



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

Etude d'exploitation des gisements de fer de Gara Djebilet et Mechri Abdelaziz.

Présenté et soutenu par
BEN DEBSSA - Bilal

Devant le jury:

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

Promotion 2021-2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي: جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (م)..... ج. دبست جلال..... الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية/ رخصة السياقة رقم: 100046176 والصادرة بتاريخ 2016/03/15
المسجل بمعهد الكنايسم قسم السكوني لوس
والمكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها:

..... Etude d'exploitation des gisements de fer
..... de Ghara Djebilet et Flechri Abdelazizy

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية
المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه.

15 جوان 2022

التاريخ:

إمضاء المعني (م)





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم 55 مؤرخ في: 2022/05/19

يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12- 363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل ويتم المرسوم التنفيذي رقم 09 - 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 والمتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه، وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،

- وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة.

- وبموجب القرار رقم 921 المؤرخ في 25 أوت 2021 المعدل للملحق القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 والمتضمن موائمة التكوينات في الماستر المؤهلة بعنوان جامعة تبسة ، اختصاص إستغلال المناجم ،

وبموجب المقرر رقم 55 المؤرخ في 19 ماي 2022

وبعد الاطلاع على مقرر تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في

يقرّر ما يأتي:

المادة الأولى: يُرخصُ للطالب(ة) بن دبسة بلال، المولود (ة) بتاريخ 1996/05/13 بـ صبحة - الشلف، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Eude d'exploitation de gisement de Ghar Djebilet

المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلم نسخة عنه إلى الطالب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمان نشره عبر فضاءات المؤسسة المادية والرقمية.

المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملفّ البيداغوجي للطالب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2022/05/19

عن المدير، ويتفويض منه

مدير معهد المناجم

مدير معهد المناجم

د. عولسي زويبير





مقرر رقم 053 مؤرخ في: 2022/05/19

يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12- 363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل ويتم المرسوم التنفيذي رقم 09 - 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،

- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،

- وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة.

- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للمحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات

تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص استغلال المناجم

- وبعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في.....،

يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: تُعيّن بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحضّرة من طرف الطالب (ة):

بن دبسة بلال، المولود (ة) بتاريخ 1996/05/13 بصيحة - الشلف،

والموسومة ب Eude d'exploitation de gisement de Ghar Djebilet

والمسجّل (ة) بمعهد المناجم

المادة 2: تتشكّل اللجنة المشار إليها في المادة الأولى من الأعضاء الآتي ذكرهم:

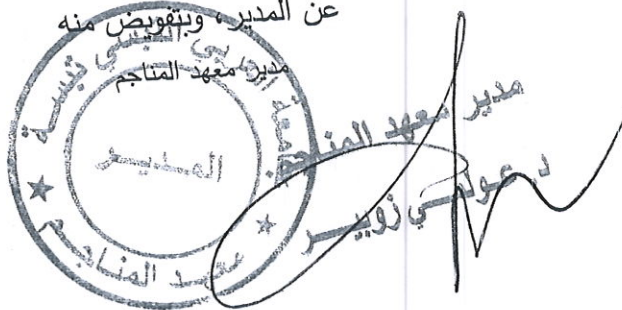
رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصّفة
1	قدري العربي	بروفيسور	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
2	دبوز مختار	أستاذ مساعد - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	مشرفا
3	مراح شافية	أستاذة محاضرة - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنة
4	سعداوي صالح	أستاذ مساعد - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنا

المادة 3: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يُسلّم نسخة عنه إلى كلّ من الطالب المعني والمشرف على المذكرة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه.

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملفّ البيداغوجي للطالب المعني، وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُزّر ب تبسة، في: 2022/05/19

عن المدير، وبتهويّض منه





Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 -BEN DEBSSA Bilal

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

Thème : **Etude 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	
Chapitre VI : problématique	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Au nom du Dieu le Clément le Miséricordieux

Dédicace

Je dédie ce mémoire à : À Mon très cher père, qui me nourrit toujours de ses sages conseils. À Ma très chère mère, celle qui m'apporte toujours sans condition son amour. À Ma chère sœur, qui me soutient toujours. À

Toutes mes grandes familles :

BEN DEBSSA Tous mes enseignants.

À Tous mes amis.

Au nom du Dieu le Clément le Miséricordieux

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné la patience d'achever ce travail. Nous tenons à remercier M. DEBOUZE Mokhtar, Directeur du Mémoire de Fin d'Études durant ces quatre mois, pour sa présence et son aide précieuse. Son expérience et sa tendance à exiger le maximum de ses étudiants m'ont fait énormément progresser, tant techniquement que professionnellement. Cela nous permet également de remercier M. GADRI Al-Arabi, qui nous a fait l'honneur de présidence le jury, et M. SAADAWI Salah. Qui a accepté de participer au jury en tant qu'examinateur de thèse. et Mme MERAH Chafia. Qui a accepté de participer à ce jury en tant qu'examinatrice du mémoire. Nous remercions également tous ceux qui nous ont aidés, conseillés et fait confiance, nous permettant ainsi d'obtenir des critères très importants, bien que confidentiels, pour la conduite de mes études dans mon domaine de prédilection, dans un sujet plus intéressant que l'éducation et le coaching. Nous remercions tous les enseignants du département de génie minier, en particulier les professeurs de mines. Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont eu l'honneur de nous aider à faire avancer ce travail.

BEN DEBSSA - Bilal

Résumé :

Le projet d'exploitation du gisement de fer de Ghara-Djebilet et Mechri Abdelaziz (Tindouf), 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.

Les résultats positifs des analyses liées à l'éventuelle déphosphoration du minerai de fer de ce gisement, établi à 0,8%, et qui constituait jusque-là une des contraintes ayant retardé l'exploitation de ce gisement et d'autres études sur les besoins liés à la disponibilité de l'énergie nécessaire constituant une des grandes préoccupations, sont encourageants.

La nécessité de réaliser des infrastructures de transport est la contrainte considérée en cette étude.

Dans la perspective de l'exploitation des ressources minières que renferme le site de Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz (Tindouf), et dans l'optique de réaliser cet objectif, notre étude prévoit le transport des minerais extraits de ce gisement vers un port minier, et assurer son acheminement vers les complexes sidérurgiques d'Oran, de Jijel et d'Annaba, à des fins de transformation industrielle.

Il s'agit de trouver le meilleur compromis entre les différents modes d'évacuation du minerai sur les différents tracés proposés, le transport par l'atlantique ou plusieurs solutions seront envisagées ainsi que le transport à partir du site minier vers le nord du pays sera incontournable.

Mots Clés : Projet-Étude-Perspective-Transport- Tracés- Choix rationnel- Problématique.

ملخص:

يفتح مشروع استغلال رواسب الحديد غارا - جبيلات ومشري عبد العزيز (تندوف) آفاقا تنموية واسعة في جنوب غرب البلاد ويخطط لتلبية احتياجات القطاع الصناعي في هذا المجال الأساسي.

والنتائج الإيجابية للتحليلات المتعلقة بإمكانية إزالة الفوسفور من خام الحديد من هذه الرواسب، التي حددت عند 0.8 في المئة، والتي كانت حتى ذلك الحين واحدة من القيود التي أخرت استغلال هذه الرواسب وغيرها من الدراسات المتعلقة بالاحتياجات المتعلقة بتوافر الطاقة اللازمة التي تشكل أحد الشواغل الرئيسية، مشجعة الحاجة إلى بناء البنية التحتية للنقل هي القيد الذي تم النظر فيه في هذه الدراسة.

وبهدف استغلال الموارد المعدنية الموجودة في موقع غارا جبيلات ومشري عبد العزيز (تندوف)، وبهدف تحقيق هذا الهدف، تنص دراستنا على نقل المعادن المستخرجة من هذه الرواسب إلى ميناء تعديني، وضمان نقلها إلى مجمعات الصلب في وهران وجيجل وعنابة، لأغراض المعالجة الصناعية. إنها مسألة إيجاد أفضل حل وسط بين مختلف طرق إخلاء الخام على الطرق المقترحة، وسيتم النظر في النقل عبر المحيط الأطلسي أو عدة حلول، وكذلك النقل من موقع التعدين إلى شمال البلاد سيكون ضروريا.

الكلمات المفتاحية: مشروع - دراسة - منظور - نقل - طرق - اختيار عقلاني - إشكالية.

Abstract:

The project to exploit the Ghara-Djebilet and Mechri Abdelaziz iron deposit (Tindouf) opens up broad development prospects in the south-west of the country and plans to meet the needs of the industrial sector in this essential area.

The positive results of the analyses related to the possible dephosphorization of the iron ore of this deposit, established at 0.8%, and which was until then one of the constraints that delayed the exploitation of this deposit and other studies on the needs related to the availability of the necessary energy constituting one of the major concerns, are encouraging.

The need to build transport infrastructure is the constraint considered in this study.

With a view to exploiting the mineral resources contained in the Ghara Djebilet and Mechri Abdelaziz (Tindouf) site, and with a view to achieving this objective, our study provides for the transport of minerals extracted from this deposit to a mining port and ensure its transport to the Steel Complexes of Oran, Jijel and Annaba, for industrial processing purposes.

It is a question of finding the best compromise between the different modes of evacuation of the ore on the different proposed routes, transport by the Atlantic or several solutions will be considered as well as transport from the mining site to the north of the country will be essential.

Keywords: Project-Study-Perspective-Transport- Routes- Rational choice- Problematic.

Table de matière

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
ملخص.....	IV
Abstract.....	V
Table des matières.....	VI
Abréviations et symboles.....	XIII
Liste des Figures	XV
Liste des tableaux.....	XVIII
Introduction générale.....	01

CHAPITRE I : SITUATION SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LE MINERAI DE FER :

I.1. Production de minerai de fer	- 3
I.2. Utilisations de minerai de fer	- 5
Poudre de fer :	- 5
Fer radioactif (fer 59) :.....	5
Bleu de fer :	5
oxyde de fer noir :.....	6
I.3. Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019.....	6
I.4 Généralités sur les minerais de fer	7
Les sulfures :	9
Comme carbonate :	10
La magnétite :	11
L'hématite α -Fe ₂ O ₃ :.....	11
La maghémite, γ -Fe ₂ O ₃ :	11
L'ilménite :	12
Minéraux :.....	12
Traitements :.....	13
L'approvisionnement en minerai de fer :.....	13
I.5 Minerai de fer En Algérie	14
Gara Djebilet :	15
Mécheri Abdelaziz :.....	16
Ouenza :.....	16
Boukhadra.....	17
Beni Saf.....	18
Ain Mokta.....	18

Table de matière

Anini.....	19
I.6 Production du minerai de fer en Algérie	19
 Chapitre II : Situation géographique et géologique du gisement	
II.1 Situation géographique.....	20
II.1.1 Situation générale du bassin de Tindouf.....	20
II.1.2 Situation de Gara Djebilet.....	20
II.2 Situation géologique.....	21
II.2.1 géologique régionale.....	21
II.2.2 Géologie locale.....	23
II.3.Conclusion.....	24
 <i>Chapitre III : Présentation de l'état actuel, perspectives et développement du secteur</i>	
III.1 Réserves	25
Lentille Ouest	25
Lentille centre.....	25
III.2 Minéralogie.....	26
III.3 Travaux de recherche du minerai de fer de Gara Djebilet.....	28
III.4 Présentation état actuel, perspectives et développement du secteur.....	29
III.4.1 Un projet et des portées	29
III.4.2 Perspectives et développement du secteur	31
• Capacités installées et besoins en minerai.....	31
III.4.3 Lignes ferroviaires (distances)	32
III.5 Conclusion.....	33
 Chapitre V : Caractérisation physico-chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son traitement	
IV.1.Introduction.....	34
IV.2 Le minerai	34
IV.3 Caractérisation physico-chimique du minerai de fer de Gara Djebilet.....	35
IV.3.1 Analyse granulométrique	36
Essais de pré-concentration	36

Table de matière

Essais de broyage et deschlammage.....	37
Essais de broyage-flottation.....	37
Essais de séparation magnétique à basse et haute intensité, flottation.....	37
Essais à la colonne du séparateur magnétique.....	39
Essais de lixiviation.....	39
Essais de grillage-flottation.....	39
IV.3.2 Analyse des échantillons par DRX	39
IV.3.2.1 Champ d'application.....	41
IV.4 Travaux réalisés par sider (après 1980).....	43
IV.4 .1 Filières métallurgiques de valorisation du minerai gara Djebilet.....	43
IV.4.2 Essais HYLISA 1986 (Mexique).....	45
IV.4.2.1 Essais de caractérisation.....	45
IV.4.2.2 Essais de Réduction Directe	47
IV.4.2.3.Essais de fusion.....	48
IV.4. 3 Essais de valorisation par le procédé ESW (Allemagne - 1988)	52
IV.4. 4 Essais de valorisation par le procédé SNS-KAISER.....	56
IV.4. 4 .1 Principe du procédé	56
IV.4.4.2 Travaux réalisés.....	56
IV.5 Conclusion.....	57

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

V.1 Introduction.....	58
V.2 La préfaisabilité et la faisabilité d'un projet.....	59
V.2.1 Etude de préfaisabilité	59
V.2.2 Etude de faisabilité	59
V.3 Position des problèmes.....	60
V.3.1 Besoins en produits sidérurgiques	60
V.2.2 Ressources minières	62
V.2.2 .1.DONNÉES DES FORAGES HISTORIQUES.....	62
V.2.2 .2.Teneur et tonnage	63
V.2.3. Caractéristiques.....	65
V.2.4. L'opération de déphosphoration.....	66
V.2.4.1. Introduction	66
V.2.4.2 Aperçu sur la valorisation des minerais	66

Table de matière

V.2.5. Valorisation du minerai de fer de Gara Djebilet par la filière réduction directe four électrique à arc	67
a) Essais de caractérisation.....	67
b) Essais de réduction directe.....	69
c) Essais de fusion	69
V.2.5.1 Valorisation par le Haut Fourneau.....	69
V.2.5.2.Essais de valorisation par le procédé SNS-KAISER :.....	70
V.2.5.2.1.Principe du procédé :.....	70
V .3.TRAVAUX ET ETUDES RECENTS (SONATRACH).....	71
V .3.1 Etude de RIO TINTO (2006-2007)	71
Résultats de la simulation	71
V .3.2 Etude de CORUS (2008)	72
• Le programme de tests de Corus s’est articulé autour des axes suivants : ...	72
• Le but de ces essais était de déterminer :	72
V .3.3 Etude de KIGAM (2008).....	75
V .3.4 Etude réalisée par l’institut de recherche des mines et métallurgie de chine (CHANGSHA).....	75
• Programme d’essais de CITIC	76
• Minéralogie du minerai.....	76
• Composition chimique.....	76
• Traitement du minerai	77
V .4.ETUDE DE RECHERCHE SUR LE MINERAI DE FER OOLITHIQUE ...	80
V .5.Le problème de transport.....	88
Introduction.....	88
V.5.1. Les modes de transport.....	88
A) Les transports ferroviaires.....	89
B) Les transports maritimes.....	91
C) Les transports par pipe.....	92
V.6. Etudes d'exploitation et de transport :.....	95
V.6.1. Le rôle du gaz naturel dans le projet Gara Djebilet	96
 Chapitre VI : problématique organigramme.....	 98

Table de matière

VI .Gisements de fer en Algérie.....	99
VI .1.Aperçu :	99
VI .2.En Algérie	99
Le Fer.....	100
VI .3.Le gisement ferrifère de l'Ouenza	.101
Identification.....	101
VI .3.1.Gisement de l'Ouenza :	101
VI .4.Le gisement ferrifère de Boukhadra	.102
VI .4.1.Gisement de Boukhadra :	102
VI .4.2.Composition minéralogiques	103
VI.4.3. Catégorie et estimation des réserves	104
VI .5.Le gisement de fer d'Anini	.104
VI .6.Gisement de Rouina	104
VI .7.La mine de sidi Maârouf.....	105
VI .8.Gisement de Ghara Djebilet	106
VI .9.Gisement de Mecheri Abdelaziz	107
VI .10.Problématique	109
VI .10.1.Présentation état actuel, perspectives et développement du secteur ...	109
Un projet et des portées	109
La première contrainte,	110
Deuxième contrainte,.....	111
La Troisième contrainte;	111
Les procédés	112
Traitement.....	112
VI .10.2.La lixiviation.....	113
VI .10.3.Techniques de lixiviation.....	113
VI .10.3.1..Lixiviation par percolation.....	114
VI .10.3.2. Lixiviation par agitation	114
VI .10.3.3. Lixiviation suppression.....	114
VI .10.4.Types de lixiviation	114
VI .10.4.1. Lixiviation chimique	114
VI .10.4.2. Lixiviation bactérienne	115
VI .11.Séparation magnétique	115
VI .11.1.Principe de séparation magnétique.....	116

Table de matière

VI .11.2.Théorie de séparation magnétique	116
VI .11.3.Types de séparation magnétique	116
- A-Séparation magnétique à basse intensité (SMBI):	116
-B- Séparation magnétique à haute intensité (SMHI):	117
-C- Séparation magnétique à haut gradient du champ:	117
-D-Séparation magnétique par voie sèche:.....	118
-E- Séparation magnétique par voie humide:	118
Distances	120
Etude sur le transport du minerai de fer	121
VI .12.Variantes en perspectives	123
VI .12.1.Introduction.....	123
Critères du choix du moyen de transport.....	123
VI .13. Choix du moyen de transport en fonction de la distance	124
Les procédés d'évacuation du minerai de fer du complexe.....	124
VI .13.1.Transport Routier.....	124
VI .13.1.1.Le transport par voie routière	124
VI .13.1.2.Le transport ferroviaire	125
VI .13.1.3Transport par Canalisation.....	126
VI .13.1.4.Le transport maritime	126
VI .14.Analyse du Processus de transport	127
VI .14.1.Introduction.....	127
VI .14.2. Une voie ferroviaire Tindouf-Abadla (Bechar).....	128
VI .14.3. Identification des gisements en étude:	129
VI .14.3.1.Localisation :.....	129
.....129	
VI .14.3.2. Etudes de mise en valeur :	129
VI .14.4.Etudes en perspectives d'exploitation et de transport : :	130
Variante A	130
Variante B	130
Variante C	130
Description.....	131
Consistance technique.....	133
Évaluation de la capacité ferroviaire.....	135
VI .15.Augmentation de la capacité du chemin de fer.....	135

Table de matière

VI .15.1. Etude de préfaisabilité ferroviaire pour le projet.....	135
VI .15.2.Transport Ferroviaire pour le secteur Minier	136
1. Évaluations préliminaires, études de préfaisabilité et de faisabilité.....	136
2. Services d'ingénierie, d'approvisionnement et de gestion des travaux	136
3. Services techniques.....	136
4. Planification de l'exploitation et assistance à la maintenance.....	137
5. Institutionnel.....	137
Lignes ferroviaires (distances)	138
Schéma des circuits et tracés des possibilités d'évacuation du minerai de fer.....	143
Conclusion générale.....	151
Recommandations.....	154
Références bibliographiques	156

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 naturals Canada
CHANGSHA	Laboratoires Chinois (CHANGSHA Research Institute of Mining and /Metallurgy)
IRSID	Institut de Recherches de la Sidérurgie Française (1961- 1977)
KRUPP dérivés	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

