due aux effets de la poussée diapirique du Trias.



**Figure 3 :** Schéma structural des confins algéro-tunisiens (Vila, 1980, L. Sami, 2004).



**Figure 4 :** Coupe dans la structure anticlinale de la mine de l'Ouenza

## 2.3 MINERALISATIONS

La minéralisation se présente sous forme de filons couches substructure ou la confusion de leurs sommets leur donne un aspect de champignons à plusieurs pieds. La plus grande variation morphologique se rencontre dans les sommets ou les nids, lentilles, filons couches, et autres amas s'enchevêtrent parfois en un chaos indescrivable. Au quartier Zerga, la minéralisation se présente sous forme d'amas bien circonscrits. [2]



Les minerais sont constitués essentiellement d'hématite qui résulte de l'oxydation des amas de sidérose et de pyrite (carbonates situés sous le niveau hydrostatique (Bouzenoune, 1993). Le carbonate provient lui-même de la métasomathose des calcaires récifaux de l'aptien par des venues minéralisantes sulfureuses. Les hydroxydes de fer sont le résultat de la désagrégation de l'hématite.

L'hématite exploitée se présente soit sous forme pulvérulente de couleur bleue ou noire rougeâtre, soit en masse terne sans cristaux apparents ou encore en masses homogènes mais laissant apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté.

Une série d'intermédiaire entre le minerai primaire et celui secondaire constitue une part importante dans les réserves de la mine. Outre, le minerai de fer, il faut signaler une faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu ...), le long de la faille du pic.

Notons enfin que les concentrations ferrifères considérées comme les plus importantes en Algérie et le patrimoine minéralogique de la région de l'Ouenza est très riche et varié : Gypse (Saccharoïde et fer de lance), barytine (feuilletée et massive) Quartz (parfois d'une pureté exceptionnelle et offrant des cristaux d'une rare régularité), pyrite, Fluorine (en cristaux blancs ou violets) calcite et Aragonite sous diverses formes et particulièrement en stalactite et stalagmite), Azurite, malachite. La goethite forme des encroûtements à surface mamelonnée, La limonite (souvent associée à la goethite), la sidérite et l'ankérite qui montrent souvent un aspect bréchiq[ue] [10]

Des minéralisations polymétalliques à Cu-Pb-Zn-Ba-F, d'ordre économique, sont signalées dans certains secteurs du massif (quartiers Hallatif et Douamis). Ces gîtes sont généralement encaissés dans les calcaires à caractère récifal de l'Aptien : "Calcaires à milioles".

La liste sus citée ne pourrait pas être exhaustive et une étude microscopique généralisée sur tout le gisement en déceler d'autres.

## **2.4 CARACTERISTIQUES ET PARTICULARITES**

Les particularités géologiques du gisement qu'on peut citer :

- La grande variabilité de la qualité surtout celle des corps de minerai localise dans le flanc N.W du grand anticlinal. Mais un soupçon de régularité se décèle dans les quartiers de l'aval, d'une façon discontinue et plutôt local.
- La sidérose, outre sa position naturelle (au dessous du niveau hydrostatique) affleure curieusement sur des surfaces importantes dans d'autres quartiers (Zerga, Ilot, Chagoura Sud).
- L'extinction nette (contact) de la minéralisation dans le flanc S.E du pseudo-anticlinal 06 Mai Douamis et son enrichissement en calcite. [10]
- Les deux flancs du même grand anticlinal sont différents de tous les points de vue (structure, complexe lithologique, morphologie des corps minéralisés...).

## 2.5 HYDROGEOLOGIE

Le réseau hydrographique est peu abondant en ressources aquifères, les principaux cours d'eau sont : Oued Mellague et Oued El Kseub dont les débits sont irrégulières et varie selon la saison et la quantité de précipitation (Pluviométrie). [10]

Le comportement hydrogéologique des terrains existants à Ouenza se résume comme suit :

- Du fait de leur hétérogénéité, les terrains triasiques contenant du gypse et du sel sont perméables et dans lesquels les eaux s'infiltrent et y circulent pour devenir saumâtres et ne peuvent convenir qu'à l'emploi industriel.
- Les calcaires, s'ils sont fissurés, permettent l'infiltration des eaux et même leur circulation.
- Les marnes qui forment malheureusement la plus grande surface affleurante dans la région sont imperméables, et toutes les eaux de pluie ruissellent ou s'évaporent.
- Les terrains quaternaires n'ont pas une importance hydrogéologique.

En général toutes les roches de la mine sont fracturées et l'eau de pluie qui y tombe s'infiltré à travers les fissures. [11]

La couverture végétale est pauvre et représentée essentiellement par des petites forêts de pins d'Alep. A ce titre la population de la région vit généralement de l'activité minière et l'élevage d'ovins et de caprins. [10]

## 2.6 PROSPECTION ET ETAT DES RESERVES

Les travaux de prospection effectués par la mine de l'Ouenza s'étalent sur une période de 50 ans ; en plusieurs campagnes avec des moyens et approches différentes ; ce qui a permis de délimiter la minimalisation ferrifère et dévaluer son importance.

Le gisement de l'Ouenza a été prospecté essentiellement par des ouvrages miniers et sondages (verticaux, inclinés et horizontaux) selon un réseau de maille variât d'un gîte à l'autre ; allant de (50x50m) et peut être resserre jusqu'au (25x25m) et encore moins dans certains gîtes.

Le volume des travaux réalisés ; a permis d'évaluer les différents sites potentiels de la mine qui sont en phase d'exploitation ; et de délimiter la minéralisation pour les sites vierges aux abords immédiat de la mine tel que : Kahkouh et Souda. [3]

Les résultats des travaux de prospection a permis d'évaluer les réserves géologiques et exploitables par catégorie au tableau 5 comme suit :

Tableau 5 : État des réserves de la mine de l'Ouenza (30/06/2006)

Mine	Quartiers	Tonnage			Taux de découverte
		Minerai	Fer %	Stériles	
MINE DE O U E N Z A	Chagoura Sud	6922000	48.9	16285511	2.35
	Chagoura Pic	6637049	53.4	27046665	4.08
	Chagoura Nord	10608597	49.6	26645240	2.51
	Ste Barbe	5267936	48.3	21216761	4.03
	Conglomérat	376686	46.6	1779731	4.72
	Douamis	8516889	52.9	/	/
	Zerga	2649394	42.6	3423281	1.29
<b>Sous Total</b>		<b>40978551</b>	<b>50.34</b>	<b>96397189</b>	<b>2.96</b>

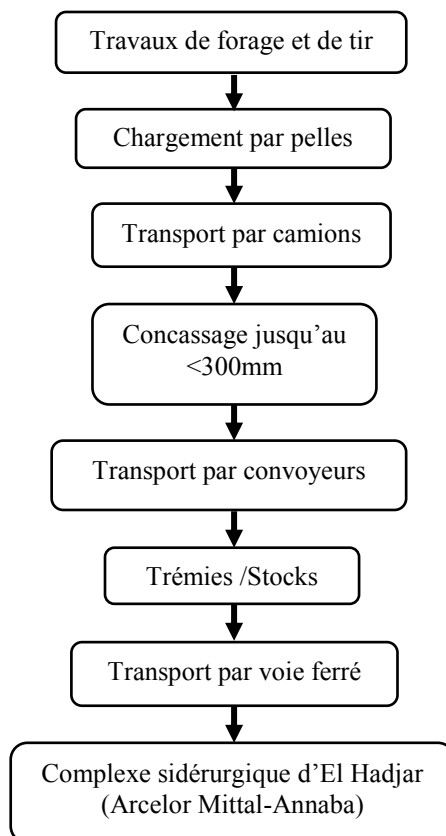
## 2.7 METHODE D'EXPLOITATION

Pour les gisements à relief montagneux tel que le gisement de l'Ouenza, le mode d'exploitation appliqué est par fonçage avec un seul bord exploitable, le contour de la mine n'étant pas fermé. L'exploitation de tels gisements, disposés sur un flanc de coteau de pente 35°, se fait de haut en bas. L'extraction du minerai est réalisée par gradin de 13 à 15 m de hauteur, un angle du talus de 75 à 80° et une largeur des bermes de 7 à 12 m. Le programme d'exploitation est fondé sur une production de 1,8 à 2 millions t/an avec un taux de découverte de 2,96. Selon le projet d'exploitation, la fosse finale aura une profondeur de 620 m, l'angle du bord inexploitable de la mine est de 32°.

L'exploitation du minerai et du stérile se fait par les tirs d'abattage par explosifs, après la préparation des trous de mine par forage des trous généralement verticaux de 160 mm de diamètre par des sondeuses de type INGERSOL RAND et ATLAS COPCO et leur chargement par des explosifs, dont le but est de fragmenter la masse rocheuse afin de permettre son évacuation. En moyenne, il y a un tir par jour, ce qui permet d'atteindre la production journalière de minerai et de stérile. L'abattage se réalise en une seule étape avec une quantité de charge explosive moyenne de l'ordre de 1,5 tonne. Le volume moyen de la volée est de 4500 m<sup>3</sup>. Si le tir donne de gros blocs, difficiles à charger, transporter ou à concasser, alors un débitage secondaire sera entrepris. Cette situation se produit en général dans les calcaires où le massif est fracturé et la roche est saine. [11]

Les matériaux fragmentés sont chargés par des excavateurs à commande mécanique (P&H) ou hydraulique (KOMATSU) de 5 à 6 m<sup>3</sup> et sont ensuite transportés par des camions (dumpers) (CATERPILLAR) de 40 et 50 tonnes. Le minerai est conduit soit vers le stock à proximité du concasseur, ou vers le concasseur giratoire qui peut traité des blocs de dimensions arrivent à (1000mm). Les blocs de minerai envoyés au concasseur ont une taille nettement inférieure à la limite demandée pour le concasseur, car il y a un triage au niveau du chantier. Les blocs hors gabarits sont mis de côté pour subir un débitage secondaire. Très souvent, on fait appel au tir de relevage pour pallier la mise au point du tir par mines profondes verticales. Dans certains cas, cette pratique devient complémentaire et systématique par le tir simultané de mines de relevage avec des mines profondes verticales. Le but de cette méthode de tir est la suppression du pied qui peut subsister à la base du front après le chargement des produits. De cette manière, le sol souhaité au niveau voulu sera facilement réaliser. Le minerai concassé est acheminé par une séries de convoyeurs vers les stocks ou les deux trémies, d'où son expédition par trains (voie ferrée électrifiée) vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar.

L'extraction est préparation du minerai de l'Ouenza se résumant par le schéma technologique présenté dans la figure 5.



**Figure 5** : Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza

Le minerai de fer de l'Ouenza préparé ne subit pas un enrichissement car sa teneur en fer actuellement extrait (généralement de l'hématite) est très qualitative (50% en moyenne), donc le minerai représente un produit marchand pour le consommateur métallurgique (avec une certaines nocivités due à l'exploitation et la présence de certains éléments minéralogique pénalisants et en particulier le cuivre). [4]

Le quartier Douamis qui est l'objet de cette étude, n'est pas encore en exploitation, un projet prospectif de sont exploitation est en étude.

### 2.7.1 Réserves et Production

L'analyse de la situation actuelle de la mine et de celle qui a prévalu pendant les années écoulées ; nous renseigne sur un déficit énorme en matière de découverte. Or il est admis que l'évolution harmonieuse des carrières doit tenir compte, et sur le même pied d'égalité du minerai et de la découverte ; bien plus et compte tenu des impératifs de l'exploitation du minerai et le maintien de la demande sur ce dernier, les besoins des quartiers en matière de découverte se sont vu augmentés. Avec cette situation là ; l'extraction du minerai va connaître plus de difficultés à travers en particulier ; les quartiers de Chagoura Nord ; Sud et 06 Mai.

Vu l'importance des réserves géologiques, la mine sera contraignait de changer ses stratégies de développement et en particulier le mode d'exploitation actuel. C'est-à-dire, la relance de l'exploitation souterraine pour certains quartiers tel que Douamis et 06Mai qui sont en plus de leur rapprochement des cités d'habitations qui constituent un obstacle pour les travaux d'abattage et de tir ; le rapport de découverte moyen dépasse de loin 5 ; ce qui rend la tache difficile pour tout accès au minerai à ciel ouvert. [11]

Un exemple de production planifiée pour l'année 2008, (Tableau 6) ou l'objectif d'atteindre 1,8 millions de tonnes du minerai n'a était pas réaliser suite au taux de découverte élevé, et impasses techniques liées aux engins de transport surtout.

Tableau 6 : Exemple de production planifiée pour l'année 2008.

Quartiers	Minerai		Stérile	
	Prévisions	Réalisés	Prévisions	Réalisés
Chagoura Nord	500000	303294,3	3440381	849482,2
Chagoura Sud	850000	500188	2414524	1197777
Chagoura Pic	0	0	393000	0
Ilot/06 Mai	298000	206551	1234000	325450
Zerga	152000	139203	468000	2614000
<b>Total</b>	1800000	1149236	8330000	26114000

### 3. CARACTERISTIQUES GENERALES DU QUARTIER DOUAMIS

Les collines calcaires de Douamis s'étendent sur un peu plus de 800m de SW au NE avec une largeur pouvant atteindre 450m. L'allure anticlinale se continue, les plongements ont de 30 à 40° au NW et de 40 à 50° au SE. Le Trias enveloppe toujours de part et d'autres les calcaires Aptiens, Au delà de Douamis et après quelques recouvrements récents, l'Aptien se retrouve enfin au Kaudiat es Snouber. [16]

La région étudiée est située dans la partie Nord-est du Djebel Ouenza et dans le prolongement du quartier d'Hallatif, elle est subdivisée en deux parties : Douamis-Hallatif et Douamis jour.

Le quartier Douamis présente deux sortes de minéralisations : une minéralisation essentiellement en hématite et une autre cuprifère en cuivre gris assez importante qui pourrait être exploitée avec profit.

#### 3.1 STRATIGRAPHIE

La région de Douamis comporte essentiellement des terrains supposés aptien supérieur (seul des microfossiles ovalvcolina-recherli observées qui on permit de dater un niveau de série avec précision). Il ya également un lambeau de trias observable sur le versant SE du coté Douamis-Hallatif : il est formé des marnes gypsifères verscoles renfermants des passés dolomitiques et des éléments bréchiqes polygéniques très nombreux (voire la colonne stratigraphique ci-dessous à la figure 7).

#### 3.2 STRUCTURE ET TECTONIQUE

La région est très tectonisée, (figure 6) les cassures sont très nombreuses et pourraient être dues aux contrecoups des failles principales ou du renversement de la série.

Deux types de formations sont décelés :

- a. *Déformations souples* : l'anticlinale de Douamis de l'axe orienté SO-NE n'est pas rectiligne et plus incliné vers le Nord du coté Douamis jour.
- b. *Déformations cassantes* : trois catégories de telle déformation sont vues à Douamis a savoir :
  - Failles longitudinales (orientées Sud Est et Nord Est)
  - Failles transverses (Nord Sud)
  - Diaclases (suivant la stratification, perpendiculaires et oblique par rapport à la stratification)

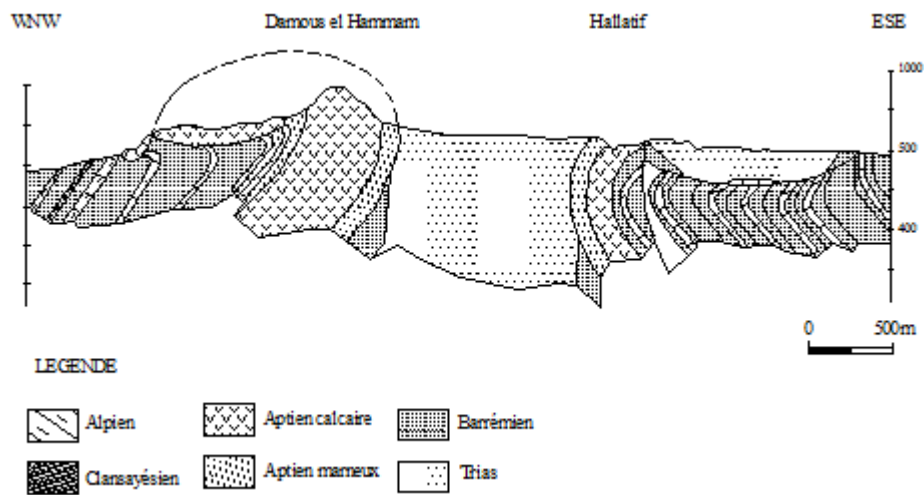


Figure 6 : Structure géologique du quartier Douamis

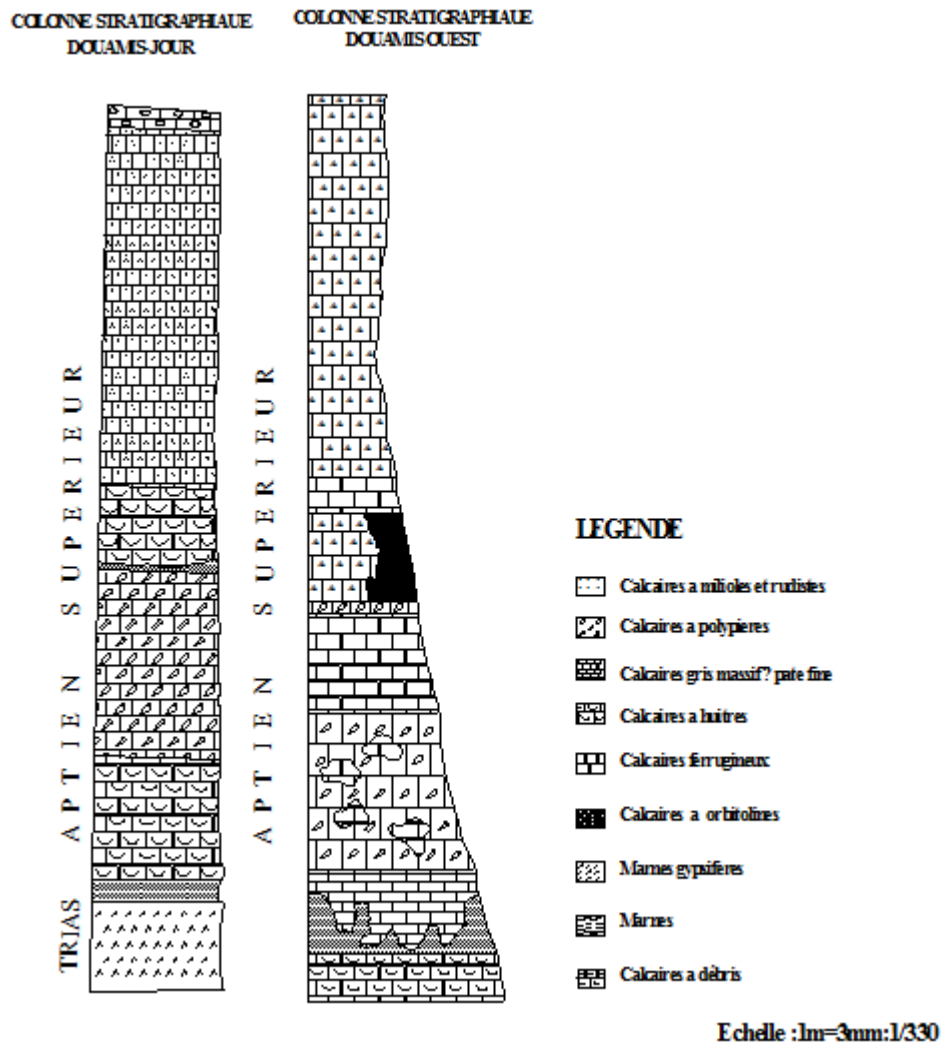


Figure 7 : Colonne stratigraphique du quartier Douamis

### 3.3 MINERALISATIONS

Le quartier de Douamis comprend trois sortes de minéralisations indépendantes l'une de l'autres :

**3.3.1 Minéralisation primaire en sidérose** : C'est une minéralisation ferrugineuse (sidérose) contenu essentiellement dans les Calcaires à rudistes et milioles, et aussi de morphologie stratiforme et filonienne .On retrouve surtout des minéraux de Sidérose oxydés en Hématite et Quartz, l'Hématite se présente sous un aspect pulvérulent, elle provient dans un stade tardif de l'oxydation de la Sidérose qui elle-même provient de la Calcite.

La minéralisation primaire est peu importante à Douamis, de plus elle contient souvent de Cuivre gris qui est disséminé.

**3.3.2 Minéralisation secondaire** : C'est une minéralisation assez importante, elle est formée essentiellement de cuivre gris, de ce fait le district minier d'Ouenza a été connu pour son Cuivre depuis l'époque Romaine en affect il subsiste jusqu'à nos jours, un véritable réseau de galeries souterraines.

Actuellement le problème du Cuivre est très important d'une part, le Cuivre gris disséminé dans l'Hématite peut être nuisible dans la sidérurgie, et d'autre part si on arrive à délimiter les gites cuprifères et évaluer les réserves assez importantes, ceux-ci pourraient être exploités avec profit parallèlement à l'exploitation du minerai de fer.

**3.3.3 Répartition de la minéralisation** : Elle est assez régulière et prépondérante dans le quartier Hallatif et surtout Douamis. Cette minéralisation suit en général les directions structurales dominantes du Djebel Ouenza (SO-NE) elle est limité par les deux failles principales.

Les corps minéralisés en Cuivre gris se distinguent par deux aspects essentiels : Corps stratiformes encaissés par les Calcaires, et corps filoniens.

D'après les études faites sur la minéralogie et la paragenèse de la minéralisation du Douamis on distingue la présence de la calcite en poches ou en filons, du quartz sous forme de filons ou de cristaux bien cristallisés en druzes dans le minerai hématite-cuivre gris.

Le cuivre est sous forme de cristaux de Tétrahédrite en grains disséminés dans le minerai en hématite ou bien dans la calcite à gros grains. Cette minéralisation en cuivre gris dans le minerai en hématite est progressif, c'est-à-dire plus riche près des filons de la calcite. Pour d'autres minéraux tels que la Chalcopyrite, Lénargite et Cubanite (minéral d'exsolution) semblent être synchrone avec le cuivre. La Covellite, Chalcosine et la Bornite sont des minéraux d'enrichissement secondaire. Il ya aussi la Fluorine et la Barytine.



**3.3.4 Minéralisation tardive** : Elle est importante à Douamis, due à des phénomènes d'oxydation ou karstique.

- **Minéralisation d'oxydation** : elle est due à l'oxydation des minéraux des minéralisations primaires et secondaires.

La sidérose par exemple s'oxyde en hématite ceci à lieu au dessus du niveau hydrostatique, quant aux minéraux de la minéralisation secondaire, ils s'oxydent en chalcosine, bornite et covellite.

- **Minéralisation karstique** : ou la trouve essentiellement dans les faille et fissures ouvert à Douamis ou également se situer dans des cavités d'effondrement.

Des minéraux de telle minéralisation sont : l'Aragonite, calcite, Barytine, malachite, Azurite, goethite, limonite et Olivénite. [17]



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [3] **J. BLONEAU** Élaboration et recyclage des métaux (Minerais et Fondants -Minerais de fer) Techniques de l'Ingénieur, M 7 040/2005
- [4] **M. BOUNOUALA** (1988), Recherche et élaboration d'une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza, *thèse magistère*, Université Badji Mokhtar de Annaba 20pp.
- [9] **A. BALDACCI**, Histoire de l'Ouenza (2007), *www.kasio.com*
- [10] **DED** (*Département Etude et Développement*) mines Ouenza et Boukhadra : Plan annuel 2006 ; *Doc Arcelor Mittal-Tébessa*.
- [11] **R. CHAIN** ; Influence des travaux de forage et de tir sur la stabilité des talus et des gradins des mines à ciel ouvert (cas mine de l'Ouenza et Boukhadra) *Thèse doctorat à l'université d'Annaba*.
- [16] **G.DUBORDIEU** (1956) : Étude géologique de la région de l'Ouenza-confins Algéro-tunisien : 463 pp
- [17] **DED** (*Département Etude et Développement*) : Quartier Douamis ; Doc : *Ferphos-mine de l'Ouenza (1987)*.

# **CHAPITRE III**      **CARACTERISATION** **MINERALOGIQUE DU MINERAI CUIVRE- FER DE DOUAMIS**

*L'étude minéralogique à pour but la détermination des différentes espèces minérales constituant le minerai de Douamis. Les examens d'observation par différentes méthodes d'analyse, l'étude de leurs propriétés physicomécaniques dont dépend le choix du procédé de leur extraction, et autres procédures de caractérisation et de préparation, constituant la principale préoccupation de cette partie d'étude.*

## **1. INTERET DE L'ETUDE MINERALOGIQUE**

L'étude minéralogique a pour but la détermination des différentes espèces minérales constituant le minerai fer cuivreux de Douamis. L'examen de leurs relations mutuelles, l'étude de leur évolution dans le temps et l'espace constituant la principale préoccupation de cette étude. D'une manière plus nette, l'étude minéralogique nous permettra de :

- Reconnaître les minéraux (Nature, Composition)
- Les proportions relatives des minéraux
- La forme et dimensions des grains
- La structure du minerai

Cette étude permet donc l'orientation de la recherche vers la technique d'enrichissement à adopter. La structure et la texture d'un minerai sont de part ce fait un facteur assez important, à ce sujet dans la plus part des gisements, les grains de minerai sont tellement fins qu'il est impossible de prévoir le degré de broyage que l'on doit leur faire subir pour obtenir une bonne séparation des divers minéraux constituants.

L'étude des relations mutuelles des minéraux, de la taille des grains, de la façon dont ils sont imbriqués les uns dans les autres, permet de prévoir une « maille de libération », c'est de savoir à quelle granulométrie il faut faire appel à une séparation optimale des divers constituants.

Pour cela, dans cette partie, nous allons soumettre des échantillons de minerais à des observations dont on peut en citer notamment :

- la microscopie binoculaire
- la microscopie métallographique
- le diffractomètre à rayons X

## **2. CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE**

L'échantillonnage constitue une étape cruciale dans le processus de caractérisation d'une matière naturelle qui peut être en différents aspects dans la nature, dont les minerais représentent les sources les plus utilisées dans l'industrie, ce qui nécessite de disposer d'une information la plus fiable possible sur le minerai à étudier. Le but visé est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflètent toutes les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble du site étudié.

Le but de l'échantillonnage est de permettre l'estimation la plus fiable de la valeur inconnue et inaccessible d'une propriété d'un lot à partir d'un essai effectué sur un échantillon représentatif. [13]

La propriété visée dans notre étude est la composition minéralo-chimique du minerai fer cuivreux de Douamis. Parallèlement, le nombre et le volume des échantillons doivent être restreints au minimum pour des raisons économiques. Il est donc important de parvenir à un compromis acceptable entre la représentativité et le budget disponible.

Les principales étapes qui caractérisent une démarche d'échantillonnage sont l'élaboration d'une stratégie de prélèvement, le prélèvement des échantillons sur le site, la conservation des échantillons et leur préparation pour les fins d'analyses. La valeur des résultats de la caractérisation dépend de la réalisation adéquate de toutes ces étapes.

La stratégie de prélèvement repose essentiellement sur le volume et le nombre des échantillons ainsi que sur le choix des stations d'échantillonnage (nombre, emplacement et positionnement). La représentativité des échantillons dépendent en grande partie des choix qui sont effectués. [12]

### 2.1. PRELEVEMENT ET PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les échantillons ont été prélevés in situ à la partie souterraine et à la partie à ciel ouvert du périmètre de notre étude (quartier Douamis). Dans la partie souterraine, notre compagnie d'échantillonnage c'est commencée par une galerie au jour située à ES du gisement, qui emmène aux différentes ouvrages : galeries d'exploitation, de roulage et recoupes, du niveau 630 du gisement. Des échantillons d'environ (01 à 05 kg) sont prélevés sur une section transversale des galeries, c'est-à-dire du toit et murs, ces prélèvements ne sont effectués que sur le corps minéralisé suivant une distance de 50m entre deux prélèvements sur toute la longueur de l'ouvrage minier (galerie principale, galerie d'exploitation ou recoupe), la figure 8 (cf. Annexe) montre les schémas indiquant les points de prélèvement des échantillons soit à la partie souterraine ou à ciel ouvert.

L'autre partie du corps de gisement est un affleurement au jour partiellement exploité, d'où on a procédé à un échantillonnage par écailles (chip sample) à raison de 05 mètres sur toute la longueur des fronts des gradins.

Ce mode d'échantillonnage consiste à un prélèvement d'une série d'écailles, le long d'une ligne, sur une surface horizontale ou oblique, à l'intérieur d'un quadrillage, etc. afin d'estimer la teneur de l'ensemble. L'échantillonnage par écaille est généralement destiné à une première évaluation préliminaire à une étude plus détaillée.

L'échantillonnage par écaille peut s'imposer là où un minerai dur et uniforme comme celui du quartier Douamis, rend le prélèvement par rainurage ou cannelure impossible ou difficile. Dans ce cas, il faut briser des écailles de même grosseur sur des points uniformément distribués, horizontalement et verticalement.

La compagnie d'échantillonnage s'est déroulée entre le 25/03/2009 et 15/04/2009. Les lots d'échantillons (33 échantillons ont été prélevés au total) sont étiquetés et stockés dans des sacs en plastiques doublés puis envoyées vers le laboratoire minéralurgique du département des mines à l'université d'Annaba pour leur préparation. Les principales informations pertinentes et les conditions de prélèvement sont présentées au tableau 7.

Une partie du lot est envoyée vers le laboratoire central du complexe sidérurgique d'El Hadjar pour la préparation des sections poulies et les soumettre aux observations microscopiques, ainsi une détermination préalable de la teneur moyenne en éléments majeurs (fer et cuivre)

dans le minerai fer cuivreux du gisement Douamis, par la florescence X. Les résultats d'analyse minéralochimique sont récapitulés ci-dessous, au tableau 8.

Pour mieux affiner les résultats obtenus, des échantillons ainsi préparés au laboratoire minéralurgique du département des mines comme il est décrit ci-dessous, sont envoyés au laboratoire de génie des procédés à l'université de Bejaïa pour une caractérisation par la diffractométrie par rayons X afin d'identifier la composition minéralogique de chaque échantillon.

**Tableau 7** : Les principales informations et conditions de prélèvement des échantillons du quartier Douamis

N° de l'échantillon	Nature de l'ouvrage	Localisation	Date de prélèvement	
01	Travers banc/toit	Niveau 635	25/03/2009	Souterraine
02	Travers banc/mur	Niveau 635	25/03/2009	
03	Travers banc/toit	Niveau 635	25/03/2009	
04	Travers banc/mur	Niveau 635	25/03/2009	
05	Galerie d'exploitation /toit	Niveau 635	25/03/2009	
06	Galerie d'exploitation /mur	Niveau 635	25/03/2009	
07	Galerie principale/toit	Niveau 635	25/03/2009	
08	Galerie principale/mur	Niveau 635	25/03/2009	
09	Recoupe /toit	Niveau 635	25/03/2009	
10	Recoupe /mur	Niveau 635	25/03/2009	
11	Gradin	Niveau 670	15/04/2009	Ciel ouvert
12	Gradin	Niveau 670	15/04/2009	
13	Gradin	Niveau 670	15/04/2009	
14	Gradin	Niveau 682	15/04/2009	
15	Gradin	Niveau 682	15/04/2009	
16	Gradin	Niveau 682	15/04/2009	
17	Gradin	Niveau 660	15/04/2009	
18	Gradin	Niveau 660	15/04/2009	
19	Gradin	Niveau 660	15/04/2009	
20	Gradin	Niveau 660	15/04/2009	
21	Gradin	Niveau 660	15/04/2009	
22	Gradin	Niveau 660	15/04/2009	
23	Gradin	Niveau 645	15/04/2009	
24	Gradin	Niveau 645	15/04/2009	
25	Gradin	Niveau 645	15/04/2009	
26	Gradin	Niveau 645	15/04/2009	
27	Gradin	Niveau 645	15/04/2009	
28	Gradin	Niveau 645	15/04/2009	
29	Stocke	Stocke	15/04/2009	Stocke
30	Stocke	Stocke	15/04/2009	
31	Stocke	Stocke	15/04/2009	
32	Stocke	Stocke	15/04/2009	
33	Stocke	Stocke	15/04/2009	

**Tableau 8 :** Résultats d'analyse préliminaire par florescence X du minerai fer cuivreux de Douamis

N° Echantillon <sup>(1)</sup>	Fe <sub>t</sub> (%)	Cu (%)	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	PF (%)
01	58.24	0.982	1.67	3.64	0.50	0.67	1.92	0.021	7.37
29	47.60	1.05	5.64	1.87	10.80	0.49	1.37	0.030	10.93
04	57.68	0.741	0.78	0.95	7.20	0.34	1.66	0.026	5.49
16	52.92	0.832	3.94	2.39	0.20	0.59	3.24	0.031	13.14
22	58.24	0.483	2.42	1.79	1.74	0.37	2.20	0.026	7.29
26	60.20	0.51	2.63	1.05	1.37	0.32	1.82	0.024	6.05
31	53.20	1.231	5.81	2.26	0.76	0.48	2.15	0.033	8.67
03	43.12	1.02	13.00	1.78	2.34	0.39	1.60	0.026	18.20
07	51.66	0.886	2.65	7.98	4.95	0.41	2.04	0.023	6.20
19	57.54	0.718	2.43	3.76	0.92	0.48	1.72	0.025	7.33

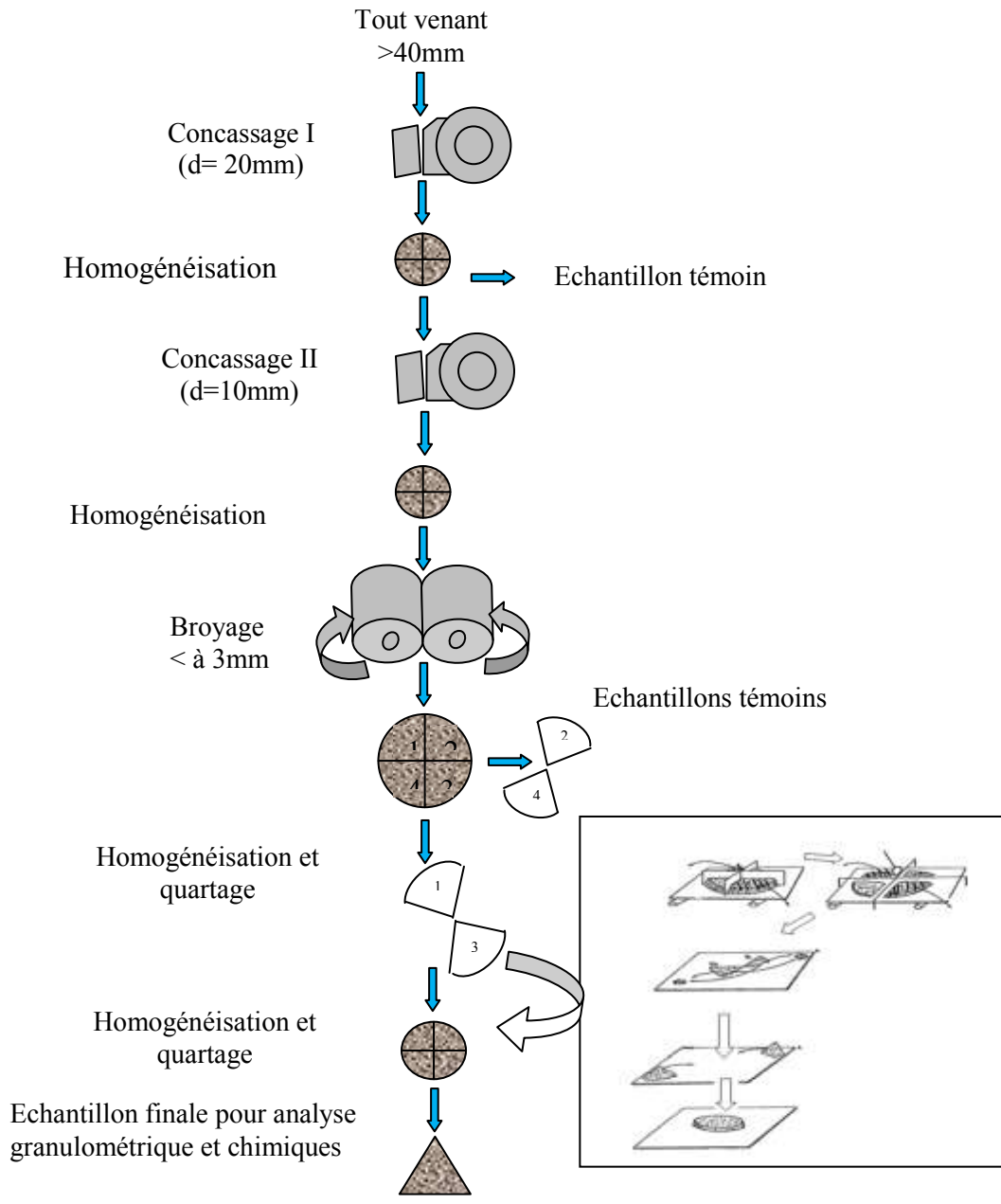
## 2.2. PREPARATION DES ECHANTILLONS

Après qu'ils ont subis un premier concassage par un concasseur à mâchoire de type laboratoire <sup>(2)</sup>, jusqu'à moins de 30mm, une première homogénéisation paraît nécessaire par effet de l'hétérogénéité de minerai altéré présenté à la surface (partie ciel ouvert), les échantillons subissent un deuxième concassage jusqu'à moins de 10mm suivi d'une homogénéisation avant leur broyage par un broyeur à boulets de type laboratoire (voir schéma de préparation des échantillons ci-dessous).

