



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des mines

قسم المناجم والجيوتكنولوجيا

Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Exploitation des Mines

Approches et perspective du développement du projet
d'exploitation des gisements de fer de Gara Djebilet et Mechri
Abdelaziz.

Présenté et soutenu par

BOUIZAR Aissa
CHOUACHE Hichem

Devant le jury:

			Grade	Etablissement
Président :	GADRI	Larbi	Pr	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	DEBBOUZ	Mokhtar	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	MERAH	Chafia	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2020-2021



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des mines

قسم المناجم والجيوتكنولوجيا

Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Exploitation des Mines

Approches et perspective du développement du projet
d'exploitation des gisements de fer de Gara Djebilet et Mechri
Abdelaziz.

Présenté et soutenu par

BOUIZAR Aissa
CHOUACHE Hichem

Devant le jury:

			Grade	Etablissement
Président :	GADRI	Larbi	Pr	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	DEBBOUZ	Mokhtar	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	MERAH	Chafia	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2020-2021

Année universitaire : 2020-2021

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 Bouizar aissa

2 Chouache hichem

Niveau : 2^{ème} année Master Option : Exploitation des Mines

Thème : **Approches et perspective du développement du projet d'exploitation des gisements de fer de Gara Djebilet et Mechri Abdelaziz.**

Nom et prénom de l'encadreur : Mr Debbouz Mokhtar

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I : Situation sur les travaux de recherche sur le minerai de fer ;	
Chapitre II : Situation géographique et géologique du gisement ;	
chapitre III: Présentation état actuel, perspectives et développement du secteur ;	
Chapitre IV : Géologie minéralisation du gisement de gara Djebilet et caractérisation physico- chimique du minerai de fer et son traitement ;	
Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet ;	

*Au nom du Dieu le Clément le
Miséricordieux
Dédicace*

Je dédie ce mémoire à :

○ *Mon très cher père, qui me nourrit toujours de ses sages conseils.*

○ *Ma très chère mère, celle qui m'apporte toujours sans condition son amour.*

○ *Ma chère sœur, qui me soutiennent toujours.*

○ *Toutes mes grandes familles :*

BOUZZAR et CHOUMACHE

○ *Tous mes enseignants.*

○ *Tous mes amis.*

ASSA

#9CHEM

Au nom du Dieu le Clément le Miséricordieux

Remerciement

Avant tout nous remercions Dieu qui nous a donné la patience d'achever ce travail.

Nous tenons grand merci à Mr Debbouz Mokhtar notre maître de mémoire de fin d'étude durant ces quatre mois, pour sa disponibilité et son aide précieuse. Son expertise et sa propension à demander le maximum à ses étudiants m'ont énormément fait progresser, tant au niveau technique qu'au niveau professionnel. Qu'ils nos soient aussi permis de remercier Mr. Gadri Larbi, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance, et Mme Merak Chafia, qui a accepté de participer à ce jury en tant qu'examinatrice du mémoire.

Nous remercions également Mr Ouazoiz Saïd, Mr Messai Lakthar et Mr Belhamel Bilal qui nous ont fait confiance et nous ont permis ainsi d'obtenir des paramètres très importants, malgré leur confidentialité. Pour effectuer mon étude dans mon domaine de prédilection, sur un sujet aussi intéressant qu'instructif et formateur.

Nous remercions tous les enseignants de département de Génie Minier et spécialement les enseignants de l'exploitation minier.

Enfin nous tenons à remercier tous ceux ou celles qui ont eu l'honneur, de près ou de loin, à nous aider à présenter ce travail.

Bouizar Aissa

Chouache Hichem

Résumé

En l'absence d'une étude approfondie du traitement du gisement de minerai de fer oolitique de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz d'une part en raison des caractéristiques chimiques minéralogiques complexes et d'autre part la situation géographique et climatique de la région sont très difficile.

Notre contribution à ce projet, à travers la présente étude, porte sur la caractérisation du minerai en se basant sur des analyses physico-chimiques, minéralogiques et pétrographique du minerai de fer et d'établir une approche comparative avec quelques travaux antérieurs sur le gisement de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz. Elle vise, à travers cette étude à cerner les propriétés naturelles du minerai de fer, à faciliter les études en matière d'extraction et d'exploitation du gisement de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz, de façon à répondre aux exigences sidérurgiques en vigueur et pour être exploité et utilisé directement dans l'industrie.

Notre travail vise à étudier la possibilité de faire revivre le projet Gara Djebilet et de trouver des solutions aux problèmes qui entravent l'avancement du projet. L'un des problèmes les plus importants est la présence d'un pourcentage élevé de phosphore P₂O₅ dans le minerai de fer, ce qui a incité de nombreuses entreprises internationales à mener des études approfondies pour réduire le pourcentage de phosphore au pourcentage acceptable pour l'utilisation, ainsi que le problème de la longue distance entre la mine de Gara Djebilet et le port le plus proche pour l'exportation, ce qui se traduit par des coûts très élevés. Avec la possibilité de construire une aciérie à Tindouf à proximité de la mine et d'établir une voie ferrée reliant Tindouf et Béchar afin de la transférer vers le port d'Oran.

Mots clés : Gara Djebilet, Mécheri Abdelaziz, traitement, Minerai de fer, Phosphore, transport.

ملخص

في ظل عدم وجود دراسة متعمقة لمعالجة رواسب خام الحديد الأوليتي في غارا جبيلات من ناحية بسبب الخصائص الكيميائية المعدنية المعقدة ومن ناحية أخرى فإن الوضع الجغرافي والمناخي للمنطقة صعب للغاية. تتعلق مساهمتنا في هذا المشروع، من خلال الدراسة الحالية، بدراسة الخام بناءً على التحليلات الفيزيائية والكيميائية والمعدنية والصخرية لخام الحديد وإنشاء نهج مقارن مع بعض الأعمال السابقة على خام غارا جبيلات. ويهدف من خلال هذا إلى التعرف على الخواص الطبيعية لخام الحديد الأوليتي، وتسهيل الدراسات المتعلقة باستخراج واستغلال خام غارا جبيلات، وذلك لتلبية متطلبات الصلب المعمول بها والاستفادة منها وتستخدم مباشرة في الصناعة.

يهدف عملنا إلى دراسة إمكانية بعث مشروع غارا جبيلات إلى الحياة وإيجاد حلول للمشاكل المعرقة لسير المشروع ومن أهم المشاكل المطروحة تواجد نسبة عالية من الفوسفور P_2O_5 في خام الحديد والتي دفعت بالعديد من الشركات العالمية لإجراء دراسات معمقة لتخفيض نسبة الفوسفور للنسبة المقبولة للاستعمال كذلك مشكلة المسافة البعيدة بين منجم غارا جبيلات وأقرب ميناء للتصدير الذي ينج عنه تكاليف جد باهظة. مع إمكانية بناء مصنع للصلب في تندوف على مقربة من المنجم وإنشاء سكة حديدية تربط بين تندوف وبشار من أجل نقله إلى ميناء وهران.

كلمات البحث: غارا جبيلات؛ مشري عبد العزيز؛ المعالجة؛ خام الحديد؛ أوليتي؛ فسفوري.

Abstract

In the absence of an in-depth study of the treatment of the oolitic iron ore deposit of Gara Djebilet and Mécheri Abdelaziz on the one hand due to the complex mineralogical chemical characteristics and on the other hand the geographical and climatic situation of the region is very difficult.

Our contribution to this project, through the present study, concerns the characterization of the ore based on physico-chemical, mineralogical and petrographic analyzes of the iron ore and to establish a comparative approach with some previous work on the deposit of Gara Djebilet and Mécheri Abdelaziz. It aims, through this study to identify the natural properties of iron ore, to facilitate studies in terms of extraction and exploitation of the deposit of Gara Djebilet and Mécheri Abdelaziz, so as to meet the steel requirements in force and for be exploited and used directly in industry.

Our work aims to study the possibility of reviving the Gara Djebilet project and finding solutions to the problems that hamper the progress of the project. One of the most important problems is the presence of a high percentage of phosphorus P₂O₅ in iron ore, which has prompted many international companies to carry out extensive studies to reduce the percentage of phosphorus to the percentage acceptable for the use, as well as the problem of the long distance between the mine of Gara Djebilet and the nearest port for export, which results in very high costs. With the possibility of building a steelworks in Tindouf near the mine and establishing a railway line connecting Tindouf and Béchar in order to transfer it to the port of Oran.

Keywords: Gara Djebilet, Mécheri Abdelaziz, processing, Iron ore, Phosphorus, transport.

TABLE DES MATIERES

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
ملخص.....	IV
Abstract.....	V
Table des matières.....	VI
Abréviations et symboles.....	X
Liste des Figures	XI
Liste des Tableaux	XIII
Introduction générale.....	01
CHAPITRE I : SITUATION SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LE MINERAI DE FER.....	03
I.1. Minerai de fer au monde.....	03
I.2 Utilisations de minerai de fer.....	06
I.3 Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019.....	07
I.4 Généralités sur les minerais de fer.....	09
I.4.1 Types de minerais de fer.....	09
I.4.2 Origine du fer oolithique.....	13
I.4.3 Caractéristiques du fer oolithique.....	13
I.4.4 Formation d’oolite.....	14
I.5 Minerai de fer En Algérie.....	15
I.5.1 Mine de Boukhadra.....	16
I.5.2 Société de l’Ouenza.....	16
I.5.3 Société des mines de fer du Khanguet.....	17
I.5.4 Minières et carrières de Rivet-El-Maden.....	17
I.5.5.Mine nationale de Timezrit.....	17
I.5.6 Mine nationale de Zaccar.....	18
I.5.7. Mine nationale de Béni-Saf.....	18
I.5.8 Pyrite de fer. Mine d’El-Halia.....	18
I.5.9 La mine de fer de Anini.....	18
I.5.10 Mine de Gara-Djebilet et Mécheri-Abdelaziz.....	19
I.6. Production du minerai de fer en Algérie.....	19

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE II. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU GISEMENT.....	21
II.1 Situation géographique.....	21
II.1.1 Situation générale du bassin de Tindouf.....	21
II.1.2 Situation de Gara Djebilet.....	21
II.2 Situation géologique.....	23
II.2.2 Aperçu géologique du flanc Sud du bassin de Tindouf.....	23
II.2.2.1 Au plan structural.....	23
II.2.2 Au plan stratigraphique.....	24
II.2.3 Présentation géologique du Gara Djebilet.....	28
II.2.3.1 Plan structural.....	28
II.2.3.2 Au plan stratigraphique.....	29
CHAPITRE III : PRESENTATION ETAT ACTUEL, PERSPECTIVES ET DEVELOPPEMENT DU SECTEUR.....	32
III.1 Réserves.....	32
III.2 Minéralogie du minerai.....	33
III.3 Travaux de recherche du minerai de fer de Gara Djebilet.....	33
III.4 Etat actuel.....	35
III.5 Nouvelle stratégie de mise en valeur du gisement de gara-Djebilet et Mécheri Abdelaziz.....	36
III.6 Programme de recherches et d'études complémentaires.....	37
III.7 Conclusions et Recommandations.....	38
Chapitre IV : Géologie minéralisation du gisement de gara Djebilet et Caractérisation physico- Chimique du minerai de fer et son Traitement.....	39
IV.1 Géologie du Gisement de Gara Djebilet.....	39
IV.2 Minéralisation du gisement de Gara Djebilet Tindouf.....	40
IV.2.1 Le minerai.....	40
IV.3 Caractérisation physico-chimique du minerai de fer de GARA DJEBILET...	41
IV.3.1 Introduction.....	41
IV.3.2. Echantillonnage.....	42
IV.3.3 Analyse granulométrique.....	43
IV.3.3.1 Matériel.....	43
IV.3.3.2 Division.....	44
IV.3.3.3 Analyse granulométrique par tamisage.....	44

TABLE DES MATIERES

IV.3.3.4 Pesage.....	45
IV.3.4 Analyse des échantillons par Drx.....	48
IV.3.5 Observation microscopique des échantillons.....	50
IV.3.6 Conclusion.....	51
IV.4 Traitement Du Minerai De Fer De Gara Djebilet.....	52
IV.4.1 Aperçu Sur La Valorisation Des Minerais.....	52
IV.4.1.1 Définition.....	52
IV.4.1.2 Méthodologie de la valorisation.....	53
CHAPITRE V : PROBLEMES ET FAISABILITE DU PROJET.....	55
V.1 Faisabilité du projet.....	55
V.1.1 Introduction	55
V.1.2 Les principales phases du projet minier.....	55
V.1.3 La préfaisabilité et la faisabilité d'un projet.....	55
V.1.3.1 Etude de préfaisabilité.....	55
V.1.3.2 Etude de faisabilité.....	56
V.1.4 Faisabilité de projet de Gara Djebilet	58
V.2 Position des problèmes.....	59
V.2.1 Besoins en produits siderurgiques.....	59
V.2.2 Ressources minières.....	59
V.2.3 Ressources énergétiques.....	60
V.2.4 Caractéristiques.....	61
V.2.5 L'opération de déphosphoration.....	61
V.2.5.1 Introduction.....	61
V.2.5.2 Aperçu sur la valorisation des minerais.....	62
V.2.5.3 Travaux de valorisation effectués jusqu'en 1980	63
V.2.5.4 Valorisation par concentration enrichissement.....	63
V.2.5.5 Valorisation par le Haut Fourneau.....	64
V.2.5.6 Valorisation par la réduction directe.....	64
V.2.5.7 Travaux de valorisation effectués par SIDER dans les années 80	65
V.2.5.8 Réduction directe -four à gaz (axe Kaiser) 1983.....	65
V.2.5.9 Réduction directe - four électrique à arc (axe HYLISA)	66
V.2.5.10 Réduction directe - Four électrique à résistance de laitier (axe Demag)...	66
V.2.5.11 Réduction au gaz naturel (axe CITIC)	66
V.2.5.12 Conclusion.....	69

TABLE DES MATIERES

V.2.6 Le problème de transport	70
V.2.6.1 Introduction	70
V.2.6.2 Les modes de transport.....	71
A) Les transports ferroviaires.....	72
1- Une voie ferroviaire Tindouf-Abadla.....	72
2- Lignes ferroviaires (distances).....	73
3- Transport ferroviaire pour le secteur minier.....	75
4- Étude de pré faisabilité ferroviaire pour le projet	75
B) Les transports maritimes	76
C) Transport par Pipe.....	77
1- Caractéristiques techniques.....	78
2- Caractéristiques économiques.....	79
3- Avantages et désavantages.....	79
V.2.6.3 Etudes d'exploitation de transport et de commercialisation.....	80
V.2.6.4 Conclusion.....	82
V.2.6.5 Le rôle du gaz naturel dans le projet Gara Djebilet	83
Recommandations.....	84
Conclusion générale.....	85
Références bibliographiques.....	87

Abréviations et symboles

APS	Algérie presse service
CNUCED	Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement
USGS	United States Geological Survey
RNCAN	Resources naturels Canada
CHANGSHA	Laboratoires Chinois (CHANGSHA Research Institute of Mining and /Metallurgy)
IRSID	Institut de Recherches de la Sidérurgie Française (1961- 1977)
KRUPP	Nom (fondateur) d'un producteur allemand d'acier et de ses dérivés
KIGAM	Institut Coréen de Géologie et des Activités Minières
POSCO	Entreprise sud-coréenne, quatrième producteur mondial d'acier
SIDER	Entreprise algérienne du secteur de la sidérurgie
HYLSA	Entreprise sidérurgique mexicaine
SOMIFER	Société des Mines de Fer d'Algérie
FERAAL	Entreprise Nationale de Fer et de l'Acier
BRM	Bureau de Recherche Minière
BIA	Bureau d'Investissements en Afrique
S.E.R.M.I	Sociétés des Études et de Réalisation Minières et Industriels
SONAREM	Société National de Recherche et d'Exploitation Minières
Kg	Kilogramme
%	Pourcentage
DRX	Diffraction des Rayons X
µm	Micromètre
Nm	Nano mètre

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Histogramme. Production de minerai de fer en millions de tonnes.....	06
Figure I.2 Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019	07
Figure I.3 Histogramme. Réserves de minerai de fer au monde en millions de tonnes.....	08
Figure I.4 Les grand pays exportateur de fer dans le monde	08
Figure I.5 Minerai d'hématite spéculaire	10
Figure I.6 Minerai de limonite jaune.....	10
Figure I.7 Minerai de goethite	11
Figure I.8 Minerai d'ilménite	11
Figure I.9 Minerai de magnétite	12
Figure I.10 Minerai de pyrite.....	12
Figure I.11 Minerai de sidérite.....	13
Figure I.12 Situation géographique de la mine de Boukhadra	16
Figure I.13 Vue générale du gisement de fer, Gara Djebilet.....	19
Figure II.1 Situation géographique générale du bassin de Tindouf.....	21
Figure II.2 Situation géographique du secteur de Gara Djebilet Ouest	23
Figure II.3 Aperçu géologique de bassin de Tindouf.....	24
Figure II.4 Carte structural de secteur d'étude.....	28
Figure II.5 Carte géologique du secteur d'étude.....	31
Figure III.1 Les réserve de Gara Ouest -Les réserves de Gara Centre.....	32
Figure III.2 vue sur le gisement de gara Djebilet.....	35
Figure III.3 passages des d'oueds.....	36
Figure IV.1 Carte géologique de la bordure sud du bassin de Tindouf et localisation du gisement de fer. Gara Djebilet.....	39
Figure IV.2 Protocole de caractérisation du minerai de fer de Gara Djebilet.....	42
Figure IV.3 Diviseur à riffle Jones.....	44
Figure IV.4 Tamiseuse Resch.....	45
Figure IV.5 Tamis.....	45
Figure IV. 6 Série de Tamis.....	45
Figure IV.7 Balance électronique	46
Figure IV.8 Courbe granulométrique de l'échantillon de minerai de fer initial.....	47
Figure IV.9 Analyse par DRX de l'échantillon initial.....	49
Figure IV.10 Observation microscopique d'échantillon 1.....	50
Figure IV.11 Observation microscopique d'échantillon 1.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure IV. 12 Schéma simplifié d'un procédé de valorisation du minerai.....	52
Figure IV.13 Opération unitaires de la minéralurgie	54
Figure V.1 L'installation d'une usine sidérurgique	63
Figure V.2 travailleur à au haut fourneau.....	64
Figure V.3 L'opération de chargement du minerai dans les wagons.....	70
Figure V.4 Assemblages des moyens de fer transport pour l'opération de chargement.....	71
Figure V.5 La ligne ferroviaire Tindouf Béchar.....	72
Figure V.6. Schéma de tracée.....	73
Figure V.7 Transport de minerai de fer ferroviaire par train	74
Figure V.8 Port industriel à Oran, Algérie.....	75
Figure V.9 Bateaux de transport entrain de chargée.....	77
Figure V.10 Transport par pipe	78
Figure V.11 Chargement de minerai de fer dans les bateaux de transport	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Production mondiale de minerai de fer par Pays (USGS, 2012).....	05
Tableau I.2 Production du minerai de fer : durée 2008 – 2009.....	20
Tableau II.1 Colonne litho stratigraphique type du bassin de Tindouf.....	27
Tableaux III.1 les réserve de gara Djebilet.....	32
Tableaux IV.1 les déférent minéraux qui constituée le minerai de Gara Djebilet....	41
Tableau IV.2 Résultats d’analyse granulométrique de l’échantillon brut.....	47
Tableau IV.3 Résultats d’analyse granulochimique du minerai de fer de Gara Djebilet par FX.....	48
Tableau V.1. Principaux éléments pour une description technique d’un projet.....	56
TableauxV.2 tableaux représente les différentes distances entre les régions concernées pour le transport.....	74

Introduction Générale

L'économie mondiale a traversé ces deux dernières années une grave récession suscitée par le cataclysme financier et l'effondrement de l'activité commerciale et industrielle dans le monde. Ce ralentissement a pesé de ses effets sur la croissance des économies à travers le monde. Ce qu'il fallait de diversifier l'économie algérienne pour diminuer sa dépendance aux hydrocarbures revêt un caractère d'urgence depuis que le cours du pétrole a commencé à chuter de façon spectaculaire, en 2014.

A cause de cela l'Algérie a besoin d'une autre source pour faire avancer l'économie, parmi ces sources les mine.

L'exploitation minière représente l'activité économique la plus importante pour la plupart des pays du monde. L'installation d'une mine et l'extraction réelle de ses ressources peut contribuer au développement durable en optimisant le bien-être des riverains. Cette activité minière est gouvernée habituellement par la maîtrise de trois disciplines scientifiques à savoir ; la géologie, l'ingénierie minière et l'économie.

Le minerai de fer par exemple est un élément largement demandé ; industrie automobile, outils divers, construction, il représente, de ce fait, un moteur pour l'économie mondial, c'est la raison pour laquelle les grands pays industriels renforcent l'exploitation de cette substance minérale et cela par l'augmentation des travaux de prospection et d'extraction.

Dans ce cadre l'Algérie fait un grand investissement pour le projet de fer de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz. Le gisement de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz contient des réserves géologiques énormes estimées jusqu'à deux (2) Milliard de tonnes.

Ce dernier avait des problèmes d'enrichissement et de transport à cause de certain nombre de caractéristiques complexes la présence de phosphore et sa formation oolitique qui rendent inadéquates les méthodes traditionnelles de valorisation du minerai de fer, ainsi que la grande distance entre la mine et le port d'exportation.

Le minerai de fer de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz a connu plusieurs essais d'enrichissement plus ou moins détaillés, qui ont été réalisés par des divers bureaux d'études, avec des résultats différents.

L'objectif de notre projet est une étude générale de faisabilité, préfaisabilité et traiter les problèmes concernés pour réaliser un projet rentable.

Ce document est structuré en cinq chapitres, en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

Dans le premier chapitre nous donnons un aperçu général sur le minerai de fer, les types de minerai, l'utilisation de minerai de fer, le fer oolithique et ses caractéristiques, la production de minerai de fer au monde et le minerai de fer en Algérie.

Le deuxième chapitre décrit la Situation géographique, géologique et un aperçu stratigraphique du gisement de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz.

Le troisième chapitre présente l'état actuel de la mine de Gara Djebilet, Minéralogie du minerai, sa réserve et nouvelle stratégie de mise en valeur du gisement de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz.

Le quatrième chapitre porte la Géologie, minéralisation du gisement de Gara Djebilet et caractérisation physico- chimique du minerai de fer et son traitement.

Le dernier chapitre aborde la faisabilité de projet de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz, Les problèmes auxquels est confronté le projet de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz Parmi eux : besoins en produits sidérurgiques, ressources minières, ressources énergétiques, l'opération de déphosphoration et le problème de transport. Penchés sur travaux de valorisation effectuées et les modes posée pour régler le problème de transport.

Chapitre I : Situation sur
les travaux de recherche sur
le minerai de fer.

Chapitre I : Situation sur les travaux de recherche sur le minerai de fer.

I.1. Minerai de fer au monde

Bien que la consommation chinoise ait marqué le pas et que les prix se soient maintenus à un bas niveau pendant la plus grande partie de l'année, le secteur du minerai de fer a enregistré des gains de production et d'exportation à la faveur d'un sursaut tardif.

Après le ralentissement de la croissance, la baisse des prix et la compression de marges bénéficiaires survenues en 2015, la situation s'est sensiblement améliorée l'année passée dans le secteur du minerai de fer, selon le nouveau rapport de la CNUCED sur le sujet (**Iron Ore Market Report**).

Les indicateurs clefs de l'offre et de la demande, le trafic maritime et les prix ont tous progressé au cours de l'année écoulée, et les perspectives sont stables.

Comme l'a expliqué Mme Yanchun Zhang, chef de la Section de la mise en œuvre des politiques et de l'information, « le marché des métaux communs, tels que le minerai de fer, permet d'apprécier la santé de l'économie mondiale et, ces dernières années, il a évolué en étroite relation avec la situation économique dans les pays émergents et les pays en développement ».

« L'analyse très détaillée du marché mondial du minerai de fer, qui est faite dans le rapport, sera utile non seulement aux professionnels et acteurs dudit marché, mais aussi aux pays en développement qui doivent importer de grandes quantités de métaux pour leur propre production industrielle. ».

Bien que la consommation chinoise soit restée relativement faible et que les prix ne se soient pas redressés pendant la plus grande partie de 2016, la situation du marché a commencé à s'améliorer en fin d'année, les prix dépassant 80 dollars par tonne métrique sèche, en décembre 2016.