Abréviations et symboles

Nm

Nano mètre

Liste des figures

Figure I. 1 Production de minerai de fer par état et territoire en 2017.....	4
Figure I.2 Utilisations de minerai de fer à l'échelle mondiale, en 2019.....	6
Figure I. 3 Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019.....	7
Figure I. 4. Rocher formé de minerai de fer rubané, vieux de 2,1 milliards d'années environ (Musée minéralogique de Dresde).....	7
Figure I.5. Histoire des mines de fer.....	8
Figure I.6. Monticule de granulats de minerais de fer utilisé pour la production de l'acier.....	9
Figure I.7. Minerai de fer houiller de la Ruhr.....	10
Figure I.8. Magnétite de Bolivie.....	10
Figure I.9. Hématite : le principal minerai de fer extrait au Brésil.....	11
Figure I.10. Limonite présente dans un chapeau de fer (Rustrel, France).....	12
Figure I.11. La route nationale 50 qui mène à la mine.....	15
Figure I.12. La mine de l'Ouenza, Algérie en 1950.....	17
Figure II.1. Carte géologique de bordure sud du bassin de Tindouf.....	20
Figure II.2. Situation géographique du secteur de Gara Djebilet Ouest (D'après BITAM et al. 1996).....	21
Figure II.3. Emplacement de Gara Djebilet.....	22
Figure II.4. Carte géologique des gisements de Gara Djebilet.....	22
Figure II.5. Colonnes litho stratigraphiques et corrélations.....	24
Figure III.1. Les minerais de fer de Gara Djebilet	26
Figure IV. 1. Répartition des impuretés par fraction granulométrique du minerai de fer de Gara Djebilet concassé à moins de 1 mm.....	40
Figure IV.2. Diffractogramme de poudre.....	41
Figure IV. 3. Cliché de diffraction de la protéase virale 3CLpro cristallisée.....	42
Figure IV.4. Filières métallurgiques de valorisation du minerai gara Djebilet.....	43
Figure IV.5. Agglomération - Haut Fourneau – Convertisseur à Oxygène.....	44
Figure IV.6. Réduction directe – Four électrique arc.....	44

Liste des figures

Figure IV.7. Schéma du processus de réduction directe.....	47
Figure IV.8 Bilan énergétique des essais de réduction directe (Echantillon3).....	48
Figure IV. 9. Essais de fusion réalisés dans un four électrique à arc.....	48
Figure IV. 10 . Schéma du four de fusion et position de la lance à oxygène.....	49
Figure IV. 11. Procédure pour la fusion de l'éponge de fer.....	50
Figure IV. 12. Résultats des essais de fusion de l'éponge de fer de Gara Djebilet	50
Figure IV. 13. Ration de déphosphoration de toutes les pratiques expérimentales testées.....	51
Figure IV. 14. Four a arc 70 kw essais de fusion.....	53
Figure IV. 15. Four à arc 300 kw pour essais de fusion.....	53
Figure IV. 16. Essais SIDAR dans le four 300 KW	54
Figure V.1 Matières premières pour le haut fourneau : a) Minerai en morceaux, b) Fines de minerai, c) Pellets de minerai.....	62
Figure V.2 Pré-réduits :a) Hot DRI, b) Cold DRI, c) HBI, d) Ferrailles.....	62
Figure V.3. L'installation d'une usine sidérurgique.....	66
Figure V.4. Les technologies d'élaboration de l'acier liquid.....	67
Figure V.5. Valorisation par le Haut Fourneau.....	70
Figure V.6. Séparation magnétique à voie sèche du minerai en morceaux (- 3 mm)	73
Figure V.7. Séparation magnétique à voie humide du minerai fin (-100µm).....	74
Figure V.8. Transport de minerai de fer ferroviaire par train.....	90
Figure V.9. Schéma de tracée.....	91
Figure V.10. Bateaux de transport entrain de chargée.....	92
Figure V.11. Transport par pipe.....	93
Figure VI.1. La réalisation de la route terrestre reliant Tindouf et Zouerate.....	139
Figure VI.2. Le Chemin de fer de Zouerate à Nouadhbou (Mauritanie).....	140
Figure VI.3.: Le Chemin de fer de Zouerate à Nouadhbou (Mauritanie).....	141
Figure VI.4. Distance de Tindouf à Tan-Tan (Maroc)	141
Figure VI.5: Distance de zouerate à tindouf	144

Liste des figures

Figure VI.6: Distance de bécher à oran.	145
Figure VI.7: Distance de bécher à jijle	146
Figure VI.8. Distance de nouadhibou à tindouf.	147
Figure VI.9. Distance de ghara djebilet à Mécheri Abdelaziz.	148
Figure VI.10. Distance de Tindouf à abadla.....	149
Figure VI.11. Distance de Tindouf à Tan-Tan (Maroc)	150

Liste des tableaux

Tableau.I.1. Production minière mondiale de minerai de fer, par pays, en 2019 (dpr).	5
Tableau I.2. Les oxydes qui forment la gangue vont évidemment diminuer la teneur en fer des minerais employés.....	13
Tableau II. 1. Dimensions et plage d'épaisseurs rapportées (d'après Gris et.al 2007)	23
Tableau IV.1. Résultats de la réduction.....	34
Tableau IV.2. Composition chimique.....	35
Tableau IV .3 . Composition chimique des SMBI.....	38
Tableau IV.4. Propriétés Physiques du minerai de fer de Gara Djebilet.....	46
Tableau IV.5 Flux des gaz pendant le processus de réduction.....	47
Tableau IV .6 . Résultats expérimentaux moyens de la fusion du gara DRI.....	51
Tableau IV .7 . Analyses acier et scories pour les essais dans le four de 300 KW.....	54
Tableau V.1 . A l'horizon 2025/2030, sur la base d'hypothèses réalistes, la capacité nationale de production d'acier liquide devrait atteindre les 12 millions de Tonnes environ.....	60
Tableau V.2. Forages historiques (d'après Grey et al. 2007)	63
Tableau V.3 .Nombre de trous de forage et données d'analyse utilisés dans l'étude de Rio Tinto 2007 (d'après Gray et al. 2007)	64
Tableau V.4 : Estimations historiques de teneur et tonnage.....	65
Tableau V.5. Propriétés physiques du minerai de fer de Gara Djebilet.....	68
Tableau V.6: Résultats des essais séparation magnétique par voie humide et sèche	74
Tableau V.7. Composition chimique du bureau d'étude Coréen KIGAM.....	75
Tableau V.8. Composition minéralogique du minerai de fer de Gara Djebilet (CITIC)	76
Tableau V.9. Composition chimique du minerai de fer de Gara Djebilet.....	76
Tableau V.10. Composition chimique du minerai enrichie par SMBI.....	78
Tableau VI.1. Variantes.....	131
Tableau VI.2. des Caractéristiques pour variantes.....	134
Tableau VI.3. des données de Distances.....	138
Tableau VI.4. des données de Distances possibles.....	142

Introduction Générale

Introduction Générale

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

L'Algérie possède d'importantes réserves de minerai de fer, près de trois milliards de tonnes dans deux principaux gisements situés dans le Sud-ouest Algérien, il s'agit des gisements de Gara Djebilet et Mècheri Abdelaziz.

Ces gisements exploitables à ciel ouvert, sont moyennement riches en fer (57-58%) et sont tous les deux caractérisés par une forte teneur en phosphore (~ 0,8 %), et une gangue acide.

Soixante ans après la découverte du gisement, les multiples projets d'exploitation du gisement de Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz, de mise en valeur et développement demeurent en phases de préfaisabilité et faisabilité.

Devant l'augmentation de la demande de minerai de fer et la croissance régulière de la production d'acier dans le monde depuis 1999, et l'accélération de la consommation et de la demande mondiale à partir de 2010, le ministère de l'Énergie et des Mines et l'Agence Nationale du Patrimoine Minier lancent un appel à manifestation d'intérêt pour le développement et la mise en valeur de ces gisements de fer.

Il convient toutefois de rappeler que l'exploitation de ce gisement se heurte à 3 **problématiques majeures**, qui sont :

- La teneur élevée en phosphore dans le minerai 0,8% ;
- la disponibilité de l'énergie nécessaire à son exploitation
- la nécessité de réaliser des infrastructures de transport

La première contrainte, 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.

La valorisation de Gara Djebilet, ayant été pénalisée par la teneur élevée du minerai en phosphore et en arsenic qui rendaient son exploitation peu rentable et que le traitement

Introduction Générale

du minerai en parvenant à réduire le taux du phosphore dans le fer pour le porter de 0,8% à 0,03%.

La Deuxième contrainte, l'alimentation du projet en ressources énergétiques (gaz, électricité) et en eau, sachant par ailleurs qu'une telle activité en est grosse consommatrice, et qu'en conséquence, une attention prioritaire doit être accordée à ce projet pour le mettre dans les meilleures conditions.

La Troisième contrainte qui concerne les infrastructures nécessaires au développement et à l'exploitation du gisement (extraction, traitement, transport, transformation) ; il s'agit de :

- La réalisation de lignes de chemin de fer devant relier le site minier de Gara Djebilet à Tindouf (140 km), d'une étude pour le raccordement, par voie ferroviaire du site du gisement vers Abadla (Bechar) sur un tracé de 950 km, et d'une ligne reliant Béchar à Oran (674 km), ou tout au moins réaliser son dédoublement sur une partie du tronçon ;
- réalisation des infrastructures de base (site minier, routes et voies d'accès).

Toutes ces infrastructures et autres moyens logistiques ajoutés aux investissements dans les équipements de production vont nécessiter la mobilisation de moyens financiers.

Dans l'optique de concrétiser 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.

Si les conditions minières restent très intéressantes, la qualité du minerai et l'éloignement de ces gisements ont soulevé des interrogations.

L'objectif de cette étude et approche en perspective est d'analyser la troisième contrainte pour les infrastructures de transport du minerai de fer, et présenter les différents tracés et circuits des différents modes 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 Production de minerai de fer

Récupération Efficace des Minerais de Fer Par Flottation et Séparation Magnétique. Fournisseur Fiable et Expérimenté Avec Plus de 20 Ans D'expérience dans Minière. Mining Machine Supplier. Improving Grade of Ore. Mineral Sorting plant.

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 Marker 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

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

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. [1]



Figure I. 1 Production de minerai de fer par état et territoire en 2017.

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

Tableau.I.1. Production minière mondiale de minerai de fer, par pays, en 2019 (dpr)

Classement	Pays	Millions de tonnes	Pourcentage du total
1	Australie	930	36,5 %
2	Brésil	480	18,9 %
3	Chine	350	13,7 %
4	Inde	210	8,2 %
5	Russie	99	3,9 %
6	Afrique du Sud	77	3,0 %
7	Ukraine	62	2,4 %
8	Canada	58	2,3 %
9	États-Unis	48	1,9 %
-	Autres pays	232	9,1 %
Total		2 546	100,0 %

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,

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

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 Utilisations du minerai de fer à l'échelle mondiale, en 2019.

Autre : poudre de fer, fer 59, bleu de fer, oxyde de fer noir.[2]

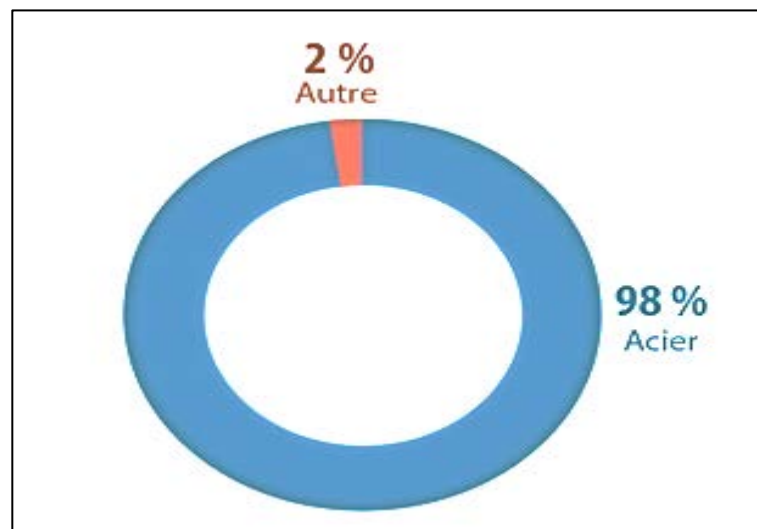


Figure I .2 Utilisations de minerai de fer à l'échelle mondiale, en 2019 [2]

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

Les prix du minerai de fer ont fluctué au cours de la dernière décennie. Le prix est passé d'un sommet de 187 \$ US par tonne en février 2011 à un creux de 41 \$ US en décembre 2015. En 2016, le prix du minerai de fer est demeuré stable jusqu'à mars, moment à partir duquel il a commencé à monter, pour terminer l'année à 80 \$ US par tonne. Après un sommet en février 2017 à 89 \$ US, le prix a baissé tout au long de l'année 2017. En janvier 2018, le minerai de fer a atteint son prix le plus élevé à 77 \$ US, avant de chuter à 65 \$ US en juillet, puis de remonter à 73 \$ US en novembre pour terminer l'année à 69 \$ US en décembre. Puis les prix montent et atteignent un sommet de 120 \$ US en juillet 2019, puis baissent et se stabilisent à 93 \$ US en décembre.[2]

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

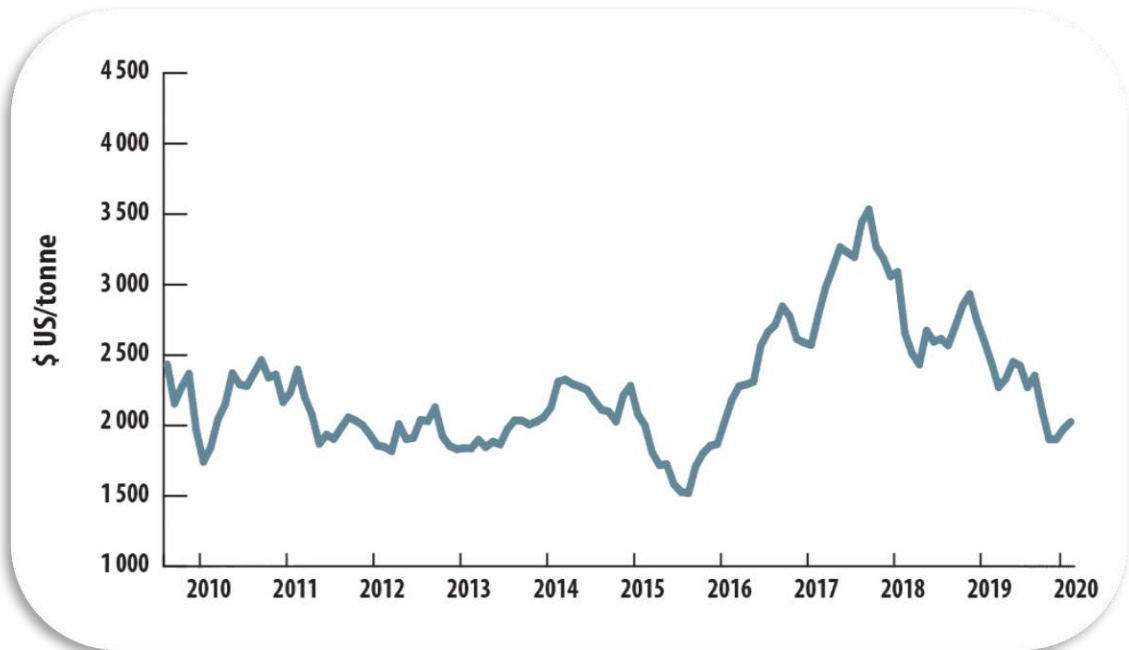


Figure I. 3 Prix moyens mensuels du minerai de fer, de 2010 à 2019

I.4 Généralités sur les minerais de fer

Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme l'hématite.[3]



Figure I. 4. Rocher formé de minerai de fer rubané, vieux de 2,1 milliards d'années environ (Musée minéralogique de Dresde).[3]

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

Les minerais de fer ont une teneur en fer variable selon le minéral ferrifère ; sachant également que l'isomorphisme, presque toujours présent dans les minéraux naturels, réduit la teneur théorique.[3]

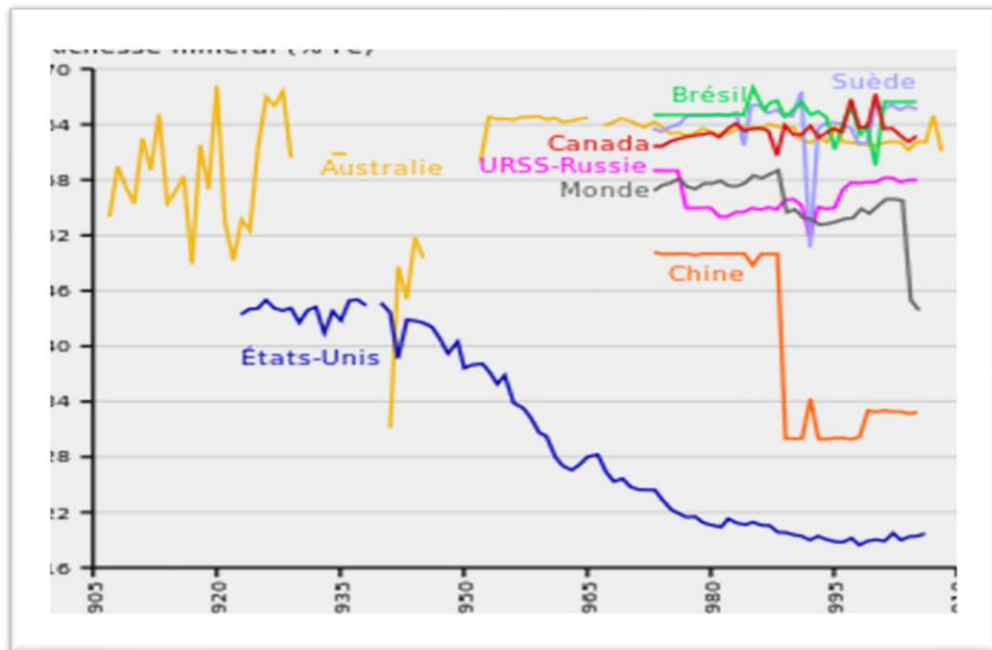


Figure I.5. Histoire des mines de fer.

Évolution de la richesse du minerai de fer extrait dans différents pays. La chute récente de la teneur moyenne mondiale en fer est due à la forte consommation de minerais chinois de basse qualité. Le minerai américain est enrichi entre 61 % et 64 % avant d'être commercialisé par rapport à leur teneur en fer, les minerais sont classés en :

- minerais pauvres : $Fe \leq 30 \%$
- minerais moyens : $30 \% < Fe < 50 \%$
- minerais riches : $Fe > 50 \%$

L'abondance de minerai de fer riche a permis le maintien d'une caractéristique originale de la sidérurgie par rapport à la métallurgie extractive des non ferreux : la forte proportion de centres sidérurgiques éloignés des mines[*note 1*]. En effet, il est nettement plus économique de transporter sur des milliers de kilomètres un minerai comportant 55 % de

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

fer (minerais brésiliens), que de fondre un minerai contenant 35 % de fer (minette lorraine). Par exemple, en 1922, chaque unité de fer en moins dans le minerai amenait une dépense supplémentaire de coke de 30 à 40 kilos. La minette de Moselle, inférieure en teneur de 4 à 6 unités aux minerais de Meurthe-et-Moselle, conduisait à consommer 1 500 kilos de coke à la tonne de fonte, alors qu'en 1913, en Meurthe-et-Moselle, on considérait comme normale une dépense de 1 000 kilos. Ainsi, avant la Première Guerre mondiale, les sidérurgistes allemands de la Moselle annexée étaient contraints d'acheter du minerai en France pour rester compétitifs.