Le produit issu du broyage est d'une granulométrie de (< à 3mm) suit une série d'opérations d'homogénéisation et de quartage effectuée soigneusement pour éviter toute sorte d'erreurs systématiques qui peuvent fausser les résultats, et afin d'avoir un échantillon plus représentatif qu'il sera l'objet d'une analyse granulo-chimique et autres testes de séparation minéralurgiques.

<sup>(1)</sup> Les échantillons sont choisis parmi les 33 échantillons prélevés.

<sup>(2)</sup> La préparation mécanique des échantillons s'est déroulée au laboratoire minéralurgique du département des mines



**Figure 9** : Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyses granulométriques et chimiques

### 3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES ECHANTILLONS

#### 3.1 OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES

##### 3.1.2 OBSERVATION DES SECTIONS POLIES EN LUMIERE REFLECHIE

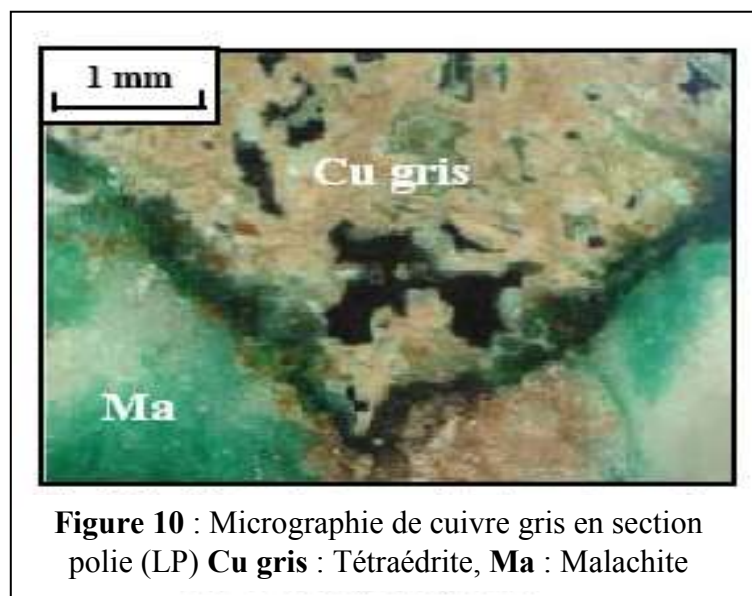
L'observation présente un double intérêt :

- Elle permet d'avoir une vision globale de l'organisation de la roche.  
A cette échelle microscopique, nous distinguons clairement les différentes espèces minérales existantes dans l'échantillon.
- Elle donne aussi un aperçu du "relief des grains" de la roche et leur mode de formation.

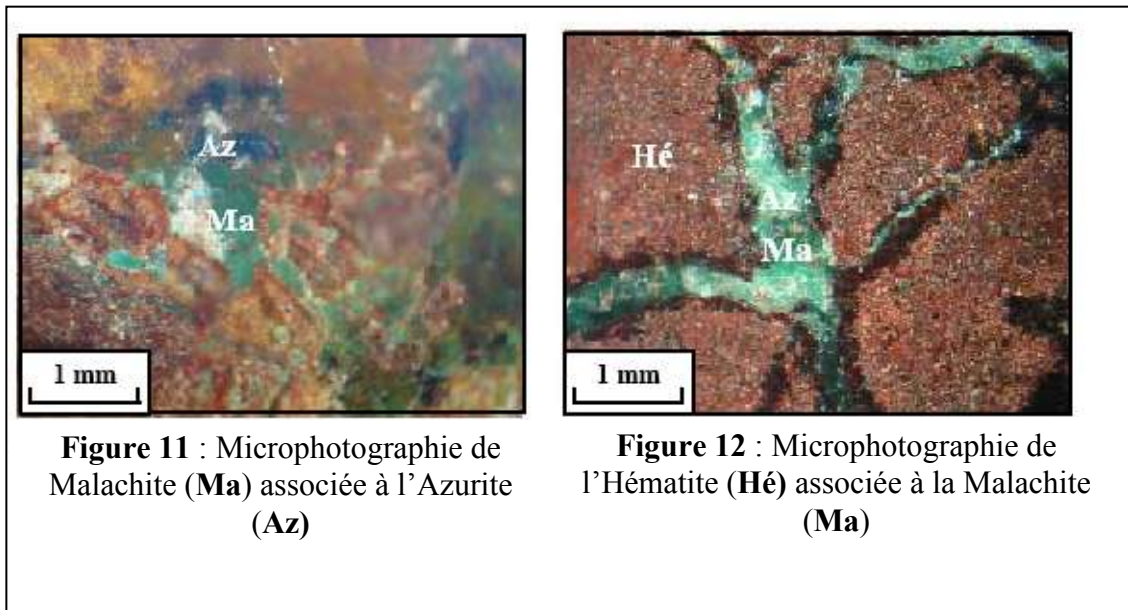
A cette échelle la distinction structurale et minéralogique nous avons déduire les résultats d'observation suivants :

- Les minéraux cuivreux :
  - Sous forme de sulfures : cuivre gris (Tétraédrite)
  - Sous forme de carbonates : malachite, azurite.
- Les minéraux ferrifères :
  - Sous forme de sulfures : pyrite
  - Sous forme d'oxydes : Hématite, limonite
  - Sous forme de carbonates : sidérite
- Les minéraux de plomb et de zinc :
  - sous forme : blende, galène
- Les minéraux de gangue : barytine, calcite, quartz.

A titre d'illustration, nous présentant quelques photos prises en section polie (voir figure10) ou apparaissent les différents constituants suscités. Bien évidemment il y'a d'autres photos des sections poulies, pour le reste des échantillons sont à l'annexe à la fin du document.







### 3.2 ANALYSE DIFFRACTOMETRIQUE

L'analyse diffractométrique permet de confirmer l'identification minéralogique réalisée au microscope et de préciser la nature des minéraux.

On a choisi quelques échantillons, concassés et finement broyés au niveau de laboratoire minéralurgique du département des mines, pour les soumettre aux analyses diffractométrique au niveau du laboratoire de génie des procédés à l'université de Béjaia.

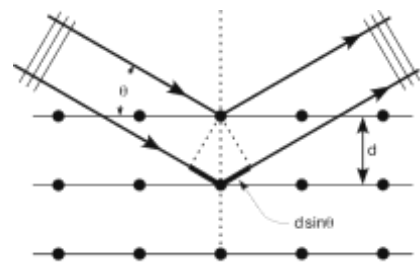
#### 3.2.1 Principe de la diffraction des rayons x

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde ( $0,1 < \lambda < 10\text{nm}$ ) sur un échantillon orienté ou non. On utilise un rayonnement électromagnétique en cuivre dont la longueur d'onde est  $\text{CuK}\alpha = 1,542 \text{ \AA}$ . Ce rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

Si l'on calcule les directions dans lesquelles on a du signal, on s'aperçoit que l'on obtient une loi très simple : si l'on trace des plans imaginaires parallèles passant par les atomes, et si l'on appelle  $d$  la distance entre ces plans (ou distance interréticulaire), alors les interférences sont constructives si :

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

Où  $\theta$  est la moitié de la déviation,  $n$  est un nombre entier appelé «ordre de diffraction», et  $\lambda$  est la longueur



**Figure 13** : Principe de la diffraction des rayons X

d'onde des rayons X. C'est la loi de Bragg (figure 13).

En effet, le chemin supplémentaire parcouru par le deuxième rayon est  $2d \cdot \sin(\theta)$ .

Les interférences sont constructives si la différence de chemin introduit un déphasage multiple de  $2\pi$ , c'est-à-dire si le chemin supplémentaire est un multiple de  $\lambda$ . [15]

Suivant le logiciel d'identification et l'interprétation des pics (Win Fit/97)<sup>(3)</sup> qui correspondent aux éléments minéralogiques existants dans les échantillons analysés, on peut conclure que les principaux constituants minéralogiques du minerai du quartier Douamis sont principalement l'Hématite ( $Fe_2O_3$ ), associée éventuellement avec la Limonite, la Goethite et la Sidérose, également la Tétradrinite ( $4Cu_2S \cdot Sb_2S_3$ ) est présentée associée avec la Chalcopryrite ( $CuFeS_2$ ), et la pyrite ( $FeS_2$ ). D'autres minéraux à moins d'importance sont présents sous forme altérée. Quelques spectres obtenus tels que celui présenté à la figure 14, sont montrés à la fin du document dans l'annexe.

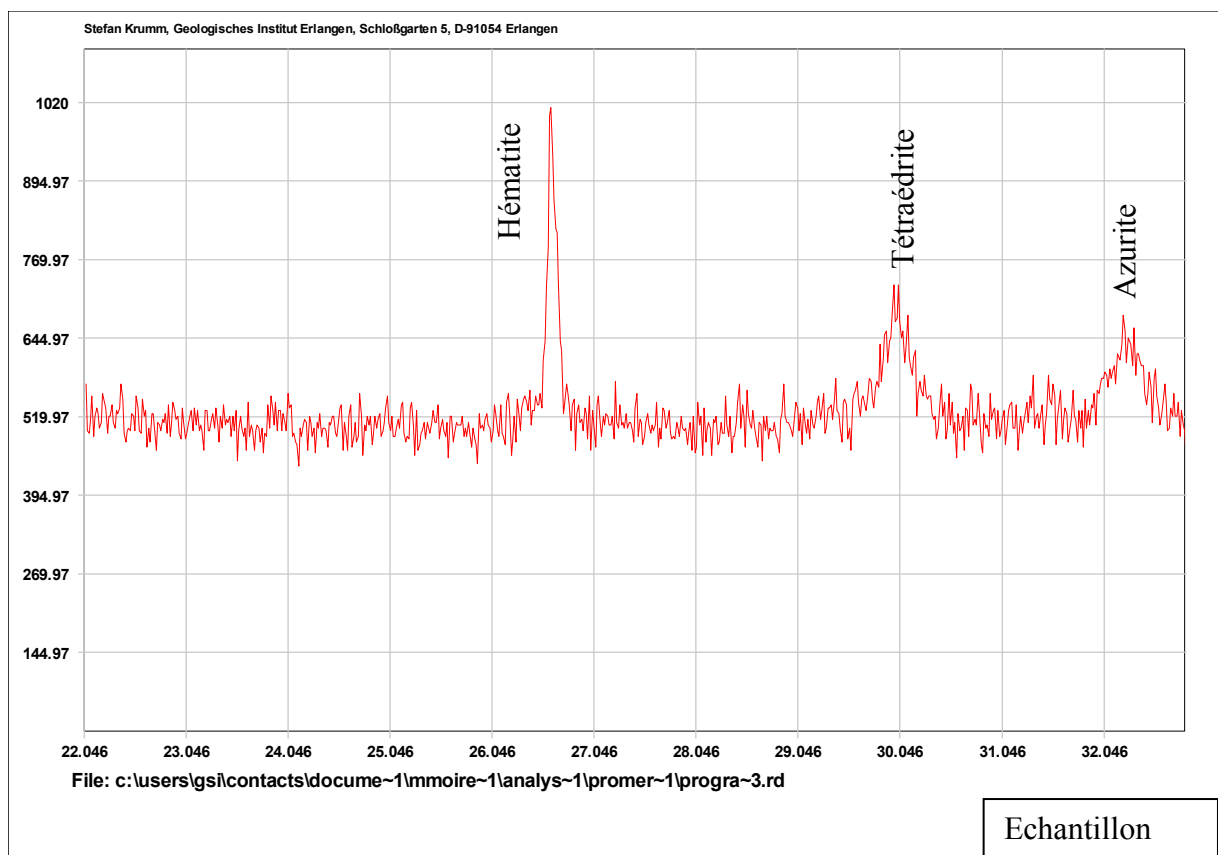


Figure 14 : Exemple d'un spectre obtenu par la DRX

### 3.3 ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Pour la composition granulométrique du minerai, après les différents stades de fragmentations, on procède à l'analyse de tamisage. L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains appelées fractions granulométriques constituant les échantillons. Ces fractions sont

<sup>(3)</sup> Win Fit/97 : Un logiciel qui sert à analyser les spectres de la diffraction pour donner le type de minéral de chaque pic, via l'internet.

constituées de particules dont la grosseur couvre un intervalle relativement restreint et diminue d'une fraction à l'autre. Il existe plusieurs méthodes d'analyse granulométrique. Parmi ces méthodes, la méthode de tamisage éventuellement utilisée dans notre présente étude, couvrent la presque totalité des gammes de grosseurs de particules visées. De plus, elles permettent la récupération d'échantillons séparés en fonction de la taille des particules. [14]

Le principe d'analyse consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le minerai étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, de la colonne de tamis à l'aide d'une tamiseuse (Figure 15).

Pour les minerais ferrifères, on utilisera en général les tamis de dimensions : 4mm, 2mm, 1mm, 500 $\mu$ m, 225 $\mu$ m, 125 $\mu$ m, 63 $\mu$ m, 45 $\mu$ m

### 3.3.1 Description de l'essai

On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fines. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

L'échantillon étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture, dans notre essai il est fixé à 15 minutes. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit  $R_1$  la masse de ce refus.

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit  $R_2$  la masse du deuxième refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés  $R_n$  aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne du tamis est également pesé de la même manière.

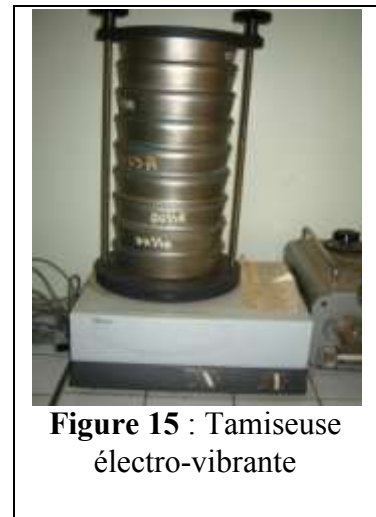


Figure 15 : Tamiseuse électro-vibrante

3.3.2 Expression des résultats de la courbe granulométrique

Les pourcentages des refus ou des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrie en portant les ouvertures des tamis en abscisse, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique (figure 16). La courbe est tracée de manière continue et n'est pas obligatoirement passer par tous les points.

Les résultats de la composition granulométrique sont représentés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Résultats d'analyse granulométrique

Tranches granulométriques (µm)	Masses (g)	Masses pondérales (%)	Refus (%)	Passants (%)	Teneurs Fe <sub>t</sub> (%)	Teneurs Cu (%)
> 4000µm	4.52	0.45	0.45	100.00	/	/
- 4000 +2000µm	45.73	4.58	5.03	99.55	53.27	0.903
- 2000 +1000µm	87.042	8.71	13.74	94.97	51.74	0.7
- 1000 +500µm	132.52	13.26	27.00	86.26	54.99	0.59
- 500 +225µm	156.14	15.62	42.62	73.00	55.34	0.725
- 225 +125µm	141.11	14.12	56.74	57.38	57.36	0.765
- 125 +63µm	87.82	8.79	65.53	43.26	52.23	0.528
- 63 +45µm	107.36	10.74	76.27	34.47	51.92	0.742
< 45µm	237.11	23.73	100.00	23.73	/	/
<b>Total</b>	<b>999.35</b>	<b>100.00</b>				

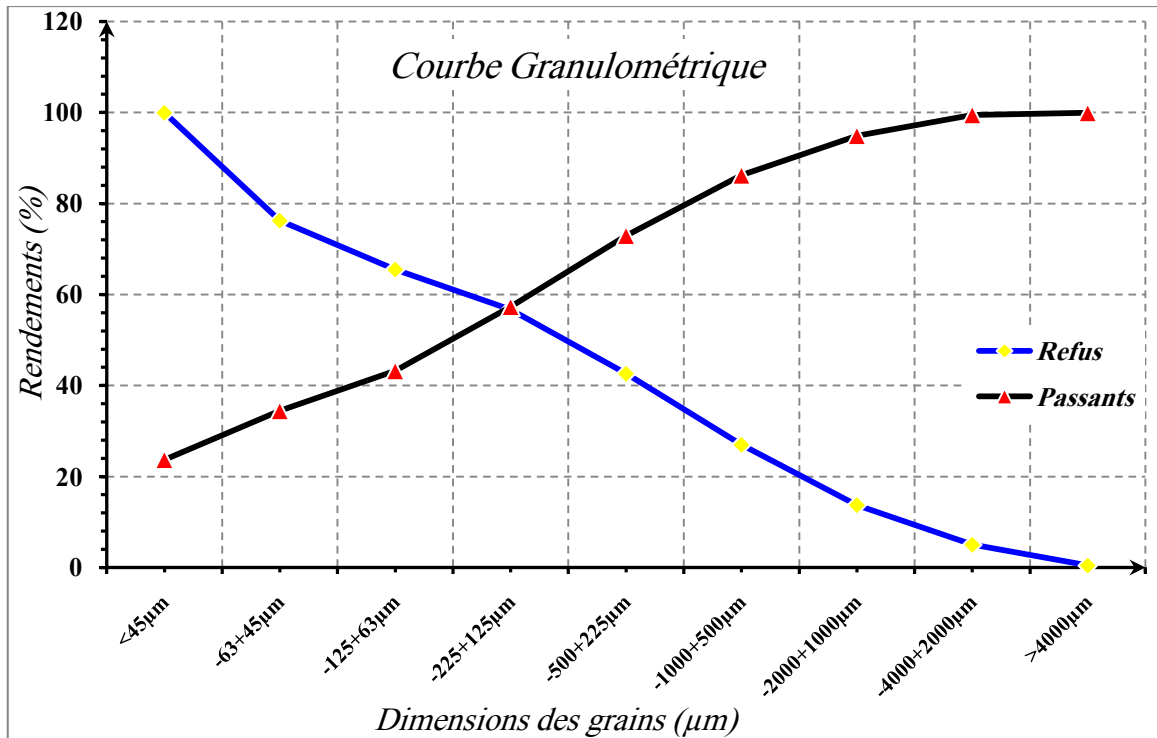


Figure 16 : Courbe granulométrique

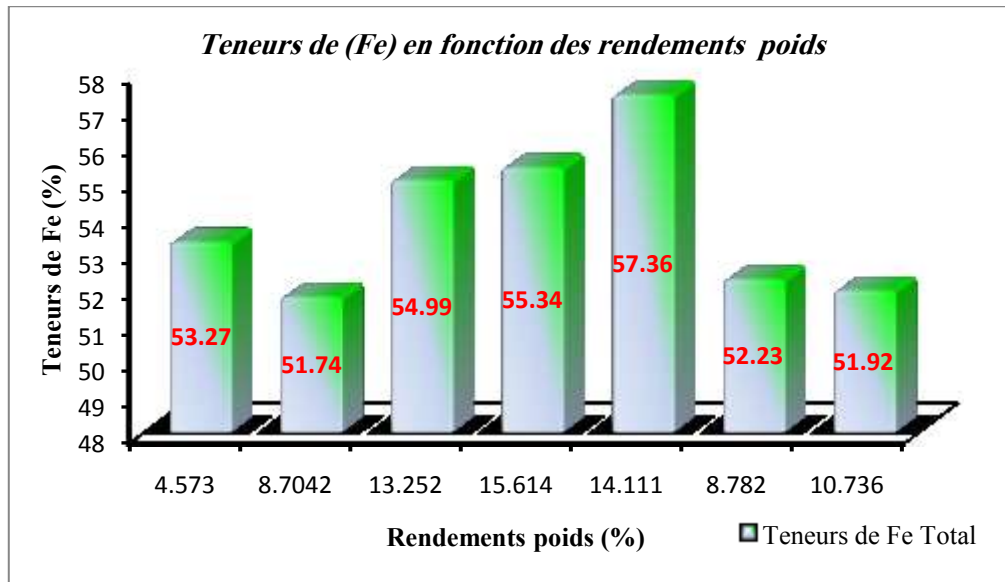


Figure 17 : Teneurs de Fer en fonction des rendements poids

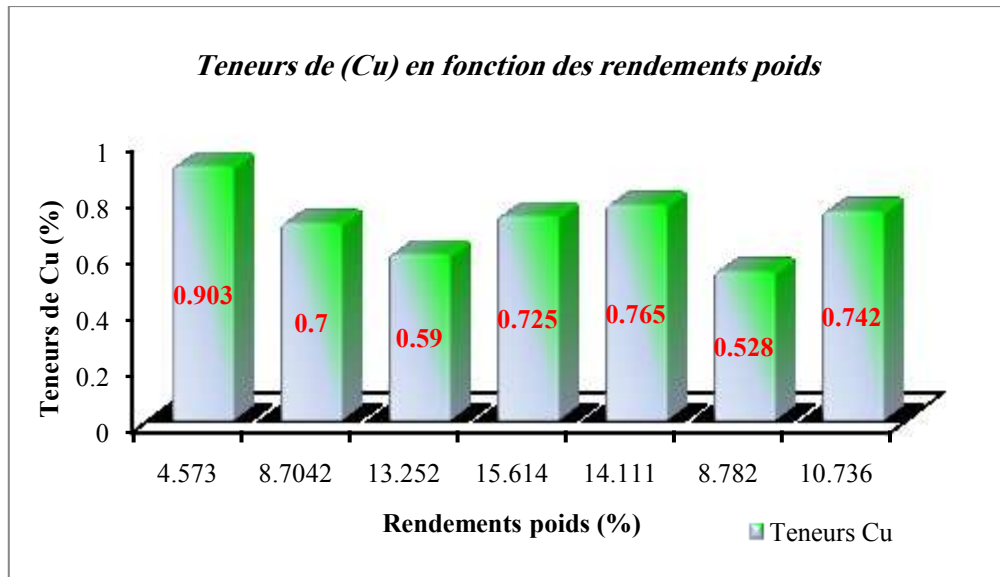


Figure 18 : Teneurs du Cu en fonction des rendements poids

Les premières constatations suite à la courbe granulométrique est la distribution irrégulière des tranches granulométriques, avec une prédominance de la classe fine, est se justifier par le mode de préparation mécanique des échantillons, ainsi la moyenne dureté du minerai ( $\approx 7$  sur l'échelle de Protodiakonov), la valeur de point de coupure limitant les fines, des grosses particules correspondent à un rendement de 14.11%, correspond à la tranche granulométrique (-125+225 $\mu$ m).

Ce qu'on remarque à l'histogramme N°01 (figure 17), est que les teneurs sont en proportion directe avec les rendements en poids, cela est remarqué aux tranches (-1000+500 $\mu$ m, -500+225 $\mu$ m et -225+125 $\mu$ m) avec leurs teneurs respectives : 54,99 ; 55,34 et 57,36%. Pour les autres classes, un faible rendement est accompagné souvent par de faibles teneurs en fer total.

Au second histogramme (figure 18), les teneurs du cuivre sont faibles et leurs répartitions suivant les rendements sont irrégulières.

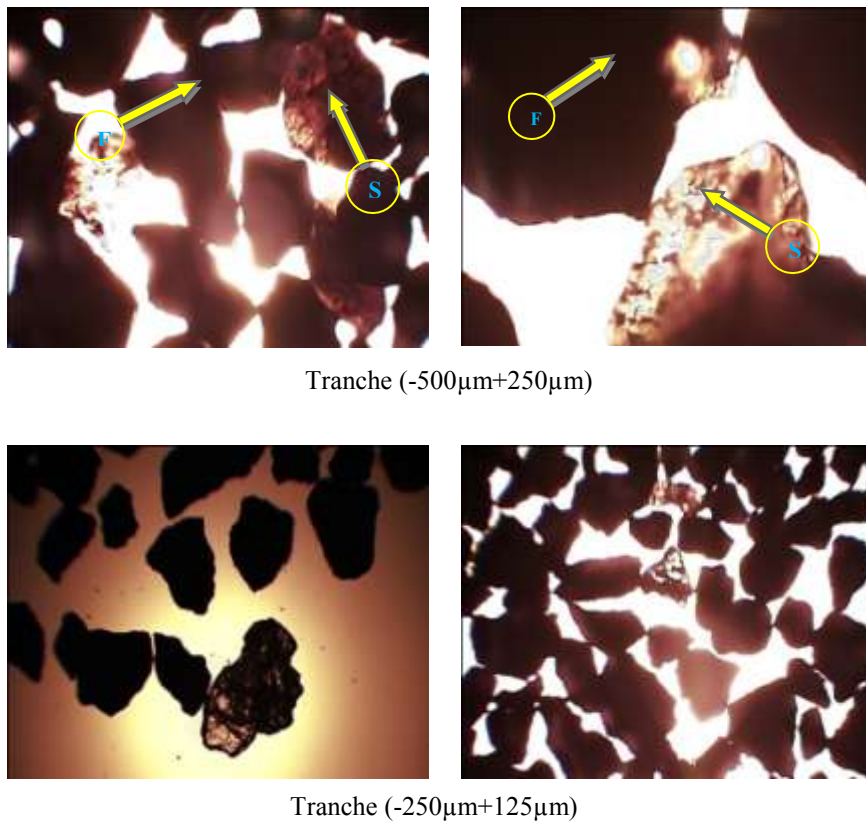
Toutes les tranches granulométriques ont montré des teneurs en cuivre faibles, or que les analyses préliminaires (tableau 8) de quelques échantillons prouvent des teneurs allons jusqu'à 1,5%, où cette valeur les classent comme des teneurs acceptables à une exploitation et un enrichissement à des teneurs plus élevées.

Les analyses qualitatives-quantitatives seront encore vérifiées ultérieurement par les essais de séparation au niveau de laboratoire.

A titre d'illustration et d'explication, les photos microscopiques illustrées ci-dessous (Figure 19) montrent les particules de la gangue ((S) : quartz et calcaire) partiellement libérées du corps de l'hématite à la tranche granulométrique (-500 $\mu$ m+250 $\mu$ m), et presque libre à la tranche (-250 $\mu$ m+125 $\mu$ m), quoique le cuivre est toujours enfermé par les particules de fer (F), vu son état disséminé, qui exige plus de broyage pour une meilleure libération. Et pour avoir plus de renseignements sur le taux de présence du cuivre dans les tranches choisies



ci-dessus, des testes de séparation magnétique peuvent nous aider à distinguer à quelles granulométrie le cuivre sera mieux extrait.



**Figure 19** : Tranches granulométriques sous microscope, pour observation de degré de libération des particules

#### 4. ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS DES CONSTITUANTS DU MINÉRAI « DOUAMIS »

Après une étude minéralogique, les résultats auxquels nous avons abouti, nous ont permis de connaître les principaux constituants de minerai, à savoir :

- Pour les minéraux de fer, Hématite, limonite, sidérose et pyrite.
- Pour les minéraux de cuivre : Tétrahédrite, azurite et malachite.
- Pour les minéraux de gangue : Quartz, calcite, blende et barytine.

Juste après, nous avons essayé de situer et d'évaluer nos résultats d'analyse par rapport à ceux d'autres chercheurs, dont on peut citer entre autres les professeurs Protodiaconov et Eiguelessm, ceci nous a permis de faire un choix des méthodes de séparation les plus efficaces en vue d'aboutir à une véritable sélection.

Une fois que les espèces minérales sont libérées, il convient de les séparer pour obtenir un ou plusieurs concentrés. Pour différencier entre elles, il est possible de faire appel à la densité, à la couleur, à la forme, à la radioactivité, aux propriétés chimiques des diverses particules.

Nous allons développer point par point, dans ce qui suit, les résultats trouvés avec les recommandations d'imminents chercheurs qui sont condensés dans le tableau 10.

**Tableau 10** : Caractéristiques techniques des principaux minéraux de minerai

Minéraux	Formule chimique	<i>f</i>	$\gamma$	$\chi$	$\chi$ D'après Frantz	E	Groupe de flottabilité
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5/6.5	4.9/5.3	1.5x10 <sup>-6</sup>	Attirable	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-7</sup>	V
Sidérose	FeCO <sub>3</sub>	3.5/4.0	3.8/4.0	10 <sup>-6</sup>	Attirable	10 <sup>1</sup> -10 <sup>-3</sup>	V
Limonite	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O	5.0/5.5	3.6/4.0	0.7x10 <sup>-6</sup>	+/-Attirable	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-3</sup>	V
Pyrite	FeS <sub>2</sub>	6.0/6.5	4.9/5.0	10 <sup>-8</sup>	Non attirable	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-7</sup>	VII
Tétraédrite	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>12</sub>	3.0/4.0	4.4/5.1		//	10 <sup>4</sup> -10 <sup>-3</sup>	II
Malachite	Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	3.5/4.0	3.9/4.1	1.5x10 <sup>-7</sup>	//	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-7</sup>	III
Azurite	Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	3.5/4.0	3.7/3.9	1.5x10 <sup>-7</sup>	//		III
Quartz	SiO <sub>2</sub>	6.6/7.4	2.5/2.8	10 <sup>-8</sup>	//		VI
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	2.8/3.3	2.6/2.8	10 <sup>-8</sup>	//	10 <sup>-13</sup> -10 <sup>-16</sup>	IV
Barytine	BaSO <sub>4</sub>	3.0/3.5	4.3/4.7		//	10 <sup>-12</sup> -10 <sup>-15</sup>	IV

*f* : Dureté présentée suivant l'échelle du Pro Protodionov  
 $\gamma$  : Densité spécifique en t/m  
 $\chi$  : Susceptibilité magnétique spécifique en m<sup>3</sup>  
E : Conductivité électrique spécifique à un Ohm/m

#### 4.1 DURETE

La dureté des minéraux de l'Ouenza (quartier Douamis) varie entre 3 et 7 ; et se rapporte par conséquent aux roches dures et de moyenne dureté.

Sur la base de cette propriété on constate que la libération des minéraux par les résultats escomptés du moment qu'après concassage sélectif, on obtient un mélange :

- a) Pour les minéraux à moyenne dureté ; la distribution revient pour le fer : la sidérose ; pour le cuivre : la Tétraédrite ; la malachite, l'azurite ; pour la gangue : la calcite et la barytine.
- b) Pour les minéraux durs : la distribution rassemble autour du fer l'hématite, la limonite et la pyrite ; pour la gangue le quartz.

#### 4.2 DENSITE

La densité du minerai analysé est située dans l'intervalle de 2,5 à 5,3. Les densités des minéraux étant proches (tableau 11), l'éventualité d'une séparation gravimétrique n'est pas envisageable.

Les résultats des densités et duretés sont relevés du rapport de Département Etude et Développement (DED) de la mine de l'Ouenza

**Tableau 11** : Distribution des minéraux en fonction de densité

Fraction de densité	Minéraux
< 3,4	Gangue : Quartz, Calcite
3,4 – 4,1	Fer : Sidérose, Limonite Cuivre : Malachite, Azurite
4,1 – 4,7	Cuivre : Tétraédrite Gangue : Barytine
> 4,7	Fer : Hématite, Pyrite Cuivre : Tétraédrite



En analysant les données concentrées au tableau 11, on peut conclure que la séparation densimétrique n'est avantageuse que pour la fraction de densité inférieure à (3,4) ; pour le reste des fractions, la séparation densimétrique ne donne aucun résultat à cause de la distribution irrégulière des minéraux de fer et de cuivre.

#### 4.3 CONDUCTIBILITE ELECTRIQUE

Sur la base des résultats présentés au tableau 12, on voit que la séparation électrostatique est une éventualité à écarter.

**Tableau 12 :** Distribution des minéraux selon leur conductibilité.

Catégorie	Minéraux
Semi-conducteur	De fer : Hématite, Sidérose, limonite, Pyrite. De cuivre : Tétrahédrite
Non-conducteur	De cuivre : Hématite, Azurite. De gangue ; Quartz, Calcite, barytine.

#### 4.4 SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE

La séparation magnétique (*cf. Chapitre v : Bases théoriques sur la séparation magnétique*) utilise les différences entre les minéraux dans leur réponse à un domaine magnétique.

Il est connu que les minéraux sont classés selon leur susceptibilité magnétique en trois groupes, à savoir : les ferromagnétiques, les paramagnétiques et les diamagnétiques.

En se basant sur la susceptibilité magnétique d'après Frantz, on remarque que les minéraux analysés appartiennent aux deux derniers groupes :

- Les paramagnétiques : Hématite, limonite, sidérose.
- Les diamagnétiques :
  - Pour le cuivre : la Tétrahédrite, la malachite et l'azurite.
  - Pour le fer : la pyrite.
  - Pour la gangue : le quartz, la calcite et la barytine.

Ainsi, on entrevoit que ce critère peut contribuer à séparer les minéraux paramagnétiques de leur gangue. La séparation magnétique est l'une des opérations d'unité la plus importante pour l'enrichissement des minerais de fer [4]. Actuellement, il n'y a pas de méthode compétitive plus intéressante. La séparation magnétique est souvent caractérisée par des bas coûts d'exécution et d'investissements.

#### 4.5 FLOTTABILITE

La flottation est fondée sur les propriétés physico-chimiques de la surface des minéraux. En effet, certains minéraux plongés dans un liquide sont hydrophobes, leur surface ne mouille pas et qui remontent à la surface du bain. D'autres espèces minérales, par contre, sont hydrophobes, elles ne suivent pas les bulles d'air et restent en suspension dans le bain [4].

Le professeur Eigueless K. a classé les différents minéraux en sept groupes de flottabilité (Voir le tableau 13)

La flottation est la méthode d'enrichissement de minerai la plus utilisée dans le monde. On l'emploie industriellement pour concentrer les minéraux de toutes les substances minérales métalliques et non métalliques, particulièrement les minéraux sulfurés qui constituent la fraction la plus importante des ressources minérales exploitables.

Donc, après séparation magnétique, la fraction non magnétique sera valorisée par la technique de flottation.