Selon le rapport de la CNUCED, la production mondiale de minerai de fer a progressé, en glissement annuel, de 5 % en 2016, atteignant un total de 2,106 milliards de tonnes. Cela s'expliquait essentiellement par l'apport d'un supplément de 30 millions de tonnes de minerai à enfournement direct par l'Australie, principale source des nouveaux produits fins entrant sur le marché chinois.

Évaluées à moins de 1,439 milliard de tonnes en 2015, les exportations de minerai de fer ont représenté plus de 1,513 milliard de tonnes en 2016, et le commerce maritime a été plus ou moins équilibré. L'Australie a joué un rôle de premier plan dans l'accroissement net du commerce mondial du minerai de fer, en contribuant à la hausse des exportations par voie maritime à hauteur de 44 millions de tonnes. Les produits mis sur le marché étaient surtout des fines mélangées du Pilbara et des fines de Carajas.

Selon le rapport, les producteurs de minerai de fer ont sensiblement réduit leurs coûts d'exploitation ces quatre dernières années et l'industrie extractive dans son ensemble dépense aujourd'hui 22 dollars de moins par tonne métrique sèche qu'en 2013, grâce au renforcement des mesures de contrôle des mouvements de capitaux, à la renégociation de contrats et à l'éviction de prestataires aux tarifs élevés. Le coût moyen pondéré de la production destinée au commerce maritime n'était que de 34 dollars par tonne métrique sèche en 2016, le coût de production le plus bas étant de 23 dollars par tonne métrique sèche.

En 2016, les budgets consacrés à la recherche de minerai de fer ont chuté pour la quatrième année consécutive. Les dépenses ont été estimées à 685 millions de dollars, c'est-à-dire 460 millions de dollars de moins qu'en 2015. Près de la moitié de cette baisse peut être imputée à l'Australie et à la Chine. Le budget annuel affecté aux travaux d'exploration est maintenant inférieur de 83 % au montant sans précédent de 3,98 milliards de dollars alloué en 2012. [10]

N	Pays luxuriant	Production par pays (mille tonnes métriques)
01	La Chine	1 310 000
02	L'Australie	521 000
03	Le Brésil	398 150
04	L'Inde	143 710
05	Fédération de Russie	105 000
06	L'Ukraine	81 966,4
07	L'Afrique du Sud	63 000
08	Les Etats-Unis	54 000
09	Canada	39 427
10	République islamique d'Iran	37 000
11	Venezuela	27 000
12	Kazakhstan	25 997,8
13	La Suède	23 000
14	Le Chili	17 330,1
15	Le Mexique	14 500
16	La Mauritanie	12 000
17	Le Pérou	10 132
18	La Malaisie	8 000
19	La Mongolie	7 561,4
20	La Turquie	6 300
21	République populaire Démocratie de Corée	5 300
22	Vietnam	4 170
23	Norvège	3 911
24	La Nouvelle Zélande	2 400
25	L'Autriche	2 200
26	La Bosnie-et-Herzégovine	1 900
27	L'Algérie	1 300
28	La Grèce	1 200
29	Thaïlande	970
30	République de Corée	500

Tableau I.1. Production mondiale de minerai de fer par Pays. [29] [8]

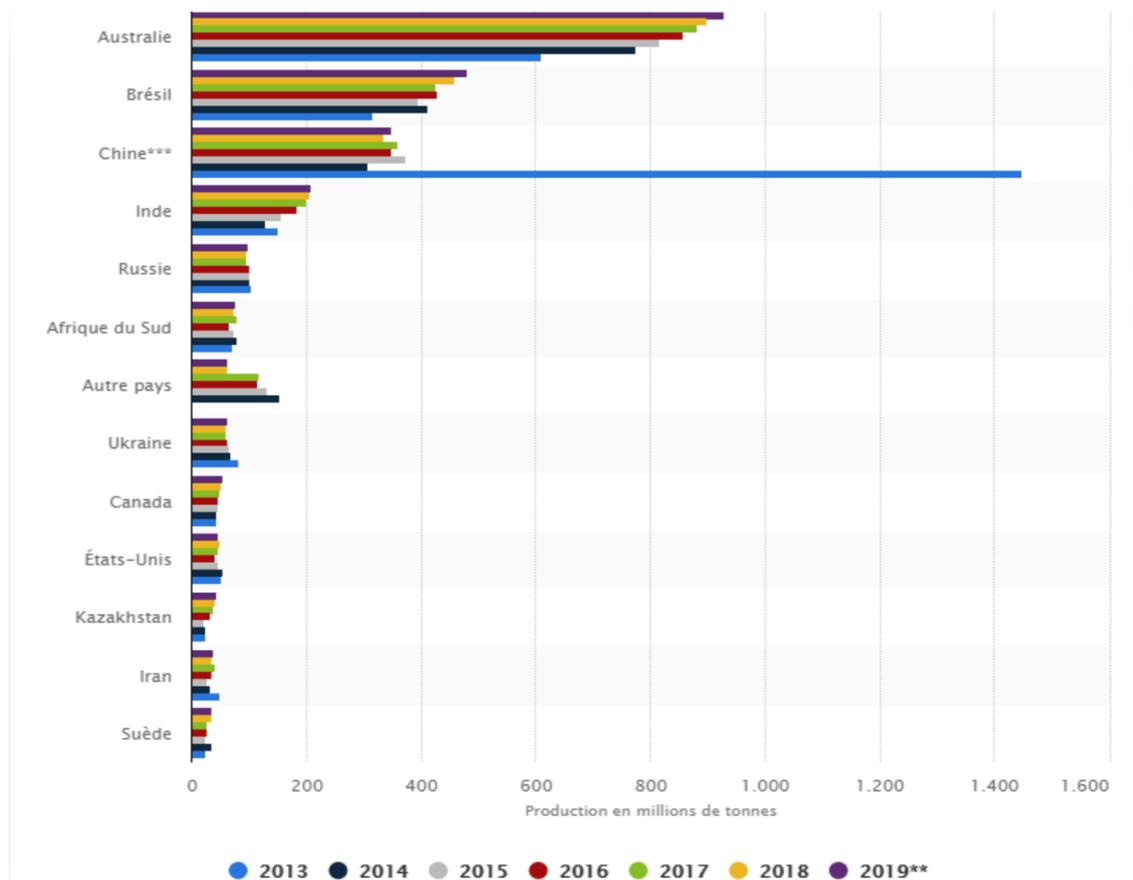


Figure I.1. Histogramme. Production de minerai de fer en millions de tonnes. [27]

I.2. Utilisations de minerai de fer

Le minerai de fer est principalement utilisé pour la fabrication d'acier (98 %). Les 2 % restants sont utilisés dans diverses applications, comme :

- **Poudre de fer** : pour certains types d'acier, des aimants, des pièces d'automobiles et des catalyseurs.

- **Fer radioactif (fer 59)** : pour la médecine et comme élément traceur dans la recherche biochimique et métallurgique.

- **Bleu de fer** : dans les peintures, l'encre d'imprimerie, les plastiques, les produits cosmétiques (p. ex. ombre à paupières), les couleurs de peintre, le bleu de lessive, la teinture de papier, l'engrais, les finis en émail cuit sur les véhicules et les électroménagers, et les finis industriels.

- **Oxyde de fer noir** : comme pigment dans les composés de polissage, en métallurgie, en médecine, dans les encres magnétiques et dans les ferrites pour l'industrie de l'électronique. [25]

I.3. Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019



Figure I.2. Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019 [25]

Ce graphique linéaire démontre les prix mensuels moyens par tonne de minerai de fer en dollars américains de 2010 à 2019. D’après les données de l’Index Mundi concernant les importations chinoises de fines de minerai de fer d’une teneur de 62 % (prix annuel moyen au comptant du fer en dollars américains par tonne métrique – CFR au port de Tianjin), le prix annuel moyen était de 145,90 \$ US en 2010. Le prix monte entre 2009 et 2011 pour atteindre 187,18 \$ US. Puis il baisse avant de connaître une lancée de courte durée au début de 2013, puis continue sa baisse jusqu’à la fin de 2015 alors qu’il atteint 40,88 \$ US. Le prix du minerai de fer a par la suite remonté en 2016 et 2017 pour atteindre 89,44 \$ US en février 2017 avant de descendre à 72,25 \$ US à la fin de l’année. Au début de l’année 2019, le prix est 76,16 \$ US et monte à 120,24 \$ US en juillet et descend graduellement à 84,98 \$ US en novembre. Le prix atteint 92,65 \$ US en décembre 2019. [25]

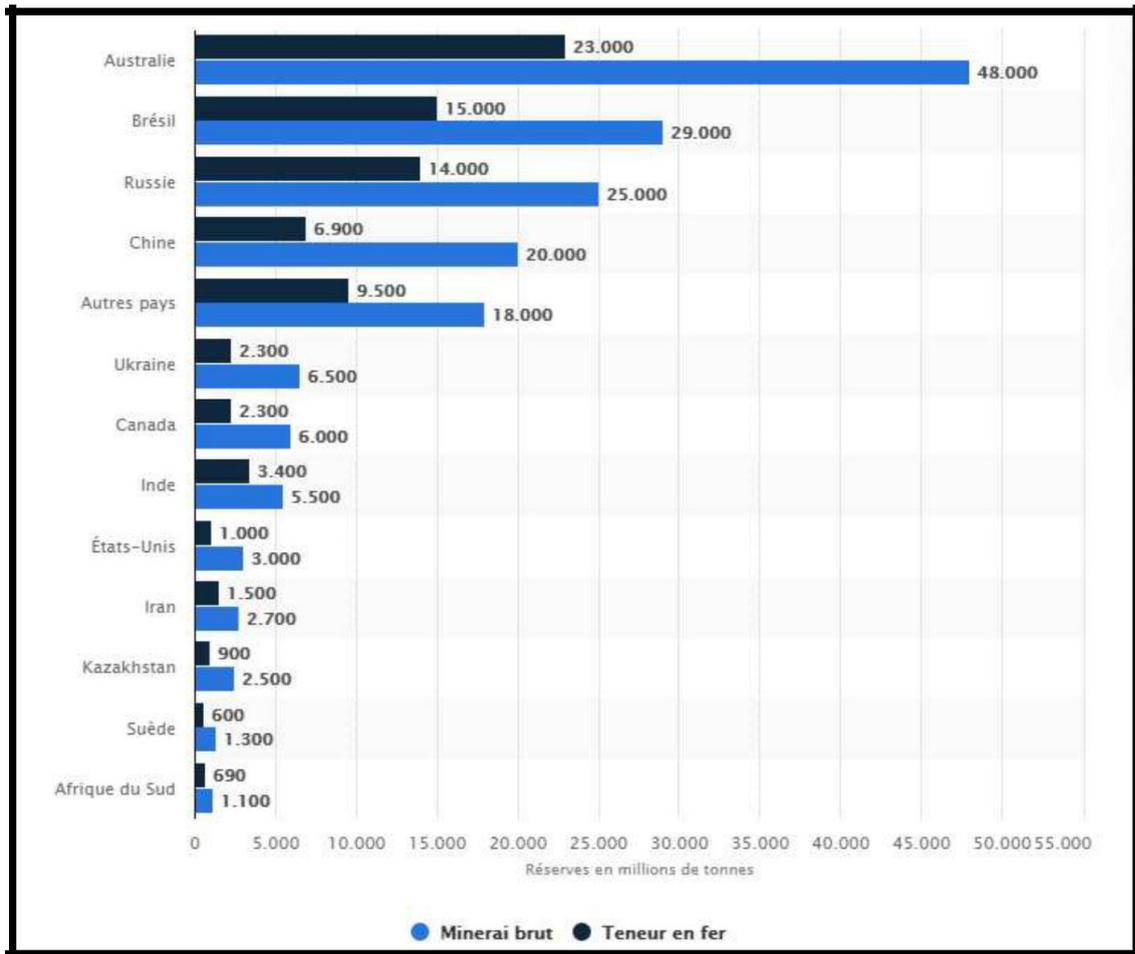


Figure I.3. Histogramme. Réserves de minerai de fer au monde en millions de tonnes (2019) [27]

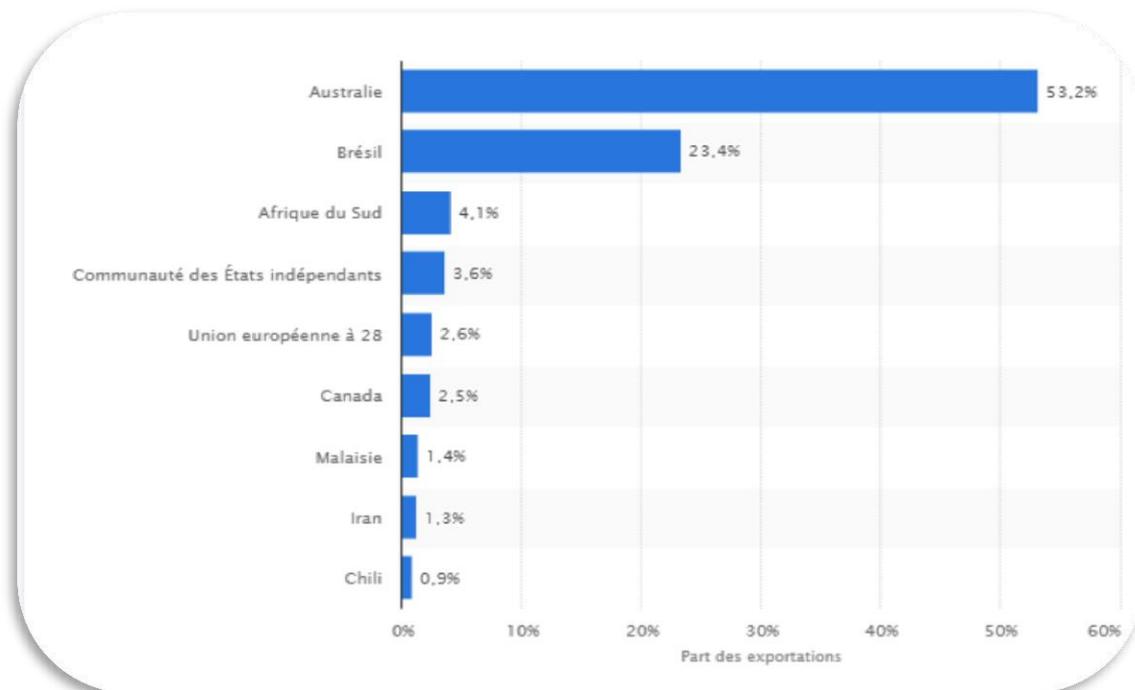


Figure I.4. Les grands pays exportateurs de fer dans le monde [27]

I.4. Généralités sur les minerais de fer

Le fer est l'élément de transition le plus abondant, constituant 4.7 % en masse de la croûte terrestre. On ne le trouve pas sous l'état métallique à la surface terrestre. Par contre, on trouve les minerais principaux : Fe_2O_3 et Fe_3O_4 . Dans l'industrie, l'extraction du fer consiste à séparer le fer de l'oxygène, et est réalisée selon un procédé utilisé dès la fin du XVIII^{ème} siècle. Il est effectué à température élevée par un traitement de réduction par le carbone (ou coke) dans un haut fourneau. Le fer est recueilli à l'état liquide, formant en refroidissant la fonte. La fonte contient 4 à 5 % de carbone et en moindre quantité d'autres éléments : Si, Mn, P et S. La fonte est cassante, difficile à souder et peu résistante. Pour être utilisée, elle doit donc être transformée en acier. [4]

I.4.1. Types de minerais de fer

L'ancienneté de l'industrie sidérurgique, la variété des produits proposés et le pragmatisme qui présidait à la mise en œuvre d'une technique fort complexe expliquent une terminologie des substances ferrifères naturelles tout à la fois riche et généralement peu précis. Il est certain que les types de minerais les plus fréquemment rencontrés sont bien définis, souvent même on connaît le sens de variation de certains de leurs paramètres. Les espèces minéralogiques constituant la masse essentielle des minerais de fer sont peu nombreuses et assez différenciées du point de vue physique pour être aisément reconnues. Une classification pratique s'est donc naturellement mise en place, fondée sur l'espèce ferrifère dominante. Elle donne globalement une indication sur plusieurs caractéristiques du minerai : dureté, porosité, teneur en fer, teneur en produits volatils [7] [4]

• Hématite

L'hématite figure I.5 est un oxyde de fer (Fe_2O_3) et se divise en deux familles. La première est l'hématite rouge ou fer oligiste qui est caractérisé par son eau de lavement de couleur sang, très tachant pour les vêtements. C'est le type de minerai le plus utilisé au niveau industriel et aussi le plus répandu dans le monde.



Figure I.5. Minerai d'hématite spéculaire

▪ **Limonite**

La limonite figure I.6 est à la fois oxyde et hydroxyde de fer, elle a une couleur rouille ou jaune. Elle est abondante dans les minerais oolithiques. Les deux principaux minéraux dont fait partie la limonite est la goethite et la lépidocrocite. Notons que ce minerai n'est plus utilisé aujourd'hui dans les industries sidérurgiques car il contient du phosphore.



Figure I.6. Minerai de limonite jaune

▪ **Goethite**

La goethite figure I.7 est un hydroxyde de fer (FeO OH) de couleur brune, jaunâtre ou noire. Elle fait parti de la famille de la limonite. On rencontre souvent la goethite associée à l'hématite, la goethite se transforme d'ailleurs en hématite si elle est chauffée. C'est pourquoi lorsque la quantité est suffisante ce minerai peut être exploité commercialement.



Figure I.7. Minerai de goethite

▪ **Ilménite**

L'ilménite figure I.8 est un oxyde de fer et de titane (FeTiO_3) très répandu dans la région d'Havre St-Pierre, localité située sur la Côte Nord Québécoise. Ce type de minerai est important pour l'extraction du titane. Sa poudre est de couleur noir et elle n'est pas magnétique contrairement à l'hématite et la magnétite. L'on retrouve deux types principaux d'ilménite, celle contenant du manganèse porte le nom de pyrophanite et celle contenant du magnésium geikelite.



Figure I.8. Minerai d'ilménite

▪ **Magnétite**

La magnétite figure I.9 est un oxyde de fer (Fe_3O_4). Ce type de minerai possède des propriétés magnétiques exceptionnelles et est abondant sur le pôle nord du globe terrestre. La magnétite est un très bon minerai de fer.



Figure I.9 Minerai de magnétite

▪ **Pyrite**

La pyrite figure I.10 est un sulfure de fer (FeS_2) communément appelé "or des fous" à cause de sa grande ressemblance avec l'or. On utilise la pyrite surtout pour en extraire la grande quantité de soufre qu'elle contient (53.5% de soufre et 46.5% de fer) et pour la production d'acide sulfurique. La pyrite demande d'être conservée dans un endroit sec, en présence d'humidité elle se désagrège en acide sulfurique et en oxyde de fer. Attention !!! Cette pierre produit de l'anhydride sulfurique si elle est chauffée, ne respirer jamais la vapeur se dégageant de cette combustion.



Figure I.10. Minerai de pyrite

▪ Sidérite

La sidérite figure I.11 est un carbonate de fer (Fe CO_3) de couleur gris pâle ou jaune pâle. Elle devient brune ou noire en présence d'humidité. Elle contient 62% de fer et 38% de gaz carbonique. La sidérite est rarement pure à l'état naturel, on la rencontre le plus souvent avec le titane ou le nickel. Lorsque le minerai est concentré et contient peu d'impureté, il peut être exploité commercialement. La sidérite devient magnétique lorsqu'elle est chauffée et s'altère en limonite ou goethite. [7]



Figure I.11. Minerai de sidérite

I.4.2 Origine du fer oolithique

Les minerais de fer oolithiques possèdent des grains à structure concentrique dont l'accumulation peut conduire à la formation d'un sédiment ou d'une roche purement oolithique, appelée anciennement oolithe par extension (oolite blanche du Jurassique du Bassin parisien). Surtout abondantes dans le Jurassique, en Europe, les oolites sont connues du début du Paléozoïque à nos jours. Ces grains, généralement petits et sphériques à ovoïdes (de 0,5 à 2 mm de diamètre en moyenne), doivent leur nom à leur ressemblance avec des pontes de poissons. La structure en couches concentriques, autour d'un noyau (nucléus) quelconque, souvent minuscule, implique une formation par accroissements successifs de l'enveloppe (cortex). [4]

I.4.3 Caractéristiques du fer oolithique

Petit grain sphérique calcaire ou ferrugineux, composé d'un corps central entouré de fines couches concentriques superposées et ressemblant à un œuf de poisson. Souvent les infiltrations amènent, autour de ces grains de sable, le dépôt d'enveloppes concentriques de carbonate de chaux, donnant naissance à des oolithes [17].

Le minerai, qui se trouve dans la partie supérieure du lias et à la base de l'oolithe inférieure, se compose essentiellement de petits grains ferrugineux ou oolithes, agrégés par un ciment ocreux plus ou moins abondant. Les oolithes qui constituent la partie la plus riche de la masse sont à peu près sphéroïdaux, et elles ont ordinairement la grosseur d'une tête d'épingle à peine perceptible à l'œil nu. Chaque oolithe est généralement formé de couches concentriques de peroxyde de fer hydraté (Ch. Durand, 1893).

La plupart des oolites anciennes et actuelles sont calcaires (cortex formé d'aragonite ou de calcite), et c'est pourquoi le terme d'oolite fut parfois pris, à tort, comme synonyme de couche de calcaire oolithique ; il existe des oolithes ferrugineuses, siliceuses, phosphatées, chloriteuses, dont le mode de formation et la répartition paléogéographique sont bien différents.

La structure à la fois concentrique et radiée des oolites calcaires anciennes ne se retrouve généralement pas dans les oolithes marins actuels. Sur les oolithes actuels, l'étude au microscope électronique de la disposition des cristaux d'aragonite dévoile des aiguilles disposées tangentiellement à la surface. Cela montre que la structure radiaire doit être le résultat d'une recristallisation. Cependant, dans le milieu de formation d'oolithes du golfe, on a pu montrer que les cristaux poussent avec une orientation radiaire lorsque l'oolithe séjourne dans les dépressions peu agitées, et qu'ils se tassent en un feutrage tangentiel lorsqu'elle est entraînée par les courants dans les parties plus agitées du rivage. La croissance de l'oolithe dépend donc de l'alternance de séjours en milieu abrité et en milieu agité (Jean Claude PLAZIAT 2017). [4]

I.4.4 Formation d'oolite

Un oolithe est composé d'un noyau (nucléus) autour duquel s'est initié le développement concentrique par précipitation chimique (ou biochimique) du CaCO_3 . Il peut s'agir du:

- Bio-claste (débris d'origine biologique) ;
- Litho-claste (petit fragment de débris de roche) ;
- Grain de carbonate micritique (se solubilisant dans le contexte du milieu au moment de la formation initiale de l'oolithe).

Autour du noyau se développent des « lamines » (cortex), en fines couches concentriquement superposées souvent calcaires et parfois ferrugineuses, (Perez, J.-B. 2013).

Les oolithes se forment plutôt en milieu marin peu profond mais agité. Elles restent en suspension permanente, tandis que les couches formant le cortex se mettent

en place lorsqu'elles deviennent trop lourdes, elles se déposent sur le fond marin et se sédimentent.

L'origine purement minérale des oolithes est sujette à débat dans la communauté des sédimentologies.

Les oolithes actuels présentent un micro-bio-film bactérien en surface, qui pourrait aider à la précipitation carbonatée. Il s'agirait alors de précipitation induite (par opposition à une précipitation contrôlée, comme dans le cas des tests d'animaux marins), sur le modèle des stromatolithes, mais sur une structure non fixée (Prévôt, C. 2013). [4]

I.5 Minerai de fer En Algérie

La production de minerai de fer se situe au premier plan de la production minière algérienne, tant au point de vue tonnage que valeur. En 1964, elle a atteint 2 746 145 tonnes contre 1 976 000 tonnes en 1963. Les résultats du premier semestre 1965 laissent espérer encore une sensible amélioration.

Cette augmentation a pour cause : la reprise très sensible qui s'est manifestée en 1964 dans la sidérurgie européenne ; l'ouverture de nouveaux marchés vers l'ex URSS., la Bulgarie, l'ex Tchécoslovaquie, la Pologne et les USA ; les efforts consentis par les exportateurs algériens sur les prix de cession de leurs minerais ; l'excellent climat social qui a régné en 1964 dans les mines.

Parallèlement, les tonnages exportés ont, en 1964, augmenté de 44,40 % (2 828 301 tonnes contre 1 958 898 en 1963).