Par ailleurs, la richesse en métal du minerai de fer pénalise moins le transport que pour d'autres minerais (par exemple, au début du XXI^e siècle, la teneur moyenne en métal du minerai de cuivre est d'environ 0,6 %).[3]



Figure I.6. Monticule de granulats de minerais de fer utilisé pour la production de l'acier.

Les principaux minerais de fer sont des sulfures, des carbonates et des oxydes.

❖ **Les sulfures** : dont les représentants principaux sont la pyrite et la pyrrhotite, ne sont jamais utilisés directement pour la production du fer à cause de l'effet fragilisant du soufre sur les alliages ferreux. Ils constituent en revanche une matière primaire importante pour la production de dioxyde de soufre, obtenu grâce au grillage. Il reste un résidu d'oxyde de fer (« cendres de pyrite ») qui est pulvérulent et peut contenir

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

encore des quantités gênantes de soufre : son utilisation comme minerai de fer peut donc se révéler problématique.[3]



Figure I.7. Minerai de fer houiller de la Ruhr.

❖ **Comme carbonate** : on trouve la sidérite ou *sidérose*, FeCO_3 , qui donne l'oxyde par calcination. À l'air humide, la sidérite se transforme en lépidocrocite ou, plus rarement, en goethite. La sidérite est fréquemment associée à la pyrite, la magnésite, la chaux, le manganèse. On distingue le *fer carbonaté spathique*, minerai cristallin blanc, légèrement jaunâtre, très répandu, et la *sphérosidérite*, en masses sphéroïdales, mélangé à des matières terreuses, rare en France mais connu en Allemagne comme œuf de Lebach. Le minerai de fer des gisements de houille renferme du charbon : il est de couleur noire et de grillage facile. Au Royaume-Uni, il est connu comme blackband.[3]



Figure I.8. Magnétite de Bolivie

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

- ❖ **La magnétite** : spinelle ferrimagnétique Fe_3O_4 , est le minéral de fer le plus riche en métal. Elle est souvent associée à l'hématite dans le même gîte, mais des gîtes de magnétite pure sont aussi connus. Densité 5,15, couleur noire, éclat métallique, souvent accompagnée d'impuretés comme la silice, la chaux, l'alumine et le phosphore.[3]



Figure I.9. Hématite : le principal minerai de fer extrait au Brésil.

- **L'hématite $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$** : est le composant le plus important des minéraux de fer traités dans l'industrie sidérurgique. Elle comporte plusieurs types :
 - l'oligiste cristallise en rhomboèdres
 - la spéularite consiste en agrégats de cristaux d'hématite à face lisse comme un miroir
 - l'hématite rouge ordinaire se présente en masses fibreuses, terreuses ou compactes
 - l'hématite rouge oolitique est formée de petites sphères agglomérées
 - la martite est une hématite en pseudomorphose de la magnétite
- **La maghémite, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$** : est une forme métastable de l'hématite, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, qui se forme à partir de la magnétite par oxydation progressive. Elle a les mêmes caractéristiques magnétiques que la magnétite, alors que l'hématite est faiblement magnétique. La structure est spinelle, mais avec des lacunes .[3]



Figure I.10. Limonite présente dans un chapeau de fer (Rustrel, France).

La limonite (ou hématite brune) est un mélange d'hydroxydes de fer à l'état microcristallin. Ces hydroxydes constituent le « chapeau de fer ». Il s'agit d'un minerai d'origine sédimentaire qui contient de la goethite, de la lépidocrocite et en faibles quantités de l'hématite, des hydroxydes d'aluminium, de la silice colloïdale, des minéraux argileux, des phosphates, des arséniate, ainsi que des composés organiques. En masses fibreuses, la limonite est assez pure, mais lorsqu'elle se présente en masses compactes ou terreuses, elle perd sa valeur sidérurgique, car elle contient des sulfures (de fer, mais aussi du plomb), des phosphates et arséniate. En France, il existe peu de limonite, mais on en trouve aux États-Unis, en Russie et en Scandinavie.

- **L'ilménite** : minéral à structure d'hématite, est utilisée plutôt pour l'extraction du titane, le fer ayant un intérêt accessoire.

Les silicates ne sont pas utilisés pour l'extraction du fer, car le procédé d'enrichissement est complexe. De plus, sans traitement, ils sont incompatibles avec une utilisation dans un haut fourneau lorsqu'ils se présentent sous forme de sable car ils n'ont pas la perméabilité nécessaire pour laisser circuler les gaz réducteurs.

Minéraux : La teneur en fer élémentaire des principaux minéraux de fer varie dans des limites typiques :

- magnétite : Fe = 50 – 67 %

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

- hématite : Fe = 30 – 65 %
- limonite : Fe = 25 – 45 %
- sidérite : Fe = 30 – 40 %

Tableau I.2. Les oxydes qui forment la gangue vont évidemment diminuer la teneur en fer des minerais employés.

Minéral	Formule chimique	Contenu théorique en fer dans le minéral (en %)	Contenu théorique en fer après calcination (en %)
Hématite	Fe ₂ O ₃	69,96	69,96
Magnétite	Fe ₃ O ₄	72,4	72,4
Magnésioferrite	MgOFe ₂ O ₃	56-65	56-65
Goethite	Fe ₂ O ₃ H ₂ O	62,9	70
Hydrogoethite	3Fe ₂ O ₃ 4H ₂ O	60,9	70
Limonite	2Fe ₂ O ₃ 3H ₂ O	60	70
Sidérite	FeCO ₃	48,3	70
Pyrite	FeS ₂	46,6	70
Pyrrhotite	Fe _{1-x} S	61,5	70
Ilménite	FeTiO ₃	36,8	36,8

▪ Traitements

L'utilisation des minerais dans un haut fourneau impose leur préparation (traitements physiques : lavage, concassage, broyage, triage, calibrage... ; traitements chimiques : grillage des sulfures, calcination des carbonates) et leur conditionnement préalable (étapes d'agglomération ou de pelletisation, qui apportent au minerai la résistance mécanique, la perméabilité et la composition chimique à la gangue compatible avec leur utilisation. Un enrichissement est parfois réalisé à cette occasion).[3]

▪ L'approvisionnement en minerai de fer

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

À partir de l'année 2004, les experts et certains chefs d'entreprise comme Guy Dollé, alors patron d'Arcelor, pointent le risque de pénurie à long terme pour le minerai de fer et un problème du sous-investissement dans le fret maritime pour l'acheminer vers les aciéries.

Le contrôle des approvisionnements a motivé la fusion à 147 milliards de dollars annoncée en 2008 entre l'empire minier BHP Billiton et son rival Rio Tinto, alors que la moitié du minerai de fer est exportée — par mer — par les grands groupes miniers, l'autre étant produit localement par les pays utilisateur. Depuis, les capacités de production ont progressé. La production mondiale de minerai de fer a atteint 3 320 millions de tonnes en 2015, soit une légère diminution par rapport à 2014 (3 420 millions de tonnes).[3]

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).[4]

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.

Les principaux gisements de fer sont :

- Gara Djebilet : 1 540 Mln de tonnes, de 56 % de Fer.

Chapitre I : Situation sur les travaux de recherche sur le minerai 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.[4]

➤ Gara Djebilet

La mine de Gar Djebilet est une mine de fer située à Tindouf en Algérie, elle est l'une des plus grandes mines de fer dans le monde. Ses réserves sont estimées à 3,5 milliards de tonnes, dont 1,7 milliard de tonnes sont exploitables.



Figure I.11. La route nationale 50 qui mène à la mine

Le 12 mars 2017, la Société nationale de fer et de l'acier (Feraal) signe avec l'entreprise chinoise Sinosteel equipment & engineering un protocole d'accord de réalisation des **études** de faisabilité pour le développement du gisement. Le contrat inclut aussi la réalisation par des centres de recherche chinois des essais de déphosphoration et

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

d'enrichissement sur quatre procédés différents. Les laboratoires algériens ont pu atteindre en 2015 un taux de déphosphoration avoisinant 0,1%.**[5]**

- Caractéristiques

Le gisement de Gar Djebilet s'étend sur plus de 131 km², ses réserves exploitables sont estimées à 2 milliards de tonnes de minerai avec une teneur de 58,57% de fer.

Feraal compte commencer l'exploitation industrielle du minerai de Gar Djebilet en 2021-2022. Le projet permettra de placer l'Algérie en tant que leader de l'industrie sidérurgique et métallurgique africaine.**[5]**

➤ Mécheri Abdelaziz

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). S'étend sur une superficie de 131 km² et offre une réserve estimée à 2 milliards de tonnes.**[5]**

➤ Ouenza

La mine d'Ouenza, est une mine de fer située à Ouenza dans la wilaya de Tébessa, en Algérie. Elle est la plus grande mine de fer d'Algérie.

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

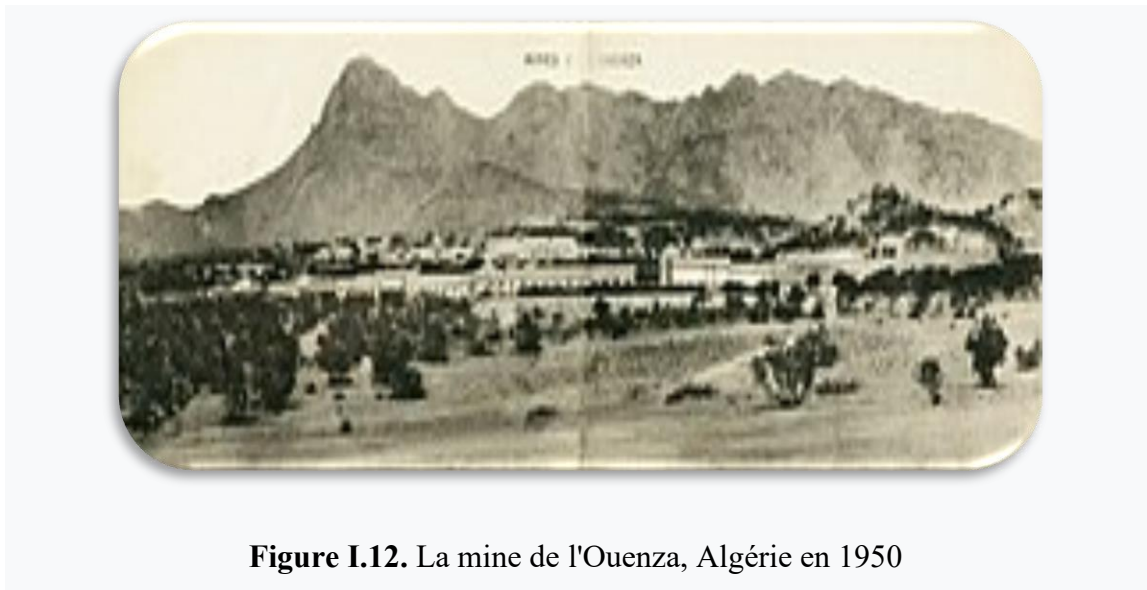


Figure I.12. La mine de l'Ouenza, Algérie en 1950

Le droit d'explorer les gisements de l'Ouenza avait été conféré, du 26 février 1878 au 28 juillet 1886, à deux personnes qui se bornèrent à remettre en bon état quelques ouvrages anciens et à creuser une centaine de mètres de galeries.

Le gisement s'étend sur une longueur de 5 km. Le minerai de fer est transporté par des trains vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar .[6]

➤ **Boukhadra**

Boukhadra est une commune de la wilaya de Tébessa en Algérie.

Boukhadra est située à l'Est des Aurès, à 43 km au nord de Tébessa (chef-lieu de la wilaya), à 191 km au sud d'Annaba et à 24 km à l'ouest de la frontière tunisienne.

La région de Boukhadra est un plateau, ses forêts abritent une faune et une flore riche.

L'histoire de Boukhadra se confond avec la mise en exploitation de la mine de fer de Djebel Boukhadra en 1905. Une mine de fer mise en valeur en 1878 par l'ingénieur français Tissot. Les mines de fer de la région ont été signalées par Ibn Khaldoun et par le géographe Al Idrissi.

La ville est d'abord une ville européenne de 2 000 habitants, majoritairement de nationalités française, italienne, espagnole et maltaise, à l'époque coloniale (recensement de 1954). Les Chaouis essentiellement des Ouled Sidi Yahia étaient hors de la ville, dans des campements de misère et de privation.

Chapitre I : Situation sur les travaux de recherche sur le minerais de fer

La ville de Boukhadra a une histoire toute récente. Elle s'est rendu encore plus célèbre avec sa participation massive à la guerre d'indépendance d'Algérie célèbre dans la Wilaya I, celle de l'Aurès-Nemencha. Des centaines de martyrs et des milliers de victimes :

- la bataille de Djebel Boukhadra ;
 - destruction des cinq ponts de la ligne de chemin de fer ;
 - sabotage de la seule ligne électrifiée de chemin de fer en Algérie, reliant Boukhadra à Annaba ;
 - Djebel Boukhadra était le siège du poste de commandement de la très célèbre zone 5 de la Wilaya I des Aurès, le premier découpage administratif et militaire de l'état-major de l'Armée de libération nationale (FLN ALN).[7]
-
- **Beni Saf**

Béni Saf est le nom d'une commune algérienne et de la ville côtière qui en est le chef-lieu, dans la wilaya d'Aïn Témouchent. C'est aussi le nom d'une daïra (équivalent d'un canton). La ville doit principalement son existence au minerais de fer que l'on trouve depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours. Mais c'est la pêche qui est la principale ressource de la ville.

Le territoire de la commune de Béni Saf se situe à l'ouest de la wilaya d'Aïn Témouchent, à environ 30 km à l'ouest d'Aïn Témouchent et 90 km au sud-ouest d'Oran.

L'Oued Tafna a son embouchure dans la Mer Méditerranée à l'ouest de la plage de Rachgoun.[8]

- **Ain Mokta**

La Société Mokta El Hadid (ou Compagnie de Mokta) était une société métallurgique française fondée au milieu du XIX^e siècle, et l'une des plus anciennes à avoir exploité des mines de fer en Algérie française puis quelque temps après l'indépendance.

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

Le gisement de fer était connu de temps immémorial par les Algériens. Dès 1846, un ancien directeur des Mines, le Marquis Eugène de Bassano (1806-1867) signa l'acte de propriété pour l'exploitation des mines de fer découvertes à Meboudja, entre Annaba et Aïn Mokra. Les usines et le haut-fourneau furent construits à l'Alaliq à 6 km au sud d'Annaba.

En 1858, Bassano fit construire un chemin de fer à voie étroite, le premier d'Afrique du Nord, suivi de la ligne Alger-Blida, en 1862. C'est le premier tronçon de la ligne de la Compagnie du chemin de fer Bône – Mokta – Saint Charles. La voie ferrée a 11 km de long et relie le gisement aux vieux quais du port fluvial de la Seybouse, mais en 1862, la Société Bassano fait faillite. [9]

➤ 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. [10]

I.6 Production du 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. [11]

Chapitre II :

**Situation géographique
et
Géologique du gisement**

II.1 Situation géographique

II.1.1 Situation générale du bassin de Tindouf

Le bassin de Tindouf est situé à l'extrême ouest de la plate-forme saharienne. Ce bassin forme une vaste dépression orientée est-ouest. Aux limites de l'Algérie, cette dépression s'étendant sur 540 km de long et de 200 à 250 km de large et sa superficie atteint 140000 km². [12]

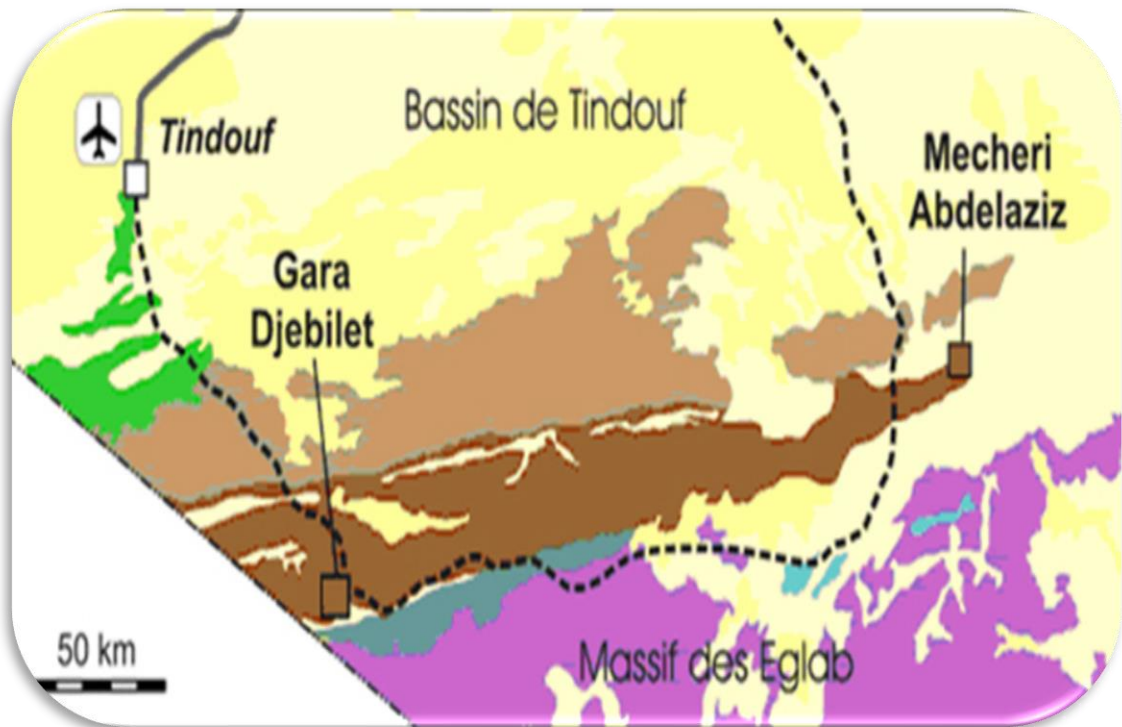


Figure II.1. Carte géologique de bordure sud du bassin de Tindouf.