**Tableau 13** : Classification des métaux selon leur flottabilité

Groupe	Minéraux
I	Minéraux non polaire possèdent une grande flottabilité naturelle
II	Métaux natifs et sulfures des métaux non ferreux. ferreux et rares
III	Oxydes, carbonates et sulfates des métaux non ferreux
IV	Carbonate des métaux ferreux et sels des métaux alcalino-terreux
V	Oxydes de fer, de manganèse et de chrome.
VI	Quartz et minéraux siliceux
VII	Sels

Dans le cas contraire, la flottation précède la séparation des minéraux sulfurés (pyrite, tétraédrite) et des minéraux carbonatés (malachite, Azurite). En outre, dans un milieu alcalin, la pyrite est séparée des minéraux de cuivre.

Ainsi, on obtient dans un premier lieu un concentré de cuivre et en deuxième, les rejets présentés par les minéraux de fer et de gangue qui seront ultérieurement traités par séparation magnétique.

**Tableau 14** : Susceptibilités magnétiques spécifiques  $c$  de quelques minéraux ( $c > 0$ ) ou diamagnétiques ( $c < 0$ ). [3]

Minéraux	Formule chimique	$c$ (en $10^{-6}$ m <sup>3</sup> /kg)	Minéraux	Formule chimique	$c$ (en $10^{-6}$ m <sup>3</sup> /kg)
<b>Sulfures</b>			<b>Carbonates</b>		
Pyrite	FeS <sub>2</sub>	0,004 à 0,013	Sidérose	FeCO <sub>3</sub>	1,06 à 1,30
Marcassite	FeS <sub>2</sub>	0,004 à 0,013	Rhodochrosite	MnCO <sub>3</sub>	1,31 à 1,34
Millerite	NiS	0,003 à 0,048	Magnésite	MgCO <sub>3</sub>	- 4,83
Chalcopyrite	CuFeS <sub>2</sub>	0,011 à 0,055	Calcite	CaCO <sub>3</sub>	- 4,80
Bornite	Cu <sub>3</sub> FeS <sub>4</sub>	0,092 à 0,100	Cérusite	PbCO <sub>3</sub>	- 2,88
Sphalérite	ZnS	- 3,27			
Molybdénite	MoS <sub>2</sub>	- 6,05	<b>Sulfates</b>		
Argentite	Ag <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	- 3,71	Anhydrite	CaSO <sub>4</sub>	- 4,47
Stibine	Sb <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	- 3,17	Gypse	CaSO <sub>4</sub> , 2 H <sub>2</sub> O	- 5,33
Cinabre	HgS	- 2,99	Smithsonite	ZnSO <sub>4</sub>	- 3,41
Galène	PbS	- 4,40	Barytine	BaSO <sub>4</sub>	- 3,84
			Anglésite	PbSO <sub>4</sub>	- 2,89
<b>Oxydes</b>					
Cuprite	Cu <sub>2</sub> O	- 1,76	<b>Arséniure</b>		
Zincite	ZnO	- 4,29	Nickeline	NiAs	0,005 à 0,011
Cassitérite	SnO <sub>2</sub>	- 2,83			
Goethite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	0,38 à 0,46	<b>Silicates</b>		
Manganite	MnOOH	0,36 à 0,50	Olivine	(Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	0,11 à 1,26
Braunite	(Mn,Si)O <sub>2</sub> , MnO	1,12 à 2,25	Orthopyroxène	(Mg,Fe)SiO <sub>3</sub>	0,04 à 0,92
Pyrolusite	MnO <sub>2</sub>	0,30 à 0,48	Monopyroxène	Ca(Mg,Fe)(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,08 à 0,80
Wolframite	(Fe, Mn)WO <sub>4</sub>	0,40 à 0,53	Amphibole	Silicate hydraté complexe	0,08 à 1,13
Chromite	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO	0,32 à 0,38	Biotite	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>11</sub> , H <sub>2</sub> O	0,05 à 0,98
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 à 3,8	Cordiérite	(Mg,Fe) <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	0,08 à 0,41
Limonite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	0,25 à 0,76	Grenat	(Ca,Mg,F,Mn) <sub>3</sub> (Al,Fe,Cr) <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,14 à 0,95
Rutile	TiO <sub>2</sub>	0,012 à 0,05	Rhodonite	(Mn,Ca)SiO <sub>3</sub>	0,67 à 1,10
Anatase	TiO <sub>2</sub>	0,003	Diopside	CuSiO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	0,106 à 0,111
Ilménite	(Fe,Mg,Mn)TiO <sub>3</sub>	0,2 à 1,5	Garniérite	(Ni,Mg)SiO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	0,38 à 0,39

## 5. CONCLUSION

Après l'analyse des propriétés des minéraux et de leurs caractéristiques vis-à-vis leurs aptitudes d'être séparés, on peut avancer les conclusions suivantes :

- Le traitement du minerai se basant sur les différences des propriétés relatives à leur densité, dureté et conductibilités électriques est inefficace.
- La susceptibilité magnétique et la flottabilité sont deux propriétés essentielles de valorisation du minerai de l'Ouenza et qui peuvent être envisagées.

En concluant ce chapitre, nous sommes en mesure de tirer quelques conditions (relatives au minerai du quartier de Douamis).

1. L'étude minéralogique réalisée à différents niveaux (que ce soit par microscope binoculaire, métallographique et par diffraction X) révèle ce qui suit :
  - Les différents constituants de minerai et de leurs proportions relatives sont établis.
  - La maille de libération de la gangue est de 125µm, alors que celle des minéraux cuivreux-ferrifères n'est pas circonscrite.
  - L'hématite et la Tétrahédrite (cuivre gris) sont les principaux constituants du minerai.
2. L'étude des propriétés du minerai a montré que la séparation magnétique (des minéraux ferrifères de ceux cuivreux) est envisageable uniquement par deux procédés de traitement qui sont le triage magnétique et la flottation.



#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [3] **J. BLONEAU** Élaboration et recyclage des métaux (Minerais et Fondants -Minerais de fer) Techniques de l'Ingénieur, M 7 040/2005
- [4] **M. Bounouala** (1988), Recherche et élaboration d'une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza, *thèse magistère*, Université Badji Mokhtar de Annaba, pp 51-60.
- [10] **DED** (*Département Etude et Développement*) mines Ouenza et Boukhadra : Plan annuel 2006 ; *Doc Arcelor Mittal-Tébessa*.
- [12] **A. Gosselin, Blackburn, M. Bergeron**, Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques (Mars 1999).
- [13] **J. L .Pineau** Application des techniques séparatives à l'échantillonnage des solides à faibles teneurs en vrac (*Les techniques-Mines et Carrières*) Juin 1996
- [14] Chapitre 3 : Cours en ligne des matériaux de construction ([www.la.refer.org](http://www.la.refer.org))
- [15] **H Julien, L Rozenn & L Claire**, Etude par diffraction et absorption des rayons X de l'amorphisation sous pression dans des matériaux Analogues de la silice/ Institut Charles Gerhard (CNRS - Université Montpellier II) Avril - juillet 2007

# ***CHAPITRE IV*** ***RECHERCHE D'UN SCHEMA RATIONNEL D'ENRICHISSEMENT DU MINERAI (Cu-Fe) DE DOUAMIS***

*Il est important de savoir les caractéristiques et les exigences technologiques des minéraux de fer et cuivre liés aux processus de traitement, ainsi que leur comportement au cours d'élaboration, ce qui nous allons voir dans ce qui suit, avec quelques exemples de schémas de traitement des minerais de fer-cuivre appliqués dans quelques usines d'enrichissement dans le monde. Une étude comparative sera établie sur quelques variantes d'enrichissement du minerai de fer cuivreux, pour qu'on puisse proposer un schéma principal de traitement, dont plusieurs paramètres seront pris en compte pour une sélection correct de la technique de séparation.*

## 1. INTRODUCTION

L'étude de caractérisation du minerai de Douamis, nous a permis de reconnaître la nature et la composition minéralogique, dont les minéraux constituants se présentent sous forme des oxydes de fer, oxydes de cuivre, ainsi que les calcaires, quartz et marnes, considérés comme gangue . Les minéraux cuivreux sont présentés à des teneurs intéressantes qui méritent un enrichissement pour donner un deuxième produit utile, que le fer.

On outre, l'étude des propriétés physiques du minerai à révéler que enrichissement de ce dernier n'est possible que par les techniques de séparation magnétique et la flottation, et par cela, dans notre recherche du choix du schéma de traitement du minerai fer cuivreux de Douamis, on va se limité uniquement sur ces deux procédés de séparation, en tenant compte des opérations auxiliaires et complémentaires de préparation et de classification.

Il est important de savoir les caractéristiques et les exigences technologiques des minéraux de fer et cuivre liés aux processus de traitement, ainsi que leur comportement au cours d'élaboration, ce qui nous allons voir dans ce qui suit, avec quelques exemples de schémas de traitement des minerais de fer-cuivre appliqués dans quelques usines d'enrichissement dans le monde.

En fin, une étude comparative sera établie sur quelques variantes d'enrichissement du minerai de fer cuivreux, pour qu'on puisse proposer un schéma principal de traitement, dont plusieurs paramètres seront pris en compte pour une sélection correct de la technique de séparation.

## 2. PARAMETRES GENERAUX DU MINERAI DE FER

Les concentrations de fer dans la nature sont très nombreuses et de taille considérable ; les formations ferrifères, dont les gisements au sens économique ne constituent qu'une petite partie, en contiennent souvent plusieurs milliards de tonnes. La plupart des gisements exploités ont une teneur en fer comprise entre 30 et 65 %.

### 2.1. PRINCIPAUX MINERAUX FERRIFERES

Les minerais contenant du fer sont très nombreux, mais un nombre limité d'entre eux sont utilisés comme source de fer. Ce sont, par ordre d'importance décroissante, les oxydes et les hydroxydes, les carbonates et les silicates.

- **Fers natifs** : sont rares, d'origine terrestre ou météoritique et, dans ce cas, généralement associés à du nickel.
- **Oxydes de fer** : sont les constituants essentiels de tous les minerais riches, que l'on caractérise souvent par le nom de l'oxyde prédominant.
- **La magnétite** a pour formule chimique  $Fe_3O_4$ , titre 72,3 % en fer lorsqu'elle est pure. C'est un minéral opaque, à éclat métallique ; sa couleur est noire de fer à noir bleuté, sa poussière est noire. Ses propriétés magnétiques bien connues sont très importantes car elles facilitent la prospection des gisements et permettent d'obtenir, à partir de minerais pauvres ou contenant des impuretés nuisibles, des concentrés de haute qualité. Par oxydation, elle se transforme généralement en oligiste (sous la forme appelée martite), en limonite, exceptionnellement en maghémite.

- **L'oligiste** (en Anglais : **Hematite**),  $Fe_2O_3$ , cristallise dans le système rhomboédrique et titre 69,9 % en fer lorsqu'il est pur. L'oligiste peut se présenter aussi en masses compactes.  
Dans tous les cas, c'est un minéral opaque, à éclat vif et à couleur gris acier. Contrairement à la magnétite, sa poussière est rouge et il n'est pas fortement magnétique.
- **La martite**, constituant très fréquent des minerais de fer, provient de l'oxydation de la magnétite, transformée en oligiste avec conservation des formes extérieures des cristaux de magnétite.
- **L'hématite rouge** n'est pas un minéral à proprement parler, mais un constituant minéralogique, c'est-à-dire un agrégat de minéraux trop fins pour que l'on puisse les séparer par des méthodes physiques simples. L'oligiste en est le constituant essentiel, associé à différentes impuretés dont les plus importantes sont l'alumine et la silice. L'hématite rouge se présente en masses plus ou moins compactes, à l'éclat métallique, rouge, rouge brunâtre à noir de fer. Sa poussière est rouge comme celle de son principal constituant.
- **La goethite** et la **lépidocrite**, orthorhombiques et de même formule  $FeO(OH)$ , sont deux hydroxydes de fer très voisins par leurs propriétés. La teneur en fer des limonites varie de 50 à 58 %.
- **Carbonates** : Parmi les carbonates, seule la **sidérose**, de formule théorique  $FeCO_3$ , est un constituant important de certains minerais de fer. Lorsqu'elle est pure, elle contient 48,8 % de fer, mais celui-ci est souvent partiellement remplacé par du magnésium, du manganèse ou du calcium, les teneurs en fer les plus courantes de la sidérose variant alors entre 40 et 45 %. C'est un minéral blanc lorsqu'il est pur, mais un début d'oxydation le colore souvent en jaune ou en brun : en effet, la sidérose s'oxyde facilement en limonite et en hématite.
- De nombreux **silicates** contiennent du fer, associé à du magnésium et à de l'aluminium. On les rencontre, dans certains minerais, comme minéraux accessoires. Seules, les **chlorites** et les **leptochlorites** sont des constituants importants de certains minerais de fer.
- **Sulfures de fer**, en particulier la **pyrite**, de formule  $FeS_2$ , sont présents en petites quantités dans beaucoup de minerais de fer ; ils sont nuisibles en raison du soufre et des divers éléments métalliques qu'ils contiennent. En revanche, la pyrite exploitée comme telle ou obtenue comme sous-produit de l'exploitation de minerais sulfurés polymétalliques donne, après grillage, un résidu utilisé parfois comme minerai de fer.

## 2.2. PRINCIPAUX MINERAUX NON FERRIFERES

Les minéraux non ferrifères présents dans les minerais de fer sont très nombreux. Les plus courants sont :

Le **quartz**  $SiO_2$ , c'est le constituant non ferrifère le plus important de presque tous les minerais de fer.

Les **minéraux des argiles**, qui sont essentiellement des silicates d'alumine hydratés contenant parfois du magnésium, du calcium et des alcalins, sodium ou potassium ;

Les **apatites**, de formule générale  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $Ca_2PO_4$  (Cl, F, OH), qui apportent une grande partie du phosphore présent dans certains minerais

La *calcite*, *carbonate de chaux*  $\text{CaCO}_3$ , et la dolomite, carbonate double de calcium et de magnésium dans lequel le fer remplace parfois le magnésium (ankérite), sont abondantes dans la gangue de certains minerais. [3]

### 2.3 COMPOSITION CHIMIQUE

La teneur en fer est évidemment la première prise en compte puisque le fer est, par définition, l'élément recherché. Elle est en particulier à la base de la distinction classique entre minerais riches et minerais pauvres nécessitant un enrichissement.

Également importants sont les éléments fusibles de la gangue qui contribuent, au haut fourneau, à former le laitier : ce sont la silice  $\text{SiO}_2$ , la chaux  $\text{CaO}$ , l'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et la magnésie  $\text{MgO}$ . Ils interviennent par leur masse totale et par leurs proportions respectives dans la détermination de la quantité et de la nature des additions qui seront nécessaires dans la constitution du lit de fusion. [3]

D'autres éléments sont présents dans les minerais de fer, souvent à l'état de traces, mais parfois dans des proportions suffisantes, bien que faibles, pour influencer sur la marche des installations ou sur la qualité de la production.

Le *phosphore* présent dans le minerai du grand gisement de Gara Djebilet, a eu historiquement une importance considérable en conduisant au développement d'une technologie appropriée. La plupart des minerais riches disponibles actuellement sont des minerais non phosphoreux ou minerais hématites avec des teneurs en phosphore inférieures à 0,080 %.

Le *soufre* est éliminé en grande partie dans l'atmosphère sous forme de  $\text{SO}_2$  (ce qui peut être à l'origine d'un problème environnemental) mais une faible quantité passe dans la fonte.

Les *alcalins*, *potassium* et *sodium*, ainsi que les métaux à basse température de vaporisation, en particulier le zinc, perturbent, même en très faibles quantités, la marche des hauts fourneaux.

Le *manganèse*, puissant désulfurant et désoxydant, peut être un élément utile si sa teneur est bien contrôlée. Parfois le *titane* est élément recherché car il protège les creusets des hauts fourneaux en formant des dépôts de carbonitrides.

La plupart des autres éléments présents dans les minerais de fer, tels que le chrome, l'arsenic, le *cuivre*, le plomb, l'étain, le nickel, sont des éléments indésirables, tolérés seulement à l'état de traces. [3]

Le minerai de fer de la mine de l'Ouenza est connu pour sa teneur élevée, mais la présence d'importantes quantités de cuivre a des teneurs tel que connues pour les gisements de cuivre exploités dans le monde, ou elle arrive à 1,5% dans certains endroits de la mine et particulièrement les quartiers Douamis et Hallatif, où l'exploitation à leur niveau s'est arrêtée, pour raison de la présence de cuivre qui perturbe le processus d'élaboration métallurgique de l'acier. C'est pour cette raison que nous avons orienté notre étude vers la recherche d'un procédé de séparation du cuivre de fer ainsi son enrichissement.



### **3. INFLUENCE DU CUIVRE SUR LA PRODUCTION DE LA FONTE**

En fonction de l'augmentation de la production sidérurgique et de la demande importante en fer, les réserves des gisements commencent à s'épuiser d'une année à l'autre. C'est pour cette raison, qu'il est nécessaire de mettre en valeur les gisements pauvres ou pénalisés par des éléments nocifs. Les minerais de ces gites doivent subir des techniques de concentration préalables en faisant intervenir simultanément teneurs et tonnages traités, pour mieux conserver le taux qualitatif en fer et éviter toutes perturbations techniques lors d'élaboration de la fonte et l'acier liées à la présence des éléments nocifs indésirables en proportions importantes dans le minerai de fer, comme le cas de celui provenant de quelques quartiers de la mine de l'Ouenza qui constitue le principale fournisseur du complexe d'el Hadjar. La présence excessive du cuivre dans le produit d'alimentation des hauts fourneaux met ce dernier dans des problèmes techniques de stabilité du processus d'élaboration et la qualité du produit finale. [4]

Ci-dessous nous citons quelques effets dues à la présence du cuivre dans l'acier :

- La fissuration en peau lors du laminage à chaud des aciers au cuivre.

Un des problèmes essentiels posé par une addition notable de cuivre à l'acier réside dans la fissuration de peau qui apparaît lors du forgeage ou laminage à chaud. Cette fissuration présente peu d'acuité pour les aciers de moins de 0,5% de cuivre (surface éventuellement rugueuse). Le Cu n'est allié qu'à peu de nuances d'acier, car il s'enrichit sous la couche de calamine et provoque, suite à une pénétration dans la limite du grain, une grande sensibilité en surface lors des processus de transformation à chaud, ce qui fait qu'il est partiellement considéré comme une substance parasite pour l'acier. [20]

- Influence du cuivre sur la résistance à la corrosion.

Les premières additions intentionnelles de cuivre aux aciers ont visé l'amélioration de la résistance à la corrosion ; il s'agissait alors d'addition de 0,25 à 0,50% de cuivre dans les aciers au carbone.

- Evolution des propriétés mécaniques.

L'évolution de la dureté au revenu montre que celle-ci a atteint sa valeur maximum avant qu'un grossissement des particules n'ait pu être décelé.

### **4. RECHERCHE D'UN SCHEMA OPTIMAL DE TRAITEMENT DU MINERAI (Cu-Fe) DE DOUAMIS**

A ce niveau de notre recherche, on a pu faire une étude de caractérisation minéralogique, qui nous a bien permis de reconnaître les minéraux cuivreux et ferrifères du minerai de fer de Douamis. Et l'étude des propriétés physiques de ses constituants nous a orienté de faire le choix des procédés minéralurgiques les plus proches à leur concentration, qui sont la séparation magnétique, vu la différence de susceptibilité magnétique entre ces minéraux et la flottation, qui est la technique de concentration la plus appliquée et adéquate pour les minéraux sulfurés, notamment ceux existants dans le minerai de Douamis.

Plusieurs variantes d'enrichissement pourront être envisagées, tenant compte séparément de l'une de ces techniques de concentration ou bien de leur combinaison, mais avant une lecture

bibliographique des différents schémas de traitement des minerais fer-cuivre, appliqués dans le monde, pourra nous orienter du près, vers le choix des variantes qui tiennent compte des caractéristiques du minerai et les objectifs technologiques et économiques recherchés.

#### 4.1. ENRICHISSEMENT DES MINERAIS FER CUIVREUX

Les sulfures de fer (pyrite, pyrrhotine, marcasite) accompagnés souvent de minéraux de cuivre constituant la source principale des minerais sulfurés. Leur minéralisation peut contenir de la magnétite. Cette dernière offre une quantité importante en cuivre obtenu lors du traitement du cuivre-magnétite. Leurs teneurs en minerais sont de 0,15 à 0,75% de cuivre et de 27 à 45% de fer.

Dans certains cas, on peut éventuellement trouver d'autres substances telles que le Nickel, le Cobalt, Titane et autres, ces minéraux sont appelés minerais sulfurés complexes. Dans d'autres cas, les minerais oxydés sont représentés par l'hématite, la limonite, la sidérose, et d'autres oxydes ayant des propriétés magnétiques faibles.

Dans le monde, les gisements de cuivre les plus répandus sont les gisements de porphyre (Chili, Arizona(USA)) et de grés (Zambie, RD Congo, R.F.A), ces minerais sont lors de leur exploitation dilués (ou bien salis), par la présence de roches encaissantes composées de Quartz, Chlorite, Sérinite, présentées dans différentes proportions. [4]

A cet effet, la pratique d'enrichissement des minerais de fer cuivreux utilise des méthodes de séparation basées sur les propriétés des minéraux, de leur nature, de leur composition minéralogique et chimique, etc.

Ces méthodes se classent comme suit :

- La flottation : pour les minerais sulfurés
- La flottation et la séparation magnétique : pour les minerais oxydés (magnétite-cuivre)
- Le grillage, la flottation et la séparation magnétique : pour les minerais oxydés (fer paramagnétiques cuivreux)

#### 4.2. ENRICHISSEMENT DES MINERAIS : CUIVRE-MAGNETITE

L'enrichissement de ces minerais est principalement effectué à l'aide de deux types de schémas de traitement combinés :

- Flottation-séparation magnétique : pour les minerais à faibles teneur en magnétite
- Séparation magnétique-flottation : pour les minerais à haute teneur en magnétite.

##### 4.2.1 *Traitement par Flottation-Séparation magnétique :*

Les minerais à haute teneur en cuivre (>0,7%) et à faible teneur en magnétite (30% à 40%) sont pratiquement toujours soumis à la flottation. Les résultats obtenus sont les concentrés de cuivre et les rejets de magnétite. Ces résidus seront à nouveau traités par la séparation magnétique afin d'en extraire le concentré de fer.

Ce procédé est largement répandu dans le monde. A titre d'exemple, nous citons quelques usines d'enrichissement qui y ont recours : Texada (Canada), Padabora (Afrique de Sud),Filex et Tolédo (Philippines), Balkhache (ex-URSS),etc. Dans la dernière entreprise minière citée,

on remarque que les minerais du type de skarns se distinguent par une composition minéralogique complexe, l'agencement des minéraux est irrégulier. [4]

Les minéraux sont constitués principalement de chalcopryrite, de bornite, de malachite, d'azurite, molybdénite, magnétite et de la pyrite.

Les minéraux de gangue sont le granite, le marbre, le quartz, le feldspath et la calcite. Les minerais sont enrichis suivant un schéma de flottation collectif (figure 20) qui permet d'extraire en premier lieu un concentré collectif de cuivre-molybdène (Cu-Mo). Les rejets sont soumis à une séparation magnétique : on obtient un concentré de magnétite.

Le tout-venant suit une série de concassage qu'on représente dans l'ordre :

- Concassage primaire : on recueille la tranche de minerai dont la grosseur est inférieure à 25mm ; elle constitue 15 à 35% du minerai initial.
- Cette masse minière est soumise de son côté aux opérations suivantes :
  - Un premier flux (la moitié de la tranche 0-25mm) subit un autobroyage.
  - Le reste alimentera en premier lieu des concasseurs secondaires et tertiaires : puis fera l'objet d'un broyage à trois stades.

Les procédés d'autobroyage et broyage sont menés dans des broyeurs à boulets. La matière est réduite jusqu'à 0,074 mm. A toutes ces opérations, se succède le cycle de flottation principale du composé du cuivre-molybdène : il représente un taux de 30% dans la pulpe. Les réactifs consommables sont l'huile « L » et le moussant « T-66 » (avec 186 g/t) : le kérosène (15g/t) : le mélange de xanthates isobutyliques et isopropyliques (44g/t).

Les indices représentés entre parenthèses sont les consommations spécifiques de ces réactifs. Lors de la flottation des minerais sulfurés, l'addition du kérosène permet d'augmenter le degré d'extraction du cuivre jusqu'à 1%. Le degré d'extraction pourra être amélioré pour les minerais oxydés par un additif de sulfure de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) titré à 1200g/t. le verre liquide ( $\text{Na}_2\text{S}$ )<sub>n</sub>. ( $\text{SiO}_2$ )<sub>m</sub> à 300 g/t servira plus tard à dépasser les minéraux de gangue. [4]

Un traitement par flottation relaveuse suivra : le concentré collectif de cuivre-molybdène contient respectivement 19 et 0,06 à 0,08 de cuivre et de molybdène. Les degrés d'extraction sont de l'ordre de 93,5% de cuivre et 78% de molybdène. Les rejets sont évalués à 0,05% Cu, 0,002% MO et 2 à 8% de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Les rejets de la flottation de contrôle constituent 62 à 65% de Fe sont enrichis par une séparation magnétique. Cette opération est réalisée en trois stades. Les rejets ont des teneurs en fer allant de 5,7 à 6% (y compris 0,32% de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Le concentré de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnétite) titre quant à lui 68% de fer avec un taux d'extraction estimé à 63%

En traitant les minerais contenant 0,54% de cuivre et 27% de fer, l'autre exemple est celui de l'usine de Palabora (figure 21) en Afrique du Sud pratique un schéma combiné de flottation et de séparation magnétique.

Le tout-venant suit un concassage et un broyage dont 53% représentent la tranche granulométrique inférieure à 0,074mm. la matière préparée alimente la flottation principale de cuivre dont on ajoute à cette dernière les réactifs suivants :

- Collecteur : xanthate amylique (20g/t)

- Moussant : huile de pin et l'aéro 65 (10g/t).

Après concentration de cette matière, le produit de cellule (rejets) est soumis à la séparation magnétique. On obtient un concentré de magnétite ( $Fe_3O_4$ ) contenant 66 à 67% de fer. Tandis que les rejets (fraction non-magnétique) seront broyés à nouveau jusqu'à 7% de la tranche granulométrique inférieure à 0,044mm, qui seront menés par la suite dans la flottation de contrôle. Le produit de mousse de ce dernier cycle revient dans la fraction principale. Le concentré obtenu titre 31,6% de cuivre avec un taux d'extraction de 84,4%.

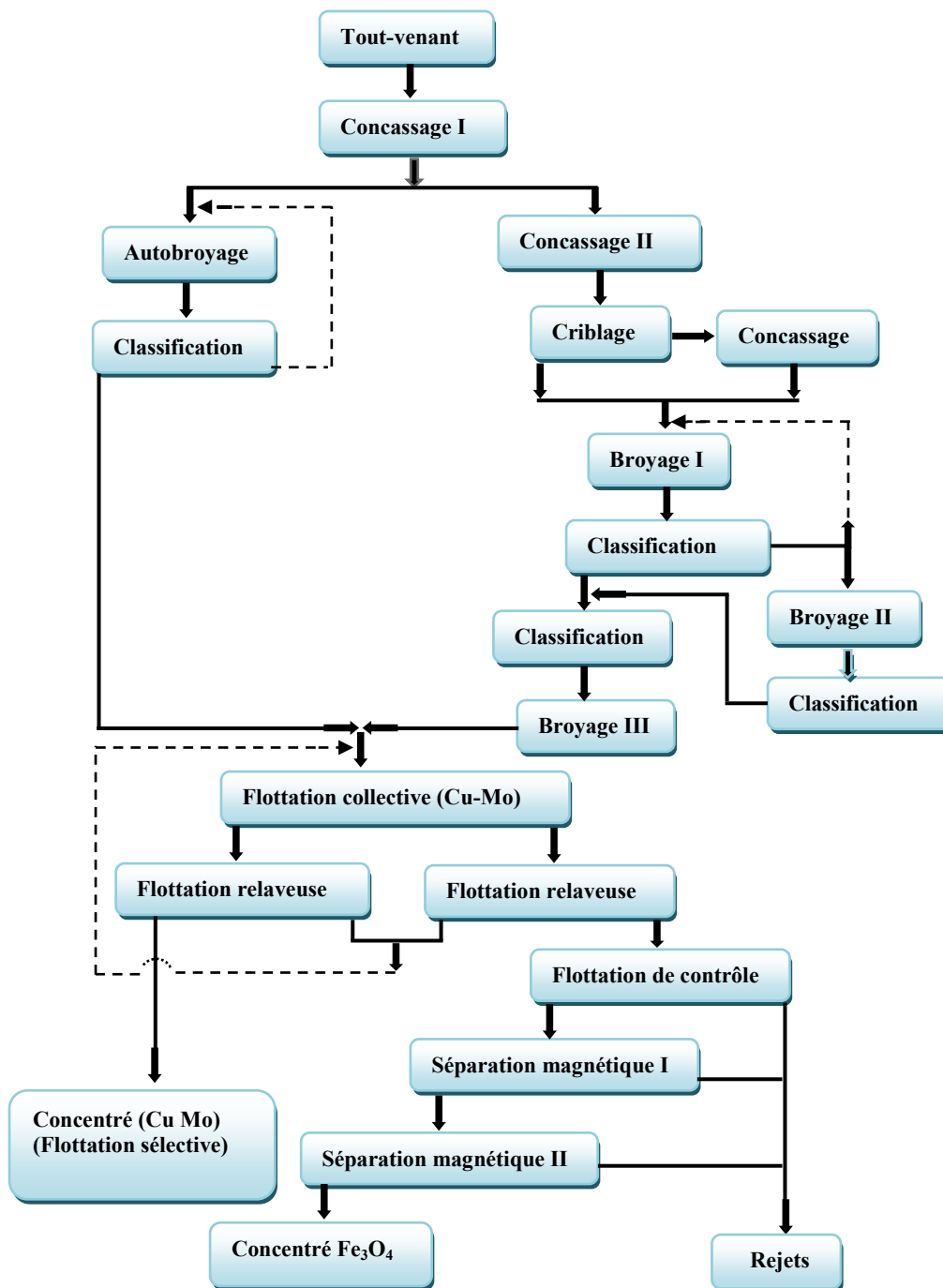


Figure 20 : Schéma de traitement combiné (Flottation-Séparation magnétique) du minerai de fer cuivreux de l'usine de Bakhache (ex-

4.2.2 Schéma de traitement combiné : Séparation magnétique-Flottation

Ce schéma utilise principalement des minerais de fer et de cuivre ayant des teneurs respectivement de 40 à 45% de fer et 0,2 à 0,3% de cuivre. Ces minerais sont soumis en premier stade de traitement à la séparation magnétique. Cette séparation donne un concentré de fer et des rejets (produits semi-finis), ces derniers seront mené à nouveau dans le cycle de la flottation afin d'en extraire le cuivre.

A l'état actuel, ce schéma a pris une large application dans le monde. A titre d'exemple, d'entreprises minières, nous citons : Cornwall (USA), Versfobe et Tacou (Canada).

En utilisant ce schéma (séparation magnétique-flottation), la dernière entreprise traite les minerais de cuivre et de fer de teneurs respectivement 0,75% et 44,5%. Le principe de traitement se réalise en trois stades de séparation magnétique (figure 22), à ces stades, le procédé de flottation réside et sert à enrichir les fractions magnétiques et diamagnétiques.ici, la fraction magnétique présente des sulfures de cuivre, de la pyrite et de la pyrrhotine.

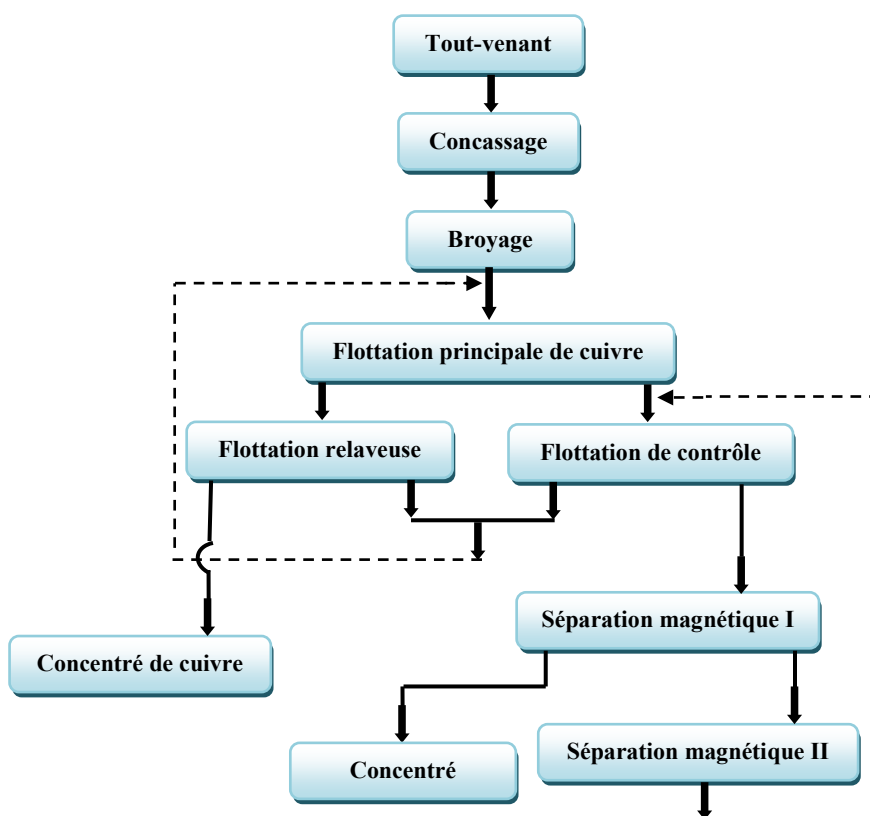


Figure 21 : Schéma technologique de traitement du minerai de fer cuivreux de Palabora (Afrique du Sud)

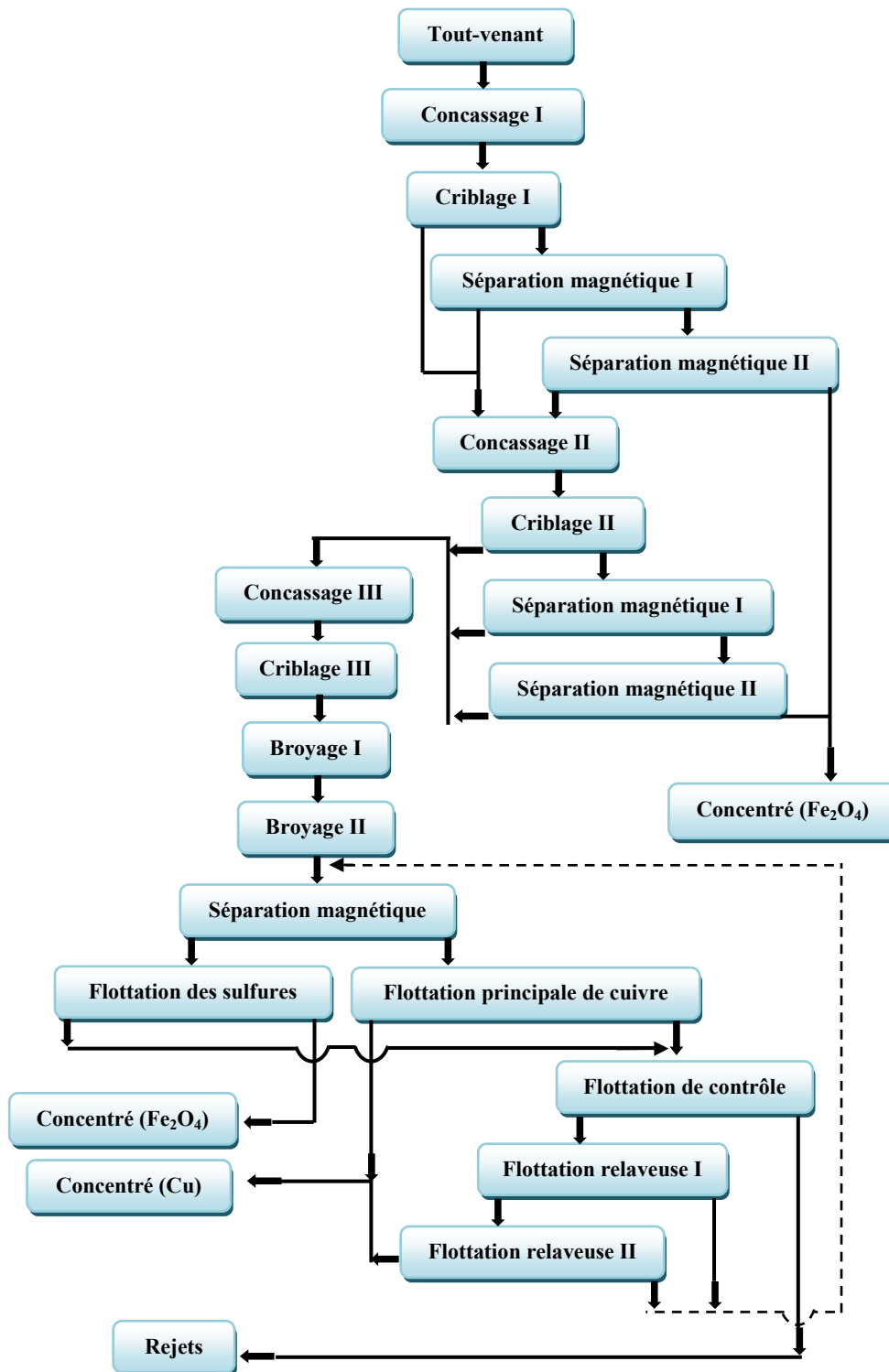


Figure 22 : Schéma de concentration par séparation magnétique-Flottation du fer cuivreux de Tacou (Canada)

Dans la flottation des sulfures, le produit de cellule renferme un concentré de magnétite de 70% de fer et 0,03% de cuivre. Ce concentré produit, sera ensuite acheminé dans la production des pellettes. Par contre, la fraction diamagnétique subit une séparation magnétique et passe dans la flottation du cuivre. Le pH titre 9,5 et la chaux est utilisée comme régulateur du milieu.