Restent actuellement en activité six exploitations soit, d'est en ouest : Ouenza – Boukhadra, Khanguet et Mouad, Timezrit, Rivet-El-Maden, Zaccar, Béni-Saf. Les exploitations de Timezrit, Zaccar et Béni-Saf, abandonnées en 1963 par les concessionnaires, sont placées sous la gestion du BAREM. La seule société de l'Ouenza, en ses deux exploitations d'Ouenza et de Boukhadra, représente 80 % de la capacité de production et 90 % des réserves reconnues. [28]

Les principaux gisements de fer sont :

- Gara Djebilet : 1 540 Mln de tonnes, de 56 % de Fer.
- Mécheri Abdelaziz : 702 Mln tonnes, 52 % de Fer.
- Ouenza : 80.3 Mln tonnes, 59.5 % de Fer.
- Boukhadra : 41.7 Mln tonnes, 48 % de Fer.
- Beni Saf : 15.3 Mln tonnes, 53% de Fer.
- Ain Mokra : 5.7 Mln tonnes, 52% de Fer.

- Chaâbat El Ballout : 5.3 Mln tonnes, 53 % de Fer.
- Ain Babouche : 4.2 Mln tonnes, 40 % de Fer.
- Anini : 3.7 Mln tonnes, 55 %, de Fer.
- Rouina : 2.8 Mln tonnes, 40 %, de Fer.

I.5.1 Mine de Boukhadra

La mine de Boukhadra se trouve à une élévation de 850 m, le point éminent du Djebel est de 1463 m. Le village de Boukhadra fait partie de la Wilaya de Tébessa, le gisement du minerai de fer de Boukhadra constituent de quatre (04) corps minéralisés avec des grandes et des petites veines de moindre importance : le corps principal, le corps nord, le corps médian et le corps Sud. Il avait des réserves géologiques de 47 173 316 tonnes et exploitables de 44 641 430 tonnes [2].



Figure I.12. Situation géographique de la mine de Boukhadra [13]

I.5.2 Société de l'Ouenza.

La société de l'Ouenza à participation de l'Etat algérien exploite à ciel avec des moyens mécaniques puissants, les gisements d'Ouenza et Boukhadra, à proximité de la frontière tunisienne.

Le minerai marchand (dit « normal ») a une teneur en fer de 55 % et peu d'impuretés :

La mine produit également du minerai « brun » (40 à 47 % de fer) et pauvre (30 à 40 %) actuellement non valorisés mais dont le débouché sera assuré dans un proche avenir par la sidérurgie d'Annaba.

D'importants investissements en cours et prévus portent sur le renouvellement du matériel d'exploitation. Les aménagements miniers du quartier de Chagoura sont poursuivis ; il doit assurer dans quatre ou cinq ans le relais des quartiers centraux. [28]

I.5.3 Société des mines de fer du Khanguet.

La société des mines de fer du Khanguet exploite à ciel ouvert, au sud d'Ouenza, un petit gisement d'hématite de qualité médiocre (47 % de fer). Les exportations sont dirigées exclusivement vers l'Italie.

I.5.4 Minières et carrières de Rivet-El-Maden.

Les travaux dans ce gîte particulièrement difficile consistent presque uniquement en reconnaissances. Le minerai auto fondant mais à teneur médiocre (47 % de fer) est transporté par câble aérien puis par camion jusqu'au port d'Alger. Les exportations, soit 6 975 tonnes, ont été dirigées vers la France, tandis que 1 073 tonnes de fines ont été livrées aux cimenteries en Algérie.

I.5.5 Mine nationale de Timezrit.

Le gîte de Timezrit, formé d'une suite d'amas irréguliers d'hématite riche (56 % de fer), est exploité uniquement par travaux souterrains. L'exploitation, abandonnée par le concessionnaire en octobre 1963 a repris sous la tutelle du B.A.R.E.M.

Les exportations 1964 par le port de Bougie, distant de 32 kilomètres, ont été dirigées vers la Tchécoslovaquie. Un contrat de vente de toute la production pendant une période de trois ans à compter du 1er janvier 1965 a été conclue avec une firme italienne.

La production annuelle est de l'ordre de 100 000 tonnes et atteindra d'ici la fin de l'année 240 000 tonnes avec l'ouverture de la mine voisine de Beni-Himmel.

I.5.6 Mine nationale de Zaccar.

Le gisement de Zaccar est situé à 3 kilomètres de Miliana. Les travaux souterrains exploitent un filon d'hématite à faible teneur de fer (50 %) dont les réserves récupérables sont très limitées. Les travaux arrêtés en juin 1963 par la société des mines du Zaccar ont repris dès juillet 1963. Ils sont actuellement dirigés par le B.A.R.E.M.

En 1964, les exportations ont été exclusivement dirigées vers l'Union soviétique. En 1965, le minerai est exporté vers l'Angleterre avec qui un nouveau marché vient d'être conclu.

Des sondages sont en cours pour augmenter les réserves qui permettent actuellement dix ans d'exploitation.

I.5.7 Mine nationale de Béni-Saf.

L'exploitation de Béni-Saf se trouve sur la côte, à 120 kilomètres à l'ouest d'Oran. La compagnie de Mokta a cessé toute activité en janvier 1963 et renoncé à ses concessions. L'exploitation reprise en février 1963 par le service des mines se poursuit normalement sous la tutelle du B.A.R.E.M.

Des études et des travaux de reconnaissance effectués depuis 1963 ont permis d'augmenter de 1 000 000 de tonnes environ les réserves exploitables. On poursuit par ailleurs la préparation du quartier de Camarata appelé à remplacer le gîte de Bou-Hamedi.

I.5.8 Pyrite de fer. Mine d'El-Halia

La société des mines de fer de Miliana, qui exploitait ce gisement de pyrite à 15 kilomètres de Skikda, a connu en 1963 de sérieuses difficultés de trésorerie. Les travaux ont pu se poursuivre grâce à une aide financière de l'Etat sous le contrôle du B.A.R.E.M.

I.5.9 La mine de fer de Anini.

La mine à ciel ouvert d'Anini exploite le gisement de fer et assure une production en minerai de fer de haute qualité destiné aux cimenteries.

Le gisement de fer d'Anini est à 03 km au sud du village d'Ain Roua, à 10 km à l'Est de Bougaa et à 35 km au Nord Oust de SETIF.

La mine se trouve sur le plateau du massif montagneux d'Anini à une altitude qui varie de 1400 à 1460 m.

I.5.10 Mine de Gara-Djebilet et Mécheri-Abdelaziz.

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 estimées jusqu'à 2 milliards de tonnes de teneur égale à 57% en fer et de minéralisation ferrifère oolithique sous forme de corps lenticulaires encaissés dans les grès du Dévonien inférieur (Praguien).

Mécheri-Abdelaziz et de réserves géologiques sont de 1 350 millions de tonnes avec une teneur de 52% en fer, une minéralisation ferrifère oolithique localisée sous forme de lentilles dans les grès du Dévonien supérieur (Fammenien). [4]

S'étend sur une superficie de 131 km² et offre une réserve estimée à 2 milliards de tonnes.



Figure I.13. Vue générale du gisement de fer, Gara Djebilet, [1]

I.6 Production du minerai de fer en Algérie

En Algérie, la production du minerai de fer en cours de l'année 2009 a été effectuée par cinq (5) mines de fer desquelles quatre (4) sont situées à l'Est et une (1) au Centre du pays.

Durant l'année 2009, la holding privée ArcelorMittal, qui exploite les deux principales mines de fer de l'Ouenza et de Boukhadra dans la ville de Tébessa a produit 1 037 000 tonnes du minerai de fer en diminution de -39,6 % en comparaison avec l'année 2008, plus de détails sont donnés dans le tableau 2. [26]

N°	Opérateur	Gisements	Commune	Wilaya	Production 2008 (milliers de tonnes)	Production 2009 (milliers de tonnes)	Evolution (%)
1	Arcelor Mittal	Ouenza	Ouenza	Tébessa	1 192	711	-40,4↓
2		Boukhadr a	Boukhadr a	Tébessa	525	326	-37,9↓
	Somme				1 717	1 037	-39,6↓
3	SPA SOMIFER	Khanguet	Bekkaria	Tébessa	50	60	+20↑
4		Djebel Anini	Djebel Anini	Sétif	170	90	-47,1↓
5		Rouina	Rouina	Ain Defla	140	120	-14,3↓
	Somme				360	270	-25↓
	Total				2077	1307	-37,1↓

Tableau I.2. Production du minerai de fer : durée 2008 - 2009. [26]

Chapitre II :
Situation géographique et
géologique du gisement

Chapitre II : Situation géographique et géologique du gisement

II.1 Situation géographique

II.1.1 Situation générale du bassin de Tindouf :

Situé au Nord de la dorsale Reguibat, le bassin de Tindouf fait partie de la province Sud-Ouest algérien. Il s'étend sur une surface de 130 000 km² avec comme limite (Figure II.1) :

- l'Anti Atlas marocain au Nord ;
- la dorsale Reguibat au Sud ;
- la frontière algéro-marocaine à l'Ouest ;
- les Monts d'Ougarta et Erg Chèche à l'Est.

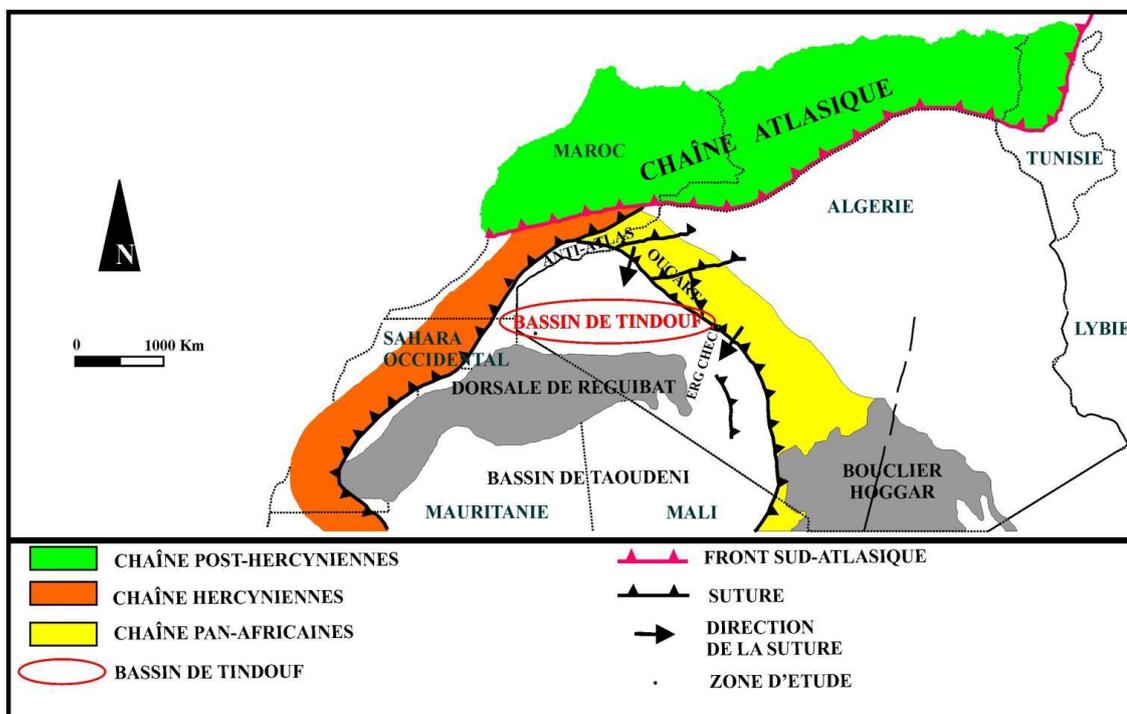


Figure II.1. Situation géographique générale du bassin de Tindouf

(D'après BERSI, 2016 ; modifié). [6]

II.1.2 Situation de Gara Djebilet

Le secteur étudié, désigné sous le nom de Gara Djebilet Ouest, se situe à 180 Km au Sud-Est de la ville de Tindouf et à 380 Km de vol d'oiseau de l'océan atlantique et à 1600km de la côté méditerranéenne. Il s'étend depuis la frontière algéro-marocaine à l'Ouest jusqu'à l'Erg Iguidi à l'Est (Figure II.2).

Le gisement de fer de Gara Djebilet est situé dans les formations du Dévonien inférieur du flanc S du synclinal de Tindouf, à une distance d'environ 135 km au SW de cette agglomération. Les séries primaires qui constituent cette région présentent un pendage très faible vers le N (1° environ), et reposent en discordance sur le socle antécambrien, qui affleure plus au S sous la forme du massif granitique du Yetty. Ce sont des séries sédimentaires de puissance généralement variable, mais n'ayant subi à peu près aucune manifestation tectonique. Le trait le plus saillant de la topographie locale est l'existence d'une grande falaise, regardant vers le S, dont la partie supérieure est constituée par le minerai lui-même, et qui s'abaisse progressivement vers l'E, pour disparaître à l'extrémité NE de la Gara Centrale.

Une piste de 200 km relie Tindouf au chantier de la Gara Djebilet au voisinage duquel une piste d'envol a été également aménagée. Les difficultés d'accès de cette région jointes à la nécessité de créer de toutes pièces le réseau d'évacuation, obligent à une étude très serrée de la rentabilité du gisement. Cette étude a été entreprise par la SOGEI qui envisage comme débouché soit le port d'Agadir, soit un autre port que l'on ouvrirait plus au Sud.

Le point d'eau le plus important de la région est celui d'Aouinet Legraa, qui assure un débit d'environ $5\text{m}^3/\text{jour}$ d'une eau excellente, mais se trouve à une quarantaine de kilomètres de la Gara Centrale. A l'extrémité NE de la Gara Ouest se trouve un autre point d'eau, Hassi Djebilet, mais son débit est malheureusement très faible (500 l/jour). Dans le cadre d'un projet d'exploitation de ce gisement le problème de l'eau demanderait à être étudié de très près. (MATHERON.G)

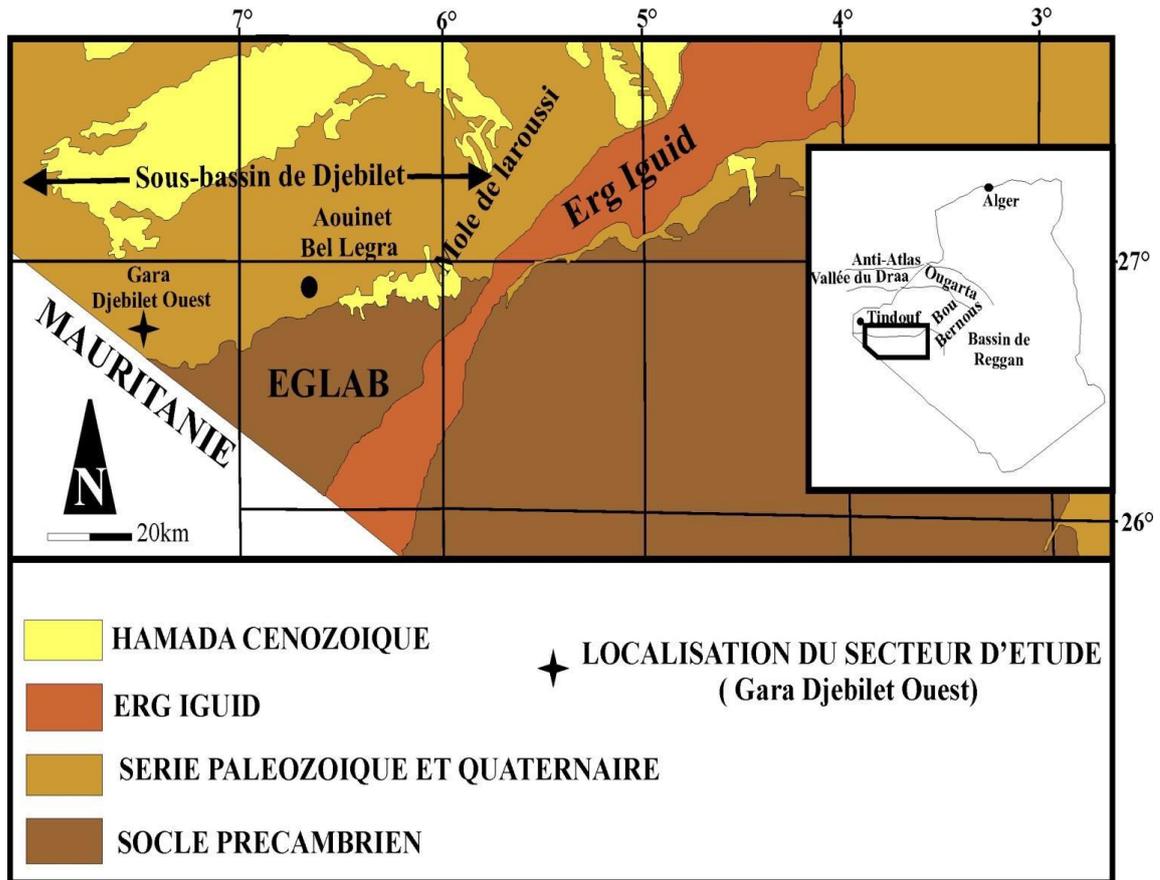


Figure II.2. Situation géographique du secteur de Gara Djebilet Ouest
(D'après BITAM et al. 1996 ; modifié). [5]

II.2 Situation géologique

II.2.2 Aperçu géologique du flanc Sud du bassin de Tindouf

II.2.2.1 Au plan structural

Le bassin de Tindouf correspond à une vaste dépression dissymétrique allongée OSO-ENE (800 km de long sur 200 à 400 km de large), avec un flanc Sud peu incliné et un flanc Nord très redressé. L'évolution géodynamique du bassin de Tindouf a été déterminée par sa position entre la dorsale Réguibat relativement stable et la région de subsidence active située à la place de l'Anti-Atlas.

Quatre phases tectoniques auraient affecté le bassin de Tindouf, à savoir :

- **L'orogénèse panafricaine** : qui est le résultat de la collision entre le craton Ouest Africain à l'Ouest et une zone mobile à l'Est. Cette orogénèse aurait provoqué la création et la réactivation dans le socle des failles de direction N-S.
- **La compression tectonique (Caradocien)** : au Caradocien, des mouvements compressifs le long des accidents sub-méridiens se produisent au Sahara.

Dans le bassin de Tindouf, cette phase est soulignée par la discordance intracaradocienne et par l'apparition de bombements N-S.

- **La compression calédonienne** : elle provoque la surrection des môles d'Aouinet, de Laroussi et de Bou Bernous, séparés par les sous bassins de Djebilet et de l'Iguidi.
- **Les mouvements hercyniens majeurs** : de la fin du Paléozoïque, ont provoqué dans la plate-forme saharienne des déformations épirogéniques qui sont responsables de la structuration des bassins comme celui de Tindouf (Fig.03). [30]

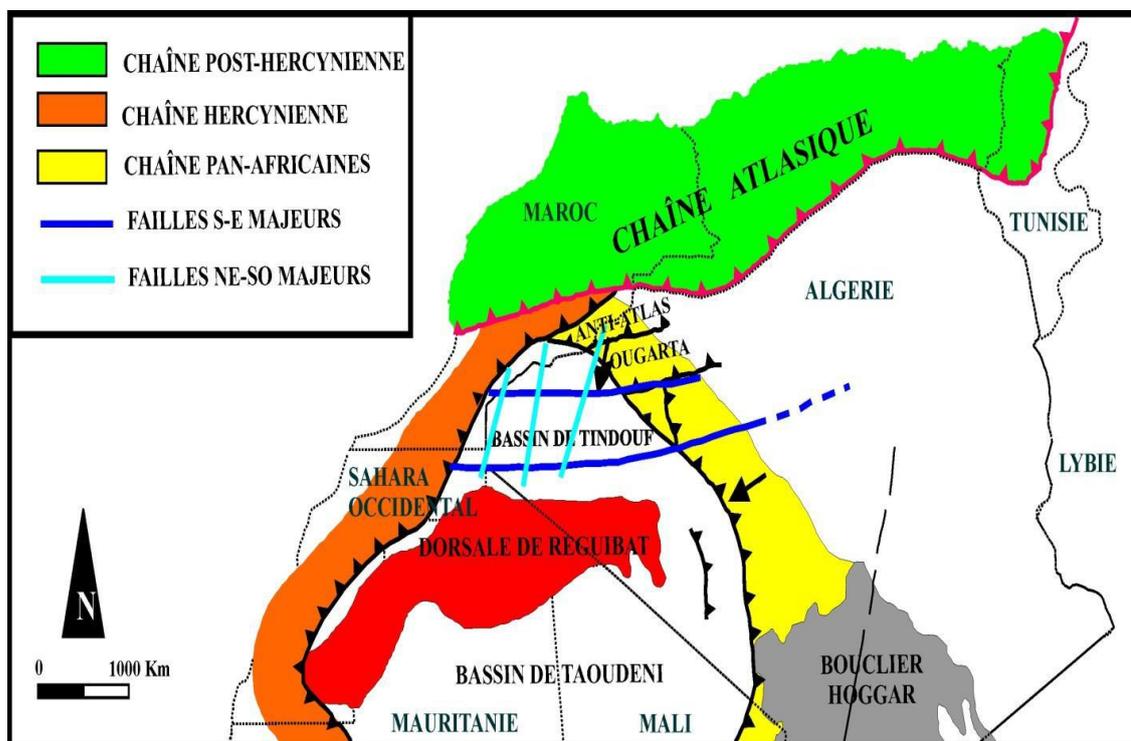


Figure II.3. Aperçu géologique de bassin de Tindouf
(D'après BERSI, 2016). [6]

II.2.2.2 Au plan stratigraphique

D'après les travaux géologiques majeurs (FABRE, 1976 ; HOLLARD ; 1973 et CHABOU, 2001), la série stratigraphique du bassin de Tindouf montre des dépôts paléozoïque (Cambro-Carbonifère) reposant en discordance majeure sur le socle éburnéen des Eglab (BUFFIERE et *al.* 1965). Cette série présente de bas en haut la succession litho stratigraphique suivante (Tableau II.1) :

a. Le protérozoïque (socle)

Il est formé essentiellement de granites rougeâtres et des pitons volcaniques, à couleur sombre du magmatisme Aftout.

b. Le Paléozoïque

Les formations paléozoïques reposent en discordance sur le socle ; c'est la discordance panafricaine. De la base au sommet on distingue :

b.1. Le Cambrien

Il est subdivisé en deux unités :

- **Cambrien inférieur** : il est constitué de grès d'El Aroueta inférieur.
- **Cambrien moyen** : son épaisseur atteint 450 m. Ce sont généralement les grès d'El Aroueta supérieur.

b.2. L'Ordovicien

On distingue de la base au sommet deux formations lithologiques :

- **Ordovicien inférieur**, il s'agit des « argiles d'El Aroueta », il se distingue par un faciès argileux silteux, micacés et des grès riches en fossiles.
- **Ordovicien supérieur**, il est représenté par les « grès de Rhezziane ».

b.3. Le Silurien

Dans la bordure sud du bassin de Tindouf, le Silurien correspond à la formation de la Sebkhâ Mabbès. Cette dernière est surtout schisto-argileuse, dont l'épaisseur est variée de 5 à 120 m. Elle s'étend du Landoverien moyen au Pridolien.

b.4. Le Dévonien

Au flanc Sud du bassin de Tindouf, le Dévonien est subdivisé comme suite :

- **Le Dévonien inférieur** : il représenté par la formation de « Gara Djebilet ». Il s'agit des grès à intercalations argileuses. Cette formation est divisée en deux membres :

▪ **Membre inférieur "les grès de Djebilet"** : il est représenté en grande partie par des grès à intercalations argileuses et des argilites. Ce membre, qui est couronné par le minerai de fer ou par des quartzites noirs. Ce membre a fourni une faune d'âge Lochkovien.

▪ **Membre supérieur "les grès supra-minéraux"** : il est constitué essentiellement de grès et se termine avec l'apparition d'argilites à bancs calcaires.

- **Le Dévonien moyen** : le Dévonien moyen correspondant à la formation « de l'Oued Talha ». Cette dernière est subdivisée en deux membres bien distincts :

▪ **Membre inférieur "les argilites de l'Oued Talha"** : il s'agit d'un ensemble homogène d'argilites grises, feuilletées, avec des intercalations de bancs de calcaires gréseux riches en Brachiopodes. Ce membre serait d'âge Emsien supérieur à Eifélien.

▪ **Membre supérieur "les calcaires bioclastiques de la Kerba Tsabia"** : il comporte des calcaires durs et compacts, formant de grand bancs intercalés d'argilites, qui sont très riches en Brachiopodes et Polypiers. L'âge de ce membre est Eifélien à Givétien supérieur.