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 1600 km de la côté méditerranéenne. Il s'étend depuis la frontière algéro-marocaine à l'ouest jusqu'à l'Erg Iguidi à l'est. [13]

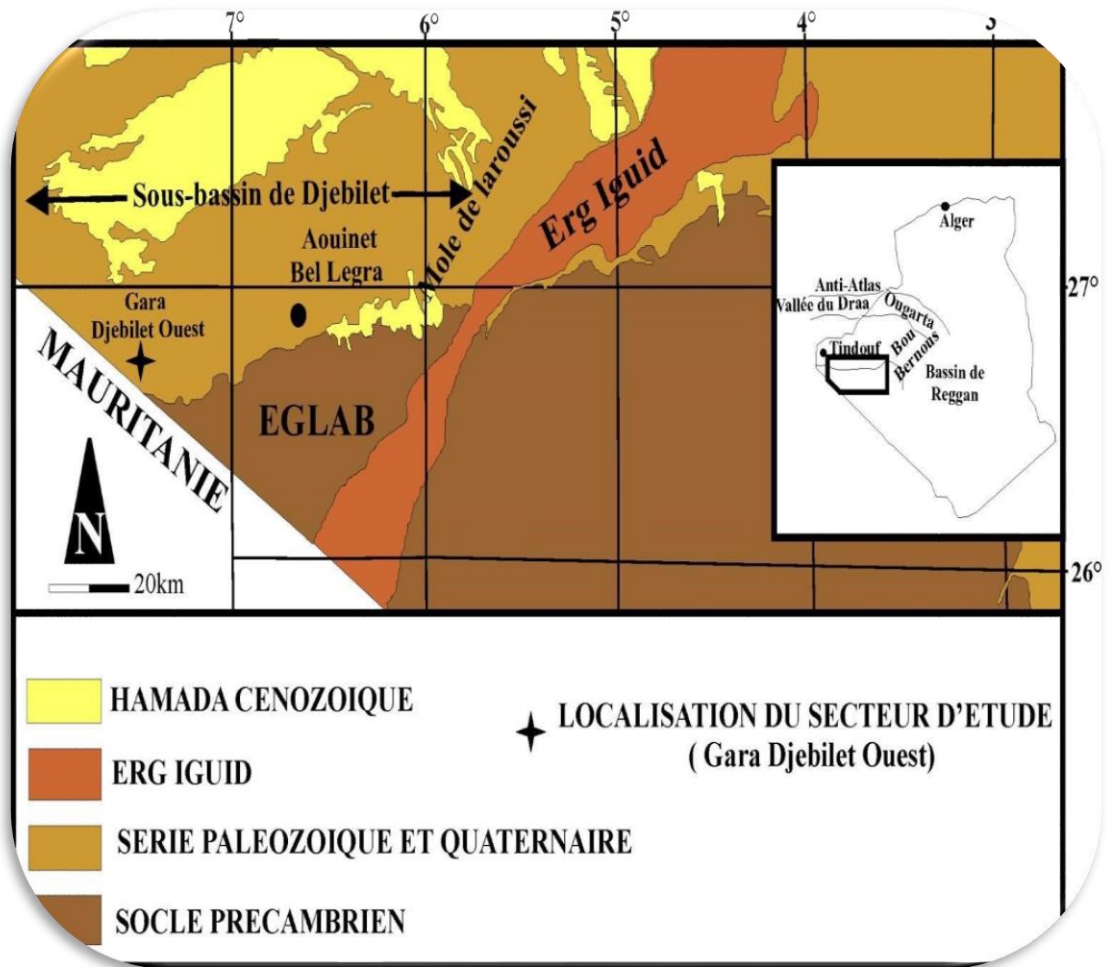


Figure II.2. Situation géographique du secteur de Gara Djebilet Ouest (D'après BITAM et *al.* 1996)

II.2 Situation géologique

II.2.1 géologique régionale

Le minerai de fer oolithique de Gara Djebilet est situé dans les sédiments du début du Dévonien du bassin de Tindouf situé dans le Sahara occidental algérien, en particulier dans la formation du Haut-Djebilet de l'âge Praguien. Il existe des occurrences similaires dans toute la région d'Afrique du Nord .[14]

Chapitre II : Situation géographique et géologique du gisement

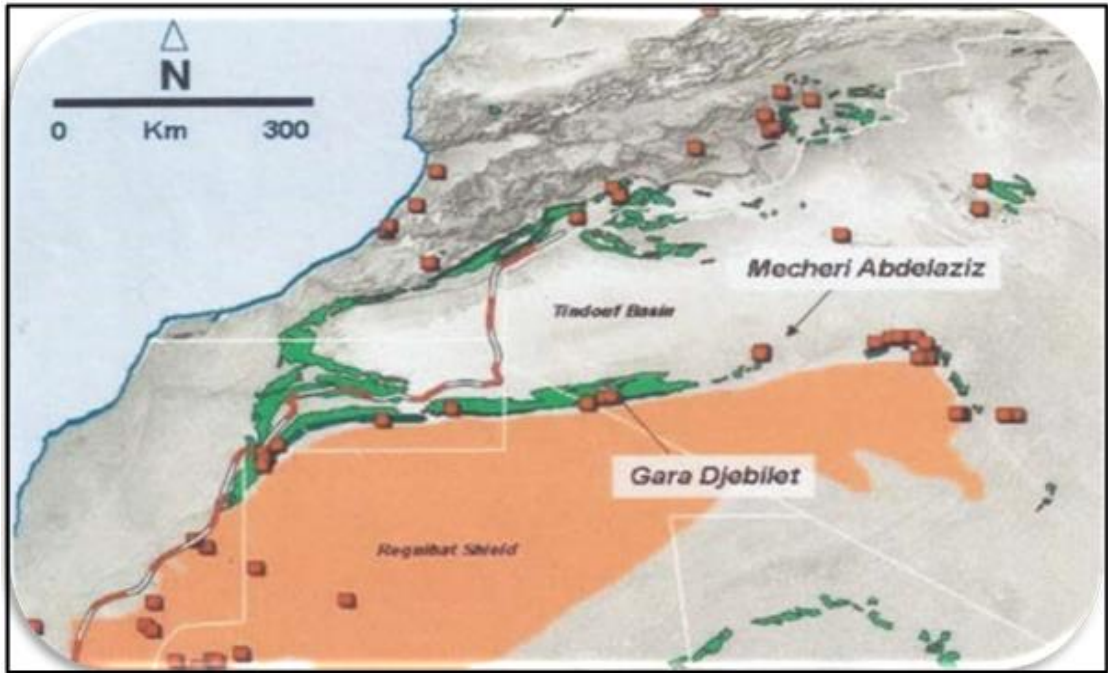


Figure II.3. Emplacement de Gara Djebilet

Trois lentilles de taille différente, Gara Ouest, Gara Centre et Gara Est (Table 1 ci-dessous), définissent une longue ceinture de 60 km sur le flanc Sud non perturbé du bassin de Tindouf, un grand synclinal orienté WSWENE qui s'est développé depuis le début du Silurien.

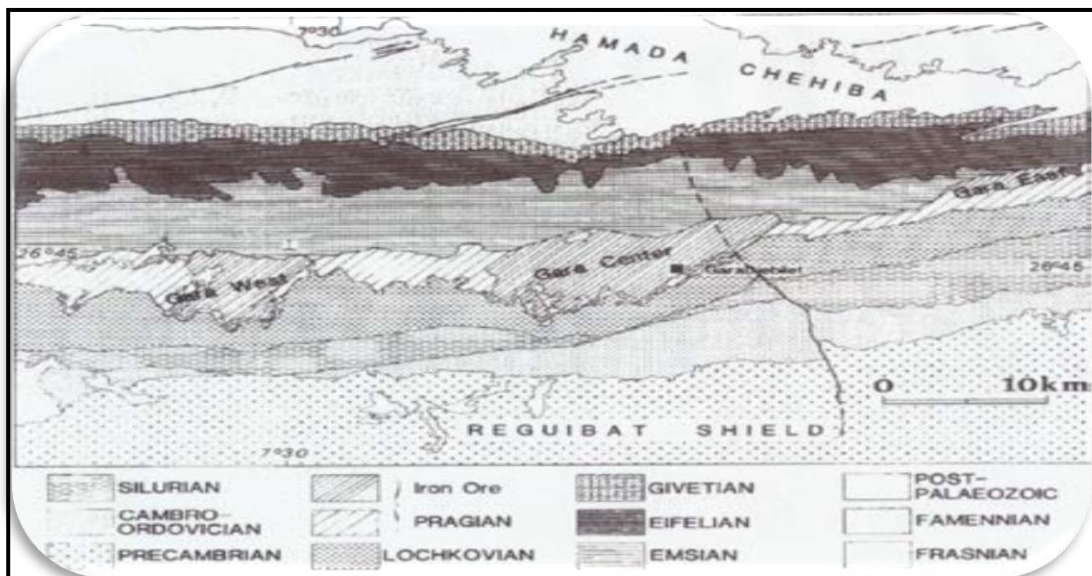


Figure II.4. Carte géologique des gisements de Gara Djebilet.

Chapitre II : Situation géographique et géologique du gisement

Bien que séparés par des zones « stériles » d'un point de vue minier, le forage d'exploration suggère que seul un amincissement latéral des sédiments oolithiques s'est produit entre les lentilles. [15]

Tableau II. 1. Dimensions et plage d'épaisseurs rapportées (d'après Gris et.al 2007)

Corps minéralisé	Longueur (km)	Largeur (km)	Puissance (m)
Gara Ouest	9	1,5	max. 16
Gara Centre	18	4	max. 24
Gara-Est	7	1	max. 9

II.2.2 Géologique locale

La minéralisation ferrifère s'intercale avec des séquences argileuses et de sable, de pendage faible ($1,5^{\circ}$ - 2° N) et s'épaississant vers le haut. Ces séquences peuvent être associées à un paléo-environnement d'île-barrière avec le développement vers le haut de roches ferrifères correspondant à une lagune intérieure ou à une baie peu profonde d'une mer épicontinentale et une diminution de la sédimentation du quartz. Cette sédimentation très peu profonde du plateau a été interrompue par plusieurs périodes d'émergence que démontrent des restes de « croûtes de fer » oxydées. La formation « finying-up » correspondant au recouvrement Emsien est interprétée comme représentant une transgression étendue qui couvrait la totalité de la plate-forme saharienne.

Le Gisement de Gara Djebilet Guerra (1988) suggère l'évolution générale suivante :

- ✓ Lessivage d'un sous-sol riche en gisements de fer rubané favorisé par un climat doux et humide ;
- ✓ Transport vers le nord par des rivières sinueuses et anastomosées sur un continent plat ;
- ✓ Dépôt au sein d'un système d'îles-lagunes barrières ;
- ✓ Stabilité tectonique accompagnée d'une diminution de l'afflux de détritiques dans une mer peu profonde au nord-ouest de la bordure du craton nord-africain (Dorsale de Réguibat).

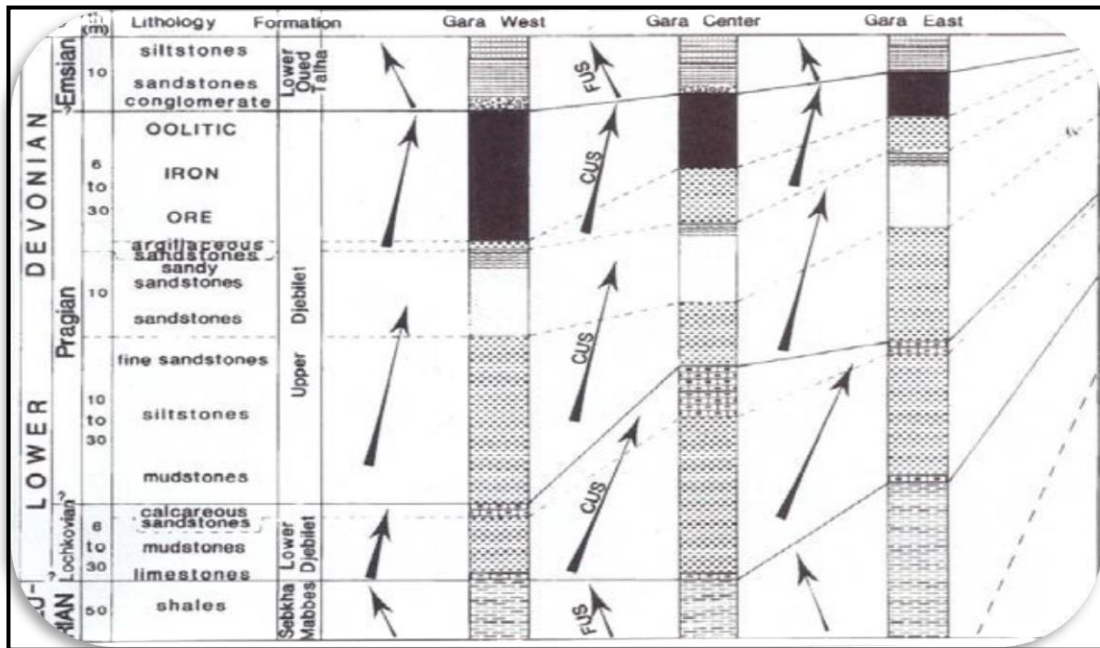


Figure II.5. Colonnes litho stratigraphiques et corrélations.

Les zones au sud et à l'est de Gara Ouest et de Gara Centre sont délimitées par un escarpement distinct pouvant atteindre 100 m de hauteur. Vers le nord, l'épaisseur des sédiments sus-jacents augmente progressivement reflétant le pendage régional. Les épaisseurs des morts terrains révélées par des forages à Gara Centre atteignent 30 m tandis qu'à Gara Ouest des épaisseurs moins profondes (5-10m) sont rapporté.[16]

II.3 Conclusion

Les minerais de fer de Gara Djebilet appartiennent au type Clinton de Gross (1965) caractérisé comme des formations d'hématite-chamositesidérite, riches en phosphore avec une texture oolithique formant des lits lenticulaires.[19]

Chapitre III:

**Présentation état actuel, perspectives
et développement du secteur**

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

III.1 Réserves

Le gara Djebilet est reconnu par plus de 200 sondages carottés totalisant 7000 m linéaires.

Les réserves géologiques sont estimées à environ 1.7 milliards de tonnes à 57% de fer, localisées dans les deux lentilles dont 780 millions de tonnes dans la lentille Ouest et 900 millions de tonnes dans la lentille Centre.

Le minerai est constitué de magnétite, hématite, maghémite et limonite tandis que la gangue de la chamosite, du quartz et de la collophane et, occasionnellement, des minéraux en traces tels que le zircon et le rutile.[17]

➤ Lentille Ouest

-Les réserves en magnétite sont de 380 millions de tonnes avec une teneur moyenne de 58% en fer.

-Les réserves en hématite sont de 400 millions de tonnes avec une teneur moyenne en fer de 56.6%.

-La densité du minerai magnétique de Gara Ouest varie entre 3,2 et 3,9 avec une moyenne 3,5 pour un minerai à 58 % de fer.

-La porosité varie considérablement suivant la composition du minerai, elle avoisine les 18 % pour le minerai magnétique de Gara Ouest. [17]

➤ Lentille centre

-Les réserves en magnétite sont de 380 millions de tonnes à une teneur moyenne de 57.6% en fer.

-Les réserves en hématite sont de 520 millions de tonnes avec une teneur en fer supérieure à 50%.

-La densité du minerai magnétique de Gara centre varie entre 3,5 et 4,3, avec une moyenne est voisine de 3,8 pour un minerai à 57 % de fer.

-La porosité varie considérablement suivant la composition du minerai, elle avoisine les 15 % pour le minerai magnétique de Gara Centre.[17]

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

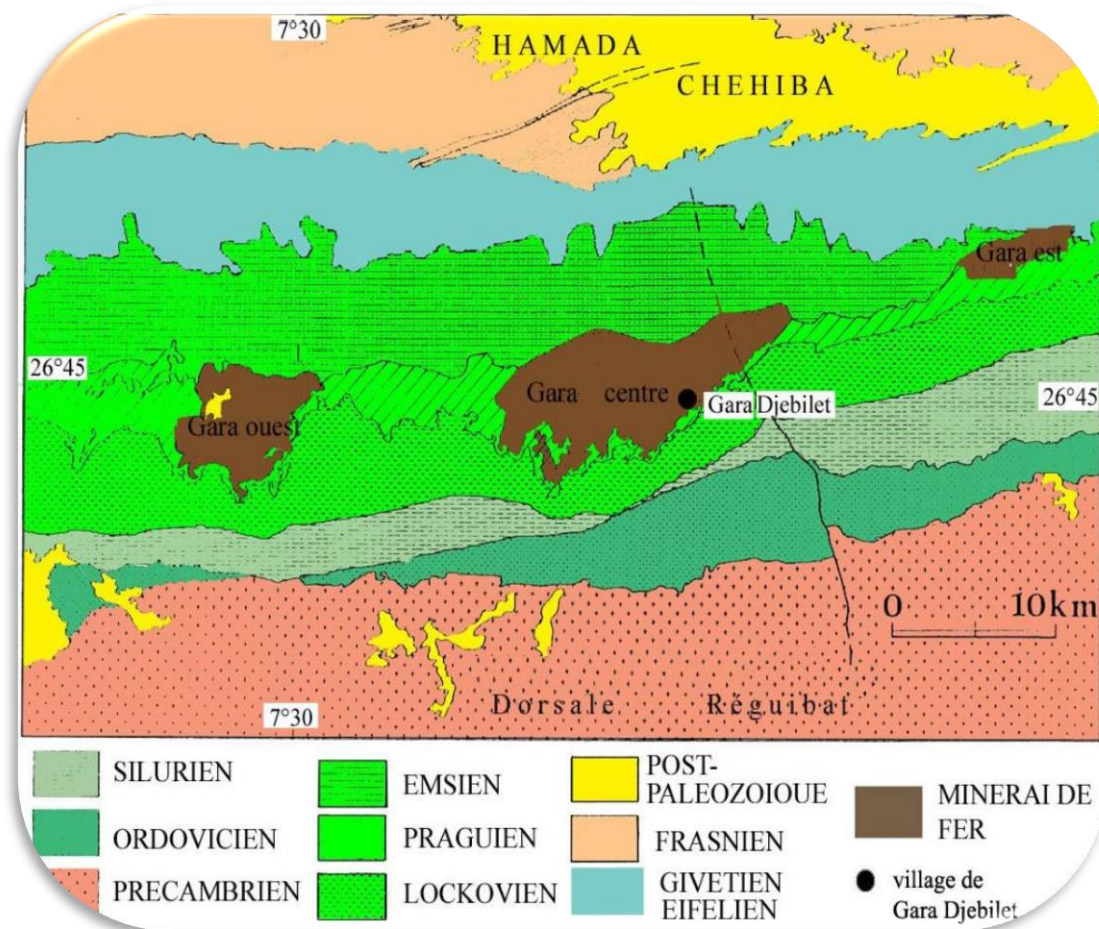


Figure III.1. Les minerais de fer de Gara Djebilet

III.2 Minéralogie

Les minerais de fer de Gara Djebilet appartiennent au type Clinton de Gross (1965) caractérisé comme des formations d'hématite-chamositesidérite, riches en phosphore avec une texture oolithique formant des lits lenticulaires. L'autre type de minerai de fer sédimentaire, la minette, a une teneur totale en fer de 10-15 % inférieure et des teneurs plus élevées en minéraux de la gangue.

Les minéraux porteurs de fer identifiés à Gara Djebilet sont les suivants :

– **Goethite** [α -Fe₃O (OH)] – Fe = 62,9 % :

La goethite est très variable. Elle est couramment présente en tant que produit d'oxydation et/ou produit de remplacement de la sidérite et des argiles chamositiques.