Les résultats donnés dans la dernière opération de traitement est le concentré de cuivre de teneur 20% avec un taux d'extraction titrant 96%.

#### **4.2.3. Enrichissement par grillage magnétisant suivi de séparation magnétique à basse intensité (GM+SMBI)**

Conformément aux lois d'équilibre des oxydes de fer, on sait que, placées dans les conditions convenables de température et d'atmosphère, la limonite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  impur) et la sidérose ( $\text{CO}_3\text{Fe}$ ) se transforment en  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ou magnétite, on sait aussi que cette magnétite est un corps très fortement ferromagnétique, le grillage magnétisant a pour mission de réaliser cette opération à l'issue de laquelle :

- La limonite et la sidérose sont transformées en magnétite et deviennent par conséquent ferromagnétiques
- Tous les autres constituants restent non ferromagnétiques.

Une séparation magnétique à basse intensité, opérée dans des champs faibles, est insuffisante, puisque le ferromagnétisme de la magnétite y développe des forces d'attraction considérables.

#### **Conclusion**

Sur la base des connaissances établies quant aux différents types de minerais (que ce soit cuivreux ou fer) conjointement avec leurs propriétés (principalement leur richesse et leur composition minéralogique) ; et les exigences technologiques aux quelles ils sont soumis, nous pouvons proposer quatre variantes de traitement du minerai fer cuivreux :

- Traitement par séparation magnétique
- Traitement par séparation magnétique et flottation.
- Traitement par flottation.
- Traitement par flottation et séparation magnétique.

## **5 ÉTUDE ET CHOIX DE SCHEMA DE TRAITEMENT DU MINERAI DE DOUAMIS**

Après avoir analysé les schémas contemporains d'enrichissement du minerai de fer cuivreux, il nous a apparu bien que notre schéma sera basé essentiellement sur les techniques de concentration qui exploite au mieux les propriétés du minerai, il s'agit de la séparation magnétique et la flottation.

Cette constatation, est le point d'appuis dans le choix de notre schéma rationnel de traitement du minerai de l'Ouenza, tout en tenant compte les buts métallurgiques recherchés et les impératifs économiques qui sont les facteurs critiques qui dissident sa validation.

Plusieurs variantes d'enrichissement peuvent être envisagées, tel qu'elles sont citées ci-dessus, tout on tenant compte d'étude établie sur les propriétés des constituants et les exemples des schémas contemporains exposés.

Bien évidemment, la mise en œuvre d'une technique d'enrichissement impose au préalable, une mise en condition du minerai par différentes opérations de préparation et de classification granulométrique adaptée aux dimensions des grains pour un enrichissement efficace, et le nombre d'opérations ou leur disposition sera précisé au cours des recherches expérimentaux.

### **I<sup>ERE</sup> VARIANTE : SEPARATION MAGNETIQUE**

C'est la technique la plus utilisée et la plus développée dans le traitement de minerai de fer. Sont utilisation dans notre cas se résume en deux niveaux de séparation, après avoir une préparation du produit par deux stades de concassage (grosier par concasseur à mâchoire et fin par concasseur cône) et broyage à sec (broyage autogène) jusqu'à <500µm avec une classification.

Le premier niveau consiste à une séparation magnétique à haute intensité (SMHI), pour une récupération maximale de fer, par un séparateur à circuit conventionnel (électroaimant) dont l'intensité du champ est réglable, ce qui nous permettra (dans nos prochains essais) de choisir l'intensité nécessaire, sachant que le minerai à séparer est de l'hématite à faible susceptibilité magnétique.

Le second niveau est une séparation magnétique à basse intensité (SMBI) : le premier niveau ne peut pas aboutir à un concentré définitif, et comme le produit est de l'hématite avec toute la gangue qui l'accompagne, la SMBI ne peut être efficace qu'avant de procéder à un grillage magnétisant préalable à 800°C du produit, afin de lui donner une susceptibilité magnétique élevée. A ce niveau nous attendant un concentré définitif, mais un rendement de séparation plus ou moins faible.

Sur le plan économique, la séparation magnétique paraît avantageuse, l'installation est simple et le procédé est loin des besoins importants en eau, mais techniquement, les résultats attendus ne peuvent pas satisfaire l'objectif recherché en matière de qualité de produit, car la présence des inclusions cuivreuses ne seront pas écartés facilement par la séparation magnétique.

A cet effet, un procédé complémentaire est requis, pour l'extraction du cuivre, la flottation est jugée le procédé le plus adéquat pour accomplir cette tâche de traitement pour extraire le cuivre.



## II<sup>EME</sup> VARIANTE : SEPARATION MAGNETIQUE-FLOTTATION

Le schéma de la figure 23 traite l'application combinée de la séparation magnétique et la flottation.

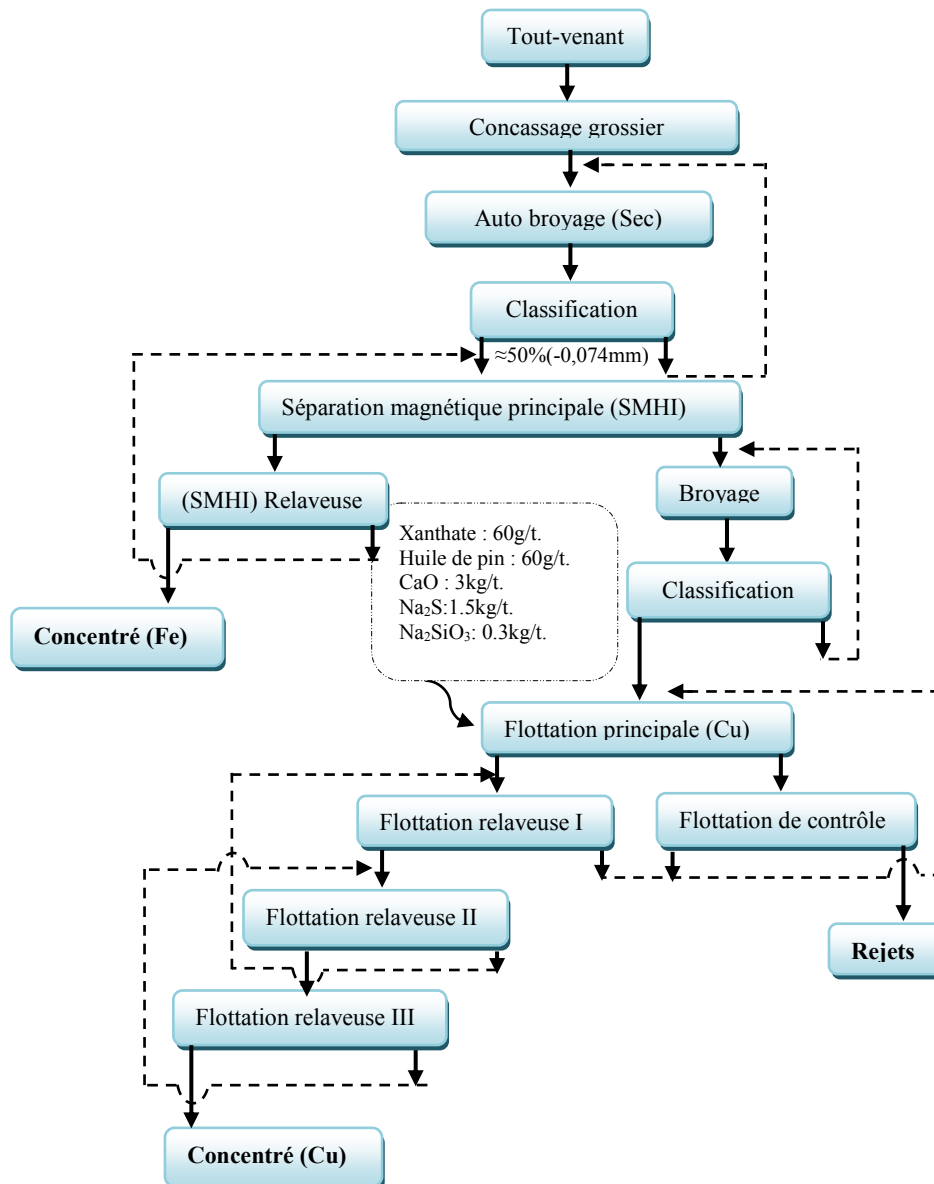
Dans ce schéma, on procède au préalable à un concassage grossier du tout-venant, puis un broyage du minerai à moins de 225 $\mu$ m en deux stades dont on peut citer :

- Pour la séparation magnétique : on recueille 50% de la tranche granulométrique supérieure à 0,074mm.
- Pour la flottation : les rejets de la séparation magnétique seront soumis à autre broyage relié à une classification, pour recueillir 85% de la tranche granulométrique du moins de 0,074mm, qui sera soumise à la flottation principale directe.

En derniers cycles de la séparation magnétique et flottation, les produits obtenus sont respectivement les concentrés de fer et de cuivre.

Le schéma proposé ci-dessous paraît simple, dans son enchaînement et l'utilisation combinée de la séparation magnétique et la flottation peut accomplir les déficits vus au schéma de la première variante, mais ça ne veut pas dire qu'il est loin des inconvénients suivants :

- La SMHI ne suffit pas pour avoir un concentré définitif de fer, et l'adoption d'un deuxième stade de SMBI précédé par un grillage magnétisant allant de (650 à 1000°C) est une nécessité pour avoir des concentrés de quantité et de qualité.
- Le débit d'alimentation des cellules de flottation principale dépend des rejets de la SMBI (fraction non magnétique) et le débit de cette dernière est connu faible (capacité réduite de séparateur à aimants permanent) ce qui n'est pas nécessaire d'introduire plusieurs stades de flottation relaveuse.
- Les rejets de flottation peuvent contenir un certain taux de fer, qu'il faut récupérer, par un renvoi vers la SMHI, mais cela reste à vérifier au cours des essais expérimentaux de séparation qui nous allons aborder au prochain chapitre.



**Figure 23** : Schéma de traitement combiné (séparation magnétique- flottation) proposé du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza

### III<sup>EME</sup> VARIANTE : FLOTTATION

L'application de la technique de flottation s'est développée rapidement dans l'industrie minière pour les différents types de minerais et en particulier les sulfures.

Dans la figure 24 nous présentons la variante de traitement par flottation en différents stades, du minerai de fer de l'Ouenza (quartier Douamis).

- Le minerai concassé à 200mm passe au stade de broyage qui délivre une granulométrie inférieure à 0,074mm.

- Après broyage, le minerai subit une classification en deux stades, dont le dernier stade offre un débordement d'environ 85% de la tranche granulométrique du moins de 0,074mm, qui alimentera la flottation principale du cuivre.
- Pour augmenter le degré d'extraction des minerais de cuivre on y ajoute trois stades de flottation relaveuse.

Les produits extraits de la flottation sont : le concentré de cuivre et les rejets de fer.

- Les rejets de fer de la flottation de contrôle et la première flottation relaveuse passent à la flottation principale.

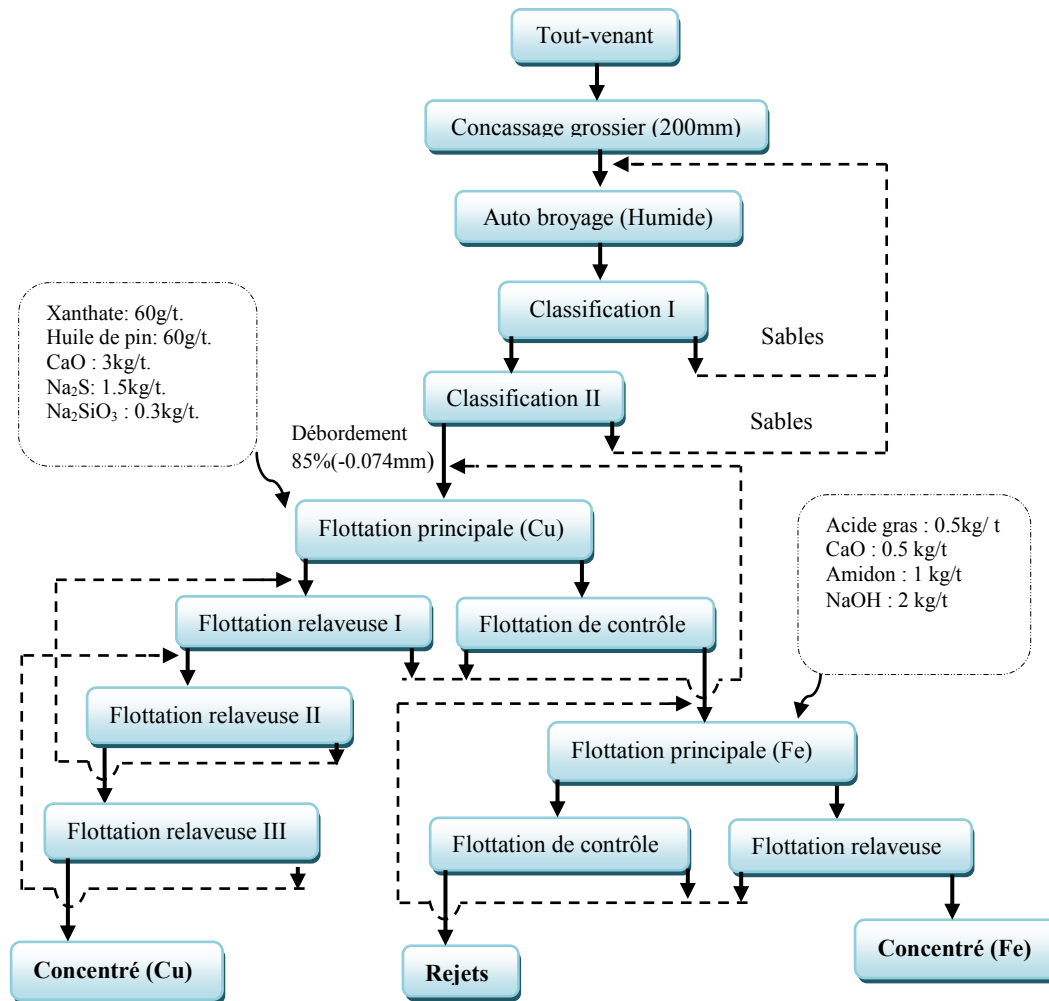
Le produit de cette dernière est soumis à la flottation de contrôle dont on obtient deux différents produits, à savoir :

- Le premier produit de cellule représente les rejets. Le deuxième produit (mousse) recyclé à la flottation principale de fer avec le produit de cellule de la flottation relaveuse.
- A la flottation relaveuse, le produit de mousse obtenu délivre le concentré de fer.

L'application de la flottation s'étale sur plusieurs types de minéraux (oxydes, sulfures, carbonates, etc.), et la décision de son application obéit à plusieurs facteurs économiques plus que techniques, et pour ces raisons technico-économiques, l'élaboration de ce types de schéma est très délicat et onéreux.

Le minerai de fer cuivreux de la mine de l'Ouenza présente des teneurs en fer de l'ordre de 52% en moyenne, mais comporte aussi des teneurs en cuivre intéressantes (1,04% à 1,50%), et l'enrichissement par le schéma de flottation suscitée peut augmenter ces teneurs à 65% fer et 30% cuivre, cela est un avantage du point de vue qualitatif, mais économiquement parlons, l'adoption de ce schéma n'est pas rentable, pour les inconvénients suivants qu'il apporte :

- Le schéma englobe plusieurs stades de contrôle (flottation de contrôle), de relavage (flottation relaveuse) et de finissage (concentrés définitifs) ce qui rend l'installation complexe et onéreuse.
- Les réactifs de flottation, c'est un autre inconvénient, les prix élevés, est une charge lourde d'un côté, et leurs effets néfastes sur l'environnement par leur toxicité, pollution des eaux et rejets de traitement, impose d'installer une station annexe de traitement et de recyclage des rejets, et cela c'est une autres charges de plus.
- Le procédé de flottation consomme d'énormes quantités d'eau, et comme la région appartient à l'atlas Tellien, caractérisé par un climat semi-aride, l'approvisionnement en eau ne peut satisfaire les besoins du procédé de flottation.



**Figure 24** : Schéma de traitement par flottation du minerai de fer cuivreux de

#### IV<sup>EME</sup> VARIANTE : FLOTTATION-SEPARATION MAGNETIQUE

Le schéma est l'inverse de celui de la deuxième variante, ou notre souhait à travers, est de vérifier la possibilité de séparation du minerai cuivreux de fer de Douamis par une combinaison de la flottation-séparation magnétique.

Après les opérations de fragmentation grossière du tout-venant. Un broyage (humide) fin délivre une granulométrie ( $<0,074\mu\text{m}$ ) pour les cellules de flottation principales chargées à donner le concentré du cuivre en premier lieu.

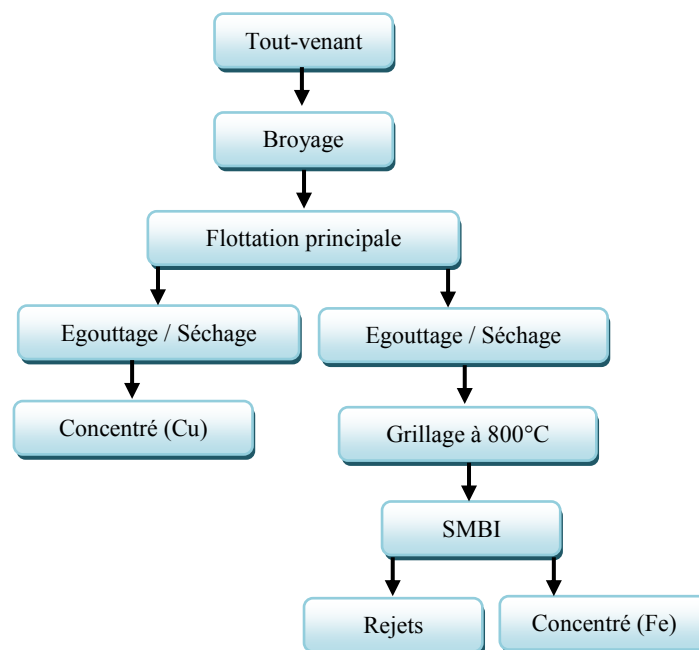
La séparation magnétique à basse intensité intervient pour l'extraction de fer rejeté par la flottation, mais cela se passe après un grillage magnétisant à  $800^{\circ}\text{C}$  des rejets de flottation. Cette technique de traitement est optimiste mais elle n'est pas exclue des inconvénients, qui sont :

- Même que cette variante peut extraire facilement le cuivre avec un bon rendement, mais le recours à la flottation en premier lieu, nécessite plusieurs stades de concassage

et de broyage pour atteindre un degré de libération suffisant du cuivre disséminé dans le corps de fer, ce qui est lourd sur le budget d'investissement d'un côté, et de l'autre côté de nombreuses opérations auxiliaires d'égouttage, séchage, épaisissement et relavage, sont nécessaires ce qui est une autre charge en plus.

- Techniquement parlons, la SMBI aura lieu en milieu sec, est son efficacité est en proportion direct avec la granulométrie des particules à séparer, autrement dit, la flottation délivre des rejets à une granulométrie  $< 0,074\mu\text{m}$ , et dans ces conditions la séparation est inefficace, par l'effet du phénomène électrostatique des particules fines.

A titre illustratif la figure 25 montre une esquisse du schéma de la quatrième variante.



**Figure 25** : Schéma de traitement Flottation-SMBI

## 5. CONCLUSION

Sur la base des schémas contemporains appliqués pour le traitement des minerais de cuivre-fer, et d'après l'étude comparative de différents procédés de traitement, séparément ou en combinaison, et suivant les propriétés des constituants du minerai de Douamis, on est arrivé à préconiser un schéma pour le traitement de minerai cuivre-fer de l'Ouenza à base d'une séparation combinée (séparation magnétique à haute et à basse intensité et la flottation directe).

Notre schéma a été inspiré de la deuxième variante avec quelques améliorations apportées de d'autres variantes. Le schéma est résumé dans les étapes suivantes :

- Le tout-venant arrive de la mine à une granulométrie inférieure à 300mm, (exploitation souterraine), reçoit son premier concassage (concasseur à mâchoire) à <70mm, puis un second concassage (concasseur à cône) à <12mm, et en fin une classification directe par criblage, avant d'être acheminé vers la station de broyage.
- Un broyage autogène (milieu sec) délivre une granulométrie inférieure à 500µm qui sera mise en classification, dont les passants alimentent le premier stade de SMHI en voie sèche, assuré par un séparateur à électroaimants.
- Les refus de SMHI sont soumis à un grillage magnétisant à 800°C par un four rotatif doté d'un extracteur refroidisseur (Refroidissement rapide) à la sortie du produit. Le produit ainsi grillé, alimente un séparateur à basse intensité délivrant un concentré de fer. Un deuxième séparateur à basse intensité a le rôle de la finition des concentrés du premier stade de séparation.
- Les rejets de la SMHI seront l'objet d'un broyage humide par un broyeur à boulets, suivi d'une classification par cyclonage (hydrocyclone) et tamisage à 74µm.
- La flottation principale reçoit le produit broyé à un débit plus ou moins réduit, et le produit de mousse passe en deux niveaux de relavage (flottation relaveuse) pour objet de récolter un concentré de cuivre définitif.

Nous attendons à travers ce schéma des concentrés définitifs de fer, récoltés de la séparation magnétique et un concentré de cuivre issu de la flottation, qui peut contenir une certaine teneur en fer qu'on doit récupérer s'il s'agit d'un taux intéressant par un recyclage vers la SMBI. Mais cela reste à vérifier au cours des essais par des analyses chimiques.

L'ordre des opérations de traitement peut être modifié ultérieurement suivant les résultats à obtenir au cours des essais expérimentaux à réaliser (*Chapitre v*).

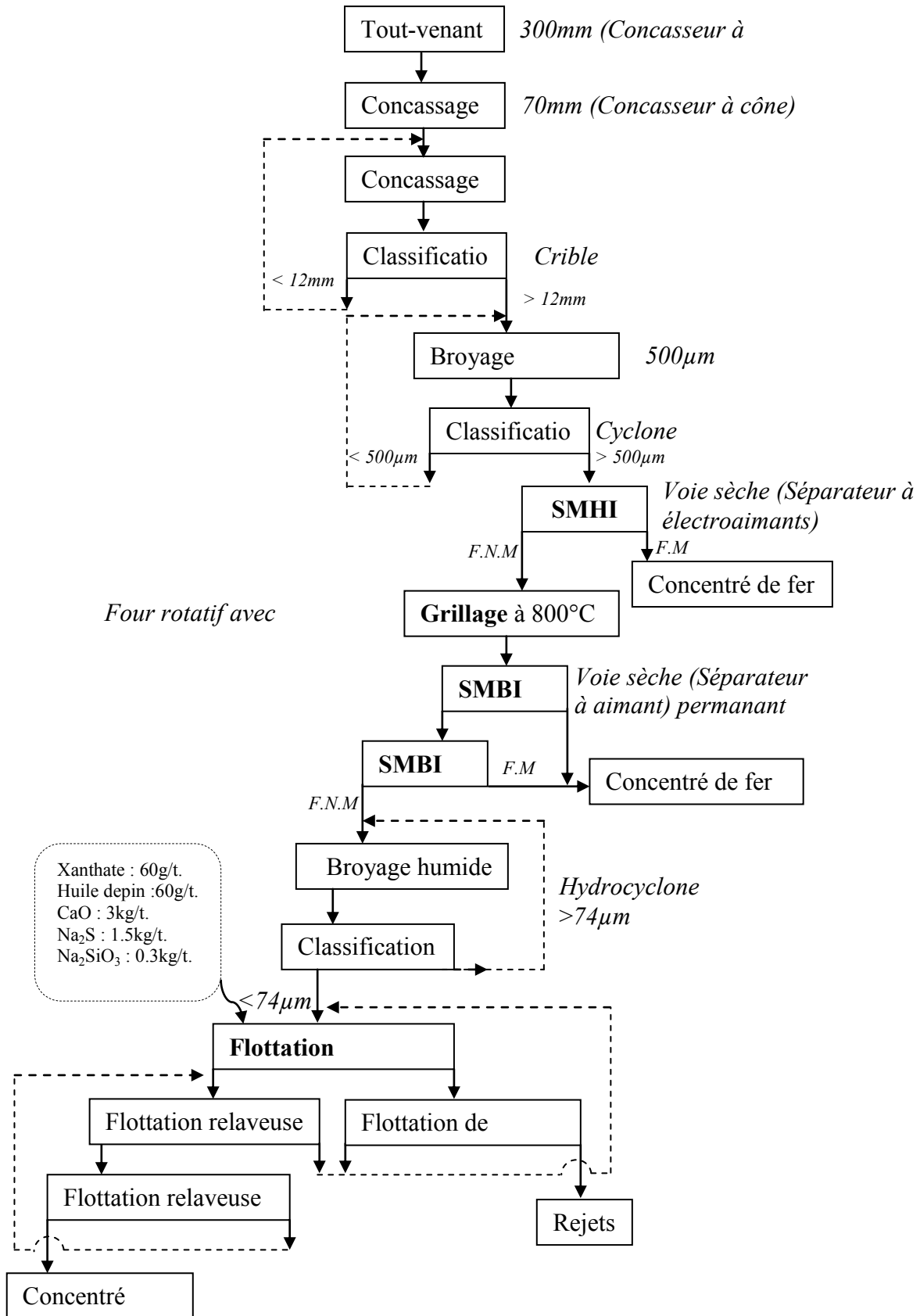


Figure 26 : Schéma de traitement du minerai de fer-cuivre de Douamis(Ouenza)



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [3] **J. Bloneau** ; Élaboration et recyclage des métaux (Minerais et Fondants -Minerais de fer)  
Techniques de l'Ingénieur, M 7 040/2005
- [4] **M. Bounouala** (1988), Recherche et élaboration d'une technologie de traitement du  
minerai de fer cuivreux de l'Ouenza, *thèse magistère*, Université Badji Mokhtar de  
Annaba, 51-60pp.
- [12] **A. Gosselin, Blackburn, M. Bergeron**, Protocole d'évaluation de la traitabilité des  
sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques (Mars  
1999).
- [20] Les principales influences sur l'acier par les éléments d'alliage et les impuretés  
([www.plasturgie.net](http://www.plasturgie.net))



# **CHAPITRE V** *ETUDE DE SCHEMA DE TRAITEMENT DU MINERAI CUIVRE-FER DE DOUAMIS (OUENZA)*

*A ce niveau de notre recherche, on est arrivé à faire une caractérisation minéralogique et une étude des propriétés physico-mécaniques des constituants du minerai à traiter, ce qui nous a permis de faire le choix du procédé d'enrichissement adéquat.*

*Parmi les procédés que nous allons adopter dans nos recherches, on peut citer : la séparation magnétique à haute intensité (SMHI), la séparation magnétique à basse intensité (SMBI), le grillage magnétisant suivi d'une séparation magnétique (SMBI) et la flottation directe du cuivre.*

## 1. INTRODUCTION

A ce niveau de notre recherche, on est arrivé à faire une caractérisation minéralogique et une étude des propriétés physico-mécaniques des constituants du minerai à traiter, ce qui nous a permis de faire le choix du procédé adéquat d'enrichissement.

Parmi les procédés que nous allons adopter dans nos recherches, on peut citer : la séparation magnétique à haute intensité (SMHI), la séparation magnétique à basse intensité (SMBI), le grillage magnétisant suivi d'une séparation magnétique (SMBI) et la flottation directe du cuivre.

La composition minéralogique, révèle la présence des minéraux cuivreux sous différentes formes, ainsi que les calcaires et le quartz, dans le minerai hématitique à caractère magnétique, ce qui mit la séparation magnétique comme le procédé d'enrichissement nécessaire. Les minéraux cuivreux sous forme des oxydes et sulfures font l'objet d'une extraction par flottation direct.

L'utilisation de deux stades de concassage (primaire et secondaire) et due à la dureté des minéraux existants, mais la maille de libération des minéraux utiles (cuivreux et ferrifères) et celle de la gangue n'est pas circonscrite à ce niveau, et les essais expérimentaux de séparation peuvent nous faire déduire. Dans ces cas, on a passé en revue l'influence des paramètres constructifs de l'appareillage utilisé et la granulométrie correspondante du minerai.

Dans ce qui suit dans ce chapitre, nous allons suivre notre recherche par la réalisation des essais de séparation, (séparation magnétique et flottation) afin qu'on puisse tracer le schéma rationnel de traitement du minerai de Douamis.

## 2. BASES THEORIQUES DE LA SEPARATION MAGNETIQUE

Comme son nom l'indique, la séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation en voie sèche ou humide. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique. [12]

Pour décrire une excitation magnétique, deux entités différentes sont utilisées : le champ magnétique  $\vec{H}$  et l'induction magnétique  $\vec{B}$  qui, dans le vide, ne sont pas indépendantes, mais liées par l'équation :  $\vec{H} = \mu_0 \vec{B}$

Avec :  $\mu_0$  perméabilité du vide égale à  $4\pi \times 10^{-7}$  H.m<sup>-1</sup>.

Quand une matière est soumise à l'influence d'une induction magnétique  $\vec{B}$ , chaque élément de volume  $dV$  acquiert un moment magnétique :  $\vec{m} = \vec{M} dV$

On dit alors que la matière s'aimante et que, d'une manière générale, cette aimantation  $\vec{M}$  est proportionnelle à la valeur du champ magnétique,  $\vec{H} : \vec{M} = \kappa \vec{H}$

Avec :  $\kappa$  susceptibilité magnétique de la matière considérée (notée aussi  $c$  dans la littérature).

La susceptibilité magnétique peut être exprimée par rapport à l'unité de masse ; on parle alors de susceptibilité magnétique massique ou spécifique  $c$  ( $c = \kappa / \rho$  ; avec  $\rho$  masse volumique du corps considéré).

Les substances diamagnétiques et paramagnétiques présentent une aimantation proportionnelle à la valeur du champ magnétique. Ces corps sont donc appelés magnétiques parfaits et ont une valeur de susceptibilité magnétique spécifique :

- Négative pour les éléments diamagnétiques ( $-2 \times 10^{-9}$  à  $-7 \times 10^{-9}$  m<sup>3</sup>/kg).
- Positive pour les éléments paramagnétiques ( $0,1 \times 10^{-6}$  à  $5 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/kg).

Cette valeur peut varier en fonction des impuretés ou des modifications du réseau cristallin (cf. Chapitre III, tableau 13). Les substances antiferromagnétiques comme la sidérose FeCO<sub>3</sub>, ou comme divers oxydes, MnO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> par exemple, se comportent macroscopiquement, à température ambiante, comme des corps paramagnétiques.

Pour les corps ferromagnétiques et les corps ferrimagnétiques, l'aimantation est une fonction très complexe de la température, du champ magnétique appliqué et de l'aimantation antérieure. Ces éléments, comme le fer, le nickel et le cobalt, sont caractérisés par une courbe d'aimantation et de désaimantation (cycle d'hystérésis) dont les points principaux sont l'aimantation à saturation  $M_s$  et l'aimantation rémanente  $M_r$ , qui subsistent en l'absence de champ magnétique, et le champ magnétique coercitif  $H_c$ , qui annule l'aimantation. [18]

Un **séparateur magnétique** est un appareil qui modifie les caractéristiques du champ magnétique dans l'espace de traitement. Il engendre en particulier un champ magnétique agissant de façon sélective sur les corps qui présentent la plus grande aptitude à l'aimantation. Dans les opérations de tri magnétique (concentration ou épuration).

La séparation est obtenue en appliquant à toutes les particules contenues dans un mélange une force magnétique d'expression générale :

$$\vec{F}_m = \frac{1}{2} \mu_0 V_p \left( \frac{\kappa_p}{1 + D\kappa_p} - \kappa_f \right) \text{grad}(H^2)$$

Avec :  $D$  coefficient de démagnétisation des particules

$V_p$ ,  $\kappa_p$  volume et susceptibilité magnétique du corps considéré

$\kappa_f$  susceptibilité magnétique du fluide (air ou eau).

En plus de cette force d'attraction, qui agit sur les particules magnétiques, s'applique, à toutes les particules magnétiques ou non, une combinaison de forces agissant dans différentes directions et dont les plus fréquemment rencontrées sont :

$$\text{Force de gravité : } \vec{F}_g = \frac{4}{3} \pi (\rho_p - \rho_f) R_p^3 \vec{g}$$

$$\text{Force centrifuge : } \vec{F}_c = \rho_p V_p \omega^2 R$$

$$\text{Force d'entraînement par le fluide : } \vec{F}_f = 6\pi\eta R(\vec{v}_f - \vec{v}_p)$$

Avec  $R$  : Rayon du tambour (ou cylindre) de séparation

$R_p$  : Rayon de la particule

$\vec{g}$  : Accélération due à la pesanteur

$\vec{v}_p$  et  $\vec{v}_f$  : Vitesses de la particule et du fluide

$\omega$  : Vitesse angulaire de la particule  
 $\rho_p$  et  $\rho_f$  : Masses volumiques de la particule et du fluide  
 $\eta$  : Viscosité dynamique du fluide.