• **Le Dévonien supérieur** : il correspond à la formation « de Kereb En Naga » (300 à 220 m d'épaisseur). Cette formation est constituée par deux principaux membres argileux, avec de bas en haut :

▪ **Membre inférieur "les siltites de l'Oued Rhazzal"** : il est formé de bancs décimétriques à métriques de grès très fins, alternant avec des argilites grises indurées.

▪ **Membre supérieur "les argilites de l'Oued Slouguia"** : il est constitué par une puissante formation d'argilites grises papyracées, couronnées par des lits de gypses translucides.

b.5. Le Carbonifère

D'après CHABOU (2001), le Carbonifère est représenté par la succession de quatre formations et qui sont de bas en haut :

• **La formation « de Krebes Slouguia »** : elle est formée de grès et de calcaires à la base auxquels font suite des argiles et des grès. L'épaisseur moyenne de cette formation atteint 584m.

• **La formation « de Krebes Sefiat »** : elle est composée de grès à la base, passant vers le sommet à une alternance d'argiles et de passées de calcaire gréseux. L'épaisseur moyenne de cette série atteint 310m.

• **La formation « d'Aïn el Barka »** : son épaisseur moyenne est de 600m. Elle comprend des marnes gréseuses, des grès tendres et des bancs de calcaire.

• **La formation « de Hassi Aoulouel »** : elle est représentée par des sédiments argilo-gréseux indifférenciés du Namurien et du Westphalien. Son épaisseur atteint 345 m.

c. Le Tertiaire et le Quaternaire

Dans le bassin de Tindouf, les terrains post-paléozoïques sont représentés par la Hamada de Tindouf, qui ne dépasse jamais 100m d'épaisseur. Cette formation est

constituée essentiellement d'un complexe grés-argileux, d'âge probablement Paléocène, supportant une dalle calcaire d'origine lacustre Néogène (FABRE, 1976 et 2005).

Le Quaternaire comprend les regs, les alluvions, les éboulis, les sebkhas et surtout les ergs (dunes de sable), qui occupent une partie importante de la région (Erg Iguidi), [30]

Echelle stratigraphique		Bassin de Tindouf		Echelle Stratigraphie		Bassin de Tindouf	
		Sud				Sud	
DEVONIEN	Inférieur	Emisien	Grès supra-minéraux	PERMIEN(Autunien)			
		Praguien		Stéphanien			
		Lochkovien		Westphalien (Moscovien)		Inf.	Sup.
SILURIEN	Supérieur	Pridolien	Argiles de la Sebkha Mabbes	Supérieur	Namurien	Sup.	Argiles et grès d'hassi Aoualeoul
		Ludlowien			Sup.		
	Inférieur	Wenlockien		Inf.	Evaporites d'in Barka		
		Llandovérien					
ORDOVICIEN	Supérieur	Ashgillien	Grès de Rhezziane	Inf.	Viséen	Sup.	Argiles, grès et calcaire du Kerbes Sefiat
		Caradocien				Inf.	
	Inférieur	llandeinlien	Argiles d'Aroueta	Inf.	Tournaisien	Sup.	Argiles et grès du Kerb Es Slouguia
		Llanvirnien					
		Arénigien					
		Trémadocien					
CAMBRIEN	Supérieur		Grès d'Aroueta supérieurs	Supérieur	Strunien	Grès de Kerb En Naga	
	Moyen				Famennien	Argiles de l'Oued Slouguia	
	Inférieur				Fransnien	Siltites de l'Oued Rhazzal	
NEOPROTEROZOÏQUE				Moyen	Givétien	Calcaire de la Kerba Tsabia	
					Eifélien (Couvinién)	Argiles de l'Oued Talha	
PALEOPROTEZOÏQUE		SOCLE DE REGUIBAT (EBURNEEN)					

Tableau II.1. Colonne litho stratigraphique type du bassin de Tindouf (D'après CHABOU, 2001). [9]

II.2.3 Présentation géologique du Gara Djebilet Mécheri Abdelaziz

II.2.3.1 Plan structural

Le flanc Sud du bassin de Tindouf est moins structuré, il présente des pentages très faibles (3%). Les formations paléozoïques reposent en discordance sur le socle précambrien de la dorsale Réguibat (KETTOUCHE, 2009) (Figure II.4). La déformation est moins accentuée, elle est plutôt cassante contrairement au nord, où la tectonique est ductile. Au Sud, les failles montrent des longueurs très importantes, avec une direction majeure ENE-OSO. Ils sont très abondants et forment un réseau dense. Les failles les plus longues sont les plus abondantes et sont orientées ENE-OSO. Quelques failles de longueurs moyennes sont orientées N-S, NO-SE et E-W. [30]

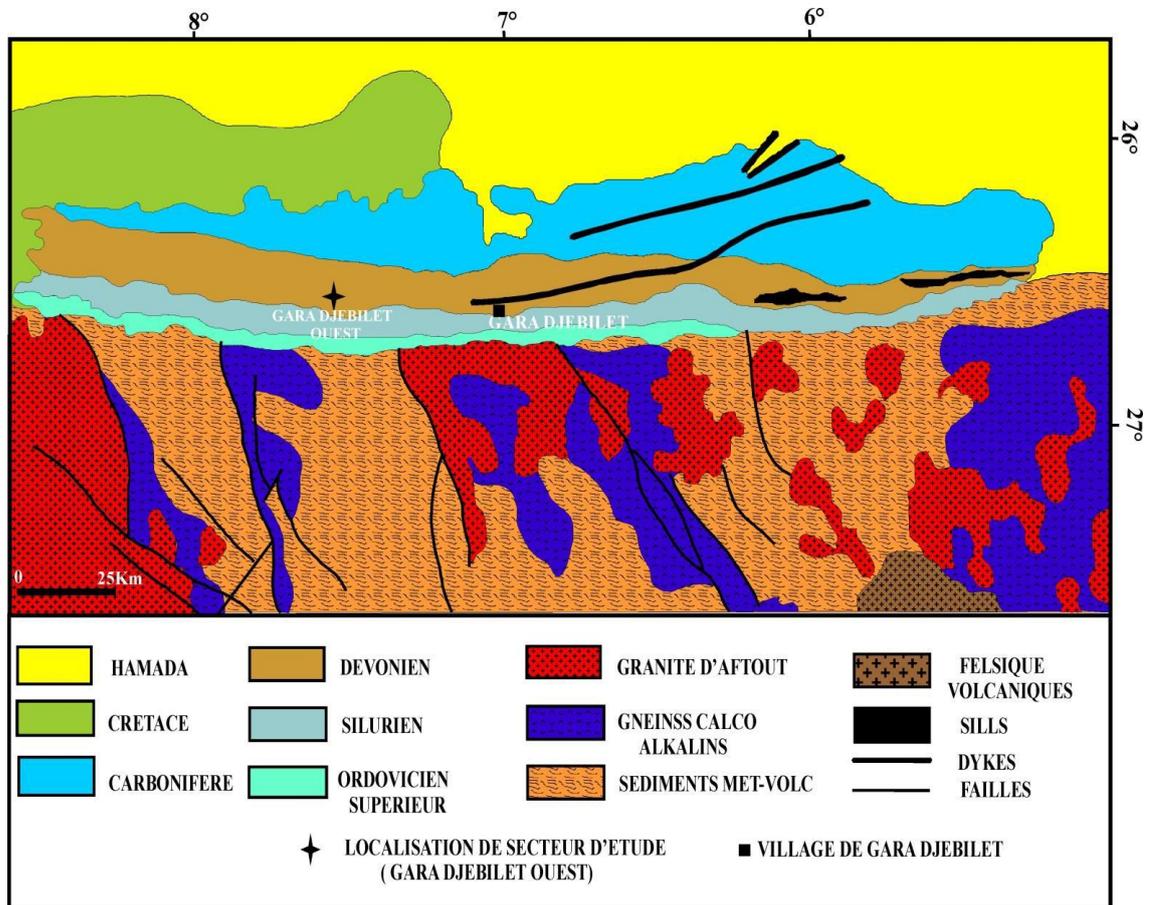


Figure II.4. Carte structurale de secteur d'étude

(D'après BERSI, 2016 ; modifié). [6]

II. 2.3.2 Au plan stratigraphique

La région de Gara Djebilet est située sur bordure sud-occidentale du bassin de Tindouf (ou synclinal de Tindouf). Elle est constituée de terrains autochtones du Paléozoïque. Ces derniers terrains se reposent en discordance sur le socle. La série stratigraphique de la région de Gara Djebilet se résume ainsi (Figure II.5).

a. Le socle

Le socle de la dorsale ou bouclier Reguibat affleure dans la partie Sud-Ouest du bassin de Tindouf. Il est formé par deux secteurs bien distincts le Yetti à l'Ouest et l'Eglab à l'Est. Il se caractérise par une topographie plate sur laquelle se disposent d'une manière sporadique des reliefs en inselberg (AUVRAY et TRANNOY, 1992). Ce socle est constitué par des terrains métamorphiques, volcano-sédimentaires et magmatiques d'âge Eburnéen (PEUCAT et *al.*, 2005). Notons que les granites Aftout occupent une grande superficie de cette partie algérienne du bouclier Reguibat.

b. Le paléozoïque

Il comprend de bas en haut :

b.1. L'Ordovicien

Avec une épaisseur moyenne de 100m, l'Ordovicien supérieur est caractérisé par des grès grossiers à stratifications entrecroisés, riches en Tigillites (BITAM et *al.*, 1996 ; GUERRAK, 1988). Cet intervalle affleure depuis le Gara Djebilet Ouest jusqu'à Aouinet Lagraa.

b.2. Le Silurien

Il affleure au Sud de Gara Djebilet, il est essentiellement argilo-schisteux. Son épaisseur est de l'ordre de 200m.

b.3. Le Dévonien

Renfermant les grands gisements du fer oolitique de l'Algérie (Gara Djebilet et Mecheri Abdelaziz). Son épaisseur est considérable et affleure d'une manière continue d'Est en Ouest. Il s'agit de bas en haut :

- **Un Dévonien Inferieur** : il comprend des argiles silteuses avec des passées gréseuses ferrifères. Il est caractérisé par des variations d'épaisseur assez sensibles, où l'on on passe de 150m à Gara Djebilet Ouest à 60m à Gara Djebilet Est (GUERRAK, 1988).

• **Le Dévonien moyen** : il est représenté essentiellement par des argiles et des carbonates. Son épaisseur est faible, avec une diminution très remarquable en allant vers l'Est. Trois niveaux ont été signalés par GEVIN, 1960 :

1) **de l'Emsien** : il est formé de grés, de silt et de conglomérats carbonatés. Il constitue le toit du gisement de fer de Gara Djebilet.

2) **de l'Eifelien** : il correspond à des argiles intercalées par des calcaire de faible épaisseur.

3) **du Givetien** : c'est des argiles et des carbonates riches en Goniatites.

• **Le Dévonien supérieur** : c'est le niveau lithologique le plus épais des formations dévoniennes. Il est subdivisé en deux unités lithologiques :

1) **le Frasnien** : il est formé par des argiles, des calcaires et des silts, avec une épaisseur importante.

2) **Le Famennien** : il est essentiellement argilo-calcaire. Ce niveau est remarquable par les intrusions des sills doléritiques. (YAICHI A & ZAOUI A)

b.4 Le Carbonifère

Nous relevons la succession lithologique suivante :

• **Le Tournaisien** : Il est caractérisé par un faciès grésocalcaire à l'Ouest et un faciès argilo-gréseux à l'Est. Son épaisseur varie de 50m à l'Ouest à 150m à l'Est.

• **Le Viséen inférieur** : il est essentiellement formé des calcaires avec des intercalations d'argile. Son épaisseur est de l'ordre de 300m ;

• **Le Viséen supérieur** : plus épais que le Viséen inférieur (épaisseur moyenne = 600m), les dépôts de cet intervalle chronologique sont constitués des argiles et des calcaires ;

• **Le Westphalo-Namurien** : c'est des sédiments argilo-gréseux, qui constituent les derniers dépôts du Paléozoïque.

c. Le Tertiaire

Il est constitué de matériaux hétérogènes partiellement consolidés issus de l'altération des formations paléozoïques (Figure II.5). [30]

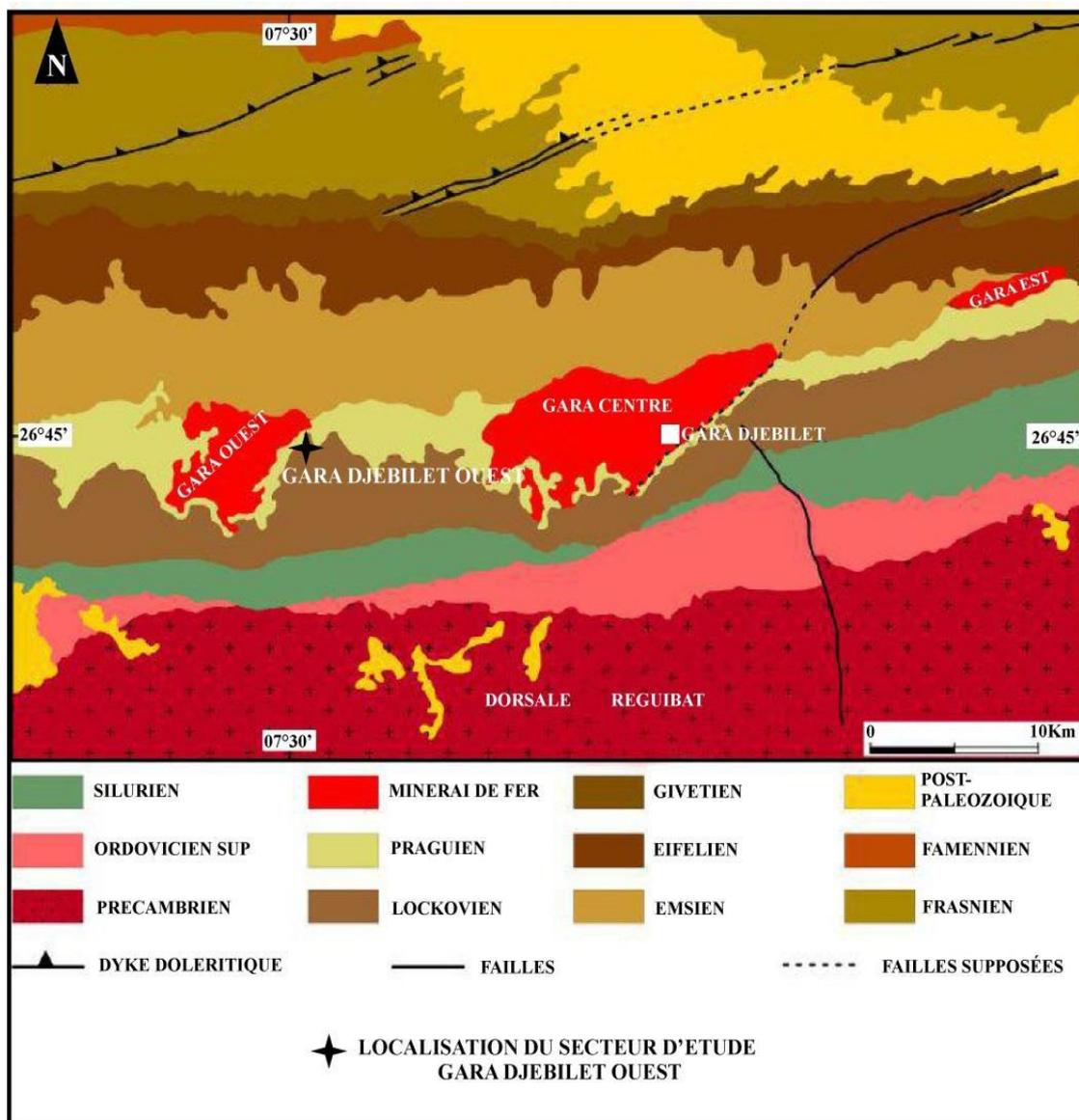


Figure II.5. Carte géologique du secteur d'étude
(D'après BERSI et al, 2016 ; modifié). [6]

Chapitre III : Présentation état actuel, perspectives et développement du Secteur

Chapitre III : Présentation état actuel, perspectives et développement du Secteur

III.1 Réserves

Les ressources minières de Gara Djebilet se répartissent sur deux lentilles, Gara Ouest et Gara Centre. Le calcul de réserves a été réalisé sur la base des critères suivants :

- Prise en compte de la couche du minerai magnétique uniquement (minerai du toit et du mur non pris en compte), puissance minimale de 4m.
- Taux de découverte inférieur à 4
- Teneur en Fer supérieure à 57 %
- Densité (SG) de 3,3. [19]

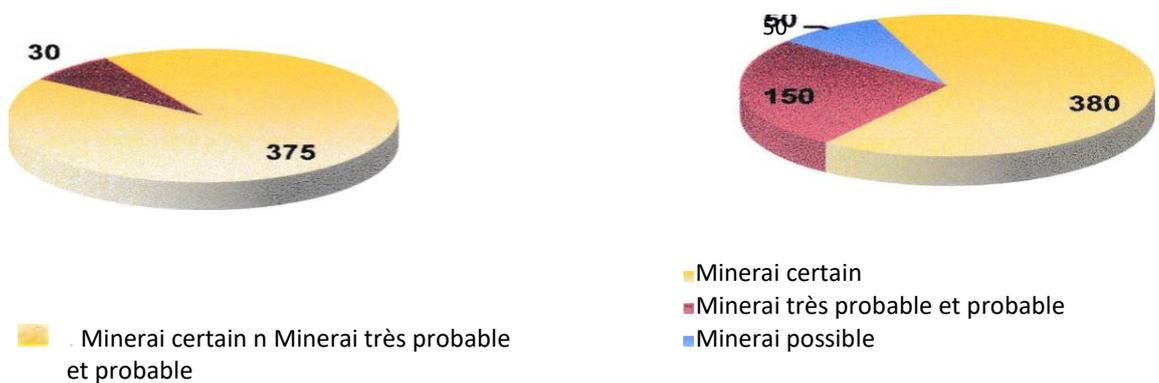


Figure III.1. Les réserves de Gara Ouest

Les réserves de Gara Centre

Localisation	Réserves certaines	Réserves probables	Réserves possibles	Total Millions Tonnes
Gara Ouest	375	30	/	405
Gara Centre	380	150	50	580
Gara Total			/	985

Tableaux III.1. Les réserve de gara Djebilet (note sur le gisement- DGM) [19]

III.2 Minéralogie du minerai

Le minerai de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz est composé de nombreux minéraux ferrifères dont la magnétite, la maghémite (magnétite altérée), l'hématite, la goethite, la chamosite, la sidérite, la martite et la pyrite.

Le phosphore, élément nuisible, se localise principalement dans l'apatite authigène, mais aussi dans la crandallite et la florencite. Localement, les phosphates du groupe crandallite sont en partie responsables des teneurs en arsenic.

Le minerai de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz en place est un minerai pauvre en Fer, contenant des éléments nuisibles, pénalisants en particulier le phosphore et l'arsenic, lui conférant, ainsi, un caractère de minerai non marchand.

Il en ressort que :- la teneur en fer est relativement faible, mais reste potentiellement valorisable - les éléments contaminants le Phosphore(P), l'Alumine(A12O3), et la Silice(SiO2) présentent des teneurs élevées. La teneur en silice combinée à celle en alumine forme une gangue acide amenant des volumes importants de scories dans la phase sidérurgique.

Les besoins de produire des aciers de bonne qualité nécessite l'élimination du phosphore au cours du process de production. En effet cette teneur est dix(10) fois supérieure à la teneur requise et est donc inacceptable. Tenant compte de la complexité de la dispersion du phosphore dans le minerai, diverses combinaisons de procédés minéralurgiques ont été testés. [19]

III.3 Travaux de recherche du minerai de fer de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz

Les études ont eu pour objectif :-

- d'enrichir le minerai et éliminer le phosphore lors de cette phase.
- de tester le minerai en l'état dans les hauts fourneaux
- de réaliser des tests pour la réduction directe du minerai avant son enfournement dans les fours électriques. Cette dernière voie a été privilégiée afin de ne pas dépendre de la pression du marché pour la fourniture de coke ou de charbon cokéifiable (nécessaire à la production d'acier par la filière haut fourneau).

De nombreux travaux ont été réalisés par des organismes et compagnies de renommée internationale:

- IRSID (Institut de Recherche en Sidérurgie 1961-1964-1965-1977), France,

Chapitre III : Présentation état actuel, perspectives et développement du Secteur

- Krupp Rohstoffe (1966), Allemagne;
- Université de Prague (1967), Tchécoslovaquie,
- Tempo (1975), USA;
- LKAB (1976), Suède;
- MRRC de l'Université du Minnesota (1977), USA;
- Kaiser Engineers & Contractors (1977), USA;
- Nippon Steel Corporation (1978), Japan;
- DRA SIDER (Division de Recherche Appliquée, 1980).Algérie.
- Hylsa 1986 (Mexique) ;
- Bureau d'étude de valorisation minérale (Allemagne - 1988) ;

Récemment d'autres tests ont été réalisés par des compagnies, pouvant représenter des partenaires potentiels pour le développement du projet intégré du Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz, à savoir.

1. Rio Tinto (2006-2007), Australie
2. Corus Consulting (2008) pour le compte de Posco, Corée du Sud
3. Kigam (2008) pour le compte de Posco,
4. Changsha Institute for Mining & Metallurgy (2008) pour le compte de CITIC Chine. (note sur le gisement-DGM)



Figure III.2. Vue sur le gisement de gara Djebilet

III.4 Etat actuel

Signé entre l'Entreprise nationale de fer et de l'acier (FERAAL) et un consortium d'entreprises chinoises constituée des entreprises CWE, MCC et Heyday Solar, le mémorandum d'entente "est un accord historique important qui marquera la naissance d'un projet susceptible de relancer l'économie nationale et de concourir au développement du secteur des mines".

Ledit document marquera le lancement effectif du projet d'exploitation de la mine de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz, prévu en trois étapes, jusqu'à 2025 qui verra la première production de fer au niveau de la zone exploitée.

En application de ce mémorandum, il sera procédé à la formation d'une joint-venture (51 pour la partie algérienne et 49 pour la partie chinoise" qui sera chargée de l'exploitation "à la source jusqu'à la production et la transformation", dont l'activité est basée sur l'exploitation des énergies renouvelables.

Dans une première phase, il sera procédé à l'exploitation de la partie ouest de la mine jouissant de réserves de 1,7 Mds de tonnes.

Ce projet vise à garantir et à sécuriser l'approvisionnement des usines nationales de métallurgie et de sidérurgie en matières brutes et la promotion des recettes hors hydrocarbures. Le lancement des travaux de réalisation permettra la création de près de 3.000 emplois. [3]



Figure III.3. Passages des d'oueds

III.5 Nouvelle stratégie de mise en valeur du gisement de gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz

À l'échelle nationale, il serait nécessaire de placer le projet dans une perspective d'aménagement du territoire et de développement régional.

En effet, le projet minier est le support idéal d'un plan d'aménagement et de développement du Sud-Ouest. La jeune Wilaya de Tindouf, grâce à l'activité minière trouverait la dynamique qui lui manque.

Le chemin de fer qui relierait Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz à la Méditerranée constituerait incontestablement une artère qui la favoriserait les échanges entre le Nord et le S.O en même temps qu'elle induirait un effet positif sur l'activité économique des régions traversées.

Toujours à l'échelle nationale Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz constituera à long terme la seule source importante de minerai de fer avec le gisement voisin de Mécheri Abdelaziz, susceptible d'approvisionner notre sidérurgie, les gisements de l'Ouenza et Boukhadra étant appelés à décroître inexorablement.

En effet à long terme l'accroissement de la consommation d'acier à un niveau qui

dépassera 10 MT/an nécessitera des quantités importantes de minerai de fer (15 à 20 MT) qui seront fournies en grande partie par Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz.

Enfin, à l'échelle mondiale le débouché du minerai de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz, ne peut être assuré que par le biais de sa transformation en produit, semi-finis ou finis, le minerai n'ayant aucune chance de se placer sur le marché mondial dans un terse prévisible.

En effet, l'évolution actuelle de la sidérurgie mondiale qui cherche à éviter la pollution, à augmenter sa productivité et à faire des économies d'énergie, préfère les minerais très riches et le recyclage de ferrailles. Elle est donc susceptible d'accepter soit de l'éponge de fer pour les hauts fourneaux et les aciéries, soit de la fonte pour les aciéries soit encore des brames ou des billettes pour les laris noirs.