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

– **Magnétite** [$\text{Fe}_2+\text{Fe}_3+2\text{O}_4$] – **Fe = 72,4 %** :

La magnétite est le minerai d'oxyde de Fe dominant et semble s'être formée en tant que produit de remplacement ou de réduction de la goethite et des argiles chamositiques. La magnétite nécessite des conditions réductrices et dans la plupart des cas, présente des degrés variables d'oxydation en maghémite probablement liée à des processus d'altération à proximité de la surface où le minerai est exposé.

– **Maghémite** [$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$] – **Fe = 70,0 %** :

La maghémite est une forme métastable de Fe_2O_3 qui se forme par oxydation de la magnétite en conservant la structure cristalline cubique de cette dernière.

– **Hématite** [$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$] – **Fe = 70,0 %** :

L'hématite peut se former par précipitation directe en solution ou sous forme colloïdale sur des surfaces exposées mais aussi par déshydratation de la goethite.

– **Martite** :

Ce terme est utilisé pour faire la distinction entre l'hématite et l' $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ qui est dérivé de l'oxydation directe de la magnétite.

– **Sidérite** FeCO_3 – **Fe = 48 %** :

Cette espèce minérale composée de carbonate de fer se retrouve dans les gisements sédimentaires oolithiques associés à l'argile et à des matériaux carbonés.

– **Ilménite** [FeTiO_3] :

Ce minéral accessoire courant dans les roches plutoniques et métamorphiques se rencontre également dans les sables marins suite à une altération des roches encaissantes.

– **Chamosite** [$(\text{Fe}_2+, \text{Mg}, \text{Fe}_3+)5 \text{Al} (\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$] :

La chamosite est une argile chloriteuse riche en fer, probablement dérivée du kaolin ferrifère au cours de la diagenèse.

Les éléments délétères du minerai potentiel sont notamment la silice, l'alumine, le phosphore et l'arsenic. La silice se rencontre sous forme de quartz et dans la chamosite qui renferme également de l'alumine. Le phosphore se localise principalement dans l'apatite authigène [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$]. L'apatite forme de petits cristaux isolés ou se

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

présente sous forme de grandes masses granulaires qui semblent s'être développées in situ dans les minerais. Le phosphore (P) se rencontre également dans les phosphates du groupe des crandallites

$[\text{CaAl}_3[(\text{As},\text{P})\text{O}_4]_2(\text{OH})_5\cdot\text{H}_2\text{O}]$ qui sont également responsables des teneurs en arsenic et dans les phosphates secondaires, y compris la florencite et la crandallite combinée sous forme de fractures et de comblements d'espaces ouverts.

Les minéraux accessoires non porteurs de fer, reflétant essentiellement la nature détritique des gisements, sont notamment le zircon (ZrSiO_4), la monazite $[(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th})\text{PO}_4]$, le rutile $[\text{TiO}_2]$, la xénotime $[\text{YPO}_4]$, le quartz (SiO_2), la biotite $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$, la sphène et la tourmaline. [17]

III.3 Travaux de recherche du minerai de fer de Gara Djebilet

En 1962, par suite des résultats positifs obtenus après les phases de prospection et d'exploration susmentionnées, la SERMI a décidé de construire une usine pilote pour la préparation du minerai, qui soit à proximité des gisements de fer, avec pour objectif d'étudier les possibilités d'enrichissement du minerai de fer. Par la suite, en 1963, les premiers essais de préparation du minerai de fer ont été effectués.

La préparation des fines de minerai à teneur élevée a été réalisée ultérieurement par l'IRSID.

1966 à 1967 FRIED KRUPP ROHSTOFFE a conduit une étude pour le compte de la Société nationale de recherche et d'exploitation minière (SONAREM) ayant pour objectif d'obtenir des minerais enrichis destinés à l'exportation ou des produits à fort degré de réduction, ou des produits métallisés.

Cette étude a également porté sur les possibilités d'alimentation des aciéries nationales existantes à partir de Gara Djebilet.

1965-1988 : des études sur l'enrichissement du minerai de fer de Gara Djebilet et des essais approfondis de traitement métallurgique pour en étudier les zones, réduction du minerai de fer par HF et RD par gaz naturel, ainsi que des essais de production d'acier par les procédés EAF (Electric Arc Furnace, four à arc électrique) et BOF (Basic Oxygen Furnace, convertisseur à oxygène) ont été réalisés par GE/TEMPO, LKAB, IRSID, NSC, KAISER, Hylsa et MANNESMAN-Demag, en collaboration avec deux

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

entreprises algériennes, la SONAREM (Société nationale de recherche et d'exploitation minière) et la SNS (Société nationale de sidérurgie)

Récemment, d'autres études, portant notamment sur les essais de traitement, ont été réalisées par :

- Rio Tinto (2006-2007);
- Corus consulting et Kigam (2008) pour le compte de Posco ;
- CIMM (Institut des mines et de la métallurgie de Changsha (2008) pour le compte de CITIC, Chine.[18]

III.4 Présentation état actuel, perspectives et développement du secteur

III.4.1 Un projet et des portées

Le projet d'exploitation de la mine de fer de Gara Djebilet est destiné à accompagner le développement économique du pays et de la région, en particulier.

Aussi, il est attendu de ce mégaprojet de nombreuses retombées sur la région et sa population et sur l'économie nationale.

- **Sur le plan scientifique**

La recherche est orientée vers le développement de nouvelles procédures innovantes et efficaces pour éliminer le phosphore et enrichir le minerai en fer.

- **Sur le plan technique**

Le développement et la maîtrise de nouveaux procédés efficaces pour éliminer le phosphore et enrichir le minerai en fer.

- **Sur le plan économique**

L'impact est énorme sur l'économie de notre pays
l'enjeu est également important, car le minerai enrichi en fer et débarrassé de son phosphore, peut être utilisé par les industries sidérurgiques algériennes et exporté à l'étranger.

- **Sur le plan socioéconomique**

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

L'impact est considérable, car un minerai de très bonne qualité avec un coût moindre sera disponible en abondance.

Le challenge de Gara Djebilet lorsque l'ensemble des prérequis techniques, économiques, énergétiques et logistiques seront réunis, sera, « de faire face à la demande locale en priorité, ce qui permettra de rapatrier une partie de la valeur ajoutée et de développer le marché export demandeur en produits miniers et métallurgiques. »

Il convient toutefois de rappeler que l'exploitation de ce gisement se heurte à 3 problématiques majeures, qui sont :

1/- La teneur élevée en phosphore dans le minerai 0,8% P alors que le pourcentage admis pour son utilisation industrielle doit être sensiblement inférieur à 0,1 % P ;

2/- la nécessité de réaliser des infrastructures de transport (rail) pour ramener les productions de leur lieu d'extraction à Gara Djebilet vers celui de leur transformation à Béchar, puis vers les aciéries et ports du nord ;

3/- la disponibilité de l'énergie nécessaire à son exploitation (gaz, électricité) et de l'eau.

À ce stade d'avancement du projet, la réduction de la teneur en phosphore constitue le souci principal, car c'est ce qui permettra son développement et sa mise en production. De nombreuses études ont été menées et d'autres sont en cours par des parties étrangères.

Le gisement de Gara-Djebilet, découvert à partir de 1952, offre des réserves minières de près de deux (2) milliards de tonnes, avec une teneur en fer de près de 57,58%. Selon la fiche technique du projet, l'exploitation du projet a été confiée à la société nationale du fer et de l'acier (Feraal), chargée des différentes phases d'exploitation, dont l'étude, l'exploitation, l'extraction, le transport, la transformation et la commercialisation,

les études d'exploitation et de faisabilité sont confiées à des bureaux partenaires étrangers, d'autres études sur les besoins liés notamment à l'alimentation en électricité, en gaz et surtout en quantités suffisantes d'eau, cette dernière constituant une des grandes préoccupations pour mettre en exploitation le gisement de Gara-Djebilet.

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

L'Agence nationale des activités minières (ANAM) et la Société nationale du fer et de l'acier (Feraal) sont en accord pour les études de production du gisement minier de Gara Djebilet (Tindouf).[18]

III.4.2 Perspectives et développement du secteur

Le gisement de fer de Gara Djebilet est de nature à véritablement constituer un formidable levier de développement pour la région du sud-ouest du pays, mais aussi dans le reste du pays, dans les domaines du développement de la métallurgie et de l'industrie de transformation, et de substitution à l'importation.

• 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.

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.

La première, 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. La valorisation de Gara Djebilet, ayant été pénalisée par la teneur élevée du minerai en phosphore et en arsenic qui rendaient son exploitation peu rentable et que le traitement du minerai en parvenant à réduire le taux du phosphore dans le fer pour le porter de 0,8% à 0,03%.

La deuxième contrainte qui concerne les infrastructures nécessaires au développement et à l'exploitation du gisement (extraction, traitement, transport, transformation) ; il

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

s'agit de :

- La réalisation de lignes de chemin de fer devant relier le site minier de Gara Djebilet à Tindouf (140 km), d'une étude pour le raccordement, par voie ferroviaire du site du gisement vers Abadla (Bechar) sur un tracé de 950 km, et d'une ligne reliant Béchar à Oran (674 km), ou tout au moins réaliser son dédoublement sur une partie du tronçon ;
- réalisation des infrastructures de base (site minier, routes et voies d'accès...).

Toutes ces infrastructures et autres moyens logistiques ajoutés aux investissements dans les équipements de production vont nécessiter la mobilisation de moyens financiers.

Troisième contrainte, l'alimentation du projet en ressources énergétiques (gaz, électricité) et en eau, sachant par ailleurs qu'une telle activité en est grosse consommatrice, et qu'en conséquence, une attention prioritaire doit être accordée à ce projet pour le mettre dans les meilleures.

Dans l'optique de concrétiser 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.[19]

III.4.3 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) 1320 Km. En passant par la Mauritanie le trajet n'est plus court que de 220km. 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.[20]

Chapitre III: Présentation l'état actuel, perspectives et développement du secteur

III.5 Conclusion

La meilleure option c'est de relier le gisement de fer à Béchar la ligne existe déjà jusqu'au port d'Oran. Le trajet entre Gara-Djebilet et Béchar ne fait que 950 km. En passant par la Mauritanie le trajet n'est plus court que de 220km.

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.

Nous pouvons aussi bien évacuer le minerai par l'Atlantique via la Mauritanie que l'acheminer vers le Nord, si on se résout enfin à réaliser cette voie ferrée (Tindouf-Béchar) dont est tributaire tout le développement en utilisant le train minéralier.

Nous pouvons aussi bien acheminer le minerai par route en utilisant des camions vers Bechar et l'évacuer par chemin de fer.

Chapitre IV :

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

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

IV.1 Introduction

Le minerai de Gara Djebilet est un minerai sédimentaire oolithique ayant plus ou moins subi des phénomènes d'oxydation. Les oolithes sont constitués par la magnétite, l'hématite, la maghémite et la limonite. La gangue est constituée de la chamosite, du quartz et de la collophane et, occasionnellement, des minéraux en traces tels que le zircon et le rutile.

C'est un minerai acide qui contient des teneurs en SiO_2 élevées, d' Al_2O_3 (4à5%), de phosphore (0.8%) et d'arsenic (0.03%).[19]

IV.2 Le minerai

L'analyse du minerai en morceaux, du minerai métallisé, de deux boulettes d'oxyde directement réduites, provenant des deux horizons de Gara Ouest, et l'analyse du concentré d'éponge de fer, ont donné les résultats suivants .[19]

Tableau IV.1. Résultats de la réduction [19]

	Minerai en morceaux	Minerai en morceaux métallisé	Boulettes minerai magnétique	Boulettes minerai du toit	Concentré d'éponge de fer
Fe total	58.16	79.16	86.7	88.8	85.51
Fe mét.	-	71.26	84.2	74.3	77.00
SiO₂	4.55	6.19	4.3	5.5	4.67
Al₂O₃	4.53	6.16	3.7	3.8	4.91
P	0.76	1.03	0.54	0.42	0.53
As	0.036	0.007	0.026	0.027	0.007
CaO	1.79	2.44	N.D	N.D	0.69
O	23.34	2.25	0.71	4.14	2.43
C	0.00	0.76	N.D	N.D	0.82
S	0.23	0.01	N.D	N.D	0.01
Poids %	100.00	73.49			66.14

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

IV.3 Caractérisation physico-chimique du minerai de fer de Gara Djebilet

Les travaux d'exploration réalisés en 2016-2017 (10.000m de forages carottes et 4.800 échantillons analysés) sur une zone de 5.000 ha du site de Gara Ouest ont permis une meilleure connaissance des ressources et des caractéristiques physiques et chimiques :

- ✚ Selon les standards internationaux (Code JORC), les ressources sont estimées à plus d'un Milliard de Tonnes pour ces 5 000 ha.
- ✚ C'est un minéral aisément broyable ce qui devrait faciliter son exploitation.
- ✚ L'exploitation est possible à ciel ouvert avec un corps minéralisé relativement homogène de 10 à 15 m d'épaisseur et une faible couverture de stériles, sauf en partie Nord.
- ✚ Sur cette superficie de 5.000 ha, la composition chimique moyenne du minerai.

❖ Etude de KIGAM (2008)

L'institut coréen de géologie et d'activités minières (KIGAM) a utilisé 2 types de minerais de fer pour ses tests d'enrichissement, gros (>10 mm) et fine (<10mm), classés S1 et S2 respectivement.

L'enrichissement par les méthodes telles que le broyage multi-étapes, la séparation magnétique, la décantation et la flottation ont été examinés.[19]

Tableau IV.2. Composition chimique

Echantillons	Composition chimique (%)						
	T,Fe	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	TiO ₂
S1	54,76	3,4	0,4	5,3	4,42	1,35	0,42
S2	54,77	2,35	0,42	5,73	3,99	0,96	0,4

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

IV.3.1 Analyse granulométrique

– La distribution granulométrique principale des minéraux dans le minerai a une influence directe sur la détermination de la finesse de broyage et de transformation des minéraux.

– Les études microscopiques sur le minerai de fer de Gara Djebilet réalisés par CITIC montrent que la distribution granulométrique est de 83,61% à la taille de +105 μm . En raison de la diffusion de taille, il convient de choisir une finesse de broyage de 95% à - 74 μm pour récupérer plus de 90% du minerai de fer.

• Essais de pré-concentration

Les essais de pré concentration ont pour objectifs de vérifier si les technologies utilisées pour l'élimination des déchets peuvent être appliquées pour le minerai, de manière à améliorer grandement la qualité des fines au préalable en éliminant le plus possible de rebus, ce qui économise de l'énergie et réduit la consommation (par ex, réactifs pour la flottation).

➤ Les essais de pré concentration (séparation magnétique à poulie) pour l'élimination des résidus ont été effectués sur quatre différentes fractions de taille de 4 échantillons, à savoir : 10mm,-50mm +10 mm, -20mm et -6mm

– L'analyse des 4 échantillons montre que le grade des déchets éliminés est de quelque % inférieur (55-56%) à celui de minerai brut et la qualité du concentré a augmenté dans une moindre mesure.

– Il est constaté, sur la base d'essais de séparation magnétique à haute intensité sur les déchets éliminés des 4 échantillons dans le but d'une meilleure récupération, que l'enrichissement n'est pas bénéfique pour lesdits résidus.

➤ Après avoir rebroyer les résidus de la pré concentration précédente à 85,60% d'une finesse de -75 μm et avoir subi une séparation magnétique à basse intensité, les résultats se présentent comme suit :

– Le taux de récupération est supérieur à 60%, indiquant donc que la pré concentration des résidus en utilisant le séparateur magnétique à poulie est irraisonnable.

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

– Il est suggéré que le processus de pré concentration pour l'élimination des résidus ne doit pas être utilisé pour le minerai brut à fraction grossière.

• Essais de broyage et deschlammage

Un essai exploratoire a été réalisé avec différents réactifs (NaOH, Na₂SiO₃, SD100, FA), à une finesse de broyage de 87,04% -75 µm.

Les résultats de deschlammage montrent qu'il y a beaucoup de pertes de fer, et que ceux-ci sont pires que les résultats des épreuves du séparateur magnétique à tube avec la même taille des particules. Donc ce processus de deschlammage n'est pas pratique pour le minerai brut.

• Essais de broyage-flottation

Un essai de flottation a été effectué sur le minerai brut avec une finesse de broyage de 87,04% à -75 µm, pour vérifier la faisabilité de la flottation sur le minerai dans le but d'augmenter le taux de fer et d'éliminer les rejets.

Les résultats du broyage-flottation montrent que les taux des résidus éliminés et de perte de récupération de fer sont respectivement de 49,49% et 27,34%.L'enrichissement était uniquement de l'ordre de 2,82%.

Il est donc conclu que l'essai de broyage-flottation de minerai brut n'est pas possible pour l'élimination des résidus.

• Essais de séparation magnétique à basse et haute intensité, flottation

– Dans le but d'améliorer la récupération du fer, des tests de séparation magnétique à haute intensité ont été conduits à différentes granulométries. Les résultats ont montré un enrichissement de 2,85 à 3,55% de fer par rapport au minerai brut.

– Si le minerai est soumis à une séparation magnétique à basse intensité et suivie d'une séparation à haute intensité, le concentré obtenu ne sera pas enrichi de façon notable. Donc les produits de SMBI (séparation magnétique à basse intensité) n'auront pas à subir une séparation magnétique à haute intensité.

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

– Des essais de séparation magnétique à basse intensité ont été conduits sur le minerai à différentes granulométries de fines (45 et 38 μ m). Le produit obtenu (SMBI) avait un %Fe variant de 62,78% à 63,5% avec une récupération d'une moyenne de 74%. [19]

Tableau IV .3 .Composition chimique des SMBI

Elements	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	Ig
%	62,94	2,46	3,27	0,77	0,31	0,10	0,54	1,86

Le % de P est toujours aussi élevé (0,54%) et le % de la gangue demeure aussi assez élevé.

– Le concentré de 75 μ m a été rebroyé sous différentes granulométries et soumis au tube de séparation magnétique. Le résultat a montré qu'il y a eu un enrichissement jusqu'à 64,45%, réduction à 0,48% P avec des taux de récupération de 82,69 à 84,7%.

– Le concentré de 75 μ m rebroyé à différentes granulométries (38 et 25 μ m) a été soumis à la flottation avec plusieurs réactifs (NaOH, SD, CaO, Al₂SO₄). Il en résulte un enrichissement qui n'a varié que de 2% avec une perte de récupération de 30%. En comparaison avec ceux des résultats des concentrés rebroyés ayant subi une séparation magnétique à basse intensité, ces derniers sont meilleurs.

– Des tests de flottation ont été réalisés sur les SMBI en fonction des différents collecteurs en vue de sélectionner le collecteur optimal. En tenant en compte du taux de récupération, il est préférable d'utiliser le RA-0 (série 0,01,..) et AT-11. Aussi ces résultats doivent être améliorés.

– Des tests de flottation sur les SMBI en utilisant différents régulateurs ont été conduits vu que la nature de la gangue se trouvant dans les concentrés issus de la flottation et séparation magnétique, est de la chlorite qui est difficile à être séparée par la flottation. Les résultats ont montré qu'il n'y a aucun enrichissement ou une réduction du %P.