Pour que la séparation ait lieu, il est nécessaire que la valeur de la force magnétique soit supérieure à la somme des forces antagonistes, développées par le système, et des forces interparticules (figure 27). [18]

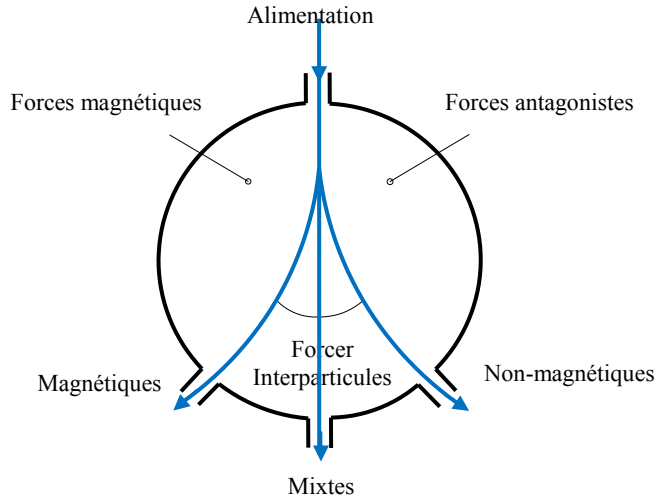


Figure 27 : Schéma de principe de séparation

### 3. SEPARATION MAGNETIQUE A BASSE INTENSITE (SMBI)

Les appareils de séparation magnétique à basse intensité fonctionnent normalement à champ magnétique ouvert, c'est-à-dire que les lignes de force magnétique se referment dans un milieu magnétique peu perméable, air ou eau. Le dispositif utilisé dans les séparateurs (SMBI), est constitué d'aimants permanents. Ce sont des matériaux caractérisés par une induction magnétique rémanente  $B_r$ , les rendant aptes à créer un champ magnétique sans dépense d'énergie. Les matériaux à aimants permanents sont nombreux (*Remalloy, Vicalloy, Alnico*, ferrites), mais les aimants les plus couramment utilisés actuellement sont constitués d'alliages céramiques de type  $CO_5$  RE (où RE est un élément de terres rares : Sm, Sr, Ce, Nd, etc.) ou Fer-Néodyme-Bore (Fe-Nd-B) dont les intensités de champ magnétique peuvent atteindre 1 200 kA/m et la valeur de  $\text{grad}(H^2) 1,3 \times 10^{17} \text{ A}^2/\text{m}^3$ . Dans les séparateurs magnétiques, les aimants permanents peuvent être montés avec pièces polaires ( $H > 800 \text{ kA/m}$ ). Sans pièces polaires, les lignes de champ magnétique se propagent loin dans l'espace (champ magnétique profond) et les valeurs maximales du champ magnétique ne dépassent pas 200 kA/m.

#### 3.1 SEPARATEURS EN VOIE SECHE

**3.1.1 Équipements de protection et de déferrailage :** Ces machines travaillent en régime automatique et continu pour éliminer ou séparer soit des éléments ferreux contenus dans des déchets métalliques, des ordures ménagères ou des scories ou sables de fonderie, soit pour enrichir des minerais ferrimagnétiques en gros morceaux.

Le système magnétique peut être constitué d'aimants permanents ou d'électroaimants. Ils sont principalement de trois classes.

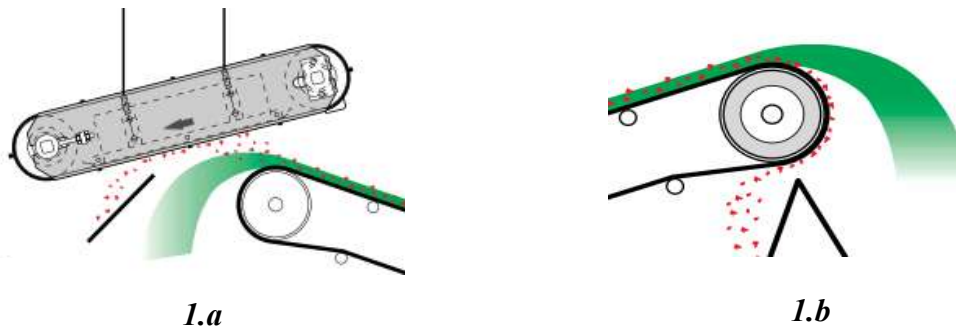


Figure 28 : Exemple d'appareils déferrailleurs

- Les *séparateurs suspendus*, à évacuation discontinue ou continue (*overband*) sont des appareils très efficaces pour enlever des éléments ferreux indésirables se trouvant pris dans des charges transportées par des convoyeurs à courroie (figure 28.a).
- Les *poulies magnétiques* sont des appareils qui ont la place et la fonction d'une poulie de tête d'un convoyeur à bande, mais renfermant un dispositif magnétique afin de retenir et d'évacuer les produits magnétiques (figure 28.b).
- Les *tambours déferrailleurs* sont de conception similaire à ceux utilisés pour le traitement des minerais. Les appareils sont généralement alimentés par le haut dans les opérations de préconcentration (récupération élevée) ou en dessous du tambour pour des opérations de concentration haute teneur (fonctionnement par extraction).

### 3.1.2 Séparateurs à tambour et centrifuge :

Ces séparateurs sont équipés d'un tambour (ou virole) à l'intérieur duquel se trouve une couronne d'aimants permanents fixe. Les aimants sont généralement disposés selon une structure axiale et sont espacés régulièrement avec une polarité alternée (meilleur retournement des houppes de produit). Les performances de ces séparateurs varient avec les types d'appareils, mais également avec la vitesse de rotation du tambour, les dispositions de montage, la conception du circuit magnétique, les débits, la granulométrie et la composition minéralogique du produit à traiter. Ils sont constitués d'un tambour renfermant un système magnétique immobile formant un arc de 150 à 180°, (figure 29) dont les éléments actifs peuvent être transversaux, longitudinaux ou radiaux. Les débits sont de l'ordre de 200 à 300 t·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> et les vitesses périphériques varient de 0,6 à 2,2 m/s.

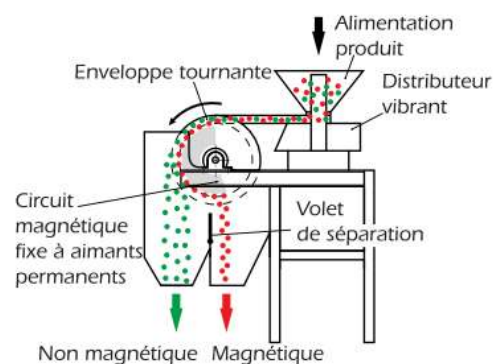


Figure 29 : Séparateurs à basse intensité en voie sèche à tambour

Les séparateurs magnétiques à basse intensité, de type classique, n'agissent de façon efficace que sur les corps ferrimagnétiques qui sont le siège de forces importantes, même dans des champs magnétiques faibles et peu convergents ( $H > 300$  kA/m et  $\text{grad}(H^2) > 2 \times 10^{11}$  A<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). Des progrès ont été réalisés avec l'apparition de séparateurs à aimants permanents en céramique et à grande vitesse périphérique permettant de traiter des produits de granulométrie plus fine. Ces séparateurs centrifuges sont des appareils à tambour ayant une vitesse périphérique de l'ordre de 1 à 12 m/s. La partie active du séparateur comprend une série d'aimants en céramique à polarité alternée et à pas polaire (distance entre les pôles) relativement faible formant un arc magnétique.

Ces appareils sont principalement utilisés pour la concentration de minerais de fer ou de minéraux ferrimagnétiques, mais également pour l'épuration de substances utiles (céramiques, sables, etc.).

D'une conception légèrement différente, le séparateur multipôle, à haut gradient de champ magnétique et à grande vitesse périphérique, est particulièrement bien adapté au traitement d'oxydes de fer tels que la martite ou d'oxydes mixtes magnétite-hématite. Les performances intéressantes de ce séparateur sont obtenues grâce à des aimants permanents en céramique anisotrope assemblés de manière à ce que le flux magnétique soit utilisé au maximum pour la séparation.

### 3.1 EXEMPLE D'APPLICATION A LA CONCENTRATION EN VOIE SECHE D'UN MINERAI DE FER

L'usine des Guelbs (SNIM/Mauritanie)<sup>(4)</sup> traite à sec, sur deux lignes identiques, des quartzites à magnétite réparties en deux familles principales :

- Une famille composée essentiellement de magnétites.
- Une famille composée de produits oxydés de type martite.

Après concassage, broyage et criblage à 1 600 µm, le produit est envoyé dans un atelier de séparation magnétique organisé, autour d'une unité modulaire constituée de trois tambours magnétiques groupés comme suit :

- Un tambour (Ø=900 mm, L=2 000 mm) à pôles sandwichs « petit pas » tournant à grande vitesse (7 à 9 m/s), destiné à produire un concentré définitif et un rejet intermédiaire ;
- Deux tambours (Ø=900 mm, L=2 000 mm) à pôles sandwichs « grand pas » constituant le 2<sup>ème</sup> étage et traitant, à faible vitesse, le rejet intermédiaire du premier passage pour faire un rejet définitif et un préconcentré. [19]

Cette installation montée en 1989 permet de traiter environ 400 t/h de minerai par unité modulaire, soit un total de 10 500 t/h sur les 35 modules que comporte l'atelier de séparation magnétique.

### 3.2 SEPARATION EN VOIE HUMIDE

La séparation en voie humide est généralement employée chaque fois que la granulométrie du produit à traiter devient fine et que la séparation en voie sèche devient inopérante du fait de la

<sup>(4)</sup> SNIM : Société Nationale Industrielle et Minière

gène créée par l'attraction électrostatique entre les particules, ou que le produit à traiter est déjà sous forme de pulpe minérale.

Les principaux domaines d'utilisation en minéralurgie sont :

- Enrichissement de minerais de fer à base de magnétite ou pyrrhotine dont la granulométrie est inférieure à 1 mm ;
- La purification de produit et la récupération de la magnétite ou du ferrosilicium utilisés dans les ateliers de traitement en milieu dense.

Les trois principales forces mises en œuvre sont la force d'attraction magnétique, la force d'entraînement fluide et la force centrifuge de la virole.

Ces appareils à champ magnétique profond et à pôles alternés longitudinaux permettent d'obtenir soit des concentrés à haute teneur, soit des stériles parfaitement épurés.

- Les **séparateurs à courant parallèle** (figure 30.a) sont surtout adaptés au traitement de produits grenus et pour une épuration maximale des produits magnétiques. Dans ce système, la pulpe circule dans le même sens que la rotation du tambour,
- Les **séparateurs à contre-rotation** (figure 30.b) sont plus spécialement adaptés au traitement des produits de granulométrie inférieure à 0,6 mm. Ils conviennent tout particulièrement à l'épuration de produits non magnétiques et cela à des débits élevés ( $\approx 100 \text{ t.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) puisque les particules non magnétiques parcourent la plus grande partie de la zone active, circulant dans le sens contraire de la rotation du tambour.
- Les **séparateurs à contre-courant** (figure 30.c) sont bien adaptés au traitement des produits de granulométrie inférieure à 1 mm ou très fins (0,15 à 0,4 mm). Ce système est un mixage des deux précédents.

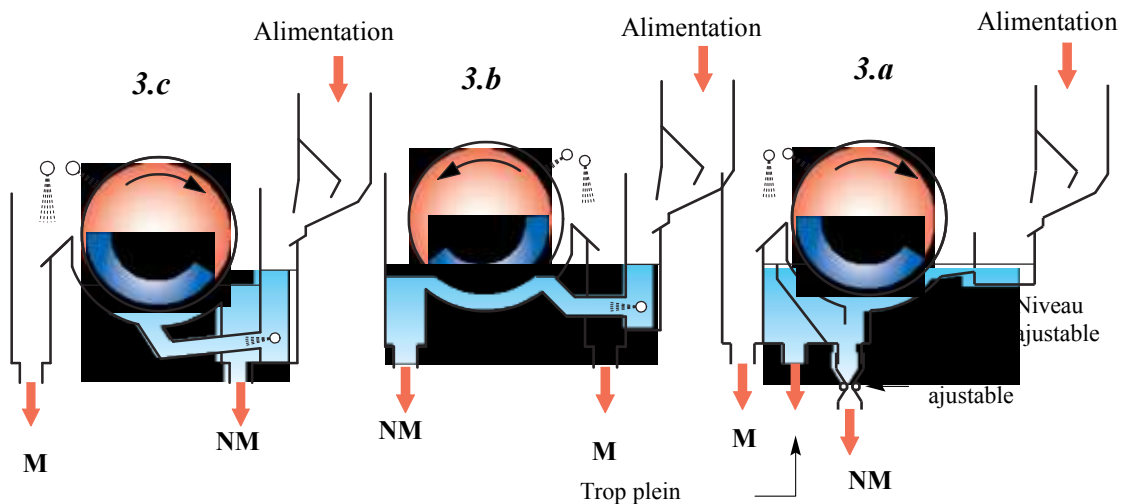


Figure 30 : Séparateurs à basse intensité en voie humide



#### 4. SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE INTENSITE (SMHI)

La technologie de la séparation magnétique à haute intensité en voie sèche (rotor induit) existe depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle et les perfectionnements ont essentiellement porté sur la forme des pièces polaires, la conception du rotor (denture et rigidité), afin de diminuer la flèche du rotor due aux forces magnétiques importantes mises en jeu.

Ce n'est que dans les années 1960 à 1970 que la séparation en voie humide s'est véritablement développée pour aboutir à la technologie efficace que les minéralurgistes attendaient pour le traitement des produits fins. Ces séparateurs à circuits conventionnels sont à champ magnétique fermé d'une intensité allant de 400 kA/m à 1 600 kA/m pour une consommation énergétique comprise entre 0,5 et 2,5 kWh par tonne traitée. Les débits solides varient quant à eux suivant le mode de séparation et l'opération de traitement (concentration, épuration) entre 6 et 180 t/h.

##### 4.1 SEPARATEURS A CIRCUITS CONVENTIONNELS (Electroaimants)

###### 4.1.1 Séparateurs en voie sèche

Ces séparateurs présentent quelques inconvénients par rapport à ceux travaillant en voie humide.

La plupart des sociétés minières sont amenées à traiter des minerais dont la teneur et la maille de libération deviennent de plus en plus faibles, ce qui nécessite de les broyer de plus en plus finement pour obtenir la concentration des différents constituants. Or, si la séparation en voie sèche peut donner de bons résultats pour des granulométries fines (et même être la seule solution, compte tenu des conditions d'exploitation locales), il n'en demeure pas moins qu'elle reste limitée à 40 µm et que le choix de cette méthode conduit à des installations plus complexes et plus onéreuses (insalubrité des installations, séchage indispensable des produits avant traitement, faible capacité des séparateurs).

###### 4.1.1.1 Séparateurs travaillant par extraction

Ce sont principalement les séparateurs à bandes transversales et à disques. Ces séparateurs sont équipés d'une bande convoyeuse passant entre les deux pôles d'un électroaimant (entrefer) et soit d'une bande se déplaçant sur la pièce polaire supérieure et transversalement à la bande principale, soit d'un disque denté tournant au-dessus. L'alimentation du minerai se fait en couche mince (1 à 1,5 mm) sur la bande convoyeuse. Les éléments magnétiques passant dans le système sont attirés par la pièce polaire supérieure et évacués sur le côté par la bande transversale ou le disque. Ces séparateurs développent des champs magnétiques variant de 800 à 1 600 kA/m et traitent des débits compris entre 0,3 t·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> à 4 t·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> (la largeur utile variant entre 100 et 800 mm).

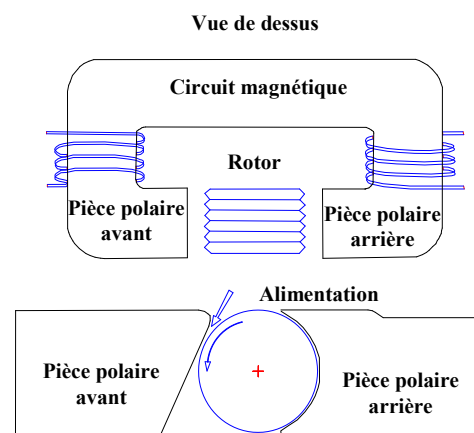


Figure 31 : Séparateur à haute intensité en voie sèche à rotor induit



#### 4.1.1.2 *Séparateurs travaillant par déviation*

Les appareils utilisés industriellement sont des séparateurs dits à rotor qui, suivant la conception du circuit magnétique, peuvent également travailler par extraction.

Ils comportent (figure 31) un rotor denté tournant entre les pièces polaires d'un circuit magnétique. Celui-ci comprend, dans sa conception de base, une culasse magnétique avec un noyau magnétique et une ou deux bobines d'électroaimant entourant ce dernier. Les pôles magnétiques ou pièces polaires, entre lesquelles tourne le rotor soumis à une induction magnétique, peuvent avoir diverses formes (plan incliné ou vertical). La séparation a lieu dans l'intervalle (entrefer)<sup>(5)</sup> réglable situé entre les pièces polaires avant et le rotor formant un contre-pôle. Le rotor est constitué d'un assemblage de minces tôles en métal allié, isolées les unes des autres de manière à former des arêtes rectangulaires, triangulaires ou trapézoïdales, donc des nervures, des dents ou des filets. L'alimentation est faite sur le rotor entre ce dernier et la pièce polaire avant.

Ces séparateurs ont une grande souplesse de fonctionnement et sont donc susceptibles de traiter des produits de texture très différente dans des limites granulométriques importantes (de 15 mm à 50 µm). Suivant les applications, la granulométrie et la composition minéralogique, les débits admissibles sur des séparateurs à rotor induit sont de l'ordre de 1 500 à 6 000 kg·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>, ils peuvent atteindre dans certains cas 8 000 kg·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>, ce qui correspond, pour des rotors de longueur industrielle de 750 mm, à des capacités de 1 à 6t/h par rotor

Les appareils de séparation magnétique à haute intensité en voie sèche sont utilisés dans de nombreuses industries et principalement pour :

- La concentration de minéraux paramagnétiques : minerais de fer, chromite, wolframite, ilménite, oxydes de manganèse, etc.
- L'épuration de minéraux industriels : feldspaths, sables, andalousites, calcaire, etc.
- La séparation entre eux de minéraux paramagnétiques (minéraux des sables) à condition qu'ils possèdent une différence de susceptibilité magnétique suffisante (ilménite et monazite, xénotime et tourmaline, etc.).

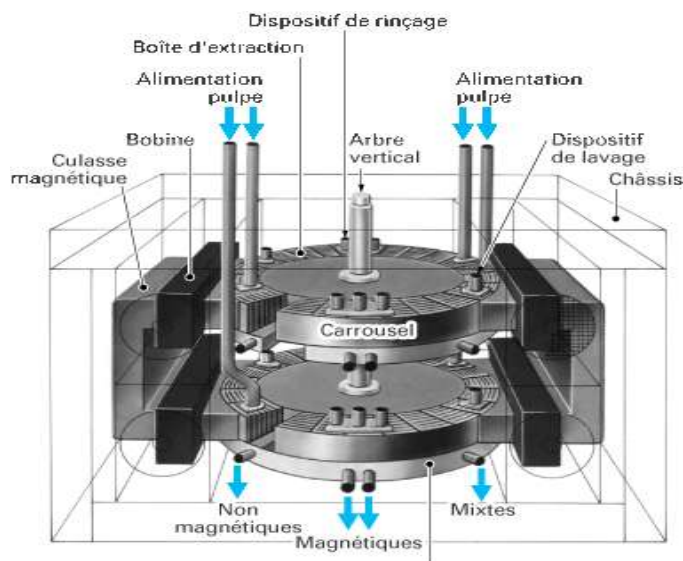
#### 4.1.2 *Séparateurs en voie humide*

La technologie des séparateurs en voie humide a été plus délicate à mettre au point. Les progrès importants en SMHI humide ont été réalisés par G.H. Jones (1960) avec l'emploi de boîtes d'extraction contenant une matrice (plaques dentées) et ont permis la commercialisation, par la société KHD Humboldt Wedag, d'un appareil continu à carrousel en 1970.

Les techniques actuelles de SMHI en voie humide diffèrent des autres dans le sens où l'alimentation n'est plus distribuée sur ou sous un rotor ou tambour, mais circule à travers le matériel ferromagnétique aimanté par un champ magnétique extérieur et placé dans une enceinte annulaire (carrousel) tournant entre les pièces polaires d'un circuit magnétique à entrefer large ou étroit. Ce matériel représentant les matrices d'extraction a des configurations

<sup>(5)</sup> L'entrefer  $e$  et le pas de denture  $p$  sont adaptés à la granulométrie  $d$  du produit à traiter ( $p=2e \geq 4d$ ).

différentes suivant les constructeurs : plaques dentées, rainurées, assemblage de barreaux cylindriques ou biseautés, billes d'acier (figure 32).



**Figure 32 :** Séparateur à HI en voie humide type Jones DP 317 double rotor (KHD Humboldt)

Cette matrice a trois buts essentiels :

- Produire des sites de collecte pour les particules paramagnétiques et ainsi permettre la séparation de particules non magnétiques ;
- Obtenir, dans la zone de séparation (entrefer), des valeurs de gradient de champ magnétique élevées, de façon à générer des forces d'attraction élevées ;
- Amplifier le champ magnétique extérieur appliqué, avec une répartition des lignes de champ plus uniforme dans toute la zone de séparation.

Du point de vue de la conception industrielle, tous les appareils proposés actuellement sont de principe très voisin. Ils développent des champs magnétiques allant de 400 à 1 600 kA/m (bien que 1 200 kA/m suffisent en général pour une séparation industrielle) et leur consommation énergétique est comprise entre 0,5 et 2,0 kWh par tonne traitée. Leur capacité varie, suivant le type d'appareil, de 10 à 180 t/h. [19]

Tableau 15 : Différents types de séparateurs magnétiques

Appareils	Générateurs	Granulométrie de traitement <sup>(1)</sup> (mm)	Capacité <sup>(2)</sup> (t/h)	$\mu_0 \text{ grad}(H^2)$ ( $N \cdot m^{-3}$ )
<b>Basse intensité</b>	Aimant permanent	5 à 20	20 à 300 <sup>(3)</sup>	$2 \times 10^4$ à $2 \times 10^6$
Séparateur à bande	Aimant permanent	10	60 <sup>(3)</sup>	$5 \times 10^4$
Séparateur à tambour : – Voie sèche – Voie humide	Aimant permanent Aimant permanent	20 5	300 <sup>(3)</sup> 150 <sup>(3)</sup>	$2 \times 10^6$ $2 \times 10^5$
<b>Haute intensité</b>	Aimant permanent ou électroaimant	1 à 5	6 à 180	$2 \times 10^7$ à $4 \times 10^9$
Séparateur à tambour	Aimant permanent en céramique	5	10	$2 \times 10^7$
Séparateur à rotor induit	Electroaimant	3	8	$2 \times 10^9$
Séparateur Jones	Electroaimant	1	180	$4 \times 10^9$
<b>Haut gradient ou Haut champ</b>	Solénoïde	0,05 à 0,1	10 à 800 <sup>(4)</sup>	$6 \times 10^{10}$ à $6 \times 10^{12}$
Séparateur conventionnel : – Discontinu – Continu	Bobine en cuivre Bobine en cuivre	0,1 0,1	100 200 à 800	$6 \times 10^{11}$ $6 \times 10^{11}$
Séparateur en supraconducteur	Bobine Supraconductrice	0,05	60 à 100	$4 \times 10^{12}$

(1) Dimension du plus gros grain de l'alimentation.  
 (2) La capacité est donnée à titre indicatif : elle dépend de nombreux facteurs, tels que la granulométrie, le pourcentage du produit magnétique, la dimension du séparateur (longueur et diamètre du rotor par exemple).  
 (3) Capacité donnée par mètre de largeur utile ( $t \cdot h^{-1} \cdot m^{-1}$ ).  
 (4) Suivant le nombre de têtes magnétiques sur le carrousel.

Tableau 16 : Caractéristiques des séparateurs pour un minerai de fer hématitique

Séparateur	Jones P 71	Boxmag Rapid SHW 1	Reading 16-pôles	Krupp-Sol 24/14	Sala HGMS Mk II
Diamètre du carrousel (mm)	710	800	1 800	2 400	1 720
Capacité totale (t/h)	1,0 à 2,5	1,5 à 6,0	15 à 30	20 à 40	1 à 3
Pôles/zones de séparation	2/2	2/1	16/8	4	1
Type de matrice	Plaques dentées	Tiges trapézoïdales	Plaques rainurées	Plaques dentées	Métal expansé
Largeur de la matrice (mm)	75	25	66	180	120
Hauteur de la matrice (mm)	220	150	205	170	140
Champ maximal (T)	1,35	1,4	1,10	1,2	0,60
Vitesse périphérique du carrousel (m/s)	0,11	0,19	0,48	0,37	0,11
Dimension (m)	2 × 3 × 2	2 × 1,7 × 1,5	Ø 2,4 × 2,8 (h)	Ø 3,5 × 2,5 (h)	Ø 2 × 2 (h)
Masse (t)	7,1	3,8	7,1	10	6

## 5. SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE INTENSITE DU MINERAI DE DOUAMIS

Quel que soit le procédé adopté, le but est de produire à partir des minerais de faibles teneurs, des concentrés de teneurs plus élevées.

Les procédés d'enrichissement comme ils sont décrits auparavant, sont basés principalement sur les propriétés spécifiques des minéraux (forme, densité, susceptibilité magnétique, propriétés de surface, etc.) et ce dans le but de produire des concentrés riches en métal.

Les procédés d'enrichissement suscités ont été effectués au niveau du laboratoire minéralurgique du département des mines à l'université d'Annaba.

### 5.1 PRINCIPE ET CONDITIONS DE L'ESSAI DE SEPARATION

Après une série d'opérations de fragmentation grossière et fine du produit, une analyse granulométrique par tamisage est appliquée afin de faire passer chaque tranche granulométriques séparément dans l'objectif de déterminer la granulométrie optimale, et déceler à laquelle sera la maille de libération. L'appareillage utilisé est un séparateur à tambour canulé (rotor induit), sous un champ magnétique intense créer par un circuit conventionnel (électroaimants), dont lequel traverse un courant électrique réglable de 2 à 11,5 ampères.

Le séparateur en description globale est semblable à celui décrit en haut (voir la figure 31 ci-dessus), sauf celui-ci est de type laboratoire. Il comporte (figure 33) un rotor denté tournant entre les pièces polaires d'un circuit magnétique. Celui-ci comprend, dans sa conception de base, une culasse magnétique avec un noyau magnétique et une ou deux bobines d'électroaimant entourant ce dernier. Les pôles magnétiques ou pièces polaires, entre lesquelles tourne le rotor soumis à une induction magnétique, de forme verticale. La séparation a lieu dans l'intervalle (entrefer) réglable situé entre les pièces polaires avant et le rotor formant un contre-pôle.



**Figure 33** : Séparateur à électroaimant de type laboratoire à champ magnétique à haute intensité

L'alimentation est faite sur le rotor à l'aide d'un alimentateur vibrant horizontal, entre le rotor et la pièce polaire avant. Les particules magnétiques adhèrent au rotor sous l'influence de la

force magnétique et sont portées par la rotation dans une zone de champ magnétique faible où sont décollées par une brosse.

L'objectif de l'essai est de tester la possibilité de séparation des particules ferrifères de la gangue (Malachite, Tétrahédrite<sup>(6)</sup>, calcite, quartz...etc.). Les principaux paramètres tenant en compte dans ces essais sont l'intensité du champ magnétique, la granulométrie du produit à séparer et la vitesse de rotation du tambour :

- Les intensités de champ (H) à appliquer sont fixées à 8,5 et 11 ampères
- Vitesses de rotation (V) = 60 tr/min et 70 tr/min.
- Granulométrie (d) du produit comporte toutes les tranches (>4mm jusqu'à 63µm), ou chacune des tranches sera testées respectivement aux intensités et vitesses de rotation choisies.

Le tableau 17 récapitule les expériences faites avec les résultats des analyses chimiques des fractions obtenues,

Les essais de séparation sont effectués au laboratoire minéralurgique du département des mines, et les analyses chimiques déterminants les teneurs en éléments ferrifères (hématite) et cuivreux (tétrahédrite, malachite,...etc.) sont effectuées au sein de laboratoire de traitement de l'ORGM-Boumerdès.

## 5.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DE SMHI

Notre interprétation sera basée principalement sur les calculs des rendements et degrés d'extraction, on désigne par :

**m** = masse de la fraction en (%)

**β<sub>Ft</sub>** et **β<sub>Cu</sub>** : Respectivement les teneurs en fer total et cuivre dans la fraction en (%)

**ζ<sub>Ft</sub>** et **ζ<sub>Cu</sub>** : Respectivement degré d'extraction du fer total et cuivre en (%)

Le degré d'extraction est calculé d'après la formule suivante :

$$\xi_i = \frac{\gamma_i \beta_i}{\alpha_i} \quad (1)$$

Ou **α<sub>i</sub>** : Teneur en composants utiles dans l'alimentation (produit à séparer)

**γ<sub>i</sub>** : Rendement de la fraction en (%)

$$\gamma_i = \gamma_1 + \gamma_2 = 100\% \quad (2)$$

**γ<sub>1</sub>** et **γ<sub>2</sub>** sont respectivement les rendements des fractions.

<sup>(6)</sup> Les oxydes de cuivre sont considérés à ce stade comme gangue.

Les essais de séparation magnétique à haute intensité en milieu sec, n'ont pas aboutis à des bons résultats et ceci pour différents niveaux de granulométries, de différentes vitesses de rotation et d'intensités du champ magnétique.

Une teneur moyenne de 56,5% de concentré de fer total dans la fraction magnétique avec un taux d'extraction moyen de l'ordre de 84,6% et comparativement au concentré du fer, le cuivre est présenté à des faibles teneurs (0,66%) avec une récupération de 73,5%.

Pour la fraction non magnétique : le fer s'est présenté à (14%) de produit extrait, contrairement au cuivre légèrement enrichi (Teneur moyenne =0,98%), mais les rendements et les degrés d'extractions restent faibles.

Ces résultats nous permettent d'avancer les conclusions suivantes :

- Les rendements et les degrés d'extractions de fer obtenus dans la fraction magnétique jugent la faible efficacité du procédé de SMHI appliqué vis-à-vis le minerai, bien que, la tranche granulométrique (-1mm à 225 $\mu$ m) révèle un degré d'extraction important (92,18% en moyenne), ce qui nous permettra de prendre cette granulométrie pour les essais ultérieurs de séparation.
- La présence du cuivre en quantité dans la fraction magnétique indique que sa libération n'a pas eu lieu, ou les particules restent toujours disséminées, dans le corps de l'hématite.
- Le caractère paramagnétique du minerai hématitique reste la cause derrière la faible efficacité de SMHI, même que ces essais sont passés par différentes intensités du champ magnétique et à travers toutes les granulométries. a cet effet l'activation du minerai par un grillage magnétisant à (800 à 1000°C)<sup>(7)</sup> pour donner une susceptibilité magnétique élevée au minerai pour qu'il soit séparé par efficacité par SMHI et ce la, est l'objet de notre seconds essais de séparation.

D'une façon générale l'enrichissement par la séparation magnétique à haute intensité, ne peut qu'éliminer une partie de la gangue (calcite, calcaire, marnes) pour raison de faible susceptibilité magnétique du minerai hématitique, mais l'intérêt de prévoir un prétraitement pour réduire le taux de la gangue implique l'utilisation de SMHI pour non seulement écarter la gangue (calcaire, calcite, marne, etc.), mais aussi une préconcentration du fer au moins à 15%

---

<sup>(7)</sup> : La température de grillage sera fixée ultérieurement d'après les essais expérimentaux.

Tableau17 : Résultats et condition des essais de la (SMHI)

N° Expérience	Paramètres			Fraction magnétique					Fraction non magnétique					Produit d'alimentation		
	H	V	d	$\gamma_1$	$\beta_{Ft}$	$\beta_{Cu}$	$\zeta_{Ft}$	$\zeta_{Cu}$	$\gamma_2$	$\beta_{Ft}$	$\beta_{Cu}$	$\zeta_{Ft}$	$\zeta_{Cu}$	$\gamma$	$\alpha_{Ft}$	$\alpha_{Cu}$
	A	Tr/min	$\mu m$	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	8,5	70	<b>-0,004+0,002</b>	51,862	58,320	0,549	56,907	28,702	48,138	47,580	1,254	43,093	60,852	100,00	53,150	0,992
2	11	60	<b>-0,004+0,002</b>	59,834	58,580	0,585	65,798	38,763	40,166	45,360	1,585	34,202	70,503	100,00	53,270	0,903
3	8,5	70	<b>-0,002+0,001</b>	71,326	56,040	0,719	80,522	52,277	28,674	33,720	1,081	19,478	31,597	100,00	49,640	0,981
4	11	60	<b>-0,002+0,001</b>	65,091	55,580	0,644	69,922	59,884	34,909	44,580	0,768	30,078	38,300	100,00	51,740	0,700
5	8,5	70	<b>-0,001+500</b>	65,320	57,361	0,517	71,016	62,887	34,680	44,094	1,028	28,984	66,396	100,00	52,760	0,537
6	11	60	<b>-0,001+500</b>	97,430	55,860	0,705	98,971	96,420	2,570	22,010	1,425	1,029	6,208	100,00	54,990	0,590
7	8,5	70	<b>-500+225</b>	99,666	55,107	0,524	99,824	74,183	0,334	29,030	0,922	0,176	0,437	100,00	55,020	0,704
8	11	60	<b>-500+225</b>	92,695	55,340	0,730	98,896	93,334	7,305	7,840	0,722	1,104	7,275	100,00	51,870	0,725
9	8,5	70	<b>-225+125</b>	93,393	54,050	0,778	98,630	95,630	6,607	10,610	0,751	1,370	6,529	100,00	51,180	0,760
10	11	60	<b>-225+125</b>	89,208	58,900	0,734	91,603	85,593	10,792	44,630	1,180	8,397	16,646	100,00	57,360	0,765
11	8,5	70	<b>-125+63</b>	92,777	57,080	0,540	94,364	79,021	7,223	43,790	0,943	5,636	10,744	100,00	56,120	0,634
12	11	60	<b>-125+63</b>	78,639	56,720	0,765	85,400	97,938	21,361	35,700	0,650	14,600	26,296	100,00	52,230	0,528
13	8,5	70	<b>-63+45</b>	77,801	55,807	0,707	84,520	88,718	22,199	35,820	0,712	15,480	25,494	100,00	51,370	0,620
14	11	60	<b>-63+45</b>	79,677	57,200	0,704	87,779	75,596	20,323	31,220	0,790	12,221	21,638	100,00	51,920	0,742
<b>Moyennes(%)</b>				<b>79,623</b>	<b>56,568</b>	<b>0,657</b>	<b>84,582</b>	<b>73,490</b>	<b>20,377</b>	<b>33,999</b>	<b>0,987</b>	<b>15,418</b>	<b>27,780</b>	<b>100,00</b>	<b>53,044</b>	<b>0,727</b>



## 6. SEPARATION MAGNETIQUE A BASSE INTENSITE (SMBI) DU MINERAI DE DOUAMIS

Comme la séparation magnétique à haute intensité (SMHI) ne peut être efficace pour tel type de minerai (Hématite), ou les résultats sont très médiocres, la SMBI dans ce cas, ne peut être la solution sans avoir au préalable recours au grillage magnétisant du minerai. Un grillage magnétisant de 650 à 1000°C, a pour but de modifier les propriétés magnétiques du minerai diamagnétique en minerai paramagnétique (susceptibilité magnétique élevée), avant le soumettre à une SMBI.

### 6.1 PRINCIPE DE L'ESSAI

Suite aux résultats du premier essai, à granulométrie comprise entre ( $1\text{mm} > d > 125\mu\text{m}$ ) qu'on a remarqué un rendement moyen de séparation (90%) avec, une teneur et un degré d'extraction respectivement de (56% et 93,15%) de fer total, pour cela on a pris cette dimension comme granulométrie optimale de séparation.