Cependant, il est possible à très long terme (30 à 50 ans) que les minerais riches s'épuisent et que des minerais de second choix deviennent une alternative forcée. Cette évolution donnerait de nouveau à Gara-Djebilet une nouvelle chance qui viendrait valoriser l'option de la transformation qui aura déjà été réalisée. [23]

III.6 Programme de recherches et d'études complémentaires

Pour mener à leur terme les études de développement de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz, il serait nécessaire de compléter les actions déjà réalisées. A cet effet, il est proposé le programme suivant :

- a) Confirmer la faisabilité technico-économique de la filière utilisant la réduction directe et four électrique à résistance de laitier par des essais à l'échelle semi-industriel.
- b) Mener de nouveaux essais d'enrichissement et de pelletisation.
- c) Entreprendre une étude de marché national mondial de l'éponge de fer et de l'acier.
- d) Actualisation des études faites dans les domaines de l'exploitation minière, des transports ferroviaires et d'hydraulique.
- e) Etude d'approvisionnement en énergie, notamment en gaz naturel.
- f) Recherche d'une coopération nationale et internationale pour la mise en valeur du gisement en particulier avec SIDER, SH, SGNELGAZ, SNTF, le MAROC....
- g) Etude de faisabilité globale du projet intégrant le domaine sidérurgique. [23]

III.7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

A long terme l'approvisionnement de la sidérurgie nationale en minerai de fer ne peut être assuré que par Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz ou l'importation en compte tenu de l'épuisement des gisements de Ouenza et Boukhadra, et de l'accroissement de la consommation d'acier (7-10 millions de tonnes à l'horizon 2000) nécessitant 15 à 20 millions de tonnes de minerai.

Les études métallurgiques menées par SIDER dans les années 80 laissent entrevoir la possibilité de produire économiquement de l'acier avec le minerai de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz par le procédé RDAE du gaz naturel, se libérant ainsi de la contrainte « Je l'importation du charbon à coke ».

L'existence d'importantes réserves de gaz Naturel permet d'envisager une production massive d'éponge de fer et d'acier susceptible de couvrir la demande nationale et d'export.

Chapitre IV : Géologie minéralisation
du gisement de gara Djebilet et
Caractérisation physico- Chimique du
minerai de fer et son
Traitement.

Chapitre IV : Géologie minéralisation du gisement de gara Djebilet et Caractérisation physico- Chimique du minerai de fer et son Traitement.

IV.1 Géologie du Gisement de Gara Djebilet

La minéralisation de gisement de Gara Djebilet est représentée par trois couches principales (Figure II.9) de minerai superposé :

- **Couche du Mur** : le minerai est oolithique, non magnétique, d'épaisseur très variable pouvant dépasser les 10 mètres. La teneur en fer de cette couche varie entre 40 et 57 % et atteint exceptionnellement les 58 %.

- **Couche Intermédiaire** : le minerai est oolithique, magnétique et souvent lité. Dans le gisement centre, la teneur moyenne en fer dépasse les 57 %, elle atteint les 58 % dans le gisement Ouest et 63 % dans ses parties les plus riches.

- **Couche du Toit** : le minerai est oolithique, non magnétique. Bien que parfois localement élevée, la teneur moyenne en fer sur toute la puissance de cette couche dépasse rarement les 50%. Le toit du corps minéralisé est représenté par d'épaisses séries gréseuses de l'Eifelien et débute par une lumachelle continue. Cette dernière est parfois au contact du minerai, mais en est souvent séparée par quelques décimètres de pépites, d'argiles et de quartzites dépourvues de fossiles (Perrin, 1994). [4]

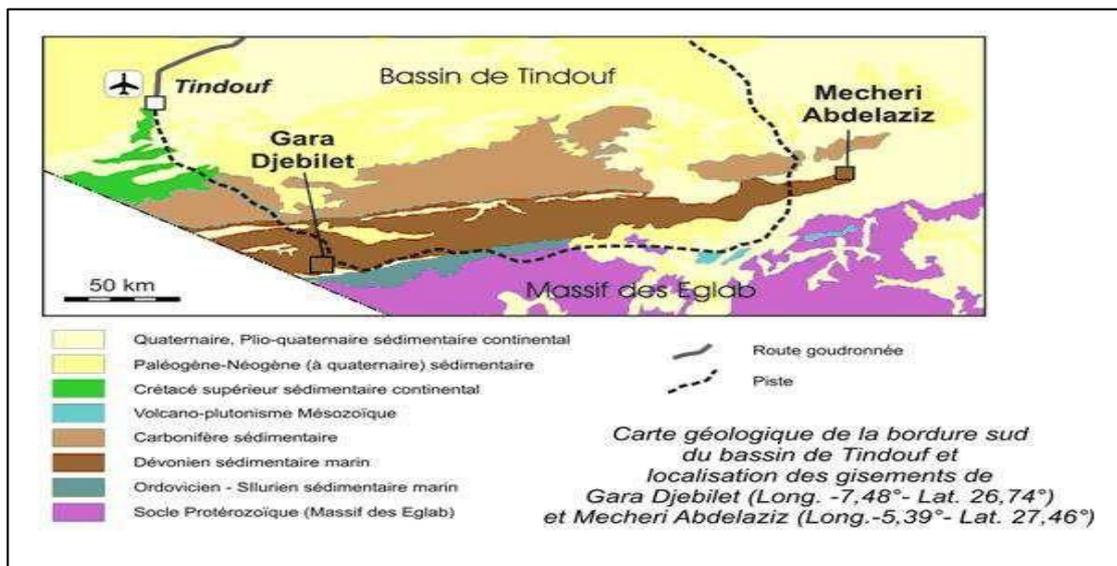


Figure IV.1. Carte géologique de la bordure sud du bassin de Tindouf et localisation du gisement de fer. Gara Djebilet. (BADJOUJ.S) [4]

IV.2 Minéralisation du gisement de Gara Djebilet Tindouf

Le minerai de Gara Djebilet est composé de nombreux minéraux ferrifères dont la magnétite, la maghémite; (magnétite altérée), l'hématite, la goethite, la chamosite, la sidérite, la martite et la pyrite. L'apatite (phosphate de calcium) et la crandallite (minéral phosphaté) sont les deux minéraux non ferrifère importants relevés. Le phosphore, élément nuisible, se localise principalement dans l'apatite authigène, mais aussi dans la crandallite et la florencite. Localement, les phosphates du groupe crandallite sont en partie responsables des teneurs en arsenic. [4]

IV.2.1 Le minerai

Mlle DEUDON, du Service Minerais de l'IRSID, décrit en ces termes la structure du minerai :

« Le minerai de la Gara Djebilet est un minerai sédimentaire oolithique, qui a subi des phénomènes d'oxydations, peut-être accompagnés d'actions thermiques. Les oolithes sont constitués par la sidérose et le chlorite, mais on ne peut affirmer que la sidérose ne résulte pas d'une première altération du chlorite. Ensuite, sidérose et chlorite ont été oxydés en Fe^2O^3 et Fe^8O^4 avec éventuellement passage intermédiaire de goethite. »

Suivant l'intensité de l'oxydation, de la martitisation de la magnétite en oligiste, etc... On doit s'attendre à trouver tous les types intermédiaires entre le minerai chloriteux, généralement pauvre et situé à la partie inférieure de la couche, et les minerais oxydés. Parmi ces derniers, on distingue sur le terrain un minerai oolithique violet, relativement poreux et à oolithes bien visibles, et un minerai compact plus dur, à éléments plus fins et à oolithes mal conservées. Cette distinction est indépendante du magnétisme du minerai : la répartition de la magnétite et du Fe^2O^3 ferromagnétique (maghémite) ne paraît pas obéir à une loi simple. La gangue est siliceuse et accessoirement calcaire, lorsque de la calcite de néoformation s'est déposée dans les fissures du minerai. Signalons la présence de phosphore, à des teneurs de l'ordre de 0,6-0,8 70, et qui, selon Mlle DEUDON, serait due à l'existence de phosphates de fer. Il s'agit donc d'un minerai semi phosphoreux.

A titre d'exemple, nous reproduisons ici une analyse complète, qui peut être considérée comme assez représentative. [18]

Minéraux	Teneur	/	Minéraux	Teneur
Fe₂O₃	79,4	(Fe : 55,6 %)	CuO	0,002 %
Mn₂O₃	0,10	(Mn : 0,07 %)	PbO	0,007 %
SiO₂	/	/	ZnO	0,045 %
Al₂O₃	/	/	NiO	0,004 %
TiO₂	0,17 %	/	CoO	0,0005 %
CaO	0,94 %	/	As₂O₃	0,048 %
BaO	0,02 %	/	Cr₂O₃	0,004 %
MgO	0,09 %	/	V₂O₅	/
SO₃	0,20 %	(S : 0,08)	CO₂	/
P₂O₅	1,38	(P : 0,60)	H₂O	/

Tableaux IV.1. Les différents minéraux qui constituent le minerai de Gara Djebilet.

(MATHERON) [18]

IV.3 Caractérisation physico-chimique du minerai de fer de GARA DJEBILET

IV.3.1 Introduction

Ce chapitre décrit l'ensemble des techniques pour caractériser les différents échantillons prélevés du minerai de fer de Gara Djebilet Tindouf, en vue d'en établir la composition minéralogique et chimique du minerai.

La caractérisation conventionnelle est généralement basée sur l'analyse de plusieurs paramètres chimiques et physiques. La caractérisation par l'approche minéralurgique repose principalement sur la distribution dans les différentes fractions granulométriques, sur l'identification de leur composition minéralogique, ainsi leur degré de libération (Minéral utile -gangue). La figure représente les différentes étapes pour la caractérisation du minerai.

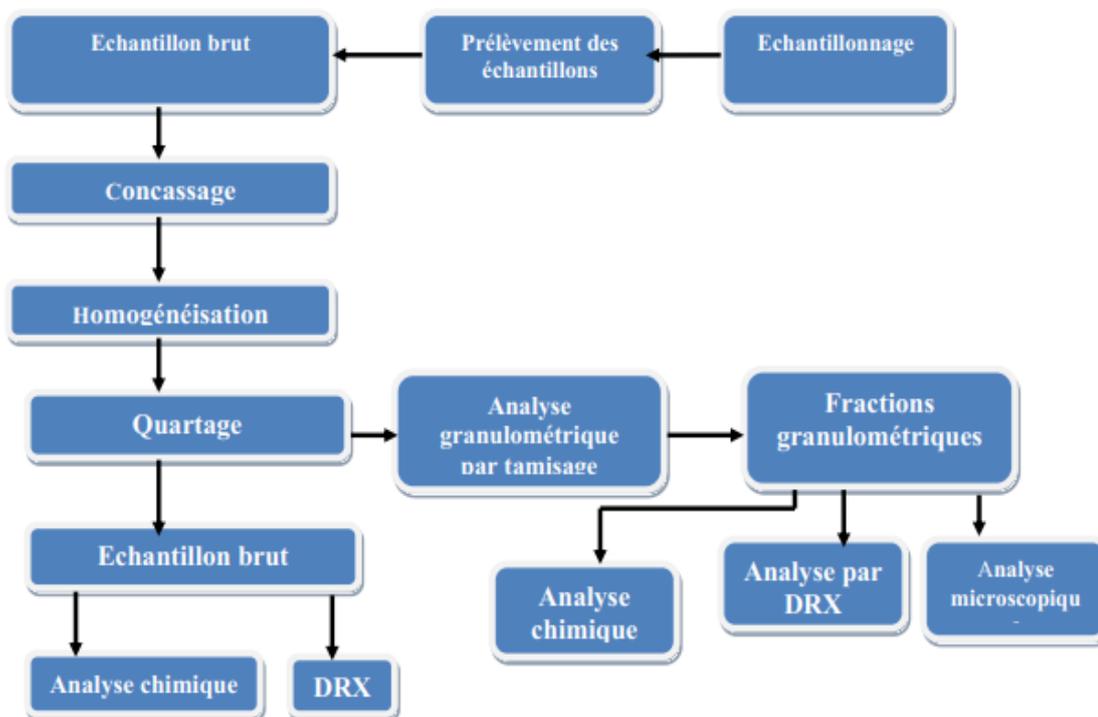


Figure IV.2 Protocole de caractérisation du minerai de fer de Gara Djebilet.

(BADJOUJ.S) [4]

IV.3.2. Echantillonnage

L'échantillonnage consiste essentiellement à tirer des informations d'une fraction d'un grand groupe ou d'une population, de façon à en tirer des conclusions. Son objet est donc de fournir un échantillon qui représentera la population et reproduira aussi fidèlement que possible les principales caractéristiques de la population étudiée.

L'analyse est une recherche d'informations, de renseignements ; c'est en quelque sorte une enquête. Il peut y avoir des enquêtes exhaustives comme celle du recensement d'une population, mais la plupart des enquêtes se font par sondage ; c'est une technique statistique où l'on travaille sur un sous ensemble de la population sur un échantillon. Cet échantillon peut être désigné par hasard ou en fonction de caractéristiques particulières ; mais sa vocation est de représenter le mieux possible l'ensemble qu'on veut connaître (Claude Paycheng Orstom 1997). [4]

Les principaux avantages de la technique d'échantillonnage par rapport à un compte complet sont le moindre coût, la rapidité, la portée et la précision accrue. Tous ceux qui soutiennent que le seul moyen d'obtenir des informations exactes sur une population est de faire un recensement exhaustif oublient que les sources d'erreurs sont nombreuses dans un dénombrement complet et qu'un recensement à cent pour cent peut non seulement être faussé par un grand nombre d'erreurs, mais être pratiquement

irréalisable. En effet, avec un échantillon on peut obtenir des résultats plus exacts car il est plus facile de contrôler les sources d'erreurs liées à la fiabilité.

La stratégie d'échantillonnage est basée sur le volume d'échantillon, le nombre d'échantillons, et la sélection de stations d'échantillonnage (nombre, position et positionnement). La représentativité des échantillons dépend en grande partie des choix qui sont faits (Gosselin et al, 1999). [4]

Quelle que soit la précision des méthodes analytiques utilisées, si l'échantillon n'est pas représentatif, l'évaluation et les conclusions qui en seront tirées risquent de ne pas être en adéquation avec le lot à étudier (Hoenig et Thomas, 2002 ; Nicolas, 2006 ; Tshamala ,2008). [4]

IV.3.3 Analyse granulométrique

La granulométrie a pour objet la mesure de la taille de particules élémentaires ou de grains. Les méthodes qui permettent cette mesure doivent être reproductibles ; c'est pourquoi elles suivent des normes strictes. Ces méthodes sont le tamisage, les méthodes optiques, le tri par fluide ou les méthodes électriques.

- Le tamisage à sec ($> 100\mu\text{m}$)
- Le tamisage sous eau ($> 30\mu\text{m}$)
- La sédimentation (1 à $100\mu\text{m}$)
- La centrifugation (0.1 à $20\mu\text{m}$)
- La diffraction laser (0.02 à 2mm)
- La microscopie optique ($> 50\mu\text{m}$ à 2mm)

La granulométrie consiste aussi en l'analyse de la distribution statistique des classes de tailles d'une collection de grains. Le diamètre d'une particule se mesure à l'aide du diamètre de Féret qui mesure une taille dans une direction a donnée. On définit l'exo-diamètre comme étant la position de D pour laquelle Df est maximal et le méso-diamètre avec Df minimal (Dinard, janvier 2012). [4]

IV.3.3.1 Matériel

Un laboratoire de sédimentologie contient plusieurs instruments destinés à l'analyse granulométrique. L'idéal est de disposer d'un plan de travail laissé libre et dédié au lavage et à la décantation des échantillons. Pour information, 40 capsules de 30 cm de diamètre placées côte à côte représentent 2,8 m². Le laboratoire doit disposer de postes de travail dédiés à la pesée, à l'observation des échantillons 1, éventuellement

d'un poste informatique permettant la saisie des données. Le reste du laboratoire est dédié au séchage, au tamisage et aux analyses chimiques. [4]

IV.3.3.2 Division

Le séparateur permet de diviser un échantillon de sédiment en deux parties rigoureusement égales (Figure IV. 3). Ceci est très pratique lorsque l'échantillon a été prélevé à l'aide d'une benne embarquée sur un navire. Le volume de sédiment, à traiter est important et il n'est pas nécessaire de l'analyser dans sa totalité. On verse la totalité du sédiment lavé et séché dans le bac verseur du séparateur. Le sédiment va se séparer en deux sous-échantillons récupérés par deux bacs. L'opération est répétée jusqu'à obtenir le volume de sédiment souhaité. [4]



Figure IV.3 Diviseur à riffle Jones

Certaines analyses, la calcimétrie notamment, demandent de broyer le sédiment à l'aide d'un mortier et d'un pilon. L'intégrité des clastes n'est évidemment plus assurée et toute analyse granulométrique s'en trouvera fortement biaisée. [4]

IV.3.3.3 Analyse granulométrique par tamisage

Les tamis les plus larges sont nommés passoires (à partir de 3:315mm). Les tamis AFNOR respectent la progression suivante : 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800 μm , 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5 mm et les passoires : 3.315, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25 mm. Les tamis sont placés les uns sur les autres dans le sens

décroissant. Le sédiment sec est déversé au sommet de la colonne. On utilise un fond étanche à la base de la colonne pour récupérer le refus.

La colonne est placée sur une tamiseuse (Figure IV.4) qui va la faire vibrer à une fréquence connue pendant un temps connu (généralement 10 minutes). Le sédiment va ainsi être trié selon la taille des grains qui le compose. Chaque refus est alors versé délicatement dans une capsule pour être pesé. Un grand soin doit être apporté lorsque l'on enlève les derniers grains qui restent dans le tamis.

On utilise généralement un pinceau ou une brosse (selon la finesse de la maille). On ne doit jamais appuyer sur le tamis à l'aide de la brosse et on ne doit jamais enlever par la force un grain resté bloqué dans une maille. Il existe des systèmes de nettoyage des tamis qui utilisent les ultra-sons. [4]



Figure IV.4. Tamiseuse Resch



Figure IV.5. Tamis



Figure IV. 6.Série de Tamis

Les tamis ne doivent pas être désolidarisés et la colonne ne doit pas être dépareillée.

Le tamis ne doit pas appartenir à une colonne utilisée en laboratoire. L'usure des tamis doit être homogène, pour cette raison, la colonne doit être changée dans sa totalité (au moins les tamis). [4]

IV.3.3.4 Pesage

Chaque refus de tamis est pesé à l'aide d'une balance de précision, préalablement stabilisée sur un plan parfaitement horizontal, tarée et à l'abri des mouvements d'air (Figure IV7). Il est également essentiel que la balance de précision soit étalonnée par un organisme certifié avec une périodicité adaptée. Les refus sont stockés pour archivage dans des sachets clairement identifiés. Il est souvent utile de stocker séparément les fractions supérieures et inférieures à 40 ou 63 μm .



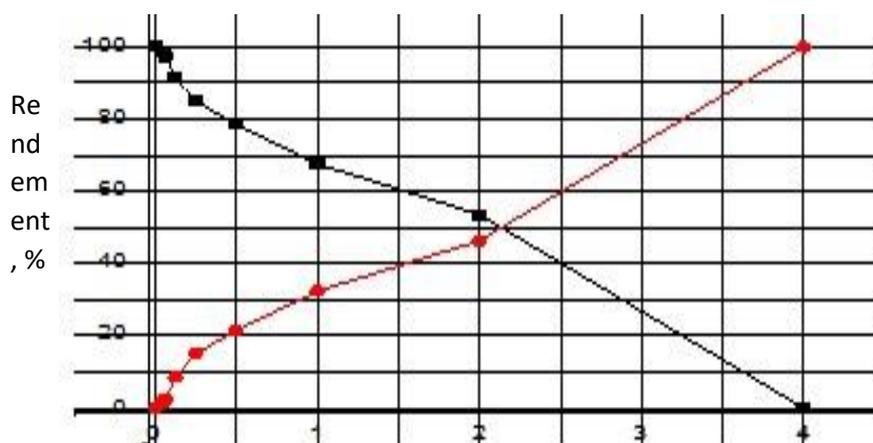
Figure IV.7 Balance électronique

Le matériau 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 cas le temps de tamisage est égale à 10 min avec une amplitude de vibration égale à 60 et le poids total de l'échantillon égal à 500 g. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne du tamis est également pesé.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne. L'analyse granulométrique est réalisée au niveau de Laboratoire de Valorisation des Ressources Minières et Environnement (LAVAMINE) de département des mines de l'université de Badji Mokhtar Annaba. Les résultats de l'analyse sont représentés dans le Tableau IV.2.
[4]

Tableau IV.2 Résultats d'analyse granulométrique de l'échantillon brut

Classes Granulometries (mm)	Poids (g)	Rendement (%)	Refus cumulés (%)	Passants cumulés (%)
+ 2	268.30	53.65	53.65	100
-2 + 1	69.81	13.96	67.61	46.35
-1 + 0.5	54.55	10.91	78.52	32.39
-0.5 + 0.25	32.04	06.41	84.93	21.48
-0.25 + 0.125	32.79	06.56	91.49	15.07
- 0.125 + 0.063	30.07	06.02	97.51	08.51
-0.063 + 0.045	5.19	01.04	98.55	02.49
-0.045 + 0	7.25	01.45	100	01.45
TOTAL	500	100	-	-



Tranche granulométrique, mm

Figure IV.8. Courbe granulométrique de l'échantillon de minerai de fer initial.