– Les résultats sur les différentes granulométries (38 ,30 ,25 et 19 μ m) des SMBI ayant subi la flottation (avec différents dosage d'agents réactifs, différents collecteurs) ont montré qu'il n'y a pas d'enrichissement ou de réduction de % P notables.

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

- **Essais à la colonne du séparateur magnétique**

La colonne du séparateur magnétique, étant un équipement d'une grande efficacité, est largement utilisée dans les mines de minerai de fer magnétique. Le but du test est de voir l'effet sur les concentrés SMBI sur l'augmentation du % de fer et la réduction du phosphore. Les résultats sur deux granulométries des fins (38 et 25 μ m) n'ont donné ni une amélioration du % Fe et ni une réduction du % P notable.

- **Essais de lixiviation**

La lixiviation a été réalisée sur les SMBI avec des concentrations d'acides AC (2,5% et 1,25%) et d'acide AL (5%). La réduction du P n'est pas importante (0,43%).

- **Essais de grillage-flottation**

Le grillage a été réalisé sur le minerai et a donné le meilleur résultat d'enrichissement jusqu'à 64,3% Fe à une température de 750°C avec un temps de 90mn et une consommation de charbon de 10%.

Par ailleurs un prétraitement sur le minerai avec un acide avant grillage a été tenté, mais n'a donné aucun résultat significatif.

Des tests d'expérimentation de flottation ont été entrepris sur du concentré grillé SMBI. Les résultats ont montré que le % de Fe peut être augmenté d'une moyenne de 63,75% jusqu'à plus de 65%.

Cependant, il est difficile de réduire le % de P à 0,3% (meilleur résultat 0,37%).

Un processus de tests a été aussi expérimenté en introduisant l'étape de broyage continu à chaque fin d'étape d'enrichissement (grillage, séparation magnétique et flottation) du concentré obtenu.[19]

IV.3.2 Analyse des échantillons par DRX

La cristallographie aux rayons X, radiocristallographie ou diffractométrie de rayons X (DRX, on utilise aussi souvent l'abréviation anglaise XRD pour *X-ray diffraction*) est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X par la matière, particulièrement quand celle-ci est cristalline. La diffraction des rayons X est une diffusion élastique, c'est-à-dire sans perte d'énergie des photons (longueurs d'onde

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

inchangées), qui donne lieu à des interférences d'autant plus marquées que la matière est ordonnée. Pour les matériaux non cristallins, on parle plutôt de diffusion.

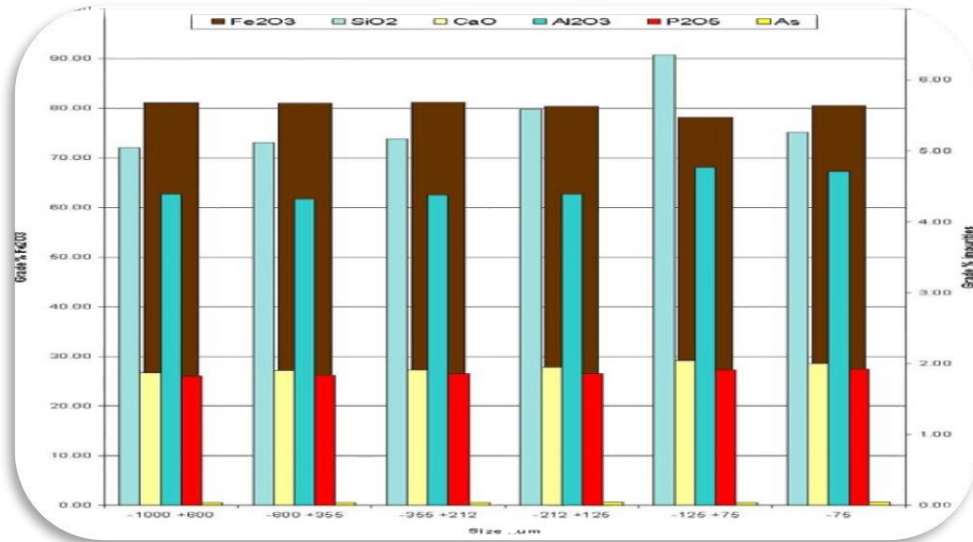


Figure IV. 1. Répartition des impuretés par fraction granulométrique du minerai de fer de Gara Djebilet concassé à moins de 1 mm.

Cette méthode utilise un faisceau de rayons X qui, rencontrant un cristal, est renvoyé dans des directions spécifiques déterminées par la longueur d'onde des rayons X et par les dimensions et l'orientation du réseau cristallin. Par la mesure des angles et de l'intensité des rayons diffractés, il est possible d'obtenir les dimensions de la maille cristalline, les symétries de la structure cristalline (groupe d'espace) et une image tridimensionnelle de la densité électronique dans la maille. À partir de cette densité, la position moyenne des atomes du cristal formant le motif cristallin peut être déterminée ainsi que la nature de ces atomes (dans une certaine mesure), leurs liaisons chimiques, leur agitation thermique et d'autres informations structurales.

L'appareil de mesure s'appelle chambre de diffraction quand il est photographique et diffractomètre quand il comporte un système de comptage des photons (détecteur ou compteur).

Les données collectées forment le diagramme de diffraction ou diffractogramme.[19]

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

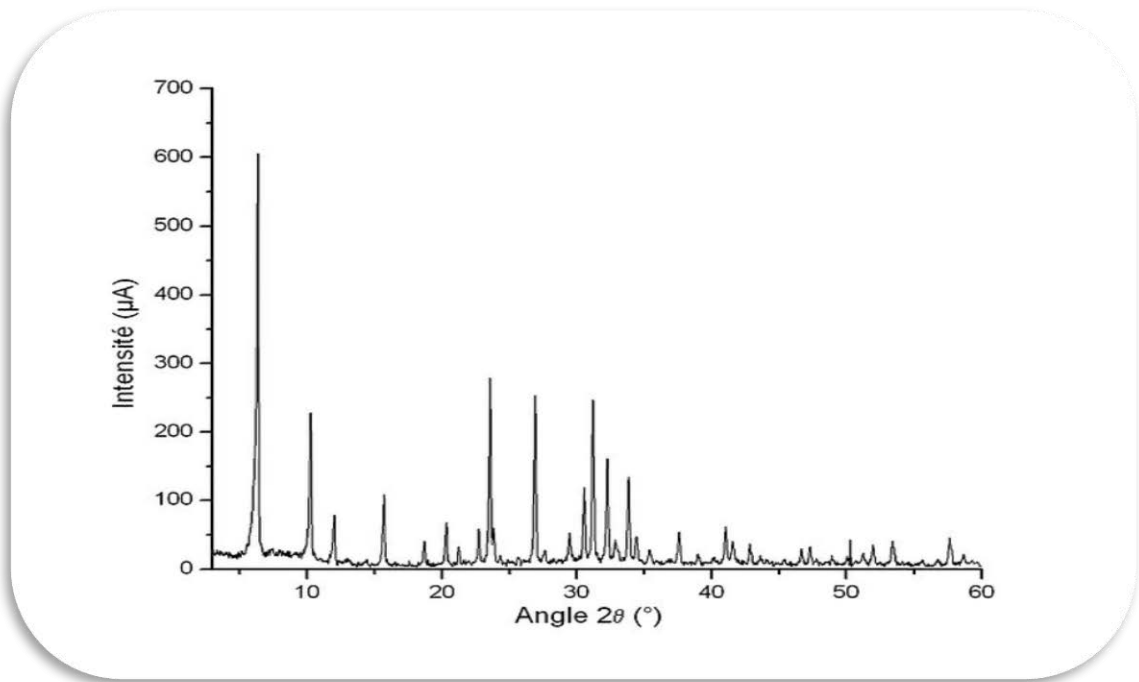


Figure IV.2. Diffractogramme de poudre

IV.3.2.1 Champ d'application

La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse physico-chimique. Elle ne fonctionne que sur la matière cristallisée (catalyseurs, minéraux, métaux, céramiques, polymères semicristallins, produits organiques cristallisés, semiconducteurs), mais pas sur la matière amorphe (liquides, polymères amorphes, verres) ; toutefois, la matière amorphe diffuse les rayons X, et elle peut être partiellement cristallisée, la technique peut donc se révéler utile dans ces cas-là. Par contre, elle permet de reconnaître des produits ayant la même composition chimique brute, mais une forme de cristallisation différente, par exemple de distinguer les différentes silices (qui ont toutes la même formule brute SiO_2 : quartz, cristobalite...), les différents aciers (acier ferritique, austénite...)^{5,6}, alliages^{7,8} ou les différentes alumines (qui ont toutes la même formule brute Al_2O_3 : corindon/alumine α , γ , δ , θ ...).

➤ Méthode

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

On prépare l'échantillon sous la forme d'une poudre aplanie dans une coupelle, ou bien sous la forme d'une plaquette solide plate. On envoie des rayons X sur cet échantillon, et un détecteur fait le tour de l'échantillon pour mesurer l'intensité des rayons X selon la direction. Pour des raisons pratiques, on fait tourner l'échantillon en même temps, ou éventuellement on fait tourner le tube produisant les rayons X.

➤ Applications

La technique est utilisée pour caractériser la matière. Cela concerne :

– la recherche : lorsque l'on crée un nouveau matériau (souvent des céramiques), que l'on veut connaître le résultat d'une réaction chimique ou physique (par exemple en métallurgie, pour reconnaître les produits de corrosion ou savoir quel type d'acier on a fabriqué), en géologie (géochimie) pour reconnaître la roche prélevée à un endroit, en biologie, pour étudier la structure des protéines par exemple ;

– pour le suivi de production dans une usine (contrôle de la qualité du produit) : dans les cimenteries, les fabriques de céramiques, etc. ;

– Dans l'industrie mécanique : pour qualifier et suivre les états de contrainte générés par les processus de production (grenailage, rectification...);

– l'industrie pharmaceutique :

– en recherche : les nouvelles molécules sont cristallisées, et les cristaux sont étudiés par diffractométrie de rayons X ;

– en production : cela sert notamment à vérifier que l'on n'a pas fabriqué une autre molécule de même formule, mais de forme différente (on parle de polymorphisme).[19]

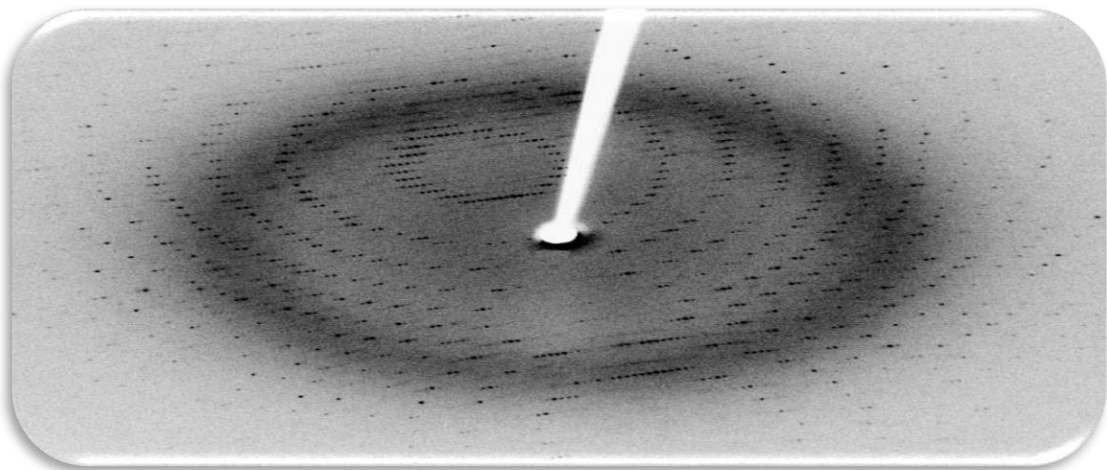


Figure IV. 3. Cliché de diffraction de la protéase virale 3CLpro cristallisée

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

IV.4 Travaux réalisés par sider (après 1980)

IV.4 .1 Filières métallurgiques de valorisation du minerai gara Djebilet

Au début des années 1980, date à laquelle il a été décidé de trouver une solution au minerai de fer de Gara Djebilet en utilisant la voie métallurgique, les principales filières de production d'acier consistaient en :

- Agglomération - Haut Fourneau – Convertisseur à Oxygène,
- Pelletisation - Réduction directe – Four électrique arc.[19]

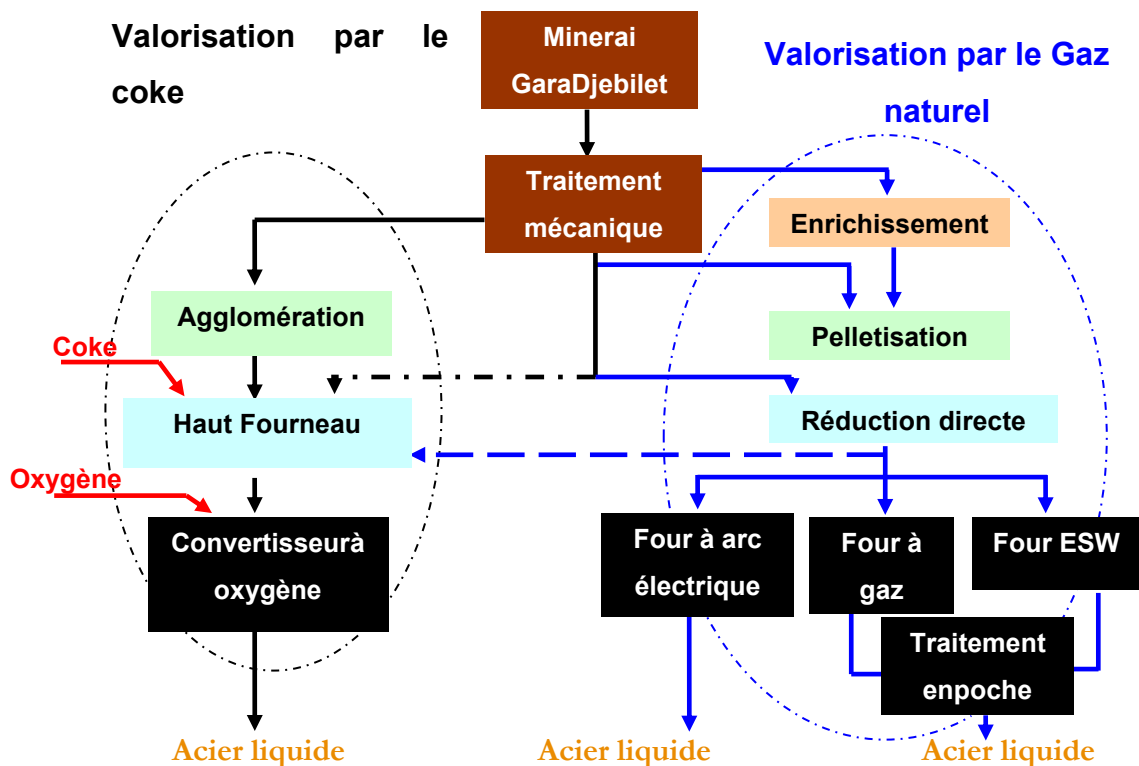


Figure IV.4. Filières métallurgiques de valorisation du minerai gara Djebilet

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

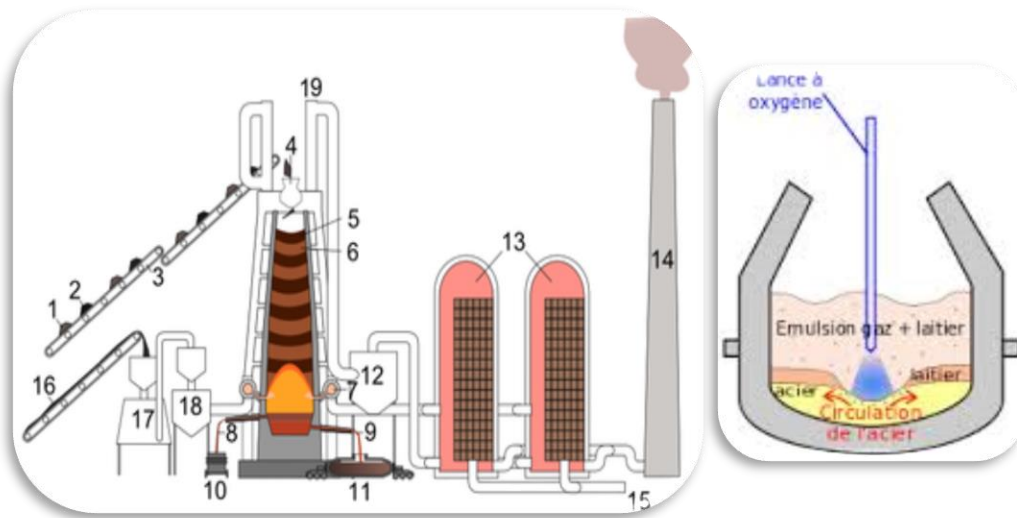


Figure IV.5. Agglomération - Haut Fourneau – Convertisseur à Oxygène

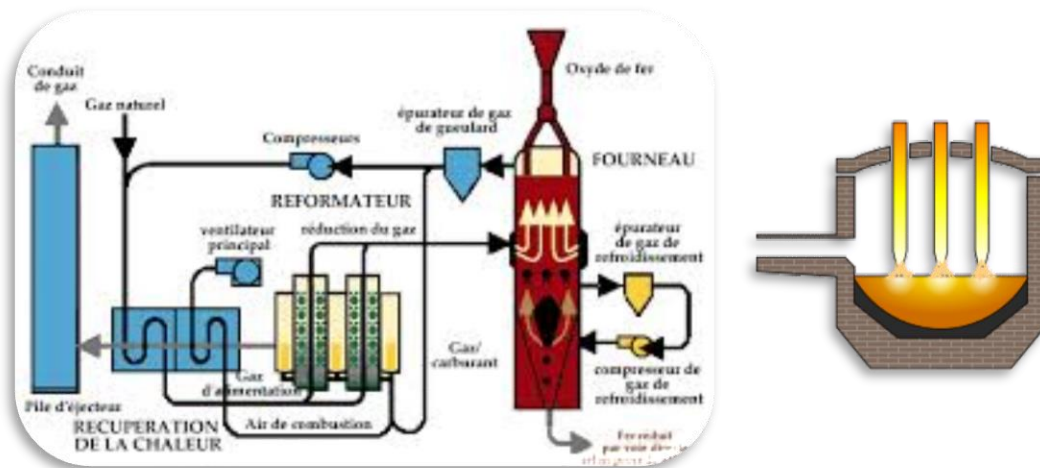


Figure IV.6. Réduction directe – Four électrique arc

Des études comparatives ont été réalisées sur le choix des filières à adopter.

La filière Agglomération - Haut fourneaux – Convertisseur à oxygène bien que largement répandue et maîtrisée n'a pas été retenue comme choix de filière du fait de la grande quantité de charbon cokéifiable nécessaire à la production d'une tonne de fonte (1 tonne de charbon pour une tonne de fonte). De plus, le charbon n'est pas disponible en Algérie, il faudrait l'importer entièrement.

La filière Pelletisation – Réduction directe – Four électrique à arc ou à gaz a été retenu comme option de développement bien qu'elle ne soit pas entièrement maîtrisée

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

pour les minerais phosphoreux, mais cette filière à l'avantage d'utiliser et de valoriser le gaz naturel en abondance en Algérie.