L'essai on premier lieu consiste à faire un grillage magnétisant de minerai dans une étuve électrique, sous une température allant jusqu'à 800°C, le minerai ainsi grillé subit une SMBI par un séparateur de type laboratoire à aimant permanent sous forme d'un tambour lisse en alliages spécieux, de vitesse périphérique réglable (figure 34). La densité du flux magnétique est de 0,15T. L'alimentation en produit s'effectue à l'aide d'un couloir de dosage réglable par une commande électromagnétique à vibration.



**Figure 34** : Séparateur magnétique à aimant permanent (type laboratoire)

### 6.2 GRILLAGE MAGNETISANT (GM)

Le grillage permet de transformer les minéraux à faible susceptibilité magnétique tels que l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et la Lépidocrotite ( $\text{FeOOH}$ ) en corps magnétiques sous l'action de la température variant de 650°C à 1000°C. La température optimale testée sur plusieurs échantillons du minerai de Douamis, était maintenue à 800°C, d'après les essais effectués sur les minerais hématitiques, par (*D Merabet et M Bounouala 1999*). [25]

Une quantité de minerai (1,8kg) et de coke (200g), après une homogénéisation, est soumis à la température choisie (800°C) dans un four électrique durant 2heures.



### 6.3 CONDITIONS DE SEPARATION

Comme on a souligné précédemment, dans cet essai on va se limiter sur une granulométrie bien choisie « d ». Les essais de la séparation s'effectuent toujours au niveau du laboratoire minéralurgique de département des mines, tout en tenant compte des paramètres suivants :

- Les vitesses maximales et minimales de rotation du tambour sont respectivement de l'ordre de 80 tr/mn et 60 tr/mn.
- L'amplitude de vibration (n) du couloir d'alimentation varie de 0,4 à 0,5mm.
- L'intensité du champ magnétique étant constante  $H=0,5T$ .
- La granulométrie du produit « d » limitée de -1mm à 225 $\mu$ m.

### 6.4 RESULTATS DE LA SEPARATION

Les constatations qu'on peut apporter suite à ces essais, sont basés essentiellement sur la détermination des rendements des fractions obtenues, car la détermination des teneurs en éléments utiles (Fe et Cu), n'a pas eu lieu pour des raisons de manque de moyens d'analyse au niveau du laboratoire de notre département voir même aux laboratoires de l'université, il s'ajoute aussi le facteur temps restant, avant la remise des travaux de recherches, qui ne suffit pas à compléter ces analyses même ailleurs.

Pour toutes ces raisons, on se base donc, dans nos interprétations sur les constatations empiriques au cours des essais de séparation (rendements massiques) ainsi que l'étude bibliographique des travaux réalisés à ce sujet, et cela pour tous les essais restants à faire et précisément les essais du procédé de flottation jugé très important pour l'extraction du cuivre.

A ce niveau nous parlons de l'essai de la séparation magnétique à basse intensité précédé par un grillage magnétisant à 800°C, comme il est décrit précédemment. Au cours des essais, la séparation s'est déroulée avec un bon rendement, dont la quasi-totalité du produit d'alimentation rejoint la fraction magnétique (70% du produit d'alimentation) cela s'explique par la haute susceptibilité magnétique acquise suite à l'opération du grillage magnétisant. A l'inverse, la fraction non magnétique est à faible débit de récupération (qui représente le cuivre qui reste toujours piégé dans les particules ferrifères sans changement) nous allons prévoir une autre méthode de séparation qui est la flottation directe car il n'y a pas un procédé compétitif, pour l'extraction du cuivre, en tenant compte une réduction plus poussée de la granulométrie jusqu'à 44 $\mu$ m.

La séparation a eu lieu dans les conditions de rotation du tambour moyennement lente (80 tr/min), et une amplitude de vibration (0,45mm) du couloir-alimentateur modérée de façon que la couche du produit d'alimentation soit homogène et régulière.

Donc on est arrivé à la dernière phase dans le schéma de traitement du minerai de Douamis, l'application de la flottation directe paraît indispensable pour la récupération du cuivre contenu dans les rejets de la séparation magnétique, mais cela ne sera pas l'objet d'essais au laboratoire pour des raisons de manque des réactifs chimiques et de matériels. Nous basons donc dans notre recherche sur la comparaison et l'interprétation des différentes études réalisées à ce sujet.

Avant d'entamer notre recherche bibliographique, un rappel de quelques bases théoriques de cette importante méthode paraît utile.

Le tableau 18, présente les conditions et les résultats de séparation pour chaque expérience suivant les essais établis par M. Bounouala.

**Tableau 18** : Résultats et condition des essais de la (SMBI) précédés par un grillage magnétisant à 800°C°.

N°exp	Paramètres		Produit d'alimentation		Fraction magnétique					Fraction non magnétique					
	V	N	m	$\alpha_{Ft}$	$\alpha_{Cu}$	$\gamma_1$	$\beta_{Ft}$	$\beta_{Cu}$	$\zeta_{Ft}$	$\zeta_{Cu}$	$\gamma_2$	$\beta_{Ft}$	$\beta_{Cu}$	$\zeta_{Ft}$	$\zeta_{Cu}$
	Tr/min	mm	g	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	80	0.4	200	55.48	1.08	61.85	58.86	0.91	65.61	52.11	38.14	50.00	1.70	34.38	60.04
2	80	0.45	200	54.11	1.187	64.47	57.46	1.38	68.46	75.33	35.52	48.03	1.69	31.53	50.57
3	80	0.5	200	56.25	0.704	68.86	59.46	0.70	72.79	68.67	31.13	49.15	1.03	27.20	45.55
4	80	0.55	200	52.94	1.39	39.53	56.09	1.42	41.89	40.39	60.46	50.88	1.48	58.10	64.37
5	60	0.4	200	56.61	0.827	83.10	58.07	0.90	85.24	90.73	16.89	49.43	1.05	14.75	21.49
6	60	0.45	200	54.37	0.95	64.23	57.90	1.05	68.40	70.99	35.76	48.03	1.20	31.59	45.32
7	60	0.5	200	54.06	1.09	68.07	58.46	1.20	73.61	74.93	31.93	44.68	1.33	26.39	39.16
8	60	0.55	200	50.83	1.29	61.11	55.10	1.084	66.24	51.35	38.88	44.12	1.54	33.75	46.42
<b>Moyennes(%)</b>				<b>54.33</b>	<b>1.064</b>	<b>63.90</b>	<b>57.67</b>	<b>1.082</b>	<b>67.78</b>	<b>65.56</b>	<b>36.09</b>	<b>48.04</b>	<b>1.37</b>	<b>32.21</b>	<b>46.62</b>

## 7. FLOTTATION DIRECTE DU CUIVRE

### 7.1. INTRODUCTION

Il est clair par ces essais que le cuivre jusqu'à maintenant n'est pas séparé de la partie ferrifère (depuis l'amont du schéma de traitement suivi jusqu'à ce stade) et cela est dû comme il est précisé antérieurement, à sa forte dissémination dans les grains de l'hématite, ce qui réduit la possibilité de l'extraire par flottation sans y avoir un broyage poussé à moins de 75 $\mu$ m voir moins, comme il a constaté (Bounouala1989) qui voit que la libération des minéraux cuivreux dans la matrice ferrifère peut aller jusqu'à 63 $\mu$ m, plus tard il suggère 44 $\mu$ m (D. Merabet & M. Bounouala 1999).

Comme dernière phase de notre schéma de traitement proposé, l'extraction du cuivre des rejets de séparation magnétique s'effectuera par le procédé de flottation directe, après un broyage humide couplé à une classification par hydrocyclone afin de délivrer une granulométrie homogène de produit à séparer.

C'est à cette phase finale de traitement que réside l'objectif recherché par la présente étude, cependant, dans ce qui suit, nous abordons une étude bibliographique sur le principe physico-chimique et les applications de cette technique de séparation, notamment son application pour

les minerais (Cu-Fe), dont nous fixons les paramètres technologiques et minéralurgiques à appliquer pour aboutir en mieux aux objectifs de séparation.

De plus comme on a expliqué en haut nos conclusions sont à la base d'une étude comparative des études faite à ce sujet, et sur la vaste recherche bibliographique.

## 7.2. BASES THEORIQUES SUR LA FLOTTATION

### 7.2.1. Définition

La flottation est une technique de séparation des solides basée sur la différence existante entre leurs propriétés superficielles dans une solution aqueuse et dans l'air. Pour ce faire, on disperse des bulles d'air dans une suspension aqueuse de particules solides (pulpe) pour récupérer l'espèce minérale à séparer, rendue préalablement hydrophobe par un ajout de collecteur (surfactant).

L'ensemble (Eau-Bulles-Particules) hydrophobes est rassemblé sous forme d'une écume surnageante stabilisée par un moussant. La flottation peut en outre s'appliquer aux ions en solution et aux précipités organométalliques hydrophobes.

La pratique de la flottation d'espèces minérales implique la compréhension :

- Des phénomènes électriques à l'interface minéral-eau ;
- De la modification des propriétés superficielles par le broyage ;
- De l'adsorption des surfactants sur les surfaces minérales ;
- De la nature des surfactants (collecteurs et moussants) et de l'action des déprimants et des activants dont le rôle est d'inhiber ou de faciliter l'action des collecteurs afin d'obtenir une séparation sélective. [26]

### 7.2.2. Principes de la flottation

Le principal phénomène élémentaire de la flottation est le contact entre une bulle d'air et la surface d'un solide dans un milieu liquide. Les bulles d'air ne peuvent s'attacher aux particules minérales qu'après avoir déplacé la couche d'eau de la surface minérale, ce qui n'arrive que si le minéral est "réfractaire" à l'eau (*hydrophobe*). Une fois que l'air a atteint la surface, les bulles ne pourront supporter les particules qu'à condition de former une écume stable, autrement dit elles éclateront et les particules minérales retourneront dans la pulpe. Pour obtenir ces conditions, il est normalement nécessaire d'utiliser certains réactifs chimiques connus comme réactifs de flottation.

Lors de la flottation, on met en jeu trois interfaces : (a) solide / liquide, (b) liquide / gaz et (c) solide / gaz. Ce contact triphasé est schématisé à la figure (35) suivante où l'on indique les différentes forces traitant à séparer et/ou tenir ensemble la particule et la bulle d'air. Les forces de tension développées conduisent à la formation d'un angle de contact entre la surface minérale et la surface de la bulle, suivant l'équation de Yong. [27]

À l'équilibre, on a :

$$\gamma_{S/G} = \gamma_{S/L} + \gamma_{L/G} \cos\theta$$

Où  $\gamma$  : Energie d'interface  
 $\theta$  : Angle de contact solide/bulle  
**G, S, L** dénotent l'air (gaz), le solide et l'eau (liquide)

La force nécessaire pour briser l'interface solide/bulle, appelée travail d'adhésion,  $W_{S/G}$ , est égale au travail requis pour séparer l'interface solide/air et produire deux autres interfaces séparées : air/eau et solide/eau :

$$W_{S/G} = \gamma_{L/G} + \gamma_{S/L} - \gamma_{S/G}$$

En combinant ces deux équations, on obtient :

$$W_{S/G} = \gamma_{L/G} (1 - \cos\theta)$$

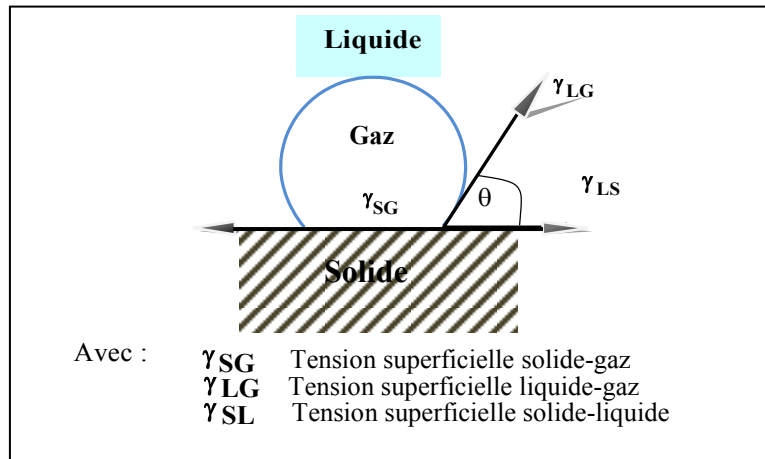
On voit alors que plus l'angle de contact est élevé, plus grand est le travail d'adhésion entre la particule et la bulle. La flottabilité d'un minéral augmente donc avec l'angle de contact. Des minéraux avec des valeurs d'angle de contact élevées sont appelés *aérophiles*. Malheureusement, la plupart des minéraux n'appartiennent pas à cette catégorie et il faut normalement les "conditionner" (ajout de réactifs surfactants) pour les rendre hydrophobes (aérophiles).

On distingue trois types de réactifs de flottation :

- **Collecteurs**, qui s'adsorbent à la surface minérale pour la rendre hydrophobe ;
- Modulateurs, qui aident les collecteurs dans leur tâche, soit en activant certaines surfaces vis-à-vis le collecteur (*activants*), soit en rendant les surfaces inertes au collecteur (*déprimants*), soit en ajustant le *pH* de la pulpe, soit en dispersant les particules;
- **Moussants**, qui aident à maintenir une écume stable et à contrôler le diamètre des bulles.

De façon générale la flottation consiste en une série d'étapes telles que :

- La mise en suspension des particules solides, idéalement constituées d'une seule phase (libérées) qui doivent être séparée
- Le traitement de la pulpe avec certains réactifs (conditionnement) pour rendre hydrophobe la surface de certaines particules
- L'introduction de la pulpe dans les cellules de flottation, appareils munis d'un système d'injection de bulles d'air et fournissant l'agitation nécessaire à la suspension du solide
- L'attachement des bulles d'air (dont la dimension est contrôlée par leur mode d'introduction, l'agitation et la présence d'agents surfactants à l'interface liquide) aux surfaces hydrophobes



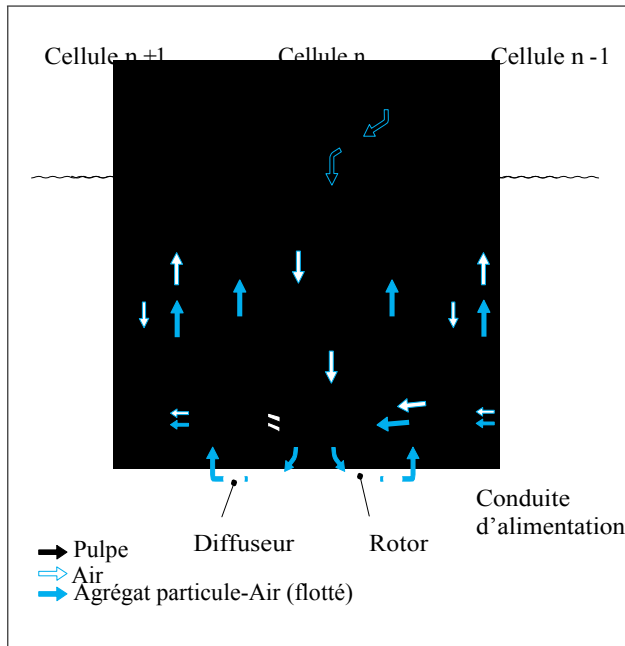
**Figure 35 :** Angle de contact pour un système Solide-Liquide-Gaz

- La montée en surface due à la poussée d'Archimède des ensembles (agrégats) particule-bulle
- L'établissement (dépendant de la quantité et du type de moussant utilisé) dans la partie supérieure de la cellule d'une phase écume stable dans laquelle vont se rassembler les particules qui flottent
- L'enlèvement (raclage) de l'écume enrichie en phase solide à séparer pour former le concentré
- L'enlèvement de la pulpe restant dans la cellule (résidu ou rejet) norme générale, c'est le minéral de valeur qui est flotté, laissant la gangue dans la pulpe à rejeter. Cette procédure s'appelle flottation directe, par opposition à la flottation inverse où la gangue est éliminée dans la fraction flottée.

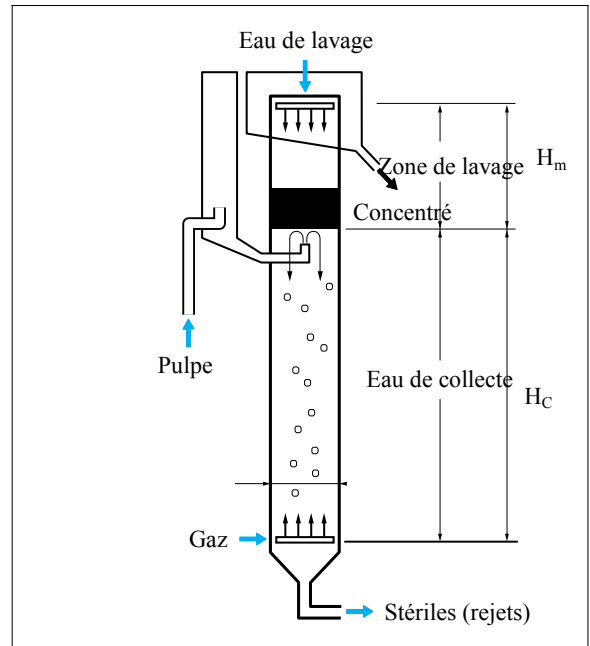
### 7.2.3. Machines de flottation

Il existe deux principaux types de machines de flottation selon le mode de génération des bulles et de mise en suspension de la pulpe (figures 36 et 37) :

- Les cellules à agitation mécanique, qui est assurée par un ensemble rotor-stator, sont constituées d'une cuve parallélépipédique ou cylindrique. L'air est introduit dans la cellule par l'axe creux du rotor ou par une tubulure extérieure à l'axe, ou par une tuyauterie située sous le rotor. La pulpe est généralement introduite latéralement dans la cellule, parfois directement au niveau de l'agitateur. Les mousses sortent par débordement et le produit non flotté par passage direct dans la cellule suivante.
- Les cellules pneumatiques ne comportant généralement pas d'agitation mécanique, l'air est introduit par un diffuseur ou générateur de bulles en fond de cellule. Les particules cheminent de haut en bas, à contre-courant du flux ascensionnel des bulles. Les colonnes de flottation sont rattachées à cette classe de machines. [28]



**Figure 36** : Cellule de flottation subaérée Denver Sala Sub-A



**Figure 37** : Schéma d'une colonne de flottation

#### 7.2.4. Exemple de flottation d'un minerai oxyde de fer

C'est un exemple qu'on a pris à Tilden, une méthode de flottation combinée à une méthode de floculation sélective fut mise en œuvre au cours des années 1970. Elle consiste à effectuer une flottation inverse de la gangue et convient à des minerais de type taconite constitués, par exemple, de 30 % d'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), de 15 % de goéthite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, n \text{H}_2\text{O}$ ), de 5 % de magnétite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) et de 50 % de quartz ( $\text{SiO}_2$ ).

Pour déprimer l'hématite à un pH supérieur à 6, en pratique nettement basique (9-11), on utilise des amidons. On flotte le quartz au moyen d'amines en laissant dans le produit non flotté les oxydes de fer. Pour le minerai de fer considéré, il est nécessaire de broyer à 40 mm pour avoir une libération convenable du fer.

Le minerai est successivement broyé dans un broyeur autogène primaire, puis dans un broyeur à galets, dont les corps broyants sont fournis par les morceaux de dimensions supérieures à 75 mm sortant du broyeur primaire. Les particules de dimensions inférieures à 2 mm sont envoyées dans des cyclones dont la sousverse alimente le broyeur à galets. Au cours du broyage, la pulpe est conditionnée avec les réactifs suivants : soude (pour amener le pH à 11), 1000g/t ; silicate et tripolyphosphate de sodium (dispersants du quartz), 400 et 100 g/t, respectivement. On évite d'utiliser de la chaux parce que  $\text{Ca}_2^+$  se fixe sur la surface du quartz, qui se trouve déprimé lors de la flottation par les amines. On ajoute à la surverse des cyclones couplés avec les broyeurs à galets, de l'amidon de maïs caustifié (traité à la soude) à raison de 100 g/t.

Ce réactif joue le rôle de flocculant sélectif des particules d'oxyde de fer, qui sont récupérées à la pointe d'un épaisseur ; les ultrafines, constituées de 80 % de quartz, sont évacuées dans

la surverse. Après dépression des oxydes de fer par de la dextrine, on flotte sélectivement le quartz dans les conditions données dans le tableau 19.

La consommation de réactifs est extrêmement variable d'un minerai à un autre. Le tableau 19 donne les domaines de variation pour certains d'entre eux. Les coûts des réactifs varient suivant les fabricants et les conditions de livraison. [26]

**Tableau 19** : Domaine de variation de la consommation de réactifs de flottation

Réactif	Rôle	Consommation (g/t)
Xanthate	Collecteur	25-90
Dithiophosphate	Collecteur	25-90
Amines	Collecteur	45-450
Acides gras	Collecteur	225-1350
CuSO <sub>4</sub>	Activant	90-2250
NaSiO <sub>3</sub>	Déprimant	225-1350
NaCN	Déprimant	45-225
ZnSO <sub>4</sub>	Déprimant	45-1350
Huile de pin	Moussant	4,5-135
MIBC	Moussant	3-225
TEB	Moussant	9-60

## 8. FLOTTATION DU MINERAI (Cu-Fe) DE « DOUAMIS »

### 8.1. REACTIFS UTILISES

Les connaissances empiriques et théoriques acquises depuis le début de la flottation industrielle, n'ont pas encore permis d'élucider complètement le comportement des interfaces solide-liquide-gaz, de ce fait, le choix des réactifs chimiques adaptés à la flottation d'un minerai donné est encore largement empirique basé sur les expériences industrielles et les résultats des essais de laboratoire.

Bien évidemment, le choix des réactifs de flottation du minerai de Douamis a été fait sur la base des essais au laboratoire, réalisés par (Bounouala 1989) qui suggère l'application des réactifs pour une flottation directe des minéraux cuivreux et la dépression des oxydes de fer, et d'autres gangues présentes, comme nous allons décrire ci-après, mais en consultant l'expérience industrielle dans le traitement de tel type de minerai par flottation, révèle l'apparition d'autres réactifs récents sur le marché, plus performants et de consommation spécifique moins réduite.

#### 8.1.1. Collecteurs

La flottation des sulfures fait appel à des collecteurs de la famille des Thiols (xanthates, thiophosphates...) dont la chaîne hydrocarbonée est courte et dont les concentrations utilisées industriellement sont très faibles. Les quantités consommées montrent que l'on est situé bien au-dessous des quantités nécessaires pour créer une monocouche adsorbée. Plusieurs théories cherchent à rendre compte de ces observations.

Les collecteurs actuels appartiennent à la famille des thiols-RS et les plus répandus sont les Dithiocarbonates et les Dithiophosphates, plus connus respectivement sous leur dénomination de Xanthates et d'Aerofloats. Les groupements Alkyls sont généralement courts [C2 (Ethyl) à C8 (Hexyl)]. Egalement les collecteurs proposés dans notre cas sont de cette famille et précisément les xanthates (Alkyldithiocarbonates) suivant des concentrations de 150g/t (flottation principale), 30g/t (flottation de contrôle) et 60g/t (flottation relaveuse I) et cela sous un milieu basique de pH=11, cela est possible par l'ajout de soude.

### ***Déprimants et Activants***

Les oxydes, que ce soit des oxydes simples (comme  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , etc.) ou des oxydes mixtes comme les spinelles (Chromite ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) ; Ilménite ( $\text{FeO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ), etc.), ne se dissolvent pas dans l'eau en tant que sels. Cependant, leur surface n'est pas thermodynamiquement stable : l'eau est chimisorbée à la surface des oxydes, pour donner des composés très stables du type  $\text{MeOH}$  (où Me est un métal constituant du minéral) qui couvrent la surface et ont des propriétés différentes des composés qui peuvent exister en solution.

L'adsorption des collecteurs implique une attraction électrostatique de l'ion du collecteur par la surface de l'oxyde ou du silicate, le pH ou des ions multivalents sont en mesure d'activer ou de déprimer le minéral. À ces actions, il faut ajouter l'action des réactifs complexant sur les surfaces ou agissant par dissolution de la surface.

Les Colloïdes organiques hydrophiles sont des réactifs complexant ont pour effet de déprimer les oxydes et les silicates. Ils appartiennent aux familles suivantes :

- Les amidons (issus de végétaux tels que le blé, le maïs, le tapioca, la pomme de terre, etc.) qui sont constitués de 15 à 25 % d'amylose et de 75 à 85 % d'amylopectine.
- Les tannins, avec des dérivés complexes des acides tanniques, tels que le sulfonate de lignine, et avec le quebracho extrait du schinopsis (arbre provenant d'Argentine et du Paraguay), dont le degré de polymérisation est inférieur à 200 et dont la nature fortement hydrophile des groupes polyphénols paraît évidente.
- La carboxyméthylcellulose dont le degré de polymérisation est de l'ordre de 500 à 1000.
- Les macromolécules de synthèse à masses moléculaires allant de 50 000 à 100 000, de type polyacrylamides et polyacrylates. Ces macromolécules hydrophiles peuvent s'adsorber sur les surfaces des oxydes et des silicates

L'activant choisi sont les amidons ajoutés au niveau de la flottation principale et de contrôle suivant des concentrations de 100g/t et 50g/t, est pour objet d'empêcher la flottation des oxydes de fer à la surface, et améliorer la sélectivité des collecteurs des sulfures de cuivre. Le sulfure de sodium peut aussi être utilisé comme activant (Bounouala & Merabet) mais son sélectivité est moins, alors on préfère les amidons.



### 8.1.2. *Moussants*

La stabilité de la fixation sur des bulles des particules minérales, rendues hydrophobes par les collecteurs, est assurée par le moussant. Théoriquement, le moussant reste dans la phase liquide mais, en pratique, il existe des interactions entre moussant, collecteur et minéral.

Les moussants ont trois fonctions à savoir :

- La première fonction est de créer des interfaces liquide-gaz importantes
- La deuxième fonction consiste à faciliter la fixation à l'interface liquide-gaz des particules collectées, par coadsorption avec le collecteur, comme le démontre l'augmentation de l'angle de contact. Le revêtement collecteur se trouverait donc plus solidement adsorbé.
- La troisième fonction est de donner une écume (mousse + particules) pseudostable au-dessus de la cellule de flottation.

Ils ont tous une structure hétéropolaire et sont légèrement solubles dans l'eau. Les moussants tels que les acides gras, les alkylsulfates et les amines ne sont pas utilisés en tant que moussants, étant donné leurs propriétés collectrices et la difficulté à abattre les écumes qu'ils génèrent. Les moussants synthétiques (MIBC, dérivés du glycol, TEB) ont dans de nombreux cas remplacé l'huile de pin ou d'eucalyptus et les acides crésyliques, par suite de leur grande stabilité de composition Méthylisobutylcarbinol (MIBC : Méthyl Isobutyl Carbinol)  $[\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3]$  ou (4Méthyle-2Pentanol  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$ ) c'est un nouveau moussant utilisé à la place de huile de pin à une concentration de 30g/t et 20g/t, pour une flottation principale et de contrôle. Il est très favorable comme moussant pour la flottation des sulfures de cuivre.

## 8.2. PRINCIPE

Le principe de base de la flottation des rejets (cuivre), issus de la séparation magnétique, est une flottation directe des minéraux cuivreux (cuivre) résumé en étapes suivantes :

- Une flottation principale : le produit d'alimentation à une granulométrie de 45 $\mu\text{m}$  est d'abord conditionné à une dilution de 40% sous un milieu basique de pH=11 (ajout de soude) en contenant les concentrations des réactifs nécessaires comme ils sont décrits précédemment. [4]
- Flottation de contrôle : elle pour rôle, comme son nom l'indique à une récupération maximale du cuivre, qui peut accompagner accidentellement les rejets.
- Flottation relaveuse I et II : ces deux étapes assurent la finition des concentrés (les flottants) suivant un relavage en deux stades. Les concentrations des réactifs deviennent de plus en plus faibles à ces deux stades ce qui nécessite des ajouts systématiques pour garder des concentrations stables.
- Essorage et récupération des concentrés et eaux de process.

Les résultats dont nous désirons atteindre par cette sélection de réactifs, seront très intéressants pour la récupération de cuivre, qui peut atteindre une teneur des concentrés de cuivre de 15%, avec un degré d'extraction de ( $\zeta_{\text{Cu}} = 85\%$ ) et de ( $\theta_{\text{Cu}} = 0,54\%$ ) dans les rejets,

ces derniers normalement sont des rejets définitifs ( $\theta_{Fe} = 35\%$ ,  $\zeta_{Fe} = 20\%$ ), mais suivants les conditions de traitement ils peuvent contenir un certain pourcentage de fer, qu'il doit être recyclé vers l'amont pour une séparation magnétique à basse intensité après un séchage, et cela dans une condition où la teneur de fer dépasse 40% dans ces rejets.

Le schéma présenté à la figure 35, nous renseigne sur les différents paramètres technologiques du procédé de traitement du minerai Cu-Fe de Douamis.

### 8.3. REGIME DES OPERATIONS DE TRAITEMENT

La marche des usines de concentration est généralement contrôlée par l'examen des variations de deux groupes de facteurs qui sont les teneurs des concentrés et les rendements industriels (fractions des substances utiles contenues dans les minerais traités et qui se retrouvent dans les concentrés), bien que il existes d'autres facteurs qui doivent être pris en considération dans leur évaluation [29]

Le traitement du minerai de fer cuivreux de Douamis exige au préalable une préparation mécanique. Le tout-venant fragmenté in situ (exploitation souterraine) à 300mm doit être soumis aux opérations de préparation mécanique de fragmentation grossière. Ces opérations consistent à réduire la matière et comportent respectivement : un concassage primaire (concasseur à mâchoires) du minerai jusqu'à 70 mm, un concassage secondaire (concasseur à cône) de 10mm. Après ces opérations la matière morcelée est contrôlée par un crible à mailles de 10mm. La charge du minerai passe ensuite à un broyage autogène primaire (1<sup>er</sup> stade) qui délivre une granulométrie de 500 $\mu$ m. La matière ainsi réduite passe de nouveau à une classification par un crible fin de 0,5 mm, dont les passants font l'objet d'une alimentation du premier procédé de séparation magnétique à haute intensité, tandis que les refus rejoint de nouveau le broyeur autogène.

La fraction non magnétique de la précédente séparation est traitée par un grillage magnétisant à 800°C, à l'aide d'un four rotatif doté d'un refroidisseur. Le produit ainsi grillé est désagréé puis envoyé vers une deuxième opération de séparation magnétique mais sous un champ de basse intensité, la dite séparation s'effectue en deux stades, afin de délivrer un concentré de fer définitif et des rejets non magnétiques, contenant du cuivre à extraire ultérieurement par la technique de flottation.

Pour une extraction maximale du cuivre, le produit d'alimentation des cellules de flottation (par les rejets de la SMBI), doit suivre un broyage humide poussé, pour délivrer une granulométrie de 44 $\mu$ m, à laquelle y aura la libération complète des minéraux cuivreux (cuivre).

**Tableau 20** : Paramètres technologiques des principales opérations de traitement du minerai de Douamis.

Opération	Régime
Concassage primaire (Con à mâchoires)	$(D_{\max}=300\text{mm}/d_{\min}=100\text{mm})=3$
Concassage secondaire (Con à cône)	$(D_{\max}=100\text{mm}/d_{\min}=70\text{mm})=1,5$
Criblage (Vibrant)	$D=10\text{mm}$
Broyage (Autogène)	$D=500\mu\text{m}$
Séparation magnétique à haute intensité	$H=11,5\text{A}$
Grillage magnétisant	$800^{\circ}\text{C}$
Séparation magnétique à basse intensité	$H=0,15\text{T}$
Broyage (Humide)	$D\geq 44\mu\text{m}$
Flottation principale (cellule de $30\text{ m}^3$ )	$D=40\%$ Xanthates (collecteur) : 150g/t Amidons (activant) : 100g/t MIBC : Méthylisobutylcarbinol (moussant) : 30g/t pH=11 (Soude)
Flottation de contrôle (cellule de $30\text{ m}^3$ )	$D=50\%$ Xanthates (collecteur) : 30g/t Amidons (activant) : 50g/t MIBC : 20g/t
Flottation relaveuse (cellule de $30\text{ m}^3$ )	$D=40\%$ MIBC : 20g/t Xanthates (collecteur) : 60g/t Amidons (activant) : 50g/t Chaux = 1kg/t

Le circuit de flottation est projeté de telle façon que la charge circulante passe par une flottation principale, une flottation de contrôle et deux stades de relavage des minerais cuivreux. Quand au produit de cellule présentant les rejets de la flottation de contrôle passe ensuite par un égouttage.

Les régimes recommandés pour les opérations principales de traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza sont donnés par le tableau 20. Quand aux indices technologiques d'enrichissement, ils sont présentés dans le schéma recommandé de traitement (figure 38).

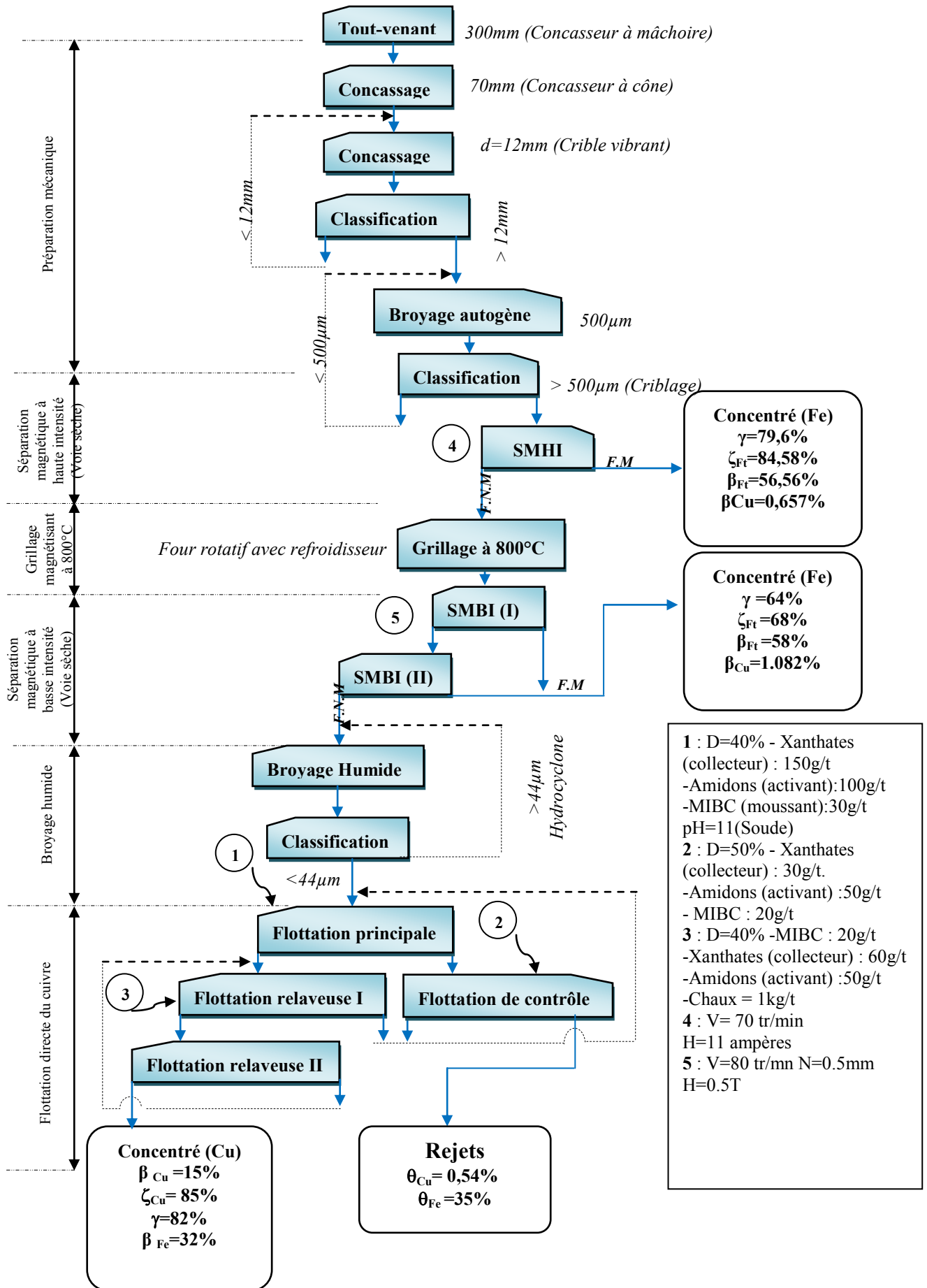


Figure 38 : Schéma de traitement du minerai de fer-cuivre de Douamis (Ouenza)

## 9. DONNEES ECONOMIQUES

### 6.1 Investissement

Le coût d'investissement est celui nécessaire à l'acquisition et à l'installation de l'ensemble d'une unité de traitement.