La courbe granulométrique d'un échantillon du minerai de fer concassé à 5 mm a été réalisée par tamisage à sec. Elle montre un produit présentant deux populations de particules de tailles respectivement comprises dans des intervalles de : (0 mm +1 mm) et +2 mm donc la distribution des particules dans les tranches granulométriques est de manière irrégulière. Le tableau IV.3 décrit le taux relatif de teneur en fer en fonction de la teneur en phosphore. [4]

Classes Granulometries, mm	Rendement, %	Refus cumulés %	Passants cumulés %	Teneur fer %	ur P ₂ O ₅ %
>2	53.65	53.65	100	59.62	1.76
-2 + 1	13.96	67.61	46.35	56.18	1.63
-1 + 0.5	10.91	78.52	32.39	60.70	1.92
-0.5 + 0.25	06.41	84.93	21.48	57.04	1.80
-0.25 + 0.125	06.56	91.49	15.07	57.81	1.74
- 0.125 + 0.063	06.02	97.51	08.51	61.09	1.97
-0.063 + 0.045	01.04	98.55	02.49	60.82	1.90
-0.045 + 0	01.45	100	01.45	59.57	2.12
TOTAL	100	-	-		

Tableau IV.3 Résultats d'analyse granulochimique du minerai de fer de Gara Djebilet par FX

- **Interprétation**

Les résultats d'analyse granulochimique obtenus sont mentionnés sur le tableau IV.3 représentent l'évolution de la teneur en Fer et P₂O₅ pour chaque classe granulométrique, on constate que les classes : (-1+0.5), (-0.125+0.063) et (-0.063+0.045) mm possèdent des fortes teneurs en Fer : 60.70, 61.09 et 60.82 % correspondants à des teneurs en oxyde de phosphore : 1.92, 1.74, et 1.90 %. La maille de libération est cernée entre les deux classes : (-0.125+0.063) et (-0.063+0.045) mm. [4]

IV.3.4 Analyse des échantillons par Drx

La diffraction des rayons X est une méthode utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés. En effet, cette méthode ne s'applique qu'à des milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles...) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement périodique, ordonné et dans des plans réticulaires tridimensionnels des atomes constitutifs. Les atomes s'organisent donc en plans réticulaires plus ou moins denses qui sont désignés par leurs coordonnées (h, k, l) dans un système de repérage de l'espace. L'analyse par DRX de l'échantillon brut du minerai de fer oolithique de Gara Djebilet est représentée sur la figure IV.9. On constate d'après les courbes que la majorité des pics sont prédominés

par l'hématite et le quartz, l'analyse par DRX des tranches granulométriques sont représentées sur les figures ci-dessous. [4]

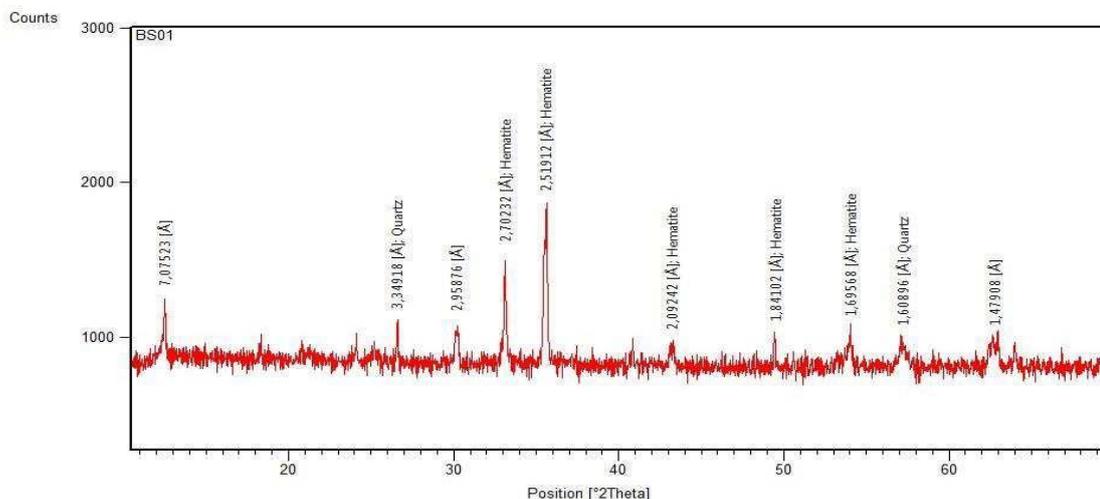


Figure IV.9. Analyse par DRX de l'échantillon initial.

a) Analyse par DRX de la fraction > 2 mm

L'analyse de Le spectre d'un échantillon de minerai de fer de la fraction > 2 mm montre que les phases minéralogiques observée sont majoritairement de l'hématite et de la magnétite, avec quelque trace de quartz en signalant l'absence de l'argile.

b) Analyse par DRX de la fraction -2+1 mm

L'analyse de Le spectre d'un échantillon de minerai de fer de la fraction -2+1 mm montre que les pics intenses sont représentés par l'hématite et la magnétite, avec un léger taux de calcite.

c) Analyse par DRX de la fraction -1 + 0,5 mm

L'analyse de Le spectre d'un échantillon de minerai de fer de la fraction -1 + 0,5 mm montre la prédominance de l'hématite et de la magnétite représentés par des trois pics intenses.

d) Analyse par DRX de la fraction -0,5 + 0,250 mm

L'analyse de Le spectre d'un échantillon de minerai de fer de la fraction -0,5 + 0,250 mm montre la prédominance de l'hématite et de la magnétite représentés par des trois pics intenses.

e) Analyse par DRX de la fraction -0,250 + 0,125 mm

L'analyse de Le spectre d'un échantillon de minerai de fer de la fraction -0,250 + 0,125 mm explique l'inclusion de la calcite dans la magnétite et l'hématite qui sont

représentés par trois pics, une qui est intense de fréquence 2.51902 et par les deux qui restent de fréquence de valeurs successives : 2.09220 et 1.60985.

f) Analyse par DRX de la fraction -0,125+0,63 mm

L'analyse de Le spectre d'un échantillon de minerai de fer de la fraction - **0,125+0,63 mm** décrit une diversité minéralogique du minerai de fer de Gara Djebilet représentée par la prédominance de calcite : 3.035 et magnétite 2. 1.479, avec (calcite magnétite) :1.610 et (calcite magnétite) :1.702. (BADJOUJ.S)

IV.3.5 Observation microscopique des échantillons

L'observation directe ou la photographie microscopique optique est la méthode la plus simple et la seule qui peut se considérer comme absolue ; elle permet à l'opérateur de prononcer un jugement subjectif concernant le diamètre ou la forme des grains. Cependant, elle devient extrêmement ennuyeuse et peut souvent produire des mesures biaisées quand on veut faire des mesures objectives, comme des déterminations granulométriques (GROVES M.J., & WYATTSARGENT J.L ; 1972). [4]

a) Observation de l'échantillon par lame mince

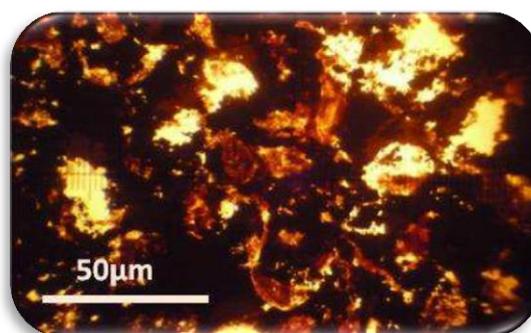


Figure IV.10. Observation microscopique d'échantillon 1.

• **Commentaire :**

Roche à grain fin (oolithe fin). La granulométrie des oolithes non métallifères ne dépasse pas 0,15 mm. La quantité des minéraux non métallifères 25-30% du volume de la roche, l'agrégat minéral forme le liant de cimentation entre les grains et son volume est de 70 à 75%. On observe une intense hématisation des oolithes et leurs remplacements par des minéraux métallifères représentée par la figure IV.10. [4]

b) Observation de l'échantillon par section polie

Le polissage de cette section montre des grains de magnétite plus claire.

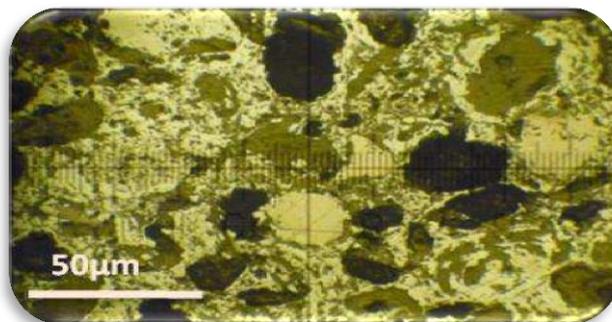


Figure IV.11 Observation microscopique d'échantillon 1

IV.3.6 Conclusion

Quelle que soit la précision des méthodes analytiques utilisées, si l'échantillon n'est pas représentatif, l'évaluation et les conclusions qui en seront tirées risquent de ne pas être en adéquation avec le lot à étudier ;

L'analyse granulométrique montre un produit présentant deux populations de particules de tailles respectivement comprises dans des intervalles de : (-0.045 mm+1 mm) et +2 mm donc la distribution des particules dans les tranches granulométriques est de manière irrégulière ;

L'analyse par DRX de l'échantillon initial montre que la majorité des pics sont prédominés par l'hématite et le quartz, bien que la magnétite et la calcite ne représentent des composants minéralogiques mineurs.

L'observation microscopique optique est la méthode la plus simple et la seule qui peut se considérer comme absolue ; elle permet à l'opérateur de prononcer un jugement subjectif concernant le diamètre ou la forme des gouttes. Cependant, elle peut produire des mesures biaisées quand on veut faire des mesures objectives, comme des déterminations granulométriques. [4]

IV.4 TRAITEMENT DU MINERAI DE FER DE GARA DJEBILET

IV.4.1 Aperçu sur la valorisation des minerais

IV.4.1.1 Définition

La valorisation des minerais peut être considérée comme l'ensemble de procédés et de technique 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 et des rejets (figure IV.12).

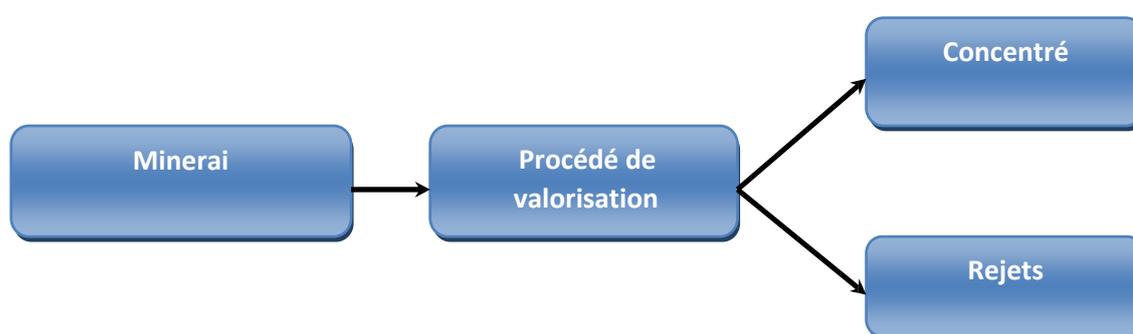


Figure IV. 12 Schéma simplifié d'un procédé de valorisation du minerai

En fait, la valorisation des minerais s'étend non seulement au secteur traditionnel minier, mais encore à tous les domaines ou peut se présenter, sous forme naturelle, artificielle ou résiduelle, le minéral 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'objet de la valorisation est de traiter les minerais afin d'en extraire, dans les 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 aux minéralurgistes : le minerai, le contexte économique, l'écologie ou l'environnement du site, les conditions de vente qui sont des données sur lesquelles il n'a pas de possibilité d'action directe. [4]

IV.4.1.2 Méthodologie de la valorisation

Quels sont les moyens, procédés ou techniques de la valorisation qui permettent de résoudre un problème particulier, compte tenu des contraintes ? La seule possibilité pour le chercheur 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.

- 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.

La figure résume un bilan des propriétés de minéraux qui sont effectivement utilisées pour réaliser des séparations minéralurgiques Figure IV.13. [4]

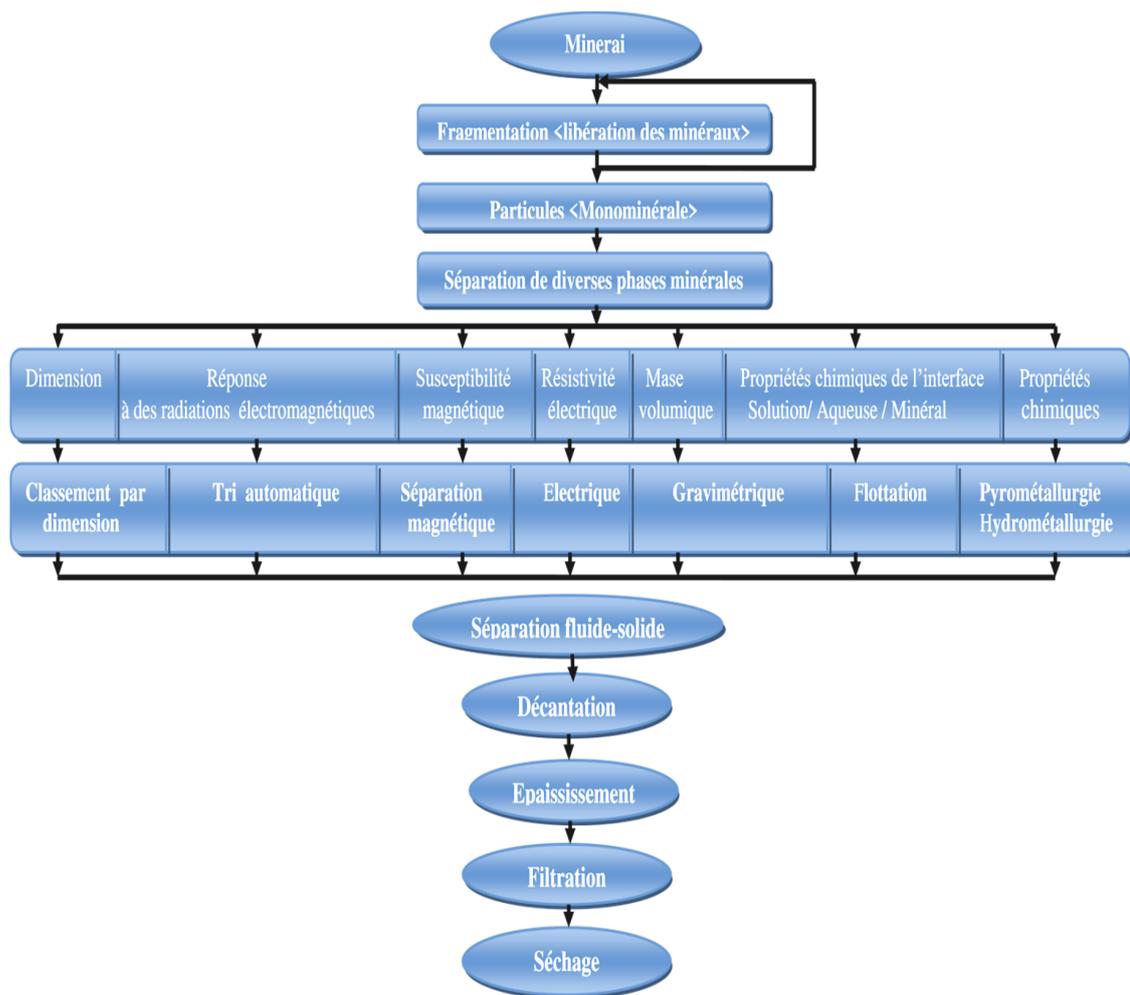


Figure IV.13 Opération unitaires de la minéralurgie

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet.

V.1 Faisabilité du projet

V.1.1 Introduction

Dans la pratique minière, il est souvent difficile de faire une étude de la sélection optimale des séquences d'exploitation à cause de la connaissance incomplète d'un gisement au moment de l'étude de faisabilité. Néanmoins, une attention toute particulière est à prendre en compte quant au choix d'une telle séquence, étant donné qu'elle peut être à l'origine de nombreux problèmes techniques et économiques.

V.1.2 Les principales phases du projet minier

Les principales phases du projet minier, en partant d'un terrain vierge de connaissances relatives à son patrimoine minéral sont :

- Campagnes d'exploration régionale
- Exploration des cibles et premier calcul de ressources
- Étude économique conceptuelle ou Evaluation économique
- Étude de préfaisabilité
- Étude de faisabilité
- Ingénierie détaillée du projet, montage du financement requis pour la mise en production
- Fermeture de l'exploitation et après-mine

V.1.3 La préfaisabilité et la faisabilité d'un projet

Ces études de préfaisabilité et de faisabilité porteront sur l'ensemble des aspects de la mise en exploitation du gisement. Il s'agit de trouver "le meilleur compromis entre les investissements nécessaires pour l'extraction, le traitement et le transport du minerai jusqu'à sa livraison aux clients en Algérie ou à l'étranger, et les investissements à prévoir, en parallèle, pour la réalisation des infrastructures et pour assurer la disponibilité de l'ensemble des utilités dans la région, ainsi que l'impact économique, environnemental et social de ces investissements et de l'exploitation.

V.1.3.1 Etude de préfaisabilité

Les objectifs et le contenu d'une étude de préfaisabilité sont identiques pour la réalisation de l'étude économique conceptuelle à un degré de précision supérieur.

Le budget de l'étude de préfaisabilité inclue les travaux de laboratoire, l'étude géotechnique, les essais de traitement du minerai.

V.1.3.2 Etude de faisabilité

Les objectifs et le contenu d'une étude de faisabilité sont de démontrer que l'exploitation d'un gisement déterminé est techniquement et économiquement viable, faisable, pour monter le financement de la mise en production et décider le lancement des opérations.

Toutes les études complètes et approuvées liées à l'étude de faisabilité :

- Toutes les données relatives à la production future devront être réalistes, analyse des problèmes géotechniques ou hydrogéologiques, la minéralogie du minerai et le procédé de traitement optimal adapté à ce minerai ont été bien identifiés, et que les estimations de performances de l'usine de traitement et le taux de récupération annoncés sont réalistes.
- Les infrastructures nécessaires au projet devront être identifiées.
- Le planning de mise en route de l'exploitation.
- Toutes les problématiques environnementales, sociales et de sécurité devront être identifiées.
- Les paramètres économiques du projet seront calculés.
- Le budget de l'étude de préfaisabilité inclue les travaux de laboratoire, l'étude géotechnique, les essais de traitement du minerai.

ELEMENTS	DESCRIPTION TECHNIQUE D'UN PROJET
Installations et infrastructures	- Routes d'accès. -Bâtiments. -Installation pour le traitement des déchets (description des mesures, équipements) dont les eaux usées. -Installation pour la protection de l'environnement relativement aux émissions, aux rejets et aux répercussions auditives, olfactives, visuelles etc. - Coûts estimatifs des infrastructures.

Matériels	<ul style="list-style-type: none"> - Engins, véhicules et machinerie. - Equipements de service.
Structures hydrauliques	<ul style="list-style-type: none"> - Barrages, digues, canaux. - Pompage des eaux d'infiltration. - Bassin de rétention et/ou bassin de décantation.
Energie	<ul style="list-style-type: none"> - Centre de production d'énergie. - Mode d'approvisionnement énergétique.
Approvisionnement en eau	<ul style="list-style-type: none"> - Source et Débit. - Qualité. - Quantité consommée (besoin journalier). - Mode de recyclage.
Services temporaires	<ul style="list-style-type: none"> - Egout. - Electricité. - Concassage de matériaux d'emprunt, de préparation de béton.
Personnel	<ul style="list-style-type: none"> -Embauche à l'étape de la construction. - Durée des travaux. -Hygiène du travail, sécurité, environnement. - Horaire de travail sur le chantier.
Gestion des déchets	<ul style="list-style-type: none"> -Type et Volume. - Lieux de décharge et de stockage. - Mode d'élimination.
Restauration des lieux d'installations temporaire	<ul style="list-style-type: none"> - Reconstitution de la couverture végétale. - Remise en état de la morphologie antérieure des terrains.
	<p>Principe, normes et pratique de l'exploitation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Description des systèmes proposés

<p>Exploitation</p>	<p>pour chacune des composantes du projet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilan des matières et de l'énergie. - Rejets liquides et solides. - Mesures d'utilisation rationnelle de conservation, et de protection des ressources (sols, eaux de surfaces et souterraines, faunes et leurs habitats). - Questions liées à la sécurité du personnel et de la communauté. - Plan de la réhabilitation. - Durée de vie de la mine et les phases futures de développement.
<p>Fermeture</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de fermeture des opérations minières, fermeture des trous de mine. - Plan de fermeture ou de rétrocession des zones restaurées le cas échéant. - Plan de fermeture, de démantèlement ou de rétrocession des bâtiments ou infrastructures rattachées et utilisées par le projet.

Tableau V.1. Principaux éléments pour une description technique d'un projet

V.1.4 Faisabilité de projet de Gara Djebilet

Les études menées par SONAREM dans les années 60 et 70 sur le gisement de Gara Djebilet ont abouti aux conclusions suivantes :

a. La rentabilité d'un tel projet n'est assurée que pour une exploitation à grande échelle avec une production minimum de 10 MT qu'il faudra relever à 15 ou 20 MT aujourd'hui compte tenu de l'augmentation considérable du coût des investissements.

b. Les débouchés à l'exportation sont faibles compte tenus de l'abondance des minerais riches dans le monde et des exigences de productivité de la sidérurgie moderne, les chances du minerai de Gara Djebilet sur le marché mondial sont encore

réduites par -le fait qu'il contienne 0,8% de phosphore et que les essais d'enrichissement ne conduisent pas à des concentrés très riches. [23]

V.2 Position des problèmes

Les problèmes auxquels est confronté le projet Gara Djebilet sont les suivants :

- L'opération de déphosphoration.
- Le problème de transport.
- Besoins en produits sidérurgiques.
- Ressources minières.
- Ressources énergétiques.

V.2.1 Besoins en produits sidérurgiques

La satisfaction de tous les besoins de l'Algérie en produits sidérurgiques vers l'an 2000, nécessiterait une production de plus de 7 millions de tonnes d'acier se traduisant principalement par :

- La transformation de plus de 14 millions de tonnes de minerai si on estime qu'il faut environ deux tonnes de minerai pour produire une tonne d'acier.
- L'importation de plus de 6 millions de tonnes de charbon par an, si cet acier est obtenu par la filière classique "Haut fourneau convertisseur à oxygène (825 Kg de charbon pour une tonne d'acier pour le minerai de OUEZÀ) .
- La consommation de plus de 15 milliards de Nm³ de gaz naturel par an, dont 10 milliards pour l'énergie électrique nécessaire à la fusion, si cet acier était obtenu par la filière "Réduction directe Four électrique".

L'analyse des prévisions de la demande en produits sidérurgiques, fait ressortir l'existence d'un important écart entre les capacités de production installées et les besoins du marché. [23]

V.2.2 Ressources minières

Les ressources minières de l'Algérie sont immenses à priori : près de 70 millions de tonnes à Ouenza et Boukhadra et plus de 3 milliards de tonnes à Gara-Djebilet et Mecheri Abdelaziz.

Aujourd'hui seuls les gisements de Ouenza et Boukhadra sont exploités et ils répondront à peine aux besoins du Complexe sidérurgique d'El Hadjar dans les prochaines décennies (durée de vie estimée à 20 ans).

Les réserves de minerai de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz n'ont pu être exploitées jusqu'à ce jour, d'abord à cause de leur situation géographique très

défavorable : 1500 km de la côte Algérienne et 500 km de la côte atlantique, et à cause d'un environnement très sévère : région aride et désertique nécessitant de lourds investissements pour leur mise en valeur.

Jusqu'à l'heure actuelle, ces investissements n'ont pu se justifier parce que d'une part, les capacités de production de l'Algérie sont encore très faibles pour consommer toute cette quantité, d'autre part, ces minerais étant classés comme moyennement riches et phosphoreux, ils ne peuvent trouver place sur le marché international à cause de l'abondance de minerais beaucoup plus riches. [23]

a) Capacités installées et besoins en minerai

Aujourd'hui, les capacités installées ainsi que leur extension à moyen terme dans le domaine de la transformation sont estimées à 10 millions de tonnes par an. Elles concernent:

- El Hadjar : 1.2 million de tonnes
- Tosciali 6 millions de tonnes
- Qatar Steel : 2 millions de tonnes
- Autres : 1 million de tonnes

Les gisements d'El Ouenza et de Boukhadra (Tébessa) n'arrivent pas à fournir en minerai les besoins pourtant modestes d'El Hadjar (600 000 à 1 200 000T/an), conduisant les autorités à autoriser la direction du complexe à s'approvisionner à l'extérieur. C'est également le cas pour les autres opérateurs du secteur.

Pour assurer les besoins des différents opérateurs, il faudrait produire en moyenne 14 à 15 millions de tonnes de minerai, ce qui correspond aux capacités prévues pour le gisement de Gara Djebilet.

V.2.3 Ressources énergétiques

En ce qui concerne les ressources énergétiques de l'Algérie on peut dire aussi qu'elles sont immenses mais qu'elles se limitent au gaz naturel, 3000 milliards de Nm³ de réserves pour une demande actuelle de l'ordre de 30 milliards de Nm³ par an.

Les quelques 30 millions de tonnes de réserves de charbon de la région de Béchar ne peuvent être utilisées dans la sidérurgie à cause de la forte teneur en soufre qui les caractérise. De plus ces réserves sont constituées de veines étroites, exploitables seulement par galeries souterraines.

En résumé, on peut avancer que pour le développement d'une sidérurgie nationale conséquente et relativement autonome, basée sur le développement des ressources nationales, la seule alternative réside dans la valorisation des gisements de minerais de

fer de Gara —Djebilet par la filière "Réduction directe au gaz naturel Four de fusion électrique". [23]

V.2.4 Caractéristiques

Les minerais de ce gisement ont une teneur en fer moyenne de 57 % et une teneur en phosphore de 0,8.

Ils sont aussi caractérisés par une teneur en arsenic de 0,035 % et une forte gangue acide (12 % SiO₂ + À 1203). [23]

V.2.5 L'opération de déphosphoration

V.2.5.1 Introduction

L'exploitation du fer doit d'abord passer par l'opération de « déphosphoration ». Cela demande l'utilisation d'une technique méticuleuse et une technologie adaptée.

La valorisation de Gara Djebilet, une immense mine à ciel ouvert située à Tindouf, a été pénalisée par le passé par des difficultés techniques notamment celles liées à la teneur élevée du minerai en phosphore et en arsenic qui rendaient son exploitation pas très rentable.

L'opération de déphosphoration du minerai constituait jusque-là une contrainte ayant retardé l'exploitation de ce gisement, et la solution technique à ce problème a été prise en charge avec l'envoi d'échantillons à des laboratoires étrangers spécialisés qui ont effectué dessus des tests réussis.

Recherche des meilleurs procédés de traitement de minerai (élimination des éléments pénalisants tels le Phosphore, Arsenic) pour la fabrication de l'acier

Le minerai de fer oolitique du gisement Gara Djebilet n'est pas considéré comme un produit commercial en raison de sa teneur élevée en phosphore. L'objectif de l'étude est de réduire la teneur en phosphore et d'augmenter la teneur en fer afin de répondre aux exigences de l'industrie sidérurgique.

Les meilleurs procédés pour le traitement du minerai en parvenant à réduire le taux du phosphore dans le fer de 0,8% à 0,03%. La première étude a également confirmé le potentiel important de ce gisement qui renferme un minerai avec une teneur appréciable en fer de 63 %.

V.2.5.2 Aperçu sur la valorisation des minerais

La valorisation des minerais peut être considérée comme l'ensemble de procédés et de technique 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 et des rejets

L'objet de la valorisation est de traiter les minerais afin d'en extraire, dans les 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.