D'où une série d'études et d'essais ont été lancés.[19]

IV.4.2 Essais HYLSA 1986 (Mexique)

Valorisation du minerai de fer de Gara Djebilet par la filière Réduction Directe –Four Électrique à Arc.

HYLSA, entreprise mexicain, se trouvait dans des conditions similaires que celle de l'Algérie, elle n'avait pas de coke comme ressource énergétique mais elle avait en abondance du gaz naturel et possédait aussi du minerai phosphoreux mais qui ne dépassait pas le 0.3%.

Elle a mis au point le procédé HYL pour traiter son minerai.

En décembre 1985, environ 400 tonnes de minerai de fer de Gara Djebilet ont été envoyés à HYLSA pour des essais de réduction directe selon le procédé HYL et de fusion au four électrique à arc.

Ces essais se sont déroulés en trois phases et ont fait l'objet de trois rapports intermédiaires et d'un rapport final.

IV.4.2.1 Essais de caractérisation

Un échantillon a été prélevé et utilisé pour les essais de laboratoire

- Caractéristiques minéralogiques ;
- Caractéristiques chimiques ;
- Caractéristiques physiques : dureté, porosité, etc.
- Caractéristiques métallurgiques

- **Structure du minerai**

Le minerai est composé de plus de 10% de magnétite FeO , Fe_2O_3 et d'hématite Fe_2O_3 , entre 1 et 10% de calcite (CaCO_3), de silice (SiO_2) et de silicate d'alumine hydratée, de moins de 1% de feldspath ($6 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$ ou Na_2O) et d'apatite (CaF) $\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_3$ ou de $(\text{CaCl}) \cdot (\text{PO}_4)_3$.

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

✓ Analyse de la phase phosphatée.

L'analyse de la phase phosphatée révèle que l'on est en présence d'une apatite faiblement carbonatée et sulfatée, elle est répartie en exogangue et en endogangue.

L'endogangue est représentée par des cristaux d'apatite de néoformation ne dépassant guère 20 microns et qui se trouvent au cœur du nucléus des éléments ferrifères, et une forme minéralogique de phosphate autre que l'apatite qui se manifeste par le calcul du rapport $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$.

La finesse de la maille de libération de ces cristaux et l'excès de phosphore attribuable à une autre forme minéralogique de phosphate compliquent le processus de déphosphoration.[21]

✓ Propriétés Physiques du minerai de fer de Gara Djebilet

Tableau IV.4. Propriétés Physiques du minerai de fer de Gara Djebilet [19]

Densité réelle g/ml	4 - 4.8
Densité apparente	3.2 - 4.3
Porosité	15 - 18 %
Humidité	22 - 8%
Index d'Abrasion	8.25
Tendance au collage	22.5
T° de désintégration à 500 ° C	
% + 1/4 ‘‘	70.79
% - 1/8 ‘‘	24.34

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

IV.4.2.2 Essais de Réduction Directe

– Les essais de réduction directe ont été réalisés sur du minerai brut sous forme de lump.

– Ces essais ont eu lieu dans une installation pilote de capacité 24 tonnes par jour, avec un cycle de réduction de 300 kg toutes les 20 minutes.

– Cette installation est similaire aux installations industrielles HYL

Lors des essais différents paramètres ont été testés

- Volume du gaz réducteur,
- Température du gaz réducteur,
- Refroidissement du pré réduit,
- Dépôt de carbone.

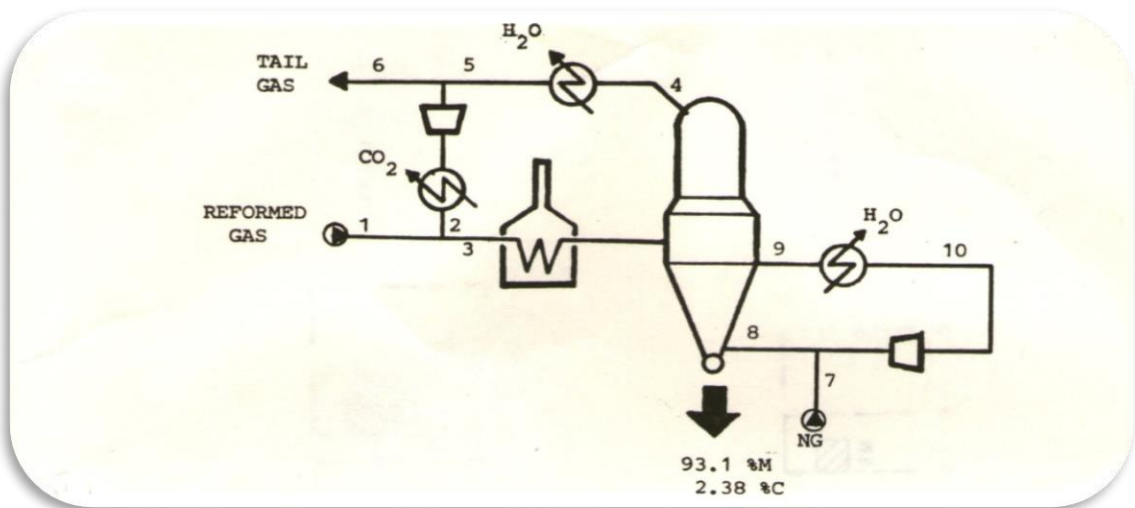


Figure IV.7. Schéma du processus de réduction directe [19]

Tableau IV.5 Flux des gaz pendant le processus de réduction

	6	7	8	9	10
H ₂	71.3	0.4	61.9	64.7	64.4
CO	20.1	0.0	4.3	4.5	4.5
CO ₂	4.1	0.4	0.2	0.2	0.2
CH ₄	1.8	89.0	29.3	26.9	26.8
N ₂	0.7	0.9	0.6	0.6	0.6
H ₂ O	2.0	0.0	1.9	1.6	2.0
C ₂ H ₆	-	8.7	1.7	1.4	1.4
C ₃ H ₈	-	0.6	0.1	0.1	0.1
C ₄ H ₁₀	-	-	-	-	-
FLOW (NCM/Ton Fe)	407	48.8	1216	1162	1167
(NCM/Ton DRI)	318	38.1	950	908	912

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

	1	2	3	4	5
H ₂ (% Mol)	70.0	74.4	73.4	62.0	71.3
CO	14.4	21.0	19.4	17.5	20.1
CO ₂	7.1	0.0	1.7	3.5	4.1
CH ₄	6.2	1.9	2.9	1.6	1.8
N ₂	0.3	0.7	0.6	0.6	0.7
H ₂ O	2.0	2.0	2.0	14.8	2.0
FLOW (NCM/Ton Fe)	782	2482	3264	3447	2996
(NCM/Ton DRI)	611	1938	2549	2692	2340

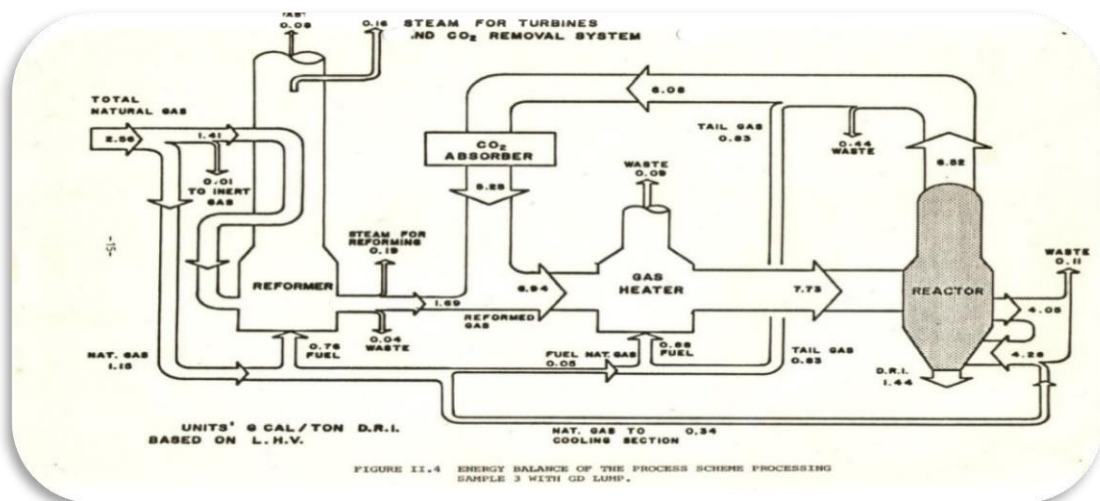


Figure IV.8 Bilan énergétique des essais de réduction directe (Echantillon3) [19]

IV.4.2.3. Essais de fusion

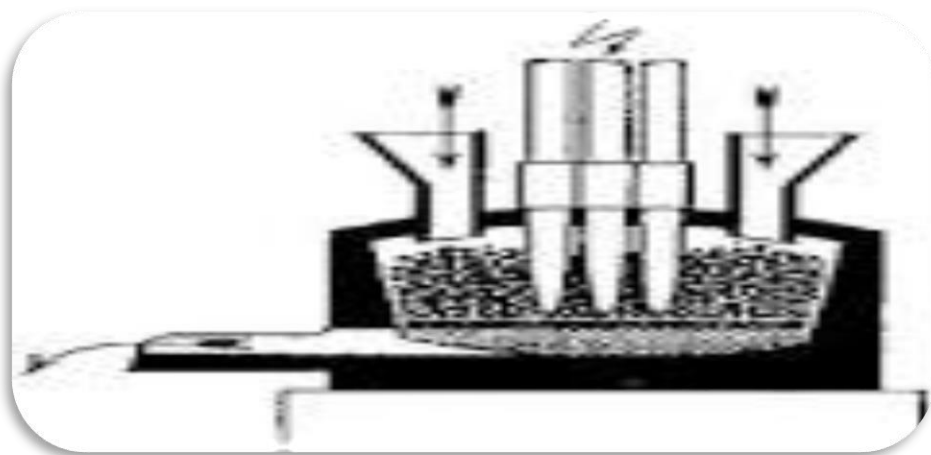


Figure IV. 9. Essais de fusion réalisés dans un four électrique à arc

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

Les essais de fusion ont été réalisés dans un four électrique à arc de capacité nominale 500 kg fonctionnant avec des électrodes de 10 à 20 cm de diamètre avec une puissance de 750 KVA et un voltage en ligne de 13200 V. L'alimentation en pré réduit va de 2 à 35 kg/min.

Les essais ont été réalisés selon plusieurs procédures en appliquant différents indices de basicité ; différentes méthodes d'injection de chaux et d'oxygène.[19]

Procédures des essais de fusion

- RH 100 - 100% de préréduit de Gara Djebilet ; 2 décrassages - 5 coulées.
- RH 75 – 75% de préréduit, 25% de ferraille, proche des conditions industrielles ; 1 décrassage - 5 coulées.
- LB 1.5 – Faible basicité, la chaux est ajoutée pendant la fusion pour neutraliser la gangue acide - 5 coulées.
- MB 2.0 – Moyenne basicité, similaire à LB 1.5 - 5 coulées.
- HB 2.5 – Haute basicité, similaire à LB 1.5 - 5 coulées - 10 coulées.
- LI – Injection de chaux pour favoriser la déphosphoration- 10 coulées.
- 2LI – Deux injections de chaux - 10 coulées.
- Injection d'oxygène à différents moments et à différentes positions – 46 coulées.

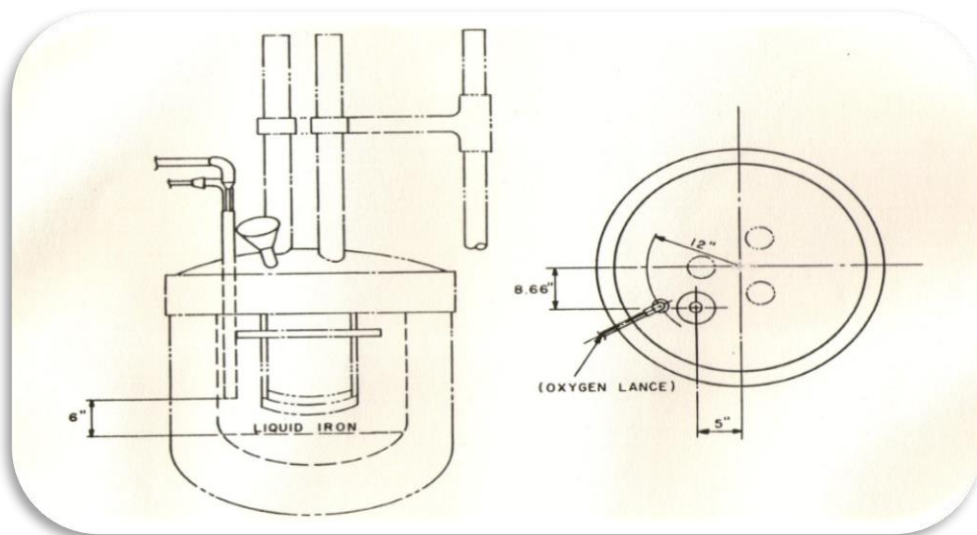


Figure IV. 10 .Schéma du four de fusion et position de la lance à oxygène

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

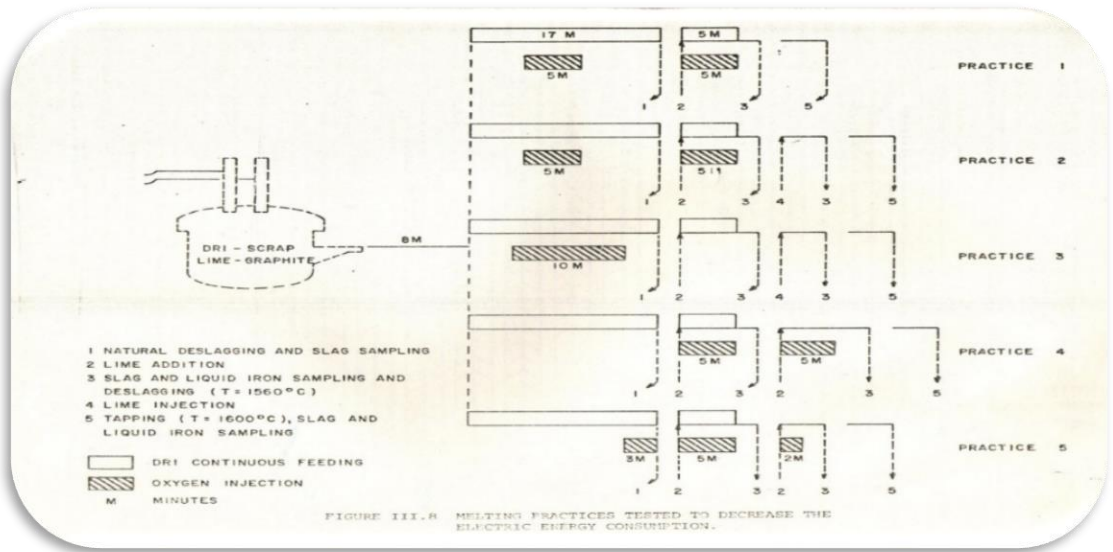


Figure IV. 11. Procédure pour la fusion de l'éponge de fer

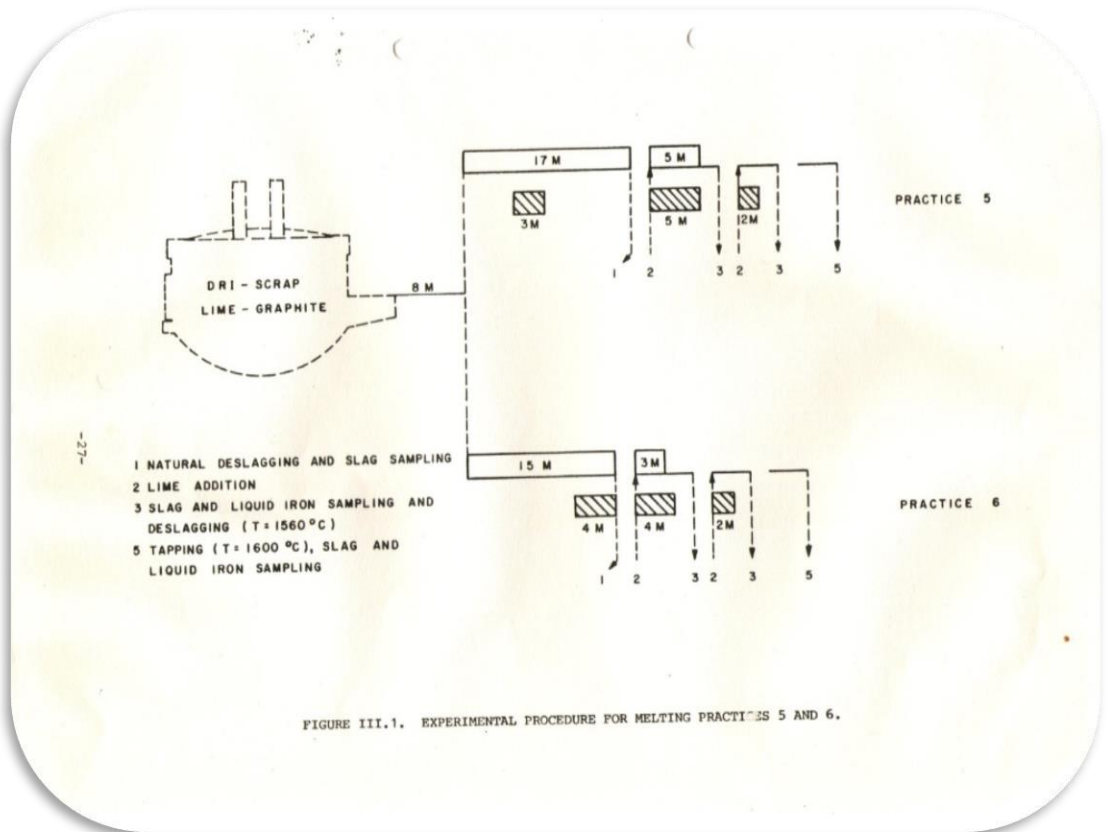


Figure IV. 12. Résultats des essais de fusion de l'éponge de fer de Gara Djebilet

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

Tableau IV .6 .Résultats expérimentaux moyens de la fusion du gara DRI

		ENERGY CONSUMPTIONS KWH/TLS											
	TEST	MELTDOWN CARBON	TAPPING CARBON	P MELTDOWN	P TAPPING	MELTING	REFINING	TOTAL	ELECTRODE KG/TLS	YIELD*	DR (1560°C)	DR (1600°C)	
SAMPLE 1	RH-75	0.31	0.28	0.814	0.814	847	52	899	5.8	95	0.13	0.18	
	2LI	0.06	0.05	0.035	0.028	962	299	1261	9.5	87	0.97	0.98	
	2LI-PP	0.06	0.10	0.022	0.039	1109	120	1229	9.1	89	0.98	0.97	
SAMPLE 2	LOT A	RH-75	0.37	0.38	0.776	0.78	774	49	823	6.2	95	0.29	0.29
		2LI	0.11	0.12	0.020	0.018	826	290	1116	8.9	93**	0.98	0.98
	LOT B	P2	0.37	0.35	0.119	0.133	914	148	1062	8.2	82	0.92	0.91
		P5	0.15	0.19	0.049	0.043	936	91	1027	11.8	80	0.96	0.96
	SAMPLE 3	P5-1	0.10	0.12	0.037	0.028	908	75	983	10.5	87	0.96	0.97
		P5-2	0.33	0.12	0.078	0.036	977	57	1034	10.1	84	0.92	0.96