Le coût d'investissement comprend les éléments suivants [30] :

- Achat matériels 82,2 %
- Transport du matériel 4,1 %
- Frais d'installation 10,3 %
- Main d'œuvre 3,4 %

L'investissement correspondant aux circuits de flottation par exemple, est de l'ordre de 13 à 15 % de l'investissement global de l'usine de concentration dans le cas des métaux non ferreux de base (Cu, Pb, Zn...), pour des installations de capacité inférieure à 10 000 t/j et se situe à des valeurs légèrement inférieures, de 10 à 12 %, pour des installations de capacité supérieure. Des valeurs voisines sont relevées pour les minerais non métalliques.

La part des coûts opératoires attribuables à la flottation, incluant la consommation de réactifs, la main-d'œuvre et la maintenance, les pièces de rechange, l'énergie et la lubrification, sont en moyenne de 30 % des coûts opératoires de l'ensemble de l'usine de concentration. À titre d'exemple, ils varient entre 10 et 35 % pour le cuivre, 15 et 40 % pour le plomb/zinc et 30 et 50 % pour la fluorine. [28]

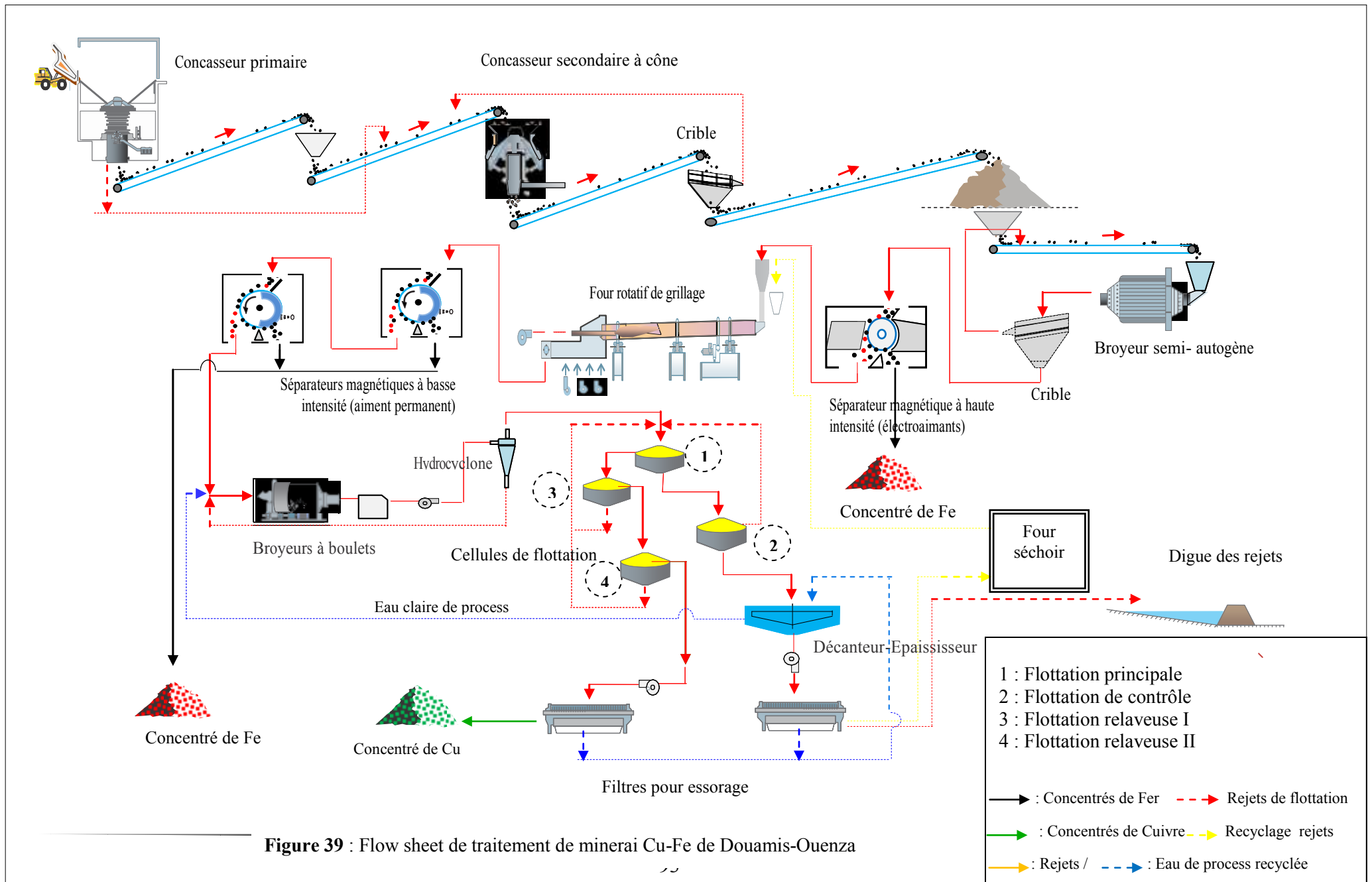


Figure 39 : Flow sheet de traitement de minerai Cu-Fe de Douamis-Ouenza

## 10. CONCLUSION

Dans ce chapitre, les essais ont porté en premier lieu sur la séparation magnétique à haute intensité. Les paramètres étudiés sont la densité du flux magnétique, la vitesse de rotation du rouleau ainsi que la granulométrie. La qualité du concentré de fer obtenu était naturellement faible, contenant une forte proportion de cuivre.

Dans le cas de la séparation magnétique à haute intensité, les paramètres dépendant de l'appareil sont la vitesse de rotation du rouleau et l'amplitude de vibration du couloir de dosage. Les essais ont été axés sur deux voies de séparation :

Un traitement du tout venant : celui-ci a fait l'objet d'une mauvaise extraction du fer et du cuivre.

Un traitement du tout-venant précédé d'un grillage magnétisant à une température de 800°C : les résultats relevés sont optimiste pour le fer (58%) quant au cuivre, il présente un fort taux dans la fraction magnétique ( $\beta_{Cu}=1,082\%$ ).

Ainsi, nous relevons que la séparation magnétique a pris de l'ampleur pour le traitement partiel du minerai étudié (cas de fer). Pour le traitement des minerais cuivreux, on a procédé à une séparation par la flottation directe.

Pour améliorer la qualité du concentré, nous avons diminué la dimension des grains jusqu'à l'ordre de moins de 44 $\mu$ m. l'essai de cette tranche granulométrique a été traité par un schéma combiné (séparation magnétique à basse intensité précédé d'un grillage de 800°C et flottation). Le taux de cuivre extrait de la flottation est de 85% avec une teneur de 4,5%, au niveau de la première cellule (flottation principale).

En fin disons que l'éventualité d'un traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza que ce soit par séparation magnétique à haute intensité ou bien à basse intensité précédé d'un grillage à 800°C est recommandée. Le cuivre quant à lui doit être séparé à l'aide de la flottation directe, dans les conditions d'une granulométrie de 44 $\mu$ m des rejets issus de la séparation magnétique.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [4] **M. Bounouala** (1988), Recherche et élaboration d'une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de l'Ouenza, *thèse magistère*, Université Badji Mokhtar de Annaba, 51-60pp.
- [12] **A. Gosselin, Blackburn, M. Bergeron**, Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques (Mars 1999).
- [18] **Gérard Gillet** Séparation magnétique : Théorie et modélisation (*Techniques de l'Ingénieur - Mars 2003/J3 220*), pp(2-5)
- [19] **Gérard Gillet** Séparation magnétique à basse et haute intensité (*Techniques d l'Ingénieur - Juin 2003/J3 221*), pp2(1-10)
- [25] **Dj Merabet, M Bounouala**, essai de traitement de la partie cuivreuse du minerai de fer de l'Ouenza(Algérie) *pub les techniques 1999*.
- [26] **Pierre Blazy, El-Aïd Jdid**- Flottation /Mécanismes et réactifs (Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés) 2005 (p : 1, 18,20)
- [27] **Del villar, René**, Procédés minéralurgiques/Chapitre 9. Flottation (cours -Département génie des mines, métallurgie et matériaux -Université Laval) p (1-3)
- [28] **Pierre Blazy, El-Aïd Jdid**- Flottation / Aspects pratiques (Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés) 2005 (p : 2, 20,21)
- [29] **Pierre Seyer**, Utilisation des diagrammes de «Contrôle de Qualité» dans la concentration mécanique des minerais (*Revue de statistique appliquée, tome2, no1(1954)*), p.51-55.
- [30] **R. Houot & R. Joussemet** -Criblage (Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés) 2005 (p 22).



# **CHAPITRE VI** *EVALUATION DES AGENTS POLLUANTS ET NUISANCES SUR L'ENVIRONNEMENT MINIER DE L'OUENZA*

*L'étude d'impact sur l'environnement est un outil de base pour la mise en œuvre de la protection de l'environnement, elle consiste à la connaissance et à l'évaluation des incidences directes ou indirectes des diverses activités sur les équilibres écologiques ainsi que le cadre et la qualité de vie dans les différents espaces : L'espace restreint qui concerne la zone même de l'activité, l'espace d'influence ou se font sentir les nuisances (bruits, odeurs, paysage, polluants, etc.) Et l'espace étendu qui comprend les espaces éloignés, affectés par les polluants et nuisances engendrées par l'activité minière en particulier.*

## 1. INTRODUCTION

Depuis fort longtemps, la lutte contre la pollution atmosphérique occupe une place dans la législation des pays industrialisés. Dans un premier temps, elle a concerné uniquement les effluents industriels, ensuite, elle s'est généralisée sur l'ensemble des activités susceptibles de contribuer à la pollution de l'atmosphère et de l'environnement en général (industrie, appareil de combustion, activités minière, véhicules automobiles etc.)

Dans la plupart des pays sous développement ou en voie de développement, les autorités législatives ont quasiment négligé la question relative à la protection de l'environnement et de l'atmosphère. Ce n'est qu'après la naissance des associations et partis écologistes (les verts) que certains pays ont réservé la place dans leur législation à la protection de l'environnement.

En 1983, les pouvoirs législatifs Algériens ont décrété la loi 83-03 du 05 Février 1983 relative à la protection de l'environnement.

L'étude d'impact sur l'environnement est un outil de base pour la mise en œuvre de la protection de l'environnement, elle consiste à la connaissance et à l'évaluation des incidences directes ou indirectes des diverses activités sur les équilibres écologiques ainsi que le cadre et la qualité de vie dans les différents espaces : L'espace restreint qui concerne la zone même de l'activité, l'espace d'influence ou se font sentir les nuisances (bruits, odeurs, paysage, polluants, etc.) Et l'espace étendu qui comprend les espaces éloignés, affectés par les polluants et nuisances engendrées par l'activité minière en particulier.

## 2. OBJET DE L'ETUDE

Conformément à la loi minière N° 01-10, publiée au journal officiel N°35 du 12 Rabie Ethani 1422, correspondant au 04 juillet 2001, réagissant les modalités d'attribution ou d'octroi des titres miniers, et compte tenu des articles 149 à 151, tout demandeur d'un titre minier est tenu de joindre à sa demande, en plus de l'étude technique (géologie et exploitation) une étude d'impact de l'activité minière projetée sur l'environnement qui sera soumise à l'approbation des services compétents concernés.

L'étude d'impact sur l'environnement doit tenir compte de tous les aspects relatifs à la protection de l'environnement en général, notamment les conditions techniques de travail qui assurent la stabilité et l'équilibre du milieu ambiant, les mesures d'atténuation de l'impact de l'activité minière sur l'environnement et les mesures qui s'imposent à la remise en état des lieux pendant toute la période de l'activité projetée.

## 3. PRINCIPAUX SOURCES D'EMISSION DES POLLUANTS ET NUISANCES

Comme toute mine exploitée à ciel ouvert plusieurs sources sont à l'origine des émissions poussiéreuses ou à des nuisances visuels, sonores et/ou vibratoires, et au niveau de la mine de fer de l'Ouenza on dénombre quelques sources telle que sont reportées au tableau 21.

**Tableau 21** : Sources de différents agents de pollution et de nuisances

N°	Polluants et Nuisances	Sources
01	Poussières	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Travaux de chargement et de transport</li> <li>▫ Travaux de forage et de tirs</li> <li>▫ Concasseurs</li> <li>▫ Trémies de chargement et de déchargement</li> <li>▫ Bande transporteuses</li> <li>▫ La mise à terril</li> </ul>
02	Ondes vibratoires	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Tirs de mines</li> <li>▫ Foration</li> <li>▫ Circulation des gros engins</li> </ul>
03	Gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Gaz d'échappement des moteurs diesel</li> <li>▫ Tirs de mines</li> </ul>
04	Carburant et lubrifiants	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Ateliers de maintenance et lavage</li> <li>▫ Les fuites</li> </ul>
05	Fosses et vides	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Créés par les travaux de prospection et d'exploitation</li> </ul>
06	Bruits	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Installations et engins</li> <li>▫ Tir de mines</li> </ul>

### 3.1 POUSSIÈRES

- a. Émissions de poussières** : les impacts ont pour origine la foration, les tirs de mines, les installations minières, la circulation des engins, etc. (figure 40) ces impacts sont étroitement liés aux conditions atmosphériques, à l'humidité et à la direction des vents dominants.

Les conséquences qui en résultent sont : l'action sur la santé et la sécurité publique, la détérioration du paysage, des monuments, des habitations, et de la végétation, l'impact sur l'agriculture (diminution de la fonction chlorophyllienne) et la détérioration de la qualité des eaux de surface.

- b. Impact des poussières** : Les propriétés physico-chimiques des poussières se résument essentiellement en leur inflammabilité, expansivité, nocivité et leur toxicité.

Les spécialistes en hygiène et sécurité, médecine de travail et en écologie ont classé les poussières selon leur effet biologique et leur granulométrie.

Les catégories les plus dangereuses, des poussières sont celles de Silice libre, qui entraînent la « silicose », c'est le cas de maladie professionnelle la plus répandue au niveau de la mine de fer de l'Ouenza. Trois catégories de poussières existent selon leur granulométrie :

1. *Poussières à grosses particules* :  $d > 5 \mu\text{m}$  (en suspension instable dans l'air)
2. *Poussières à fines particules* :  $0,25 < d < 0,5 \mu\text{m}$  (en suspension semblent échapper aux lois de la pesanteur)

3. *Poussières ultra microscopiques* :  $d < 0,25\mu\text{m}$ , ne sont visibles qu'au microscope électronique (poussières colloïdales)

Ou : (d) Granulométries des particules de poussières.

Elles ont des conséquences néfastes sur les organes respiratoires, des personnes et elles sont la cause des maladies de pneumoconiose (silicose), asthme, etc.

L'étendue de l'impact des poussières sur santé des personnes au niveau de la mine d'Ouenza est importante surtout pour les travailleurs les plus exposés et affectés aux postes dont générateurs de poussières.

A la mine d'Ouenza, l'impact des poussières sur la santé des travailleurs et population a laissé sans doute ses traces depuis son démarrage jusqu'à l'heure actuelle.

D'après les études réalisées sur les taux des concentrations des poussières respirées en mg dans un  $(\text{m}^3)$  indiquent qu'ils sont dépassés aux seuils tolérés.

Autrement dit la moyenne sur huit heures, des concentrations auxquelles est effectivement exposé un travailleur(VME)<sup>(8)</sup> doit être inférieur à :

- $05\text{mg}/\text{m}^3$  d'air pour les poussières alvéolaires.
- $10\text{mg}/\text{m}^3$  d'air pour les poussières totales.

3.2 PHENOMENES VIBRATOIRES

L'origine essentielle des vibrations est principalement liée aux tirs de mines, avec pour conséquences, la menace portée à la sécurité des personnes, aux constructions, aux relais et antennes divers, aux structures naturelles (sources d'eau, fissuration des massifs rocheux).

Dans les conditions de la mine de Ouenza, compte tenu des propriétés physico-mécaniques des roches, les travaux d'abattage sont assurés par l'utilisation des explosifs<sup>(9)</sup>, d'où la nécessité de prévoir les limites d'influence des ondes vibratoires sur les constructions et les installations avoisinantes. Donc les tirs de mines ont un effet de projection et d'ondes vibratoires.

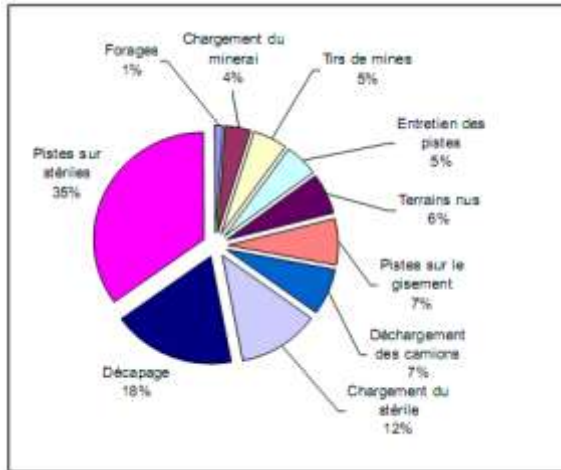


Figure 40 : Répartition massique des sources de poussières pour l'exploitation d'une mine à ciel ouvert – hors traitement [24]

<sup>(8)</sup> VME : Valeur Moyenne d'Exposition.

<sup>(9)</sup> Les dépôts des explosifs et des artifices, les conditions de leur construction et leur utilisation doivent être basées sur les normes arrêtés par voie réglementaire publiée au journal officiel N°28, du 04 mai 1984

La limitation des différents rayons d'influence des travaux de tir est basée sur le calcul à l'aide des méthodes empiriques que nous énumérerons ci-après :

- Le rayon de la zone dangereuse, pour le personnel, les engins et les installations contre les projections des tirs.
- La distance (rayon) sismo-sécurité (Dss).
- Distance de sécurité lors de l'action de l'onde de choc(Rc).

Pour la mine de Ouenza, l'estimation des rayons de zone dangereuse a donné les valeurs moyennes suivantes :

- $R_d$  pour le personnel : 200m.
- $R_d$  pour les engins : 100m.
- $D_{ss}$ (sismo-sécurité) : (90 à 97)m.
- $R_o$  (action de l'onde de choc) : (324) 780) m.

En outre, les tirs de mines ont une influence sur les cours d'eau et la qualité des eaux superficielles et souterraines, ces derniers risquent certainement d'être affectés ou déviés par les effets sismiques des ondes vibratoires.

En plus des effets vibratoires, sur la stabilité des constructions, on enregistre également l'impact des ondes acoustiques gênantes sur la population avoisinante (cas de la cité d'habitation dite « Zouabi » située à proximité des quartiers Douamis et Hallatif).

### 3.3 BRUIT

L'origine du bruit résulte de la foration, des tirs de mines (bruit instantané) des divers engins et installations minières. Les conséquences affectent la qualité de vie des riverains, la faune et certaines activités sociales et économiques.

L'impact du bruit, favorise l'affection des agents exposés directement à des sérieux problèmes de santé à savoir :

- La surdité
- La mauvaise communication entre les agents travaillant au même lieu
- Problèmes psychologiques des agents exposés.

Les statistiques réalisés sur les agents affectés par la surdité, déclarés par le service de la médecine de travail de la mine de Boukhadra et Ouenza ont montré qu'au moins 02 personnes par an sont affectés.

### 3.4 GAZ ET LUBRIFIANTS

La pollution par les gaz est due à l'oxyde de carbone et d'azote est en général liée à l'intensité de la circulation des automobiles et divers engins.

La dispersion des gaz d'échappement des moteurs diesel dans l'air favorise la inévitablement la pollution de l'atmosphère.

Dans les zones d'activité minière, ce problème est devenu la préoccupation primordiale, exceptionnellement dans les cas d'exploitation souterraine. Mais malheureusement dans la mine d'Ouenza aucune étude n'est faite sur l'impact de tel type de polluants.

Les lubrifiants usés sont également considérés comme étant des polluants de l'environnement, lorsqu'ils sont jetés dans la nature, ils ont un effet négatif sur les eaux superficielles ou souterraines ; sur la végétation existante (la flore) et sur la santé des personnes.

### 3.5 FOSSES ET VIDES

Les travaux de prospection et d'exploitation engendrent la création des fosses et tranchés (à ciel ouvert) et des vides (galeries, puits et cheminées, dans l'exploitation souterraine), ce changement de l'état initial du site minier à un impact direct sur l'environnement qui se traduit par :

- Risques d'affaissement
- Menace des nappes aquifères
- Assèchement et déviation des réseaux hydriques de surface
- L'instabilité des terrains (glissement, fissuration et affaissement)
- Dégradation de la faune et la flore et le paysage naturel

Il est important de signaler, que la mise à terribil, a un impact sur le paysage initial, il est nécessaire de réserver une attention particulière au choix des zones de mise à terribil, la forme et la géométrie des décharges.

### 3.6 MILIEU NATUREL (*la faune et la flore*)

Les effets de l'activité sur les espèces faunistiques et floristique se rejoignent généralement et ont pour origine, l'extraction, l'assèchement des sols, l'altération des eaux superficielles, les poussières, le bruit, les vibrations, l'érosion des sols et le trafic routier induit.

Les conséquences engendrées par l'activité minière se résument en la destruction de la flore et éventuellement la disparition des stations botaniques, le déplacement et/ou la disparition des diverses espèces faunistiques, non adaptées aux nouvelles conditions.

### 3.7 HYDROLOGIE

Modification du tracé d'un cours d'eau, modification du débit avec comme conséquences la destruction ou la détérioration du milieu vivant, l'érosion des berges, l'envasement et le surcreusement des lits de rivière,....

### 3.8 HYDROGEOLOGIE

Rabattement des nappes, modification des écoulements en profondeur (réseaux karstiques, failles drainantes,...) et du ruissellement sur le site avec pour corollaire l'assèchement des puits, des sources, perturbation qualitative et/ou quantitative d'alimentation en eau potable.

#### 4. MESURES D'ATTENUATION

L'objectif prioritaire de la lutte contre la pollution est la préservation à tout prix de la santé publique, la suppression du gêne ressentie par la population du fait de la pollution par les poussières, les gaz, les bruits, ou autres ainsi que le fait de la dégradation des biens matériels. Pour diminuer, voir compenser l'impact des différents polluants et nuisances résultant de l'activité minière, nous sommes convenus de proposer certaines recommandations qui doivent être prises en considération en plusieurs phases à savoir avant, pendant et en fin d'exploitation.

- Le respect des consignes de sécurité et les textes réglementaires
- La disponibilité des moyens de protection individuels et collectifs.
- Chaque agent doit être muni d'un casque et un masque anti poussière
- L'arrosage cyclique et permanent des pistes de roulage
- Mise en place des dispositifs de dépoussiérage dans certaines sources de poussières, tels que les capteurs, extracteurs, murs d'isolation...
- Création des espaces verts dans les différents ateliers et lieux publique limitrophes
- Formation du personnel de la structure chargée de la sensibilisation et la sécurité.
- Visite médicale systématique du personnel actif dans la mine ou personnes habitant au voisinage.
- Etude et limitation du rayon d'influence des ondes vibratoire
- Application des consignes et règles de sécurité lors d'utilisation des explosifs

Au niveau des quartiers « Douamis et Hallatif », le problème de propagation des ondes vibratoires représente un facteur déterminant le choix et la faisabilité de l'exploitation de leurs réserves, car ils sont situés au voisinage de la cité d'habitation dite « Zouabi ».

- Sensibilisation et formation du personnel de la mine, en particulier les boutes feu, sur les règles de sécurité d'utilisation des explosifs et des artifices
- Renouvellement des anciens engins qui dégagent plus de gaz (CO)
- Récupération des lubrifiants usés dans des futs et ne doivent pas être jetés en pleine nature.
- Choix des endroits de mise à terre et reboisement des zones épuisées et les périmètres des différentes décharges former un paysage attirant sans pour autant favoriser d'autres problèmes liés à l'environnement.
- Construction des portes avec fermetures solides pour chaque entrée d'excavations au jour.
- Mettre en place des plaques de signalisation indiquant les quartiers épuisés et abandonnés.
- Contrôler l'affaissement et le glissement des terrains.
- Limitation des charges unitaires d'explosifs et le contrôle de la qualité de bourrage pour réduire l'effet de bruits des tirs.
- Un contrôle systématique du niveau de bruit par les mesures nécessaires.

Bien évidemment ce n'est pas tous les mesures qui ils existent il ya d'autres très importantes, c'est pour cela que l'installation d'un groupe chargé de contrôle et de suivi au sein de l'entreprise est nécessaire pour une sécurité et préservation de l'environnement plus efficace.

## 5. REMISE EN ETAT DES LIEUX

La remise en état des lieux du site d'exploitation est à prévoir de manière à réinsérer le plus possible le site dans son contexte initial ou, à tout le moins à lui donner une nouvelle vocation pouvant s'intégrer dans ce contexte.

La remise en état est évidemment tributaire des méthodes et de la conduite de l'exploitation. Généralement et dans la mesure du possible, cette remise en état est réalisée progressivement à l'avancement de l'extraction, ceci facilite souvent le travail de restitution, mais nécessite un phasage précis.

## 6. LA MINE DE L'OUENZA ET DRAINAGE MINIER ACIDE (DMA)

Dans l'étude d'impact sur l'environnement au niveau de la mine de l'Ouenza et après une étude bibliographie, on révèle que les courants impacts ayant pris une part importante dans les études d'impact sur l'environnement établies durant la dernière décennie par différents organismes, ce concentrent surtout sur la pollution atmosphérique et les nuisances des poussières, gaz, bruits, etc. Mais, aucune de ces études n'a abordé un impact très connu dans beaucoup de mines de fer et surtout de cuivre dans le monde, un problème qui reste moins connu ou même ignoré dans beaucoup d'études d'impacte établies dans notre pays.

C'est le phénomène du drainage minier acide (DMA) associé à l'oxydation des minéraux sulfureux, tels la pyrite et la pyrrotite. Lorsqu'il est exposé aux conditions climatiques, ces minéraux peuvent réagir avec l'eau et l'oxygène atmosphérique pour engendrer un lixiviat acide favorisant la dissolution des métaux et autres contaminants susceptibles d'engendrer des impacts défavorables sur l'environnement. [2]

Et pour une vision plus proche sur le phénomène, nous allons développer dans ce qui suit, sa définition, sa nature ,son origine et son impact sur l'environnement, notamment au niveau de la mine de l'Ouenza dans certains quartiers (Douamis et Hallatif), dont une forte probabilité que ce phénomène à eu lieu.

### 6.1 DRAINAGE MINIER ACIDE (DMA)

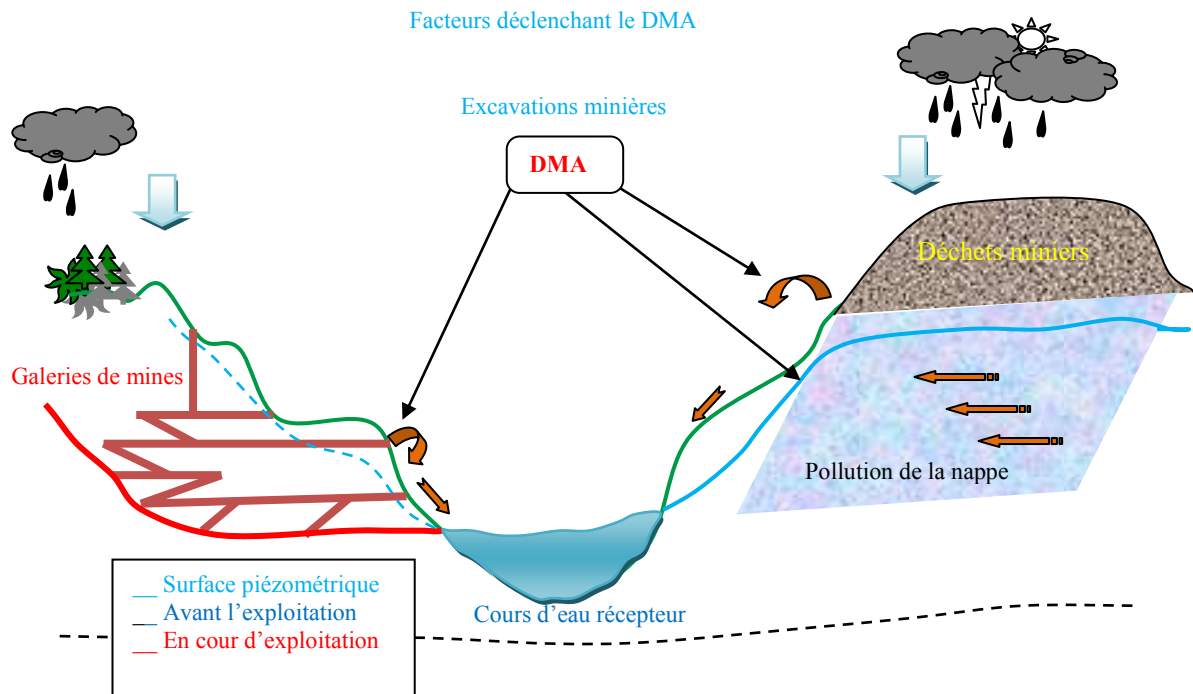
Avant l'ouverture de la mine, la roche est en équilibre chimique dans son environnement géologique. Après l'ouverture des galeries, cette roche est brutalement mise en contact avec l'oxygène de l'air qui circule dans les travaux miniers. Des réactions d'oxydation des sulfures contenus dans la roche (comme la pyrite) se produisent alors avec production d'acide sulfurique, (figure 41).

Ce type de réactions très répandu produit les effluents acides des mines, connus sous le nom de drainage minier acide (DMA). Les tas de stériles en surface soumis au lessivage par la pluie sont le siège des mêmes réactions d'oxydation. L'augmentation de l'acidité de l'eau, dont le pH peut atteindre dans les cas extrêmes des valeurs inférieures à 2, va favoriser



l'attaque des minéraux de la roche avec mise en solution de contaminants comme le plomb, l'arsenic, le zinc, le cuivre... qui seront alors transportés vers les rivières et les aquifères. Le drainage minier acide est un des problèmes majeurs de l'industrie extractive et peut atteindre une ampleur catastrophique comme, par exemple, dans les mines métalliques.

Dans certains contextes géologiques particuliers, la présence de minéraux carbonatés ou silicatés dans la roche permet une neutralisation naturelle in situ de l'acidité de l'eau. La réaction de neutralisation par dissolution de ces minéraux est observée, dans les mines de charbons en Ecosse, dans la mine métallique de Largentière, ainsi que dans les mines de fer de Lorraine où le pH est proche de 7. Ce type de mécanisme est appelé drainage minier neutre (DMN). Mais le pH neutre ne rend pas pour autant l'eau potable : cette eau est en effet généralement fortement sulfatée et peut contenir des éléments chimiques qui la rendent impropre à la consommation. [21]



**Figure 41** : Conditions et sources d'un drainage minier acide

Depuis plusieurs années, on remarque une prise de conscience de plus en plus répandue par rapport aux problèmes liés à l'environnement. Les sols contaminés, quant à eux, sont l'objet d'efforts collectifs menés afin de tâcher d'enrayer les problèmes qu'ils peuvent causer.

## 6.2 ORIGINE DU DMA : L'OXYDATION DES SULFURES

Le mécanisme de formation du DMA est lié à la mise en présence de sulfures ( $S^{2-}$  et  $S_2^{2-}$ ), de soufre ( $S^0$ ) ou de thioles ( $S_2O_3^{2-}$ ) avec de l'eau et de l'oxygène. Le minéral sulfuré le plus commun présent dans les sites miniers est la pyrite ( $FeS_2$ ). L'oxydation de la pyrite est la

cause principale du drainage minier acide. Mais d'autres minéraux sulfurés participent également au phénomène du DMA, comme la sphalérite (ZnS), la galène (PbS), la chalcopryrite (CuFeS<sub>2</sub>), la pyrrhotite (Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>) et l'arsénopyrite (FeAsS).

L'oxydation de la pyrite est régie par un ensemble de réactions et se déroule en trois phases :

- **Première étape**, l'oxydation par l'oxygène, est une étape d'initiation. Elle se produit en présence ou en l'absence de bactéries. Le pH est alors supérieur à 4,5 et s'acidifie progressivement.
- **Deuxième étape**, l'oxydation de l'ion ferreux en ion ferrique (réaction, est déterminante). Elle devient prépondérante avec l'acidification progressive du milieu : le pH devient inférieur à 4,5 ce qui permet au fer ferrique de rester en solution. Le rapport  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ , encore faible, augmente alors progressivement. L'importance de cette réaction réside dans le fait qu'elle produit du fer ferrique qui sera capable à son tour de réagir en chaîne sur la pyrite.
- Cette **troisième étape** correspond à des pH < 3 et à un rapport  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  élevé. La réactivité du système dépend d'un apport rapide en  $Fe^{3+}$  fourni. A ces pH, l'oxydation du fer ferreux est une réaction qui peut être catalysée par Thiobacillus ferrooxidans bactérie qui se développe à des pH inférieurs à 4 et utilise l'oxydation du  $Fe^{2+}$  comme source d'énergie. Dans ces conditions, l'oxydation de la pyrite ne joue plus qu'un rôle mineur.

La réaction d'oxydation du fer ferreux en fer ferrique permet au processus de production de DMA de s'auto-entretenir comme le décrit la figure 42.

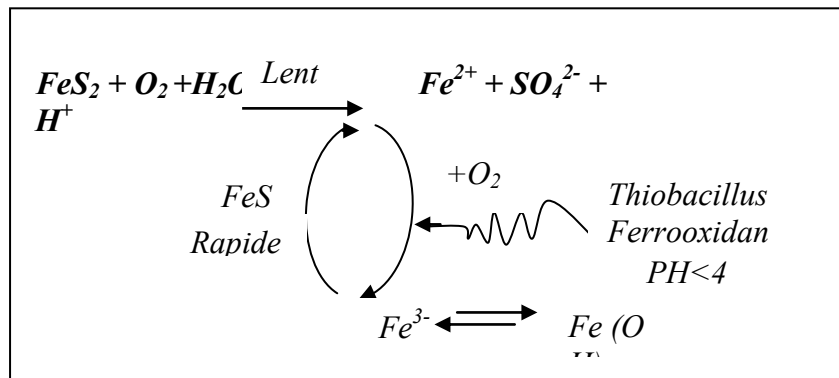


Figure 42 : Schéma simplifié du phénomène d'oxydation de la pyrite

### 6.3 CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS DU DRAINAGE MINIER

Les débits des effluents miniers sont très variables. Ils dépendent du site (dimensions, caractéristiques des roches), de ses caractéristiques hydrologiques (dimensions du bassin versant, rapport ruissellement / infiltration) et du climat (température, pluviométrie, ...).