L'exploitation de la mine de fer de Gara Djebilet, à Tindouf, sera un investissement trop couteux pour l'Algérie. Favorable au complexe sidérurgique de Bellara, La qualité des minerais de Gara Djebilet n'a jamais été un problème, bien au contraire, il s'agit même de minerais d'excellente qualité.

Le vrai problème est celui du coût d'évacuation des métaux extraits. Un coût estimé trop cher en comparaison avec la concurrence dans un monde où il y a "un surplus de minerais ».

La bonne solution, serait de faire de la métallurgie sur place sans avoir à transporter les minerais bruts, ce qui réduira les charges à transporter de 50%. Les procédés proposés sont basés sur des traitements permettant l'enrichissement du minerai et la libération du phosphore liés au fer en disloquant les oolithes. Ils peuvent être classés en 4 catégories :

- Procédés d'enrichissement : séparation gravimétrique - calcination réductrice - séparation magnétique basse et haute intensité, flottation.
- Procédés de déphosphoration Lixiviation acide ou basique Flottation calcination avec « agents déphosphorant » suivi de flottation ou lixiviation.
- Procédé de réduction directe avec agent « déphosphorant » suivi de séparation magnétique.
- Autres techniques contribuant à la dislocation des oolithes non encore développées : ultrasons, microondes.



Figure V.1. L'installation d'une usine sidérurgique

V.2.5.3 Travaux de valorisation effectués jusqu'en 1980

Depuis sa découverte en 1952, de nombreuses recherches géologiques et études ont été faites, d'abord par le BRM (Bureau de Recherche Minière) en 1953, ensuite par le BIA (Bureau d'Investissements en Afrique) en 1959, et enfin par la SERMI en 1961.

Au lendemain de l'indépendance, en 1962, toutes les études ont été principalement dirigées par la SONAREM. Les principaux travaux ont été effectués par LKAB (Suède), l'IRSID (France) TEMPO et Kaiser ENGINEERS (USA) ainsi que NSC (Japon) et KLOCKNER (RFA). [23]

V.2.5.4 Valorisation par concentration enrichissement

Les principales méthodes d'enrichissement utilisées sont épierrage et la séparation magnétique, à haute intensité à sec et humide i la flottation, le grillage magnétisant suivi de concentration, la lixiviation, ainsi que la combinaison de ces différentes méthodes.

En général, les méthodes de concentration essayées ont donné des résultats peu satisfaisants du point de vue métallurgique à l'exception de la réduction partielle au gaz suivie de séparation magnétique et qui n'est pas encore très développée.

La flottation a permis d'augmenter la teneur en fer à 62 % avec des rendements de 65% par contre le grillage magnétisant suivi de concentration a permis d'obtenir des

concentrés titrant 63-63,5 %, mais une teneur en phosphore de 0,5-0,6% . (Projet de mise en valeur-ferphos)

V.2.5.5 Valorisation par le Haut Fourneau.

Les études menées sur l'utilisation de ce minerai dans la filière classique "Haut Fourneau Convertisseur à Oxygène" montrent:

- Une faible productivité au niveau des Hauts Fourneaux à cause de l'importante quantité de laitier, _ une consommation importante de coke due à la haute teneur en alumine du minerai, nécessitant des additions massives de dolomie, de castine pour assurer une bonne fluidité du laitier,
- Une faible productivité des convertisseurs à oxygène à cause du cycle d'affinage plus long (déphosphoration nécessitant des décrassages intermédiaires). (Projet de mise en valeur-ferphos) [23]



Figure V.2. Travailleur à au haut fourneau

V.2.5.6 Valorisation par la réduction directe

Pour ce qui est de la filière "Réduction directe au gaz naturel Acierie électrique", elle n'avait pas fait l'objet d'étude approfondie jusqu'en 1980, parce que d'une part c'est une technologie considérée comme récente, d'autre part il n'existerait pas de par le monde d'usines fonctionnant avec ce type de minerai.

Il existe plusieurs procédés de réduction directe utilisant comme source d'énergie soit le charbon, soit le gaz naturel, et différents types de réacteurs.

a) Filière réduction directe et four à arc électrique (EAF)

La forte dépendance à l'approvisionnement en coke entre 500 et 600 kg/tonne d'acier a fait que l'intérêt s'est porté sur la réduction du minerai de fer par le gaz et par voie électrique.

Ce processus de production d'acier se décompose en deux phases, une phase de réduction de minerai de fer et une phase de fusion du minerai réduit dans le four électrique.

b) Réduction au charbon

La réduction des boulettes d'oxydes de Fer en présence du charbon a donné un grand nombre de boulettes fissurées et friables, ne convenant pas au haut fourneau à cause de leurs caractéristiques physiques, mais convenant au four électrique à condition que leurs propriétés chimiques soient satisfaisantes [23]

V.2.5.7 Travaux de valorisation effectués par SIDER dans les années 80 :

Dans le cadre de la valorisation des ressources nationales particulièrement le gaz naturel en abondance dans le pays et au vu des derniers développements dans les procédés métallurgiques, la direction de recherche appliquée de SIDER a dès le début des années 1980 été chargée de trouver une solution métallurgique du minerai de fer de Gara Djebilet en utilisant le gaz naturel.

C'est ainsi qu'après que plusieurs études aient confirmé la bonne réductibilité de ce minerai, trois possibilités de production de l'acier à partir de la filière réduction directe ont été retenues pour étude et développement. (Projet de mise en valeur-ferphos)

V.2.5.8 Réduction directe -four à gaz (axe Kaiser) 1983 :

Le principe consiste à produire de l'éponge de fer, à taux de métallisation moyen, dans un four de réduction directe, fonctionnant à contre-courant et à déchargement continu.

L'éponge de fer ainsi obtenue est directement enfournée à chaud dans un four de fusion fonctionnant au gaz naturel.

Les produits de combustion sont entièrement récupérés par la réforme et la réduction directe, minimisant ainsi les consommations en gaz et en énergie.

Les produits de fusion sont traités à la vapeur pour être concassés et triés magnétiquement, la ferraille ainsi obtenue débarrassée de toutes ses scories est dans les, directement utilisable dans les aciéries.

Cette technique brevetée conjointement par SIDER et la Société Américaine Kaiser Engineers fait depuis lors, l'objet de plusieurs mises au point et modifications dans les installations pilotes de SIDER.

V.2.5.9 Réduction directe-four électrique à arc (axe HYLSA)

Au vu de l'expérience des Mexicains dans les domaines de la réduction directe, et l'utilisation des mirerais phosphoreux par cette filière, SIDER a concrétisé en 1986, en collaboration avec la Société HYLSA, un programme d'essais de réduction directe et de fusion du minerai de fer de Gara Djebilet, portant sur 400 tonnes de minerai.

Ces essais ont permis de produire un acier à bas carbons avec une teneur minime en phosphore à partir de l'éponge de fer du minerai de Gara Djebilet. Il ya lieu de Signaler une technique d'affichage relativement complexe. [23]

V.2.5.10 Réduction directe-Four électrique à résistance de laitier (axe Demag) 1988

La Société Mannesman-Demag a mis au point un procédé de fusion au four électrique à résistance de laitier (procédé ESW). Ce procédé similaire à celui utilisé dans la production de certains ferro-alliages se caractérise par le fait que les électrodes sont plongées dans le laitier durant la fusion, le chargement se fait en continu, l'évacuation du métal est effectuée cycliquement.

Ce procédé peut être utilisé pour le traitement des minerais de fer pauvres phosphoreux et en général à forte gangue. Les résultats métallurgiques obtenus, confirment la possibilité d'obtenir un acier a bas carbone et faible teneur en phosphoreux dans un four électrique à résistance de laitier.

La faisabilité économique du procédé, les consommations énergétiques, et autres ne peuvent être confirmées que par la réalisation d'essais à l'échelle semi industrielle. [23]

V.2.5.11 Réduction au gaz naturel (axe CITIC)

La Direction de la Recherche Appliquée de SIDER (DRA), en 1980a réalisé des tests de réduction directe au gaz naturel qui ont démontré la bonne réductibilité du minerai de fer de Gara Djebilet.

Elle a réalisé des essais de réduction directe et de fusion sur le minerai de fer de Gara Djebilet en collaboration avec la société Hylsa (aujourd'hui Tenova), sur la base de son procédé Hyl destiné à produire du DRI à partir des minerais phosphoreux en particulier. Ces essais ont confirmé la possibilité d'obtenir une éponge de fer acceptable, et de produire de l'acier à faible teneur en phosphore (P) à partir de cette éponge de fer moyennant une technique d'affinage assez complexe (insufflation de chaux, oxygène, décarburages intermédiaires, etc.). [19]

La production d'acier par fusion de l'éponge de fer au four à arc électrique est envisagée moyennant des surcoûts. À partir du minerai réduit de Gara Djebilet, la société Hylsa a pu produire de l'acier à teneur de P (0.02%).

En sus des travaux antérieurement menés les sociétés CITIC (Chine), et Posco (Corée du Sud) ont proposé des schémas de production de fer/fonte et d'acier capables de résoudre au mieux la problématique du phosphore

CITIC a proposé trois options, à savoir : haut fourneau-convertisseur en duplex, réduction directe- four à arc électrique (EAF) et Hismelt (réduction par fusion) - convertisseur en duplex. La dernière option était la meilleure, car à priori, plus économique que les deux autres options, compte tenu de la capacité du Hismelt à traiter les minerais phosphoreux, du fait qu'il utilise du charbon au lieu du coke et que le minerai n'a pas besoin d'être aggloméré avant d'être transformé (ni pelletisation, ni sintering).

Le procédé Hismelt est une technologie non approuvée à l'heure actuelle puisqu'une seule unité est opérationnelle, en Australie, au niveau de la mine de Kwinana, pour une capacité de production de 800 kT/an. De plus, depuis sa mise en service, l'unité rencontre des problèmes techniques liés à son exploitation. Par ailleurs, le traitement du minerai de fer de Gara Djebilet par le Hismelt ne peut réduire la teneur en phosphore que jusqu'à 0.114 % pour une pénalité de 39\$/t sur le coût de production (simulations de Rio Tinto en 2007).

Le Hismelt utilise du charbon pour la fusion directe, or, l'Algérie ne produit pas de charbon, ce qui introduit un risque important lié à l'approvisionnement en cette matière première dont les prix sont très volatiles, et dont l'utilisation n'est souvent pas harmonieuse avec l'environnement.

Posco a proposé un schéma de production basé sur la voie « réduction directe par le gaz-EAF à laquelle, est rajouté en aval un convertisseur pour la déphosphoration de l'acier.

CITIC considéré que :

- L'option basée sur le Hismelt pour le traitement du minerai de fer de Gara Djebilet n'est pas intéressante et ne peut être retenue, du moment que cette Technologie n'est toujours pas approuvée, et rencontre des problèmes d'exploitation à l'échelle industrielle.

- La voie « réduction directe-EAF » ne peut également être envisagée car le phosphore ne peut être réduit dans ce schéma. En effet, la réduction directe par le gaz naturel ne permet pas de réduire la teneur en P dans les produits finis (DRI), et il est extrêmement difficile pour le four à arc électrique (EAF) de la réduire à un taux appréciable du fait de ses limites thermodynamiques et dynamiques. Cette voie implique alors des exigences élevées en matière de qualité du minerai, auxquelles le minerai de Gara Djebilet ne répond pas.

- Le schéma du process idéal, pour réduire la teneur en P, est celui de la voie classique du haut fourneau (HF) couplé à deux convertisseurs dont l'un dédié à la déphosphoration. Cette voie « haut fourneau + convertisseurs avec soufflage par le bas + procédé à double laitiers/procédé duplex », a permis de traiter plusieurs minerais de fer phosphoreux (en France, Belgique, Luxembourg, etc.) durant les années 1970. Cependant, et en ce qui concerne le gisement de Gara Djebilet, le minerai contient un taux élevé d'alumine qui altérera le système du laitier du haut fourneau (HF). Une autre solution consisterait en l'augmentation des volumes de SiO₂ et MgO dans l'HF, mais, ceci augmenterait considérablement les volumes de scories et la consommation de combustible.

En fin, compte tenu de la teneur en Fer (58 %) et qu'il est très difficile de déphosphorer le minerai en phase d'enrichissement, CITIC propose d'enfourner le minerai en morceau (lump) à forte teneur en Fe et les fines après sintering, directement dans le HF sans passer par une phase d'enrichissement.

Les derniers essais ont été réalisés en 2012 par IMC Montan GmbH. Ces derniers n'étant réalisés qu'à titre gracieux ont été effectués au niveau du laboratoire de Liebenburg. Le contenu en fer de ces échantillons a été estimé comme variable de 55 à 61 %, et le phosphore de 0.28 à 0.92 %.

Selon leur avis, cela ne peut se faire que par traitement thermique pour modifier la structure du cristal des phases minérales encaissant le phosphore et la lixiviation conséquente pour l'extraire. Ils ont abouti à une réduction du phosphore à 0.225 %, après séparation magnétique et grillage à 800°C dans un milieu oxydé et lixivié avec de

l'acide sulfurique.

Selon leur avis, ces résultats peuvent être améliorés après optimisation de ces essais. D'autres discussions sont en cours avec l'Américain PACIFIC REFINERY, qui détient une nanotechnologie basée sur le principe d'échanges ioniques à partir de résines spécifiques capables d'éliminer le phosphore. [19]

V.2.5.12 Conclusion

Pour ce qui est des trois possibilités de production étudiées par SIDER, les études montrent qu'il est possible d'obtenir de l'acier à bas carbone et faible teneur en phosphore, à partir du minerai de fer de Gara-Djebilet par la filière réduction directe, four électrique à résistance de laitier.

La fusion de l'éponge de fer au gaz naturel par le procédé SIDER/KAISER, est une technologie difficile et complexe, les essais et études se poursuivent en installation pilotes, pour la mise au point définitive, de la technique de déphosphoration la plus adéquate. Toujours est-il que la valorisation du minerai de fer de Gara-Djebilet par ce procédé n'est pas envisageable dans l'immédiat.

Le four électrique à arc est actuellement le procédé de fusion de l'éponge de fer le plus utilisé, si ce n'est l'unique, de par le monde. Il s'adapterait sans problèmes techniques majeure au minerai de fer de Gara-Djebilet avec cependant des surcoûts en énergie et en équipements, le recours à une importante part de ferraille et relativement une faible productivité. Cette technique pourrait être envisagée chez nous, même dans l'immédiat, au vu seulement des données économiques.

Le procédé "ESW", pourrait être l'alternative la plus intéressante pour la valorisation des minerais de fer de Gara Djebilet et Mecheri Abdelaziz.

Il ne nécessite pas obligatoirement une éponge de fer à haut degré de métallisation, c'est à dire que les coûts de la réduction directe seraient moindres.

Il ne nécessite pas non plus des additions de ferrailles, donc moins d'équipements pour la manutention et le stockage. La conception et le fonctionnement du four à résistance de laitier, font qu'il ne nécessite pas d'équipements pour le basculement, de plus il peut être utilisé pour la fabrication de ferro-alliages, tel que le ferro-manganèse.

Le fait que le procédé ne soit pas utilisé pour la production d'acier à l'échelle industrielle, il est indispensable de le tester à un niveau pouvant simuler son fonctionnement dans un contexte industriel, afin de déterminer les consommations et les coûts réels. [19]

V.2.6 Le problème de transport

V.2.6.1 Introduction

Le gisement de Gara Djebilet, "qu'il s'agit d'un investissement très lourd, notamment du fait de la situation géographique du gisement".

Il s'agit de transporter les diverses roches déblayées vers la zone de traitement (primaire ou secondaire). Dans certains cas, ce transport peut se faire directement par les pelles (distance de transport très faible).

Le plus souvent il est effectué essentiellement par tombereaux (rigides ou articulés) ou par bandes transporteuses. Sur de très longues distances, des voies de chemins de fer peuvent être construites

Resté au stade de la « préfaisabilité », le dernier « projet intégré de Gara Djebilet », mis sur pied en 2005, prévoyait aussi bien l'exploitation proprement dite jusqu'à la production du fer.

Ce projet intégrait l'extraction du minerai de fer avec option pour son enrichissement sur place, son transport par voie ferroviaire (projet de chemin de fer reliant Tindouf à Béchar) vers le nord du pays, une usine sidérurgique proche d'un port en cas d'exportation

D'une partie du produit et la construction d'une cité minière près du site appelé à accueillir une importante main d'œuvre.



Figure V.3. L'opération de chargement du minerai de fer dans les wagons



Figure V.4. Assemblages des moyens transports pour l'opération de chargement

V.2.6.2 Les modes de transport

Il y a trois modes possibles pour transporter le minerai de gara Djebilet

- A) Les transports ferroviaires
- B) Les transports maritimes
- C) Les transports par pipe

La concurrence et la complémentarité des modes routier et ferroviaire Depuis quelques années, même s'ils sont complémentaires au transport maritime, les transporteurs ferroviaires et routiers offrent une vive concurrence aux transporteurs maritimes sur certains axes continentaux, surtout pour l'expédition des produits tels que l'aluminium, le papier et l'essence.

Les transports maritime, ferroviaire et routier doivent être plus complémentaires que jamais. Les gains de trafic d'un mode sur l'autre à court terme, s'ils ne sont pas basés sur des facteurs économiques qui tiennent compte de l'ensemble des coûts, représentent à long terme un déséquilibre de l'ensemble du système de transport intermodal Le défi des prochaines années consistera, pour les partenaires des divers modes, à développer une complémentarité mutuellement bénéfique, à l'avantage des expéditeurs et de toute la société.

A) Les transports ferroviaires

1- Une voie ferroviaire Tindouf-Abadla

S'agissant du transport des ressources minières du gisement de Gara-Djebilet, M. Zoua a signalé le lancement d'une étude pour le raccordement, par voie ferroviaire, du site du gisement vers Abadla (Bechar) sur un tracé de 950 km.

Des experts et économistes estiment que les richesses minières que renferment la wilaya de Tindouf, précisément le gisement de Gara-Djebilet, constituent le fer de lance pour le développement économique hors hydrocarbures.

Dans l'optique de réaliser cet objectif, les études menées prévoient le transport des minerais extraits de ce gisement vers un port minier, à concrétiser concomitamment avec le projet de la voie ferrée, avant leur acheminement vers les complexes sidérurgiques d'Oran, de Jijel et d'Annaba, à des fins de transformation industrielle.

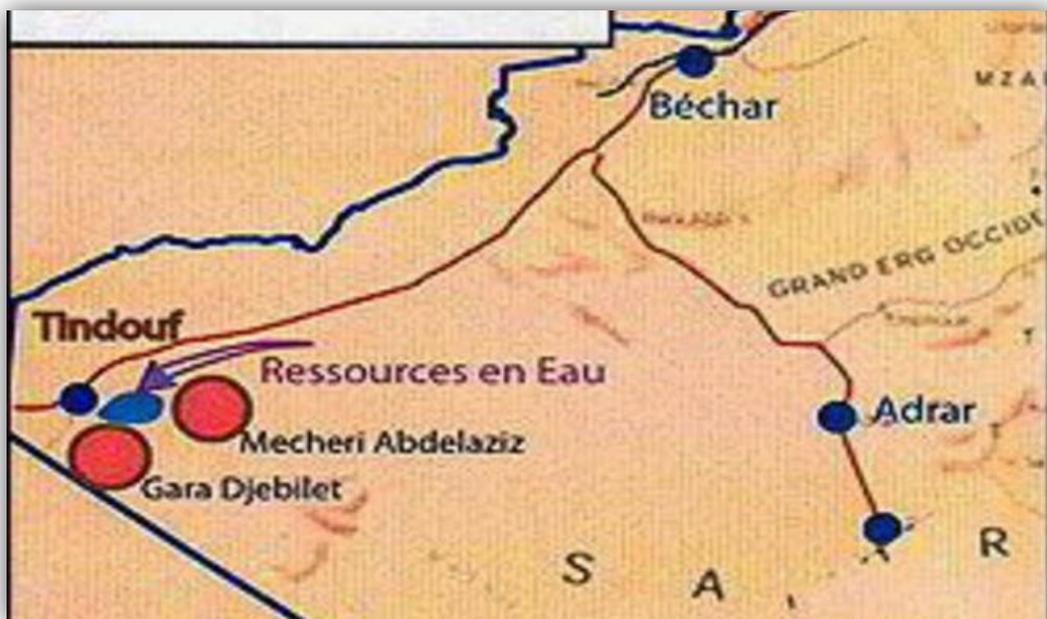


Figure V.5. La ligne ferroviaires Tindouf Béchar

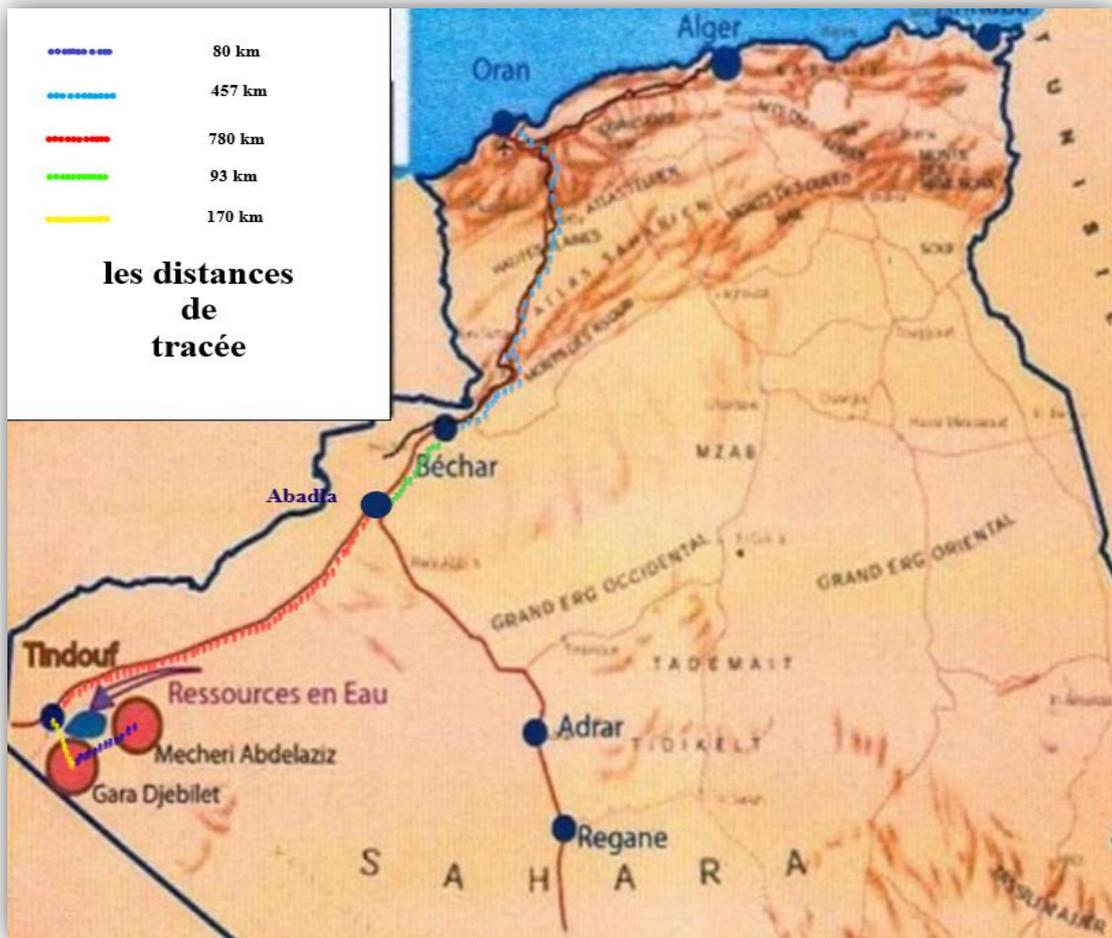


Figure V.6. Schéma de tracée

2-Lignes ferroviaires (distances)

- Gisement de fer de Gara-Djebilet ---> Beni Saf (Algérie) **1540 km.**
- Gisement de fer de Gara-Djebilet (Algérie) ---> Gisement de fer Zouerate (Mauritanie) **620 km.**
- Gisement de fer de Gara-Djebilet (Algérie) ---> Port Nouadhibou (Mauritanie) **1320Km.**

/	Gara Djebilet	Mécheri Abdelaziz	Tindouf	Abadla	Bechar	Oran
Gara Djebilet	-	80 km	170 km	950 km	1043 km	1500 km
Mécheri Abdelaziz	80 km	-	250 km	1030 km	1123 km	1580 km
Tindouf	170 km	250 km	-	780 km	883 km	1330 km
Abadla	950 km	1030 km	780 km	-	93 km	550 km
Bechar	1043 km	1123 km	883 km	93 km	-	457 km
Oran	1500 km	1580 km	1330 km	550 km	457 km	-

Tableaux V.2 tableaux représente les différentes distances entre les régions concernées pour le transport



Figure V.7. Transport de minerai de fer ferroviaire par train

De plus le gain de temps serait perdu en mer car de la Mauritanie à l'Europe en mer le trajet est plus long que de passer par les ports d'Oran ou Ghazaouet.



Figure V.8. Port industriel à Oran, Algérie

3- Transport ferroviaire pour le secteur minier

Les services de planification, d'ingénierie, d'implantation et d'exploitation de chemins de fer dans les secteurs miniers.

1. Évaluations préliminaires, études de préfaisabilité et de faisabilité.
2. Services d'ingénierie, d'approvisionnement et de gestion des travaux.
3. Services techniques.
4. Planification de l'exploitation et assistance à la maintenance.
5. Institutionnel.

4-Étude de préfaisabilité ferroviaire pour le projet

Effectuer une étude exploratoire pour évaluer la faisabilité du transport de la production de minerai de fer par chemin de fer, évaluer les coûts d'investissements en cause et déterminer le coût du transport par tonne de minerai de fer.

Couvrir :

- Évaluation de la capacité latente du chemin de fer dans sa configuration actuelle, compte tenu de la croissance prévue de la demande de transport ferroviaire au cours des prochaines années ;

- Détermination de la taille et de la capacité de transport du train pouvant être utilisées sur le réseau existant ;
- Préparation d'un alignement de la liaison ferroviaire nécessaire pour connecter la mine au chemin de fer et pour le terminal de chargement à la mine ;
- Estimation du coût de la construction de la liaison ferroviaire et des terminaux de chemin de fer à la mine et au port.
- Évaluation du travail nécessaire pour augmenter la capacité du chemin de fer, afin qu'il puisse subvenir à la demande supplémentaire induite par le trafic ;
- Élaboration d'une stratégie globale pour l'exploitation et la maintenance des trains desservant la mine ;
- Détermination de la taille de la flotte de wagons et de locomotives nécessaires pour transporter le tonnage annuel prévu de minerai de fer, et estimer le coût d'acquisition de cet équipement ;
- Évaluation du coût d'entretien du matériel roulant et coûts d'investissement pour la construction des installations d'entretien appropriées.

B) Les transports maritimes

La très grande capacité de ces navires permet aux transporteurs de réaliser des économies d'échelles importantes sur les coûts engendrés par le transport. Ils sont donc très appréciés des sociétés impliquées dans le commerce de matières premières à gros volumes comme le minerai de fer ou le charbon.

Leur taille est également une donnée à prendre en compte d'un point de vue pratique, car ils ne peuvent pas emprunter toutes les voies maritimes et nécessitent des infrastructures portuaires spécialement adaptées comme, par exemple, des terminaux en eau profonde pour les accueillir.

Le transport maritime étant un marché soumis aux règles de l'offre et de la demande, le développement d'une grande flotte de navires vraquiers destinés principalement à effectuer la liaison, ferait considérablement augmenter l'offre et dans le même temps chuter les prix.



Figure V.9. Bateaux de transport entrain de chargée

C) Transport par Pipe

La dernière catégorie de transport par conduite s'applique aux produits solides à fine granulométrie. Elle commence seulement à se répandre, mais avec une certaine hésitation et ce pour plusieurs raisons dont certaines rappellent étrangement celles qui ont prélué à l'établissement des premiers oléoducs.

Ce type de transport permet le cheminement de charbon, de minerais (par exemple de fer, de cuivre et d'aluminium), de calcaire, voire de ciment.

Dans tous les cas, il s'agit du transport de produits bruts des lieux d'exploitation ou de débarquement vers des centres de transformation ou de consommation situés parfois à plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres. [31]



Figure V.10. Transport par pipe

1- Caractéristiques techniques

A côté du choix de l'itinéraire, trois caractéristiques déterminent le choix du transport par conduite sur le plan technique : les tuyaux, la pression et la viscosité des produits.

En pratique, l'évitement d'obstacles (la nature des terrains, la pente, les équipements et infrastructures divers et les lieux habités) ou la desserte de certains endroits privilégiés provoque des allongements plus ou moins longs ; ces derniers oscillent entre deux et dix, voire vingt pour cent dans les cas extrêmes.

Les matières solides doivent être réduites en particules ne dépassant pas une certaine dimension. Elles sont alors mélangées avec de l'eau dans des proportions de 30 à 50 % en vue de maintenir les particules solides en suspension pendant le cheminement et, à l'arrivée, une centrifugation sépare l'eau des particules solides.

Si l'on ne considère que les transports à longue distance, on peut pratiquement considérer les limites maxima des grains en fonction de leur densité de la façon suivante :

- Densité 1,4 (charbon) : grains inférieurs à 2 mm,
- Densité 2,5 à 3 (argile, calcaire) : grains inférieurs à 0,3 mm,
- Densité 4,5 à 5 (concentrés de fer, cuivre, etc.) : grains inférieurs à 0,15 MM. [31]

2- Caractéristiques économiques

L'intérêt du transport par conduite est double face aux autres moyens de transport, les charges d'exploitation sont faibles et l'investissement total est faible pour un trafic donné.

Par contre, une conduite est construite en fonction d'une dimension correspondant à un débit donné, son tracé est immuable et elle n'emprunte aucun des éléments d'infrastructure des autres moyens de transport. [31]

3- Avantages et désavantages

a) Avantages

Les transports par conduite présentent des caractéristiques pouvant être considérées comme autant d'avantages.

Le tracé est sensiblement rectiligne et, de ce fait, ces transports permettent de réduire les distances.

Sur le plan économique, l'oléoduc l'emporte sur le rail à partir d'un transport annuel de 0,5 Mt et sur la voie d'eau à partir de 1 Mt pour les convois non poussés et de 2 à 4 Mt pour les convois poussés.

Au-delà de 5 Mt par an, l'oléoduc l'emporte donc sur tous les autres modes de transport, à l'exception du transport par pétroliers géants et il est facile de comprendre que le transport par conduite ait provoqué la diminution du trafic des hydrocarbures par les autres modes de transport.

Si, sur de longues distances, le transport par conduite n'est économique que pour des tonnages supérieurs à 0,5, voire 1 Mt par an et pour des produits de faible granulométrie (d'autant plus faible que le produit est dense), il peut devenir économiquement rentable sur de courtes distances grâce à la suppression de certains postes comme ceux de chargement et de déchargement. [31]

b) Désavantages

Le coût de premier établissement est évidemment lié à la longueur de la canalisation à construire ; de plus, il varie non seulement en fonction du débit, des travaux de pose et des équipements divers, mais aussi en fonction des divers obstacles rencontrés (types de terrains et de régions, nombre et importance de points spéciaux traversés, droits d'expropriation.)

Le transport par canalisations est encore trop peu utilisé en tant que moyen de transport à part entière. Cela pose une série de problèmes, entre autres une sur-utilisation des autres modes de transport :

- L'espace : chaque fois qu'une canalisation doit être placée, il faut chercher un tracé car il n'y a pas assez de place/d'espace prévu pour les pipelines dans les plans d'aménagements du territoire et il existe aussi des problèmes physiques aigus.

- Les travaux d'infrastructures pour la route, le rail et la voie d'eau sont généralement entièrement financés par de l'argent public alors que les entreprises qui veulent transporter leurs marchandises par pipelines doivent elles-mêmes en assumer les coûts.

- Le coût d'installation des canalisations (400.000 €/km pour de moyennes/petites canalisations) ainsi que leurs coûts opérationnels sont élevés. En conséquence, le return on investment (ROI) est inférieur au hurdle rate, et dans la majorité des cas, la période de pay-back est de 15 ans. Ajoutez à cela un faible taux d'utilisation des capacités les premières années, et vous avez la liste des éléments qui constituent souvent un obstacle au développement rapide du réseau de pipelines. [31]

V.2.6.3 Etudes d'exploitation, de transport et de commercialisation

Dans les années 70, SONÀREM a fait faire plusieurs études d'exploitations d'évacuation et d'exportation des minerais de Gara Djebilet. Ces études ont montré que l'extraction peut être menée en carrière sans grande difficulté.

Dans le domaine du transport 3 grandes variantes ont été explorées : évacuation vers la Méditerranée sur le territoire Algérien sur une distance de l'ordre de 1500 km, évacuation par l'Atlantique à travers le Maroc sur distance de l'ordre de 500 km et par la Mauritanie par le port de Nouadibou.

Dans tous les cas de figures, la construction d'un port en eau profonde s'imposait. Enfin dans le domaine de la commercialisation la situation du marché mondial

caractérisée par l'abondance de l'offre de minerais riches ne permettait pas de trouver de débouchés aux minerais de Gara Djebilet.

Le transport du minerai de gara-Djebilet vers le coté Algérienne doit se faire sur une distance de l'ordre de 1500 km ce qui implique un cout de transport très élevé, reflet d'investissements lourds en voie ferrée et en matériel ferroviaire et de frais d'exploitation prohibitifs.

Ce cout de transport du point de fer est aggravé par le fait que le minerai est relativement pauvre, (57 %). En fait ce cout affecte sérieusement la rentabilité du projet minier.

Pour réduire sensiblement le cout de transport il faudrait transformer sur place, à la mine, le minerai en éponge de fer, ce qui grâce à l'élimination de l'oxygène des oxydes, diminue la charge à transporter de l'ordre d'un tiers. Ce qui signifie que la transformation de 15 MT de minerai en 10 MT d'éponge de fer entraîne une économie de transport équivalent à 5 MT de minerai.

Dans l'hypothèse d'une Evacuation par l'Atlantique, cette Economique reste valable.

La réduction directe du minerai de fer à la mine de Gara-Djebilet impliquerait la construction d'un gazoduc de 1200 à 1500 km entre Hassi Rme1 et la mine. Ce gazoduc serait amorti partiellement par l'alimentation des villes du Sud, qu'il desservirait. [23]

Le coût du transport de la tonne de minerai de fer avait une incidence directe sur son prix de revient. En comparant ces diverses données, il résulterait que le coût du transport représenterait :

- 4 fois le coût de l'extraction, en passant par Arzew.
- 3,3 fois le coût de l'extraction, en passant par Ghazaouet.
- 2 fois le coût de l'extraction, en passant par La Gazelle.
- 1,75 fois le coût de l'extraction, en passant par Tarfaya.



Figure V.11.Chargement de minerai de fer dans les bateaux de transport

V.2.6.4 Conclusion

Le minerai de Gara Djebilet est bon, riche en fer et sa teneur en phosphore (0,8%) n'est pas un handicap puisque éliminé en métallurgie. Le développement minier doit donc viser 20 millions de tonnes de minerais qui seront broyés ,enrichis pour réduire le stérile et pelletisé (fabrication de boulettes de fer).Ce sera donc une mine géante à ciel ouvert qui nécessitera des pelleteuse géantes de l'ordre de 40 à 50 m³ par godet ,d'immenses transporteurs par bandes, des installations de broyages géantes, ainsi que trois installations de pelletisation de 6-7 millions de tonnes chacune (théoriquement, car ce sont des technologies très proches d'une capacité de production de 18 millions de tonnes de ciment à Gara Djebilet).

Il s'agira aussi de ramener ce minerai pelletisé vers le Nord soit une voie ferrée de 700 KM pour rejoindre Bechar d'où ces convois de 300 wagons de 100 tonnes chacun et trois locomotives pourront prendre la voie ferrée vers Mohammedia et vers Tiaret à partir de la nouvelle voie Saida Tiaret ce qui permettrait d'alimenter les deux sites de l'Est du Pays par la rocade ferroviaire des hauts plateaux ; il est absurde économiquement de demander à rejoindre sur 500 km la côte atlantique pour transborder ce minerais et le débarquer par la suite sur les ports d'Arzew, de Djendjen et de Annaba.

Les études d'avant-projet définitif de la ligne ferroviaire Gara Djebilet Bechar ont été faites à la fin des années 70 avec la firme américaine Ford Bacon et ces études financées alors par Sonatrach sont disponibles auprès de la SNTF, de Sonatrach (DOP) et du Ministère de l'Industrie. L'exemple de la réalisation par les moyens algériens de la rocade ferroviaire des hauts plateaux Ain Touta Ain Oussera Tiaret devrait servir d'exemple pour la réalisation de la voie ferrée Béchar Gara Djebilet et cela ouvrirait les futures perspectives de rallier par voie ferrée Abidjan et Accra ainsi que la transversale Lagos Dakar.

C'est à dire que le développement ferroviaire de la dorsale occidentale de notre pays ouvrirait d'immenses perspectives locales et africaines.

L'Algérie pourra renoncer à l'importation du fer en 2025, grâce au projet de Gara Djebilet (Tindouf), avec la possibilité de s'orienter vers l'exportation.

V.2.6.5 Le rôle du gaz naturel dans le projet Gara Djebilet

Le rôle du gaz naturel algérien comme source d'énergie pour la transformation du minerai de fer da Gara-Djebilet pourrait être capital avec l'application de la technique de la réduction directe à grands échelle.

En effet, la filière du haut fourneau choisie dans le projet de la Macta a l'inconvénient majeur d'utiliser du charbon ou du coke important pour la réduction du minerai en fonte. La consommation serait de l'ordre de 5 MT de coke ou 8 MT de charbon pour une production de fonte de 10 MT.

Or, la réduction directe permet de remplacer le coke par le gaz naturel, ce qui évite l'importation de charbon. La réduction directe au gaz naturel permet d'obtenir une éponge de fer d'une teneur de 70 à 80 % Fe, ce qui est confirmé par les essais faits par SIDER.

Cette éponge de fer peut être utilisée de plusieurs manières :

- Comme charge de haut fourneau ou elle joue le rôle d'un minerai très riche.
- Comme charge de four électrique ou on obtient directement l'acier ou encore dans les convertisseurs à oxygènes ou la ferraille.

La consommation de gaz naturel par tonne d'éponge est de l'ordre de 500 NM³, soit une consommation de l'ordre de 5 milliards de m³ pour une production de 10 MT d'éponge qui correspondent à la transformation de 15 MT de minerai de fer de Gara Djebilet. (Projet de mise en valeur-ferphos).

Recommandations

Le projet d'exploitation du gisement de fer de Gara-Djebilet ouvre de larges perspectives de développement dans le sud-ouest du pays et prévoit de répondre aux besoins du secteur de l'industrie en cette matière essentielle.

En partant de l'hypothèse qu'une solution économiquement viable pourrait être confirmée au cours de l'année pour le problème du phosphore, et que les installations d'extraction, de traitement et de transformation pourraient être menées à leur terme d'ici une période de bien déterminée, la mise en œuvre des autres infrastructures (rail, électricité, routes, eau, gaz), si elle n'est pas lancée en parallèle et de manière rigoureuse, est de nature à se traduire par des délais préjudiciables.

Une telle situation pèsera sur le coût de réalisation du projet et sa rentabilité, reportant ainsi tous les impacts et bénéfices qui y sont attendus.

Le défi des infrastructures de transports, d'évacuations et de production énergétique doit être pris en considération.

- Le principal défi des projets miniers est la distance et l'absence d'infrastructures de transport adaptées.

- Les Projets miniers sont des projets intégrés, plus complexes que le développement d'une mine seule.

- Avant de pouvoir évacuer la future production minière, il sera nécessaire de réhabiliter les voies de chemin de fer ou d'en créer de nouvelles.

- Prévoir le transport du minerai enrichi depuis le site de la mine jusqu'au futur port minéralier par transport combiné (camion, pipeline. Chemin de fer,).

- . Toutefois il est nécessaire de réhabiliter la voie ferrée et de moderniser la ligne entre Bechar ET Oran.

- Étudier la mise en place d'une liaison ferroviaire, entre le site de Gara Djebilet et Mechri Abdelaziz et Tindouf et la construction d'une ligne de chemin de fer entre Tindouf et Bechar et Oran le futur port minéralier.

La nécessité de poursuivre les efforts en vue de valoriser les ressources minières que recèle le gisement de Gara Djebilet et Mecheri Abdelaziz, mettant l'accent sur l'importance d'entamer, dans les plus brefs délais, l'exploitation effective de la mine de fer.

Conclusion générale

Le projet de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz possède des problèmes les plus importants est la présence d'un pourcentage élevé de phosphore P₂O₅ dans le minerai de fer, ce qui a incité de nombreuses entreprises internationales à mener des études approfondies pour réduire le pourcentage de phosphore au pourcentage acceptable pour l'utilisation.

Le minerai de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz est un minerai sédimentaire oolithique ayant plus ou moins subi des phénomènes d'oxydation. Les oolithes sont constitués par la sidérose et le chlorite. C'est un minerai acide contenant des teneurs en SiO₂ élevées, d'Al₂O₃ (4 à 5%), de phosphore (0.8%) et d'arsenic (0.03%).

Le minerai de fer de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz a connu plusieurs essais d'enrichissement plus ou moins détaillés, qui ont été réalisés par des organisations diverses, avec des résultats variables.

Compte tenu des travaux et des études réalisées sur le minerai de Fer de Gara Djebilet, et des résultats qui en découlent, notamment, ceux liés à la sidérurgie, la mise en place d'un pôle sidérurgique constituera un méga projet, structurant et stratégique pour l'économie nationale.

Le problème de transport que la longue distance entre la mine de Gara Djebilet et le port le plus proche pour l'exportation, ce qui se traduit par des coûts très élevés avec la possibilité de transporter du minerai de fer via le port de Nouadhibou en Mauritanie, au Sahara occidental ou au Maroc. Avec la possibilité de construire une aciérie à Tindouf à proximité de la mine et d'établir une voie ferrée reliant Tindouf et Béchar afin de la transférer vers le port d'Oran.

La bonne solution serait de faire de la métallurgie sur place sans avoir à transporter les minerais bruts, ce qui réduira les charges à transporter de 50%.

Une étude de faisabilité est un outil qui permet d'évaluer la rentabilité économique d'un projet. En d'autres termes, l'étude de faisabilité vise à analyser la faisabilité économique, organisationnelle et technique de projet. C'est un outil de décision nécessaire pour envisager la suite qu'il convient de donner au projet.

Ces études de pré-faisabilité et de faisabilité porteront sur l'ensemble des aspects de la mise en exploitation du gisement. Il s'agit de trouver "le meilleur compromis entre les investissements nécessaires pour l'extraction, le traitement et le transport du minerai jusqu'à sa livraison.

De ce fait, il serait nécessaire de réaliser une étude de faisabilité pour la mise en valeur du gisement de fer de Gara Djebilet et Mécheri Abdelaziz avec comme objectifs essentiels la création d'une aciérie et la possibilité de production d'un minerai de fer marchand débarrassé de ses éléments pénalisants.

L'étude de faisabilité dont le contenu sera défini avec précision plus tard devrait comprendre notamment.

1- Une analyse critique de toutes les études réalisées auparavant, ainsi que les tests récents.

2- Des essais de traitements et d'enrichissement en phase pilotent sur le minerai pour la production de minerai de fer marchand.

3- Le schéma technologique le plus adapté pour la production d'acier à partir du minerai de fer, non débarrassé de ses éléments pénalisants au cours de la phase de traitement.

4- Les conditions techniques et économiques de mise en valeur du gisement, vu sa situation géographique, son isolement et les grands investissements nécessaires pour sa réalisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **ALGERIE-FOCUS., 2013.** Gara Djebilet, /WP-Content/Uploadas//Gara-Djebilet. ANAM, Carte géologique de la bordure sud du bassin de Tindouf et localisation du gisement de fer. Gara Djebilet.
- [2] **ARCELOR MITTAL TEBESSA, 2012.** Mine de Boukhadra. Division Etudes et Développement (2012). Plan d'exploitation et de développement de la mine de Boukhadra Année2012. Rapport inédit, 30 p.
- [3] **APS : Algérie presse service**
- [4] **BADJOUJ Salem.** Thèse Présentée par BADJOUJ Salem En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences –Mines Option : Valorisation et Gestion des Ressources Minérales, thème Caractérisation physico-chimique et traitement du minerai de fer du gisement de Gara – Djebilet – Tindouf.
- [5] **BITAM L et al. 1996.** Les formations paléozoïques anté-carbonifères du sous-bassin de Djebilet (flanc sud du bassin de Tindouf, Nord-Ouest du Sahara Algérien). Mémoires du Service Géologique de l'Algérie,
- [6] **BERSI, M.2016.** Aero gravity and remote sensing observations of an iron deposit in Gara Djebilet, southwestern Algeria. Journal of African Earth Science.
- [7] **BUBENICEK L et al. 2017.** « FER - Minerais de fer », Encyclopédie Universalise
- [8] **CHAABIA Raouf.** Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Mines, thème Caractérisation physico-chimique et enrichissement des minerais de fer : cas du gisement d'Anini, Sétif -Algérie
- [9] **CHABOU M C., 2001.** Etude Pétrographique et Géochimique du Magmatisme Mésozoïque de l'ouest de la Plate-forme Saharienne. Mémoire de Magister, ENSP, Alger.
- [10] **CNUCED.** Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement, site web : <https://unctad.org/fr/press-material/le-secteur-du-minerai-de-fer-sest-repris-en-2016-selon-un-rapport-de-la-cnuced>
- [11] **DINARD., Janvier 2012.** C.N.R.S, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Jérôme Fournier, Chantal Bonnot-Courtois Raphaël Paris, Olivier Valloire, Monique Vote.
- [12] **DURAND C., 1893.** Industrie minière. Lorraine. 1893, p.15.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [13] **Google Earth.** site web
- [14] **GOSELIN A et al. 1999.** Protocole D' évaluation De La Traitabilité Des Sédiments, Des Sols Et Des Boues A L' aide Des Technologies Minéralurgiques. Sainte-Foy, Canada, pp. 148.
- [15] **GROVES M J et al. 1972.** "Particule Size Analysis", Soc. Analyt. Chemistry, London.
- [16] **HOENIG M et al. 2002.** Préparation d'échantillons de l'environnement pour analyse minérale, Dossier P4150, Techniques de l'Ingénieur, p 12.
- [17] **LAPPARENT A. 1886.** Géologie des oolithes. 1886, p.65.
- [18] **MATHERON G., 1955.** Le Gisement de fer de Gara Djebilet, extrait du bulletin scientifique B.R.M.A. N°2.
- [19] **NOTE** de gisement de fer de gara Djebilet par DGM direction général des mines
- [20] **PEREZ JB., 2013.** « Notes sur les oolithes », Spéléo-Info Meurthe et Moselle no 33 Comité départemental de spéléologie de Meurthe-et-Moselle, Villers-lès-Nancy, p. 2-6.
- [21] **PERRIN, 1994.** Histoire des Alaouites, Benoit-Méchin, Histoire des Alaouites, Librairie Académique, Page 165.
- [22] **PREVOT C., 2013.** Les perles des cavernes du Spéléo-drome, Le P'tit Usania no 178 Union spéléologique de l'agglomération nancéienne, Nancy, p. 1-2.v
- [23] **PROJET DE MISE EN VALEUR FERFH :** Projet de mise en valeur du gisement de fer Gara-Djebilet ferphos.
- [24] **PLAZIAT JC., 2017.** « OOLITES ou OOLITHES », Encyclopédie Universalise
- [25] **RNCAN.** Site web : <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/faits-sur-le-minerai-de-fer/20594>
- [26] **ROUAIGUIA Issam.** Thèse Présentée par **ROUAIGUIA Issam** En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, thème contribution à l'étude d'une valorisation des déchets miniers, cas des stériles francs de la mine de Boukhadra- Tébessa

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [27] **STATISTA**. Siteweb: <https://fr.statista.com/marches/1148/themes/1297/exploitation-miniere-metaux-et-mineraux/>
- [28] **TALHA elbatoul et SAYAH khayra**. Projet de fin de cycle Elaboration de la méthode d'exploitation de gisement de fer du Gara Djebilet-Tindouf
- [29] **USGS., 2012**. Programme de ressources de minerais de l'étude géologique des Etats-Unis (USGS): <http://www.indexmundi.com/minerals/?product=iron%20ore>.
- [30] **YAICHI ABDELAZIZ & ZAOUI ABDALLAH**. Mémoire présenté par Mr. yaichi Abdelaziz & Mr. zaoui abdallahen vue de l'obtention du diplôme de master en : géologie
- [31] B11/leti11 de la Société géographique de Liège, N° 14, 14e année, avril 1978, pp. 183-200. Les transports par conduite : aspects techniques et économiques par E. MÉRENNE