Les caractéristiques physico-chimiques des effluents du drainage minier dépendent de l'hydrodynamique et des paragenèses minérales locales. Elles varient donc fortement d'un site à l'autre.

#### 6.4. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU DRAINAGE MINIER

En provoquant la dégradation de la qualité de l'eau superficielle et/ou souterraine, le drainage minier a un impact sur tous les systèmes en relation directe ou indirecte avec cette eau : écosystèmes aquatiques, communautés végétales riveraines et usagers de l'eau.

Les écosystèmes aquatiques sont les premières cibles du drainage minier. Ils sont étudiés à travers l'évolution des populations de macro-invertébrés benthiques. Les poissons, sensibles à une grande variété de facteurs de stress, sont utilisés comme indicateurs de pollution. Dépendant du réseau trophique pour leur reproduction, leur croissance et leur survie, ils intègrent les effets nocifs de stress complexes et variés affectant d'autres composantes de l'écosystème aquatique. Leur position au sommet de la chaîne alimentaire aquatique et le fait qu'ils soient consommés par l'homme rend toute contamination préoccupante. En outre, leur grande mobilité constitue un désavantage majeur pour la surveillance environnementale.

Le DMA peut également dégrader les communautés végétales riveraines en entraînant la mort d'espèces d'arbres non tolérantes à l'acidification du sol. Il constitue également un préjudice au paysage par l'impact visuel des précipitations de couleur rouille qui lui sont généralement associées.

Le second impact majeur du DMA est la remise en cause des usages de l'eau en aval des sites miniers, comme l'alimentation en eau potable, les bases ludiques, l'irrigation, la pêche et l'utilisation industrielle de l'eau. L'acidité des effluents miniers entraîne la corrosion des infrastructures minières et des équipements.

#### 6.5 CONCLUSION

En conclusion, le drainage minier s'accompagne d'une mise en solution d'éléments plus ou moins néfastes pour la santé humaine, corrosifs pour les infrastructures et les canalisations. La solubilisation des métaux lourds accrue dans le cas d'un DMA représente le danger majeur pour la santé humaine du fait des possibles intoxications par voie indirecte. Et pour que puissent être préservés l'environnement, la santé humaine, les usages industriels et les infrastructures, le traitement des effluents avant leur rejet dans l'environnement est indispensable. Au delà du coût de l'exploitation minière en temps que telle, il faut donc prendre en compte les frais associés à la réhabilitation des sites miniers dans les calculs de prix et de rentabilité de ces ressources. [22]

#### 6.6 RISQUE D'UN DMA AU NIVEAU DE LA MINE DE L'OUENZA

Les stocks du fer cuivreux générés par les anciens travaux d'exploitation peuvent mettre la région en face des menaces du phénomène du drainage minier acide (DMA) associé à l'oxydation des minéraux sulfureux (ferrifères et cuivreux), tels la pyrite, la chalcopyrite et la pyrrhotite.

Les décharges de terril dispersées sur différents endroits de périphérie de la mine, dont certaines se trouvent proches à des ravins et cours d'eaux, ce qui mis les sources hydriques en

danger d'une vulnérabilité par les métaux lourds ou lixiviat acides issus de l'oxydation et l'infiltration.

Donc il convient, au préalable de présenter les données générales sur les réseaux hydrologiques et hydrogéologiques, Le milieu naturel ainsi que la qualité et l'usage des eaux, afin de mieux présumer les risques probables d'un DMA au niveau de la mine.

### **6.6.1 Hydrologie et hydrogéologie**

En dehors de la source thermale de Hammam sidi Yahia située à 11,5 Km à vol d'oiseau au SO de la mine de l'Ouenza, de quelques suintements à la base des grés de miocène et des quelques rares sources localisées dans des oueds, les points d'eau naturels dans la région de Ouenza sont un peu rares. Toutefois, du côté Est, dans la plaine du Douar El Meridj, on aperçoit l'existence de quelques puits isolés dont l'eau est salée.

Le réseau hydrographique est représenté principalement par les cours d'oued Mellegue au Nord et oued Kseub au Sud-Est, distants respectivement de 3Km et 6,5Km à vol d'oiseau de la mine.

Hormis les cours cités ci-dessus, la région d'Ouenza est parsemée d'un enchevêtrement de ravins suivant une direction préférentielle NO-SE qui se déversent durant les périodes pluviales dans les oueds Mellegue pour le versant NO et oued El Kseub pour le versant SE.

Les études hydrogéologiques entreprises par DHW de la Wilaya de Tébessa ne révèlent aucune nappe aquifère en eau potable exploitable dans la région minière susceptible d'être influencée ou affectée par les travaux d'exploitation.

Néanmoins, il y a lieu de signaler l'existence d'un point d'eau au niveau du quartier conglomérat (cote 555) n'ayant pas l'objet d'une prospection hydrogéologique pour la connaissance de son extension et son importance.

Par ailleurs, on note l'existence d'une source d'eau potable à Souda, dotée d'une station de pompage qui alimente actuellement la mine de Ouenza pour l'arrosage des pistes.

En outre, il existe un point d'eau localisé à El Guenaria, au SO de Koudiet Kahkouh, non loin de la zone d'activité et la nappe d'Ain Chania située à environ 12 Km à l'est, entre El Aouinet et Ouenza.

## **7. CONCLUSION**

Depuis un siècle du temps la mine de fer de l'Ouenza reste assez généreuse jusqu'à nos jours, par son minerai de fer qui est la base de beaucoup de structures de base, dans notre pays et même ailleurs. Mais malheureusement, durant toute cette longue vie, des millions de tonnes de stériles sont entreposés dans le carreau de la mine et même à son extérieure.

La remise en état des lieux, la réhabilitation des sites épuisés, ou leur restauration, n'a jamais été, ce qui à donner un paysage désagréable à la région, d'un côté, et une pollution intensive qui mit les riverains en danger de l'autre côté. Au fur et à mesure ces derniers gagnent des

parties de la mine par les constructions d'habitation, notons ici qu'une nouvelle cité dite « cité Djebel » est construite à quelques dizaines de mètres de la mine, entre les anciennes décharges de stériles.

Les activités agricoles artisanales qui peuvent être exercées, et les eaux de pluie qui ruissellent à travers les haldes, également utilisées par ces riverains ; constituent un grand danger sur leur vie et celle de leur animaux domestiques et entourages.

Le phénomène de drainage minier acide, à ce jour n'a jamais été signalé au niveau de la mine de l'Ouenza, mais aussi aucune étude sérieuse était faite à ce sujet, pour cela il ya une forte possibilité que ce phénomène existe est cela pour les raisons suivantes :

- Les quantités énormes des stériles entreposées à différents endroits de la mine sans avoir une étude ou un traitement, constituent la source majeure de ce phénomène, plus, il existe quelques anciens stokes du minerai à faibles teneurs en fer sont abandonnés pour des années. donc il est possible que les cours d'eau suscités (oued mallegue surtout) ou autres sources d'eau (nappes, forages) sont contaminés par les lixiviats acides issus de DMA.
- L'activité humaine peut aussi accélérer l'effet de DMA par les travaux de construction (déviation des cours d'eau), de canalisation et travaux d'assainissement (eaux de pluies et usées), c'est le cas des deux cités d'habitation les plus proches à la mine (Zouabi et cité Djebel), sachant qu'elles sont très proches des anciennes décharges.
- Il est aussi à signaler que la plus part des habitants de l'Ouenza n'utilisent pas l'eau de la région, sa qualité dégradée les empêchent de l'utilisée comme eau potable, mais utilisée pour d'autres fins, d'ailleurs ce qui nous a constaté durant notre séjour de stage, l'eau potable est apportée de d'autres communes voisines (El Hammamet et El Aouinet), ce qui veut dire qu'elle est vénérée.
- Les quartiers Douamis et Hallatif, sont connus par leur richesse en cuivre, plus que le minerai de fer, leur exploitation est abandonnée du fait de son forte présence (cuivre) gênant l'élaboration sidérurgique de l'acier, cette exploitation a laissé différents ouvrages miniers (galeries, cheminés, chambres,...) dont laquelle circules les eaux qui favorisent de plus en plus la naissance de DMA. En outre la mise en stocke du minerai riche en cuivre (pyrite, chalcopryrite, tétraédrite,...) accélère l'apparition de DMA, et l'atteinte des eaux de surface (cours d'eaux) et souterraines (nappes et forages) sera plus facile.

En fin l'étude d'impacte sur l'environnement au niveau de la mine de l'Ouenza ne doit pas se limité uniquement à l'étude d'impact des polluants atmosphériques, mais tous les facteurs qui peuvent menacer directement ou indirectement la vie naturelle des êtres vivant de la région.



### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [2] **A. Idres et M. Bounouala** (2005) : Possibilité d'une nouvelle technologie de traitement des minerais de fer de l'Ouenza par radiométrie, Journal de Physique, EDP sciences, France.
- [21] **Robert Fabriol** ; La gestion de l'eau des mines en phase post-extractive (*BRGM GISOS géosciences 2005*)
- [22] **LAEGO, Chapitre1** : Le drainage minier et le bassin ferrifère lorrain (Document internet)
- [23] **CERAD** (*Centre d'Etudes des Recherches Appliquées et de Développement*) ; Etude d'impact sur l'environnement-mine de Ouenza /*Février 2002, pp13-14*
- [24] **M. Ouerda**, Chapitre III : Diagnostiques et évaluation des risques liés aux opérations génératrices de poussières *Thèse doctorat : Etude des paramètres influant sur la qualité du soutirage du minerai.*

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

L'Algérie recèle des potentialités minières importantes mais qui ne sont pas complètement exploitées. Ces potentialités doivent être développées afin de dynamiser l'activité industrielle et assurer une augmentation de l'emploi ainsi qu'une diversification de nos exportations, et pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de mener les nouvelles techniques d'exploitation et surtout de traitement des minerais dans nos activités minières et industriels. Notre travail avait pour but d'améliorer l'aspect qualitatif du minerai Fe-Cu provenant de la mine de l'Ouenza, par une étude de recherche d'un schéma rationnel de traitement, qui s'articule principalement sur une caractérisation minéralogique du minerai, une recherche bibliographique des schémas contemporains et une partie expérimentale qui nous a permis de ressortir les conclusions suivantes :

- L'étude de caractérisation minéralogique soutenue par les analyses chimiques nous a conduits à une reconnaissance qualitative du minerai brut qu'est constitué principalement d'une partie ferrifères (hématite), accompagnée de minéraux cuivreux en proportion importantes, favorisant une exploitation avec profit.
- L'analyse des propriétés physico-mécaniques du minerai révèle que son enrichissement peut être entrepris sur la base de la susceptibilité magnétique des minéraux ferrifères et flottabilité de ceux cuivreux.
- les conclusions déduites de l'expérience mondiale acquise dans le traitement de tel type de minerai, nous a orienté de retenir quelques variantes des schémas de traitement pour le minerai de fer cuivreux de l'Ouenza, ou dans l'étude de ces variantes, on a pris le facteur technico-économique comme point de décision.
- Les essais de séparation ont été axés sur trois niveaux :
  - a) La séparation magnétique à haute intensité, avec comme variables la densité du flux magnétique et la vitesse de rotation du tambour.
  - b) Des essais de la séparation magnétique à basse intensité (à champ constant) ont été réalisés. Les facteurs variables étant dans ce cas la vitesse de rotation du rouleau et l'amplitude de vibration du couloir transporteur. Le minerai initial a été soumis préalablement à un grillage magnétisant avec une température de 800C°.

L'application de la séparation magnétique à haute et basse intensité en voie sèche avec l'introduction du grillage magnétisant, est avantageuse  $\beta_{\text{Fe}} = (56,56 \text{ et } 58)\%$   $\gamma = (79,6 \text{ et } 64)\%$  pour la concentration du fer et l'élimination de la gangue, surtout dans les conditions de manque des ressources en eau dans la région, et le faible cout d'investissement pour une telle installation de traitement.

- c) La flottation directe, s'avère comme étant le procédé de traitement le plus efficace des minéraux cuivreux. La recherche bibliographique comparative des travaux réalisés sur la flottation des sulfures et les oxydes de fer, nous a



conduit de proposer quelques réactifs à appliquer pour de flottation directe du cuivre contenu dans les oxyde de fer du minerai de Douamis.

Le produit de mousse (cuivre) est appelé à subir un égouttage. A ce moment la teneur minimale obtenue en concentré de cuivre sera de ( $\beta_{Cu} = 15\%$ ) avec un taux d'extraction de l'ordre de ( $\zeta_{Cu} = 85\%$ ).

Les rejets de la flottation de contrôle, transiteront par un égouttage (essorage) pour la récupération de l'eau, à renvoyer vers un décanteur-épaississeur, et les rejets (filtrats) à acheminer vers la digue des rejets.

- Le schéma de traitement commence par une fragmentation grossière du tout-venant par deux stades de concassage (tout-venant arrive de la mine souterraine à 300mm) jusqu'à une granulométrie de moins de 12mm. La fragmentation fine s'effectue en deux stades : Un broyeur autogène (en voie sèche) délivre des particules de 125 $\mu$ m de granulométrie pour la séparation magnétique, et un broyage humide prépare une granulométrie de 44 $\mu$ m pour le procédé de flottation.
- L'étude d'impact environnemental de l'activité minière dans la région à montré que plusieurs paramètres doivent être vérifié en matière de protection de l'environnement, et de la sécurité. L'état actuel du quartier Douamis favorise l'apparition d'un drainage minier acide, et l'exploitation et le traitement du minerai cuivreux de ce quartier, comme elle le décrit cette présente étude, est importante.

Sur la base de l'analyse des recherches effectuées sur le traitement des minerais fer cuivreux et avec tous les résultats essais obtenus on a pu retenir un schéma de traitement combiné (séparation magnétique et flottation), pour le minerai du quartier Douamis(Ouenza).

☆☆☆☆☆☆☆☆

# ANNEXE

## HISTORIQUE

L'exploitation de la minéralisation à Ouenza et Boukhadra remonte à des temps assez lointains. Dont les premières exploitations du cuivre, remonte à l'époque romaine.

-La première information relative à la présence d'indices de minéralisation ferrifère a été signalée en 1875 par l'ingénieur des mines français Tissot.

-En 1896, et en 1901 des permis de recherche ont été délivrés pour le zinc et les métaux connexes.

-La société *Mokta El Hadid* entreprend des recherches de 1903 à 1929 à l'extrémité Nord de l'affleurement de Boukhadra au voisinage du col Sud, les travaux géologiques de prospection et d'évaluation du minerai de fer ont été poursuivis jusqu'à 1912 dates de la mise en exploitation de la mine d'Ouenza.

A partir de 1950 les recherches ont été reprises par galeries et sondages. Les résultats de ces travaux ont permis d'évaluer les réserves du gisement à quelques 100 millions de tonnes.

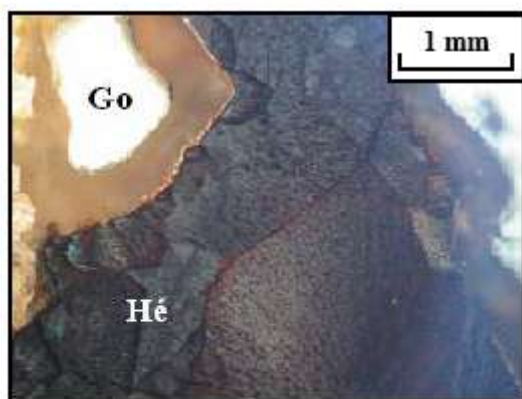
-Durant la période allant de 1950 à 1960, la mine a été soumise à une exploitation intense par la société française installée. Celle-ci ne s'était intéressée qu'au minerai riche et facilement exploitable.

-Le 06 mai 1966 il y a eu la nationalisation du secteur minier sous la gestion de SONAREM (Société Nationale de la Recherche Minière) qui succéda à l'ancien Bureau de Recherche Minière (BAREM), elle a assuré l'exploitation et les recherches du gîte jusqu'en juillet 1984 A partir de cette dernière date avec la restructuration des entreprises nationales, c'est l'EN-FERPHOS qui exploite et suit les recherches du gisement de Boukhadra.

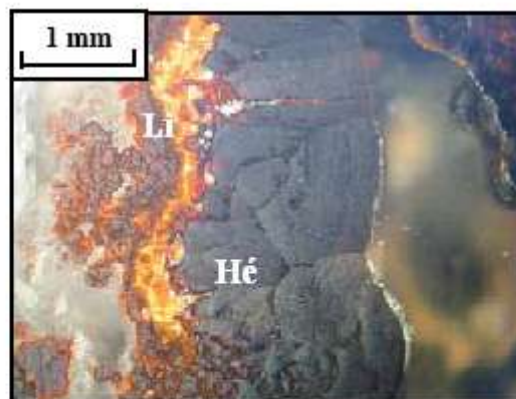
-En juin 1990, le gîte est individualisé par l'EN-FERPHOS dans le cadre de l'autonomie des entreprises avec un capital de 50.000.000 DA.

-En 2001, il y a eu signature des accords de partenariat avec le groupe international LNM (*Lakshmi Narayan Mittal*), et création de la Société ISPAT (*International Sidbec Procurement And Treatment*) Tébessa, puis *Arcelor Mittal Tébessa* pour l'exploitation des mines d'Ouenza et Boukhadra.

PHOTOS DES SECTIONS POLIES DE DIFFERENTS  
MINERAUX DE QUARTIER « DOUAMIS »



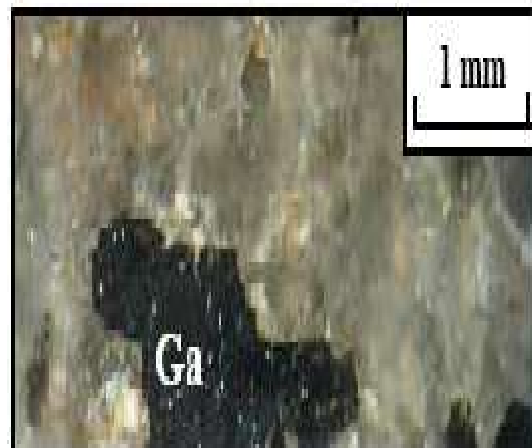
**Figure I :** Microphotographie de géothite(**Go**) associée à l'hématite(**Hé**)



**Figure II :** Microphotographie de limonite(**Li**) associée à l'hématite (**Hé**)

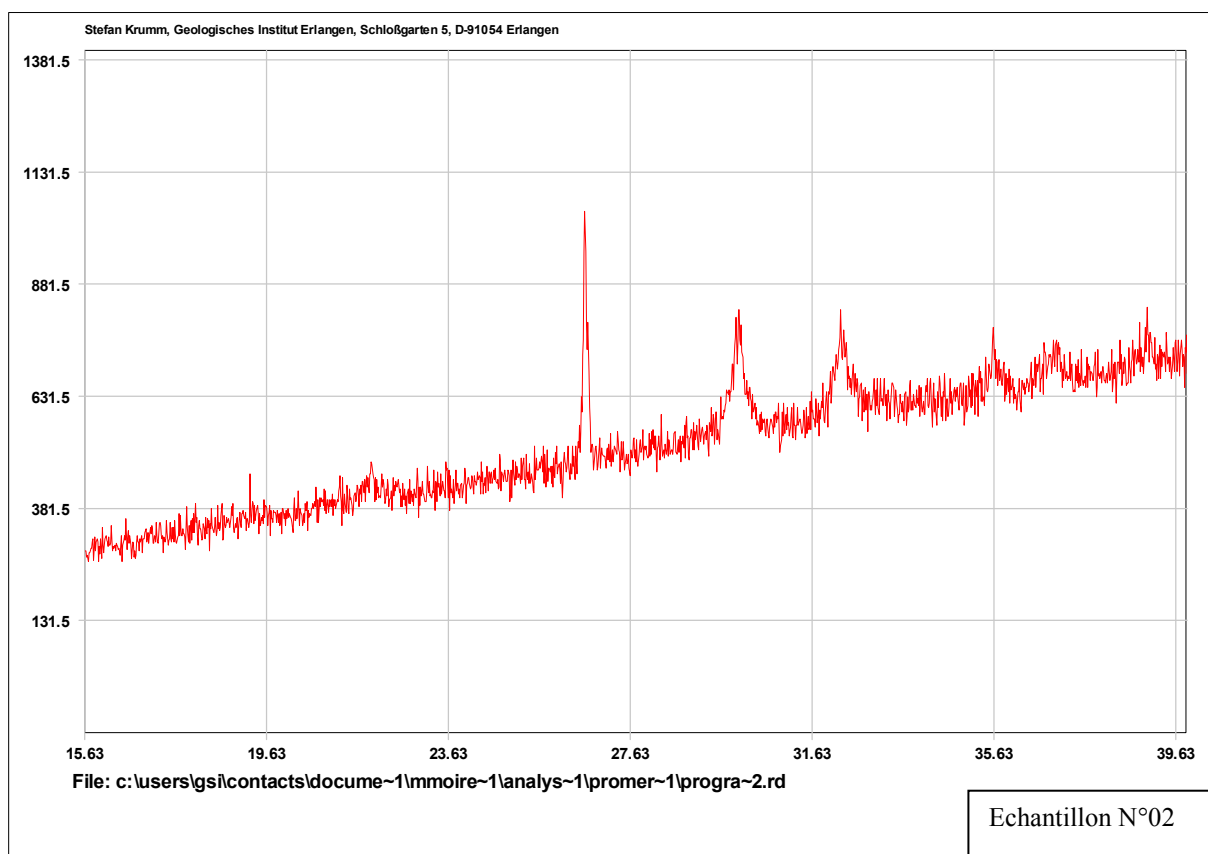
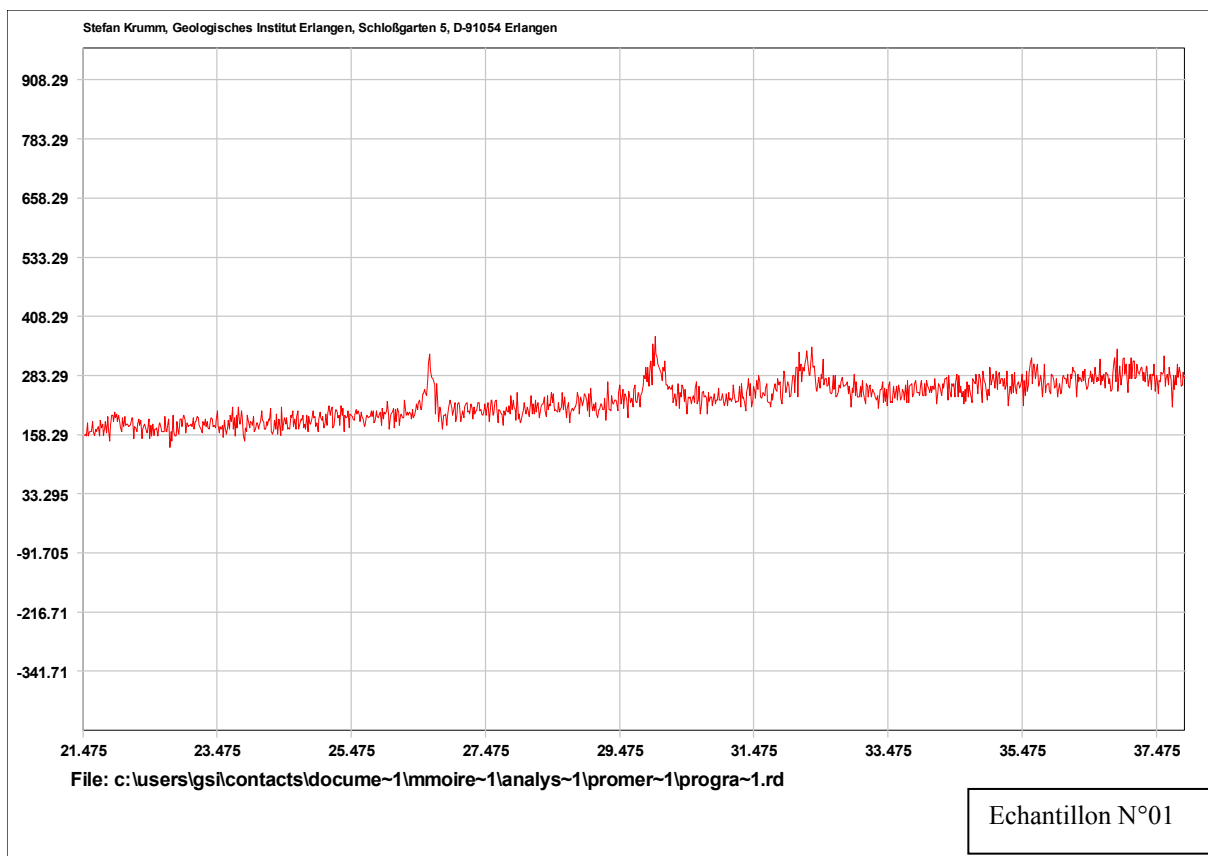


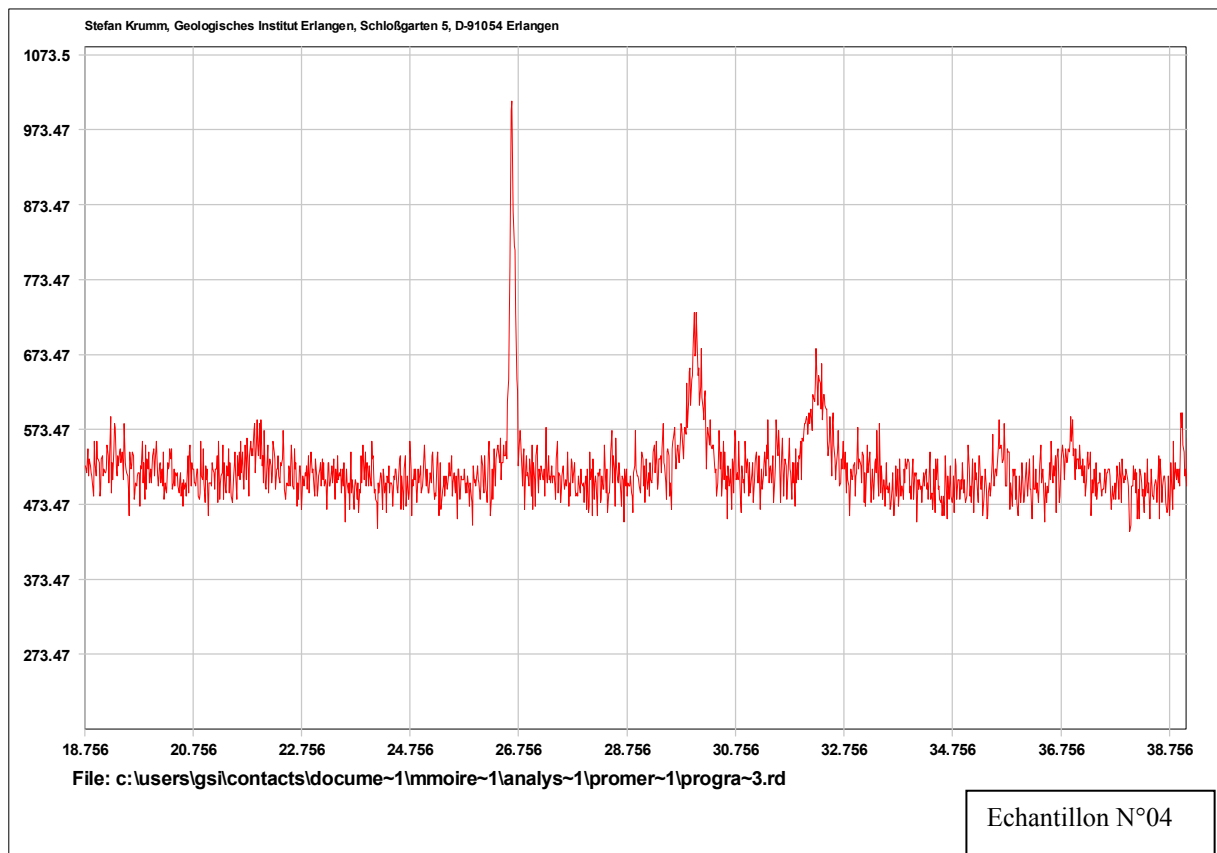
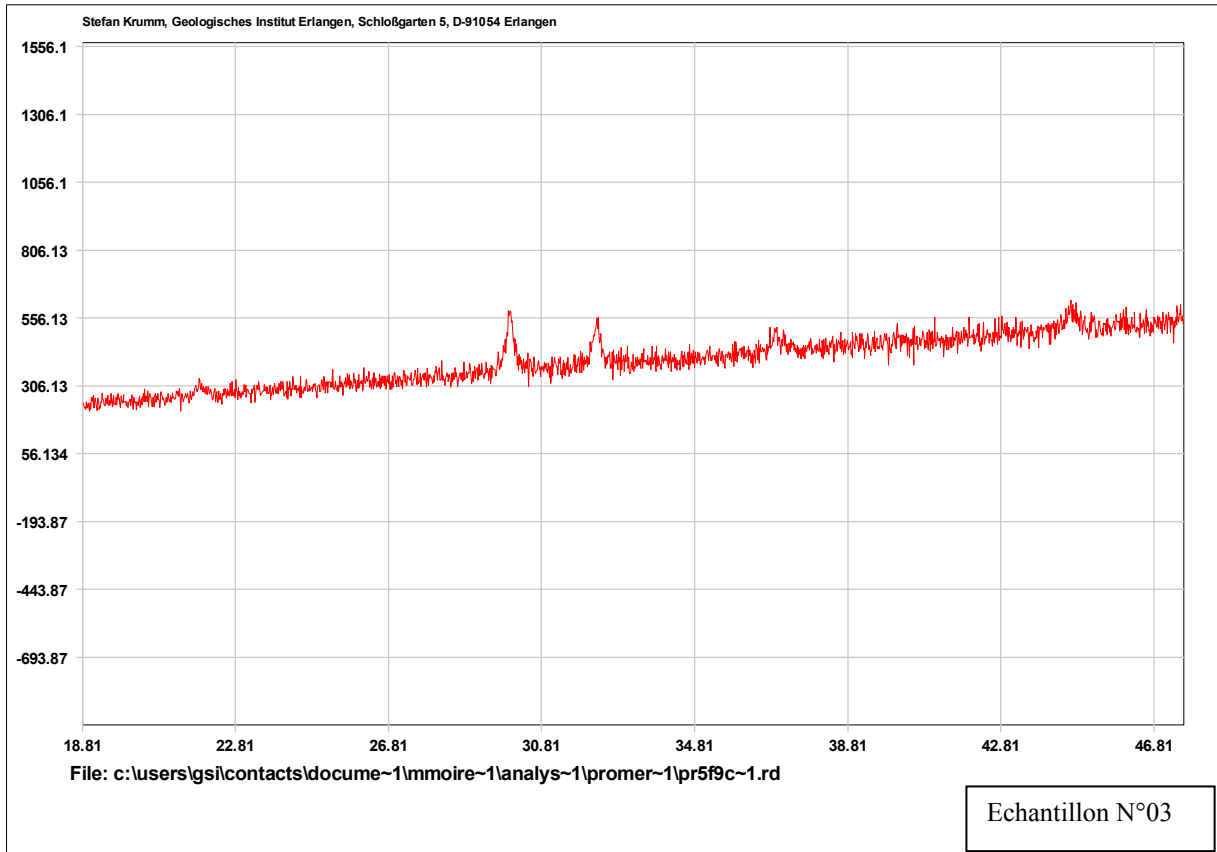
**Figure III :** Microphotographie de la Barytine (**Ba**) en section polie

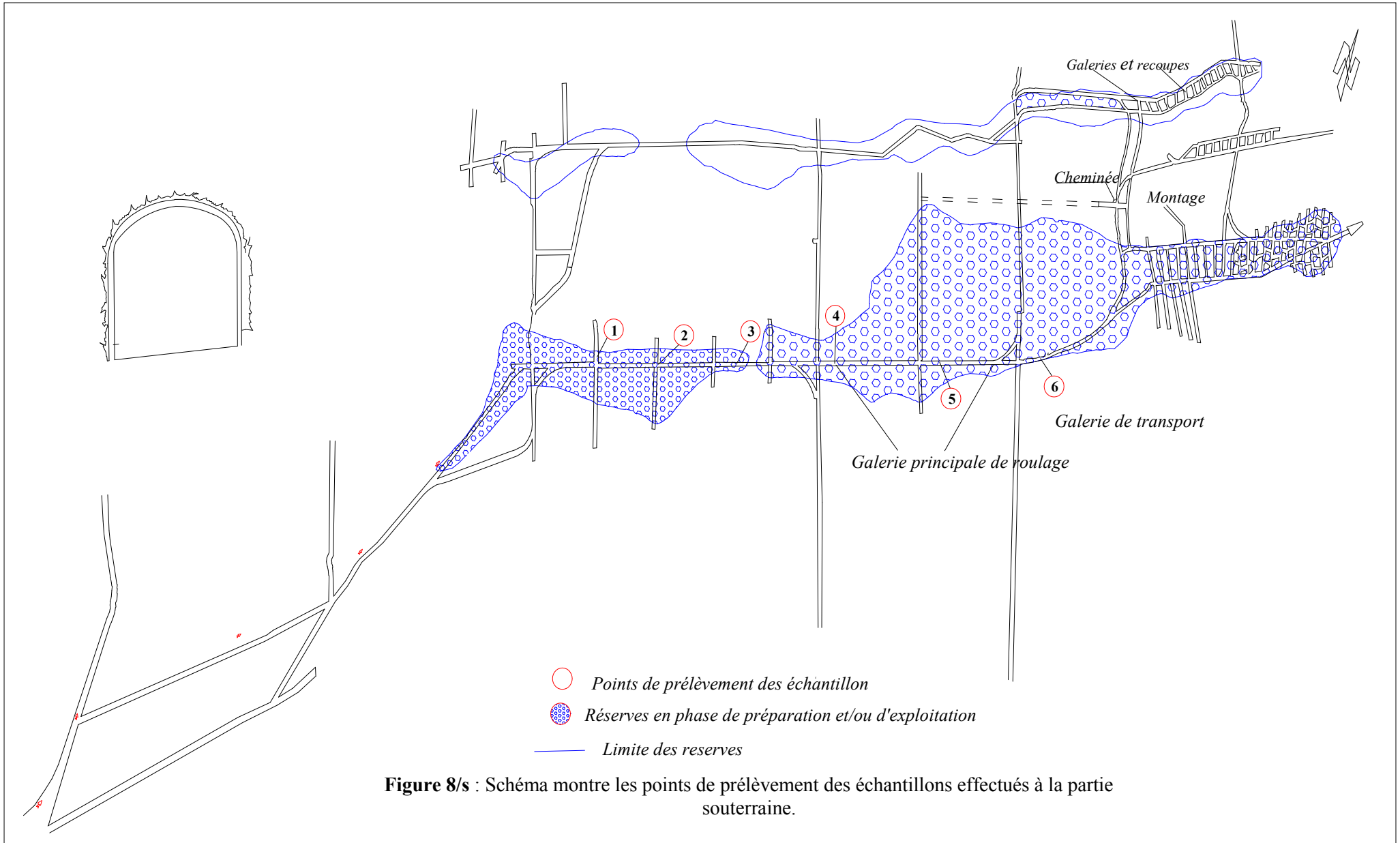


**Figure IV :** Microphotographie de limonite (**Ga**) en section polie

SPECTRES OBTENUS SUITE AUX ANALYSES DIFFRACTOMETRIQUE PAR RAYONS X, DES ECHANTILLONS PRIS AU QUARTIER « DOUAMIS »







**Figure 8/s :** Schéma montre les points de prélèvement des échantillons effectués à la partie souterraine.