* Yield = TLS/Metallic charge
** Iron ore was considered

TABLE III.4 AVERAGE EXPERIMENTAL RESULTS OF THE GARA DRI MELTING

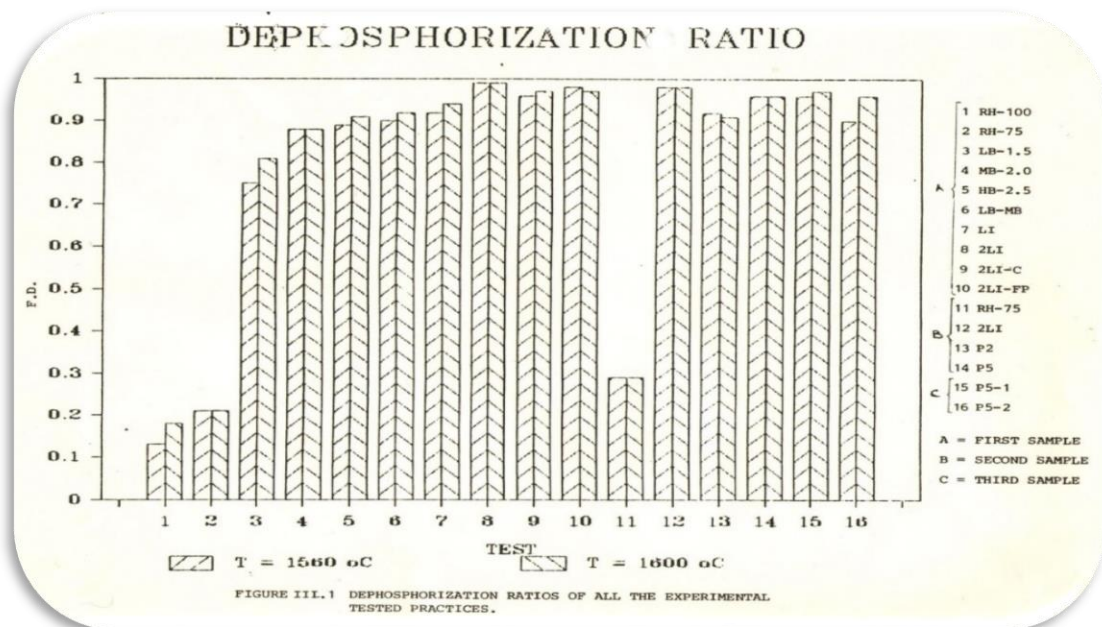


Figure IV. 13. Ration de déphosphoration de toutes les pratiques expérimentales testées

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

D'une manière générale, le minerai, de type oolitique, est constitué d'une couche de minerai magnétique comprise entre deux couches non magnétiques. La paragenèse de ce minerai est très complexe.

✓ Les essais de réduction ont permis de conclure que le minerai de Gara Djebilet est apte à la Réduction directe selon le procédé HYL.

- Le taux de métallisation peut être supérieur à 93 %.
- Le fer total peut être supérieur à 78 %.

L'utilisation du gaz naturel comme produit d'appoint dans le circuit de refroidissement, s'est avéré être une meilleure alternative pour obtenir une haute teneur de carbone.

✓ Les essais de fusion ont démontré qu'il était possible d'obtenir de l'acier par fusion de l'éponge de fer du minerai de Gara Djebilet dans un four électrique à arc. La teneur en phosphore obtenue est inférieure à 0.03% et répond aux normes de conformité des aciers.[19]

IV.4. 3 Essais de valorisation par le procédé ESW (Allemagne - 1988)

Le Four ESW est un four électrique fonctionnant en continu avec des électrodes plongées dans le laitier; Il est aussi appelé four à résistance de laitier ou four à arc submergé.

Il est utilisé habituellement pour le traitement des ferro-alliages et pour les minerais ayant une gangue très importante.

La coulée du métal et du laitier se font par intermittence selon le principe de fonctionnement d'un haut fourneau.

Près de 30 tonnes d'éponge de fer produite sur les installations pilotes de HYLSA à Monterrey au Mexique ont été envoyées en Allemagne.

Des essais de fusion de cette éponge de fer au four électrique à résistance de laitier ont été réalisés.

- Les essais préliminaires ont été réalisés dans un four de 70 KWh.
- Les essais pilotes ont été réalisés dans un four de 300 KWh.[19]

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

-Four de 70KWh pour les essais préliminaires

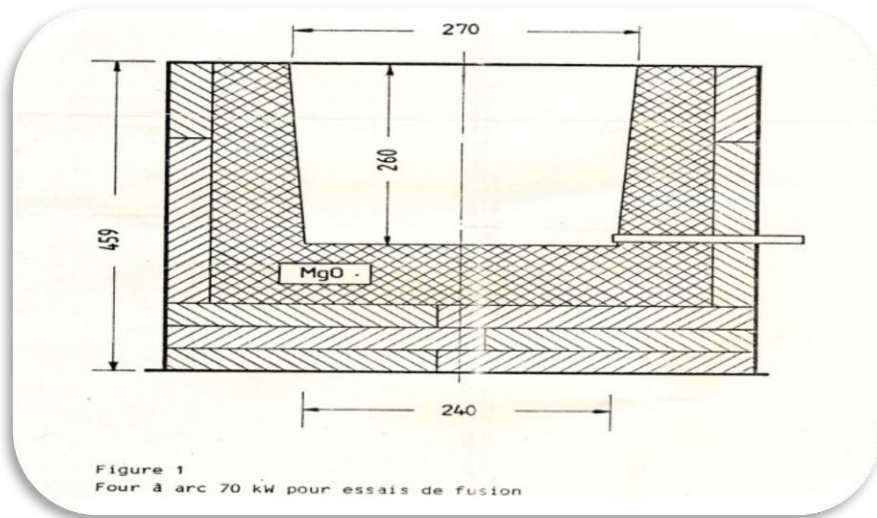


Figure IV. 14. Four a arc 70 kw essais de fusion

-Four de 300 KWh pour les essais pilotes

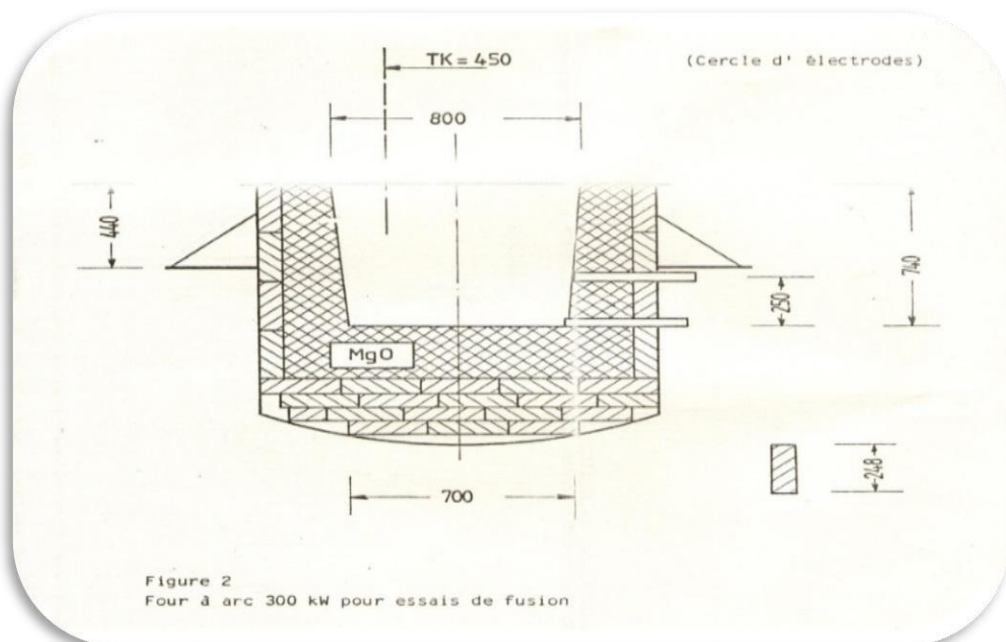


Figure IV. 15. Four à arc 300 kw pour essais de fusion

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

-Résultats Métallurgiques ESW (Four 300KWh)

Tableau IV .7 .Analyses acier et scories pour les essais dans le four de 300 KW

Analyse acier															Analyse scories									
Date	Heure	No.essai/	C	Mn	P	S	Si	As	FeO	SiO2	CaO	MgO	C	Al2O3	P2O5	S	SiCaO/SiO2	Temp.	Date	Heure	No.essai/			
4.5.88	16.20	21.1	0.310	0.017	0.048	0.015	0.001	0.054	12.47	16.42	43.33	11.85	0.013	10.07	3.89	0.023	2.64	1545	14.5.88	16.20	21.1			
	16.20	21.2	0.299	0.016	0.042	0.014	0.001	0.040	11.54	16.65	43.42	12.09	0.014	10.72	3.98	0.025	2.61			16.20	21.2			
	16.40	21.3	0.299	0.016	0.039	0.014	0.002	0.051	11.32	16.06	43.44	11.84	0.010	10.50	4.08	0.021	2.70	1561		16.40	21.3			
	18.24	22.1	0.140	0.013	0.032	0.014	0.001	0.058	13.84	16.68	43.65	9.86	0.008	10.76	3.93	0.025	2.62	1552		18.24	22.1			
	18.44	22.2	0.119	0.018	0.041	0.014	0.001	0.057	12.85	16.80	43.36	9.92	0.009	10.50	3.95	0.022	2.58			18.44	22.2			
	18.55	22.3	0.149	0.017	0.044	0.014	0.001	0.058	14.04	16.90	43.36	10.13	0.004	10.07	3.92	0.022	2.57	1586		18.55	22.3			
	20.55	23.1	0.040	0.010	0.022	0.018	0.013	0.072	18.61	15.77	40.01	8.49	0.002	10.63	3.96	0.028	2.54	1523		20.55	23.1			
	21.05	23.2	0.060	0.010	0.017	0.018	0.006	0.065	19.18	15.82	39.33	9.61	0.005	10.34	3.94	0.025	2.52			21.05	23.2			
	21.15	23.3	0.090	0.006	0.009	0.018	0.001	0.062	18.56	15.80	39.71	9.84	0.003	10.35	3.92	0.025	2.51	1527		21.15	23.3			
	23.00	24.11	0.05	0.011	0.018	0.01	0.003	0.043	22.03	14.58	39.00	9.99	0.005	9.10	3.47	0.023	2.67			23.00	24.11			
5.5.88	1.55	24.1	0.350	0.013	0.027	0.015	0.002	0.048	12.18	16.81	44.56	9.51	0.004	10.75	4.05	0.025	2.65	1587	15.5.88	1.55	24.1			
	2.05	24.2	0.330	0.016	0.027	0.015	0.001	0.046												2.05	24.2			
	2.15	24.3	0.390	0.016	0.026	0.015	0.001	0.043	11.28	17.56	45.82	8.95	0.003	11.76	4.21	0.018	2.61	1577		2.15	24.3			
	4.20	25.1	0.330	0.012	0.010	0.015	0.001	0.042	12.50	16.90	45.73	8.79	0.004	10.89	4.02	0.020	2.71	1530		4.20	25.1			
	4.30	25.2	0.330	0.015	0.025	0.016	0.001	0.047	12.16	17.37	45.19	8.62	0.005	11.27	4.09	0.020	2.69			4.30	25.2			
	4.40	25.3	0.270	0.014	0.022	0.015	0.005	0.048	11.70	17.53	45.07	9.10	0.005	11.30	4.13	0.019	2.57	1569		4.40	25.3			
	6.40	26.1	0.130	0.009	0.017	0.014	0.001	0.054	16.00	15.14	43.19	9.28	0.006	10.37	3.70	0.022	2.85	1559		6.40	26.1			
	6.50	26.2	0.110	0.010	0.014	0.014	0.001	0.054	15.81	15.36	43.29	9.91	0.008	10.55	3.75	0.023	2.82	1559		6.50	26.2			
	7.00	26.3	0.230	0.011	0.018	0.014	0.001	0.046	14.60	15.75	43.73	10.31	0.007	10.70	3.78	0.023	2.78	1557		7.00	26.3			
	8.45	27.1	0.05	0.008	0.02	0.011	0.001	0.052	22.96	15.09	38.89	7.72	0.007	8.91	3.53	0.022	2.58	1548		8.45	27.1			
	8.58	27.2	0.04	0.009	0.013	0.013	0.001	0.054	26.90	16.20	40.55	7.86	0.005	9.42	3.90	0.022	2.50	1529		8.58	27.2			
	9.10	27.3	0.05	0.006	0.019	0.014	0.001	0.053	28.82	16.20	39.67	7.40	0.005	9.60	3.90	0.021	2.45	1548		9.10	27.3			
	10.57	28.1	0.050	0.008	0.020	0.010	0.017	0.052	23.47	14.25	39.10	8.49	0.007	8.68	3.49	0.021	2.74	1525		10.57	28.1			
	11.09	28.2	0.070	0.007	0.018	0.013	0.001	0.051	26.12	15.43	40.18	8.07	0.006	9.63	3.67	0.023	2.60	1537		11.09	28.2			
	11.18	28.3	0.070	0.018	0.039	0.013	0.025	0.048	26.10	15.59	40.80	7.84	0.006	9.58	3.73	0.021	2.62	1609		11.18	28.3			
	11.63	29.1	0.100	0.010	0.029	0.015	0.001	0.054	19.05	15.50	40.21	9.05	0.005	10.23	3.83	0.020	2.59	1538		11.63	29.1			
	11.17	29.2	0.070	0.013	0.026	0.015	0.007	0.055	22.49	15.15	37.19	9.06	0.005	9.92	3.71	0.019	2.45	1606		11.17	29.2			
	13.20	29.3	0.050	0.009	0.028	0.014	0.002	0.055	22.58	15.20	37.66	8.92	0.009	9.94	3.75	0.018	2.43	1612		13.20	29.3			

-Résultats consommation électrique ESW (Four 300KWh) :

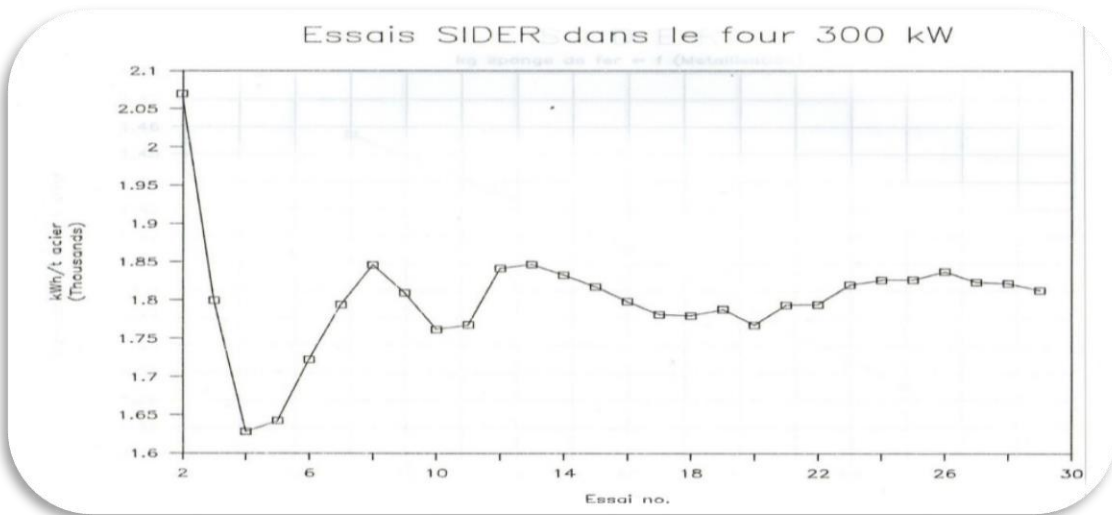


Figure IV. 16. Essais SIDAR dans le four 300 KW

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

Ces essais ont permis de démontrer que ce procédé s'adapte bien à la fabrication de l'acier à partir de l'éponge de fer produite à partir du minerai de fer de Gara Djebilet.

La forte gangue du minerai et les grandes quantités de chaux additionnées pour obtenir un indice de basicité élevée favorise l'obtention de l'arc submergé.

- Au four de 70 kwh, on a constaté qu'il ya une grande influence de la teneur en FeO sur la déphosphoration. Pour obtenir un taux de 0.03% de P dans l'acier, il faut un minimum de 14% de FeO et une basicité CaO/SiO₂ de plus de 2.2.

Une augmentation supplémentaire de la teneur en FeO et de la basicité à 2.8 a pour conséquence la réduction de la teneur en phosphore de l'acier à moins de 0.01%.

La consommation d'énergie a été de l'ordre de 3200 kw/t d'acier.

Les teneurs en arsenic demeurent élevées .

- Au four de 300kwh, les résultats ont confirmé les valeurs enregistrées dans les essais préliminaires (70kwh).

Les teneurs en phosphore de moins de 0.03% ont été atteintes sur la base des basicités suivantes ;

B =	2.15	-	2.40	et FeO =	15%
B =	2.41	-	2.60	et FeO =	12%
B =	2.61	-	2.80	et FeO =	11%
B =	2.81	-	3.11	et FeO =	10%

De façon similaire, la teneur en arsenic demeure élevée indépendamment de la teneur en FeO et de la basicité.

La consommation électrique a été de 1800 kw/t d'acier.

La consommation d'électrodes a été de 41 kg par tonne.

Dans le domaine industriel, les données probables du processus seraient :

-Analyse de l'acier : 0.1 - 0.2% de C, 0.05 - 0.1% de Si ,0.02% de Mn; 0.02% de S ;0.03% de P.

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

-Analyse des scories : 15% FeO ; 1% MnO; 17% SiO₂; 11% Al₂O₃; 41% de CaO ; 9% de MnO

La quantité de scorie serait d'environ 600kg/t d'acier.

La consommation probable d'électrodes serait de l'ordre de 5 kg par tonne d'acier. Ce procédé dont le mode opératoire est relativement simple peut présenter un intérêt économique malgré la forte consommation d'énergie électrique.[19]

IV.4. 4 Essais de valorisation par le procédé SNS-KAISER

IV.4. 4 .1 Principe du procédé

- Le minerai de fer traité (broyé et criblé) et mélangé à de la chaux est transformé en éponge de fer dans une cuve alimentée en continu et sous l'effet de l'hydrogène et du CO à une température proche de 1000 °C
- Le gaz réducteur est obtenu par cracking du gaz naturel par la vapeur en présence d'un catalyseur suivant la réaction : $CH_4 + H_2O = 3H_2 + CO$
- L'éponge de fer, ainsi obtenue, alimente un four à gaz de manière continue. Ce four fonctionne comme un haut fourneau avec évacuation cyclique du laitier et du métal.
- Le métal ainsi obtenu peut être ensuite traité dans un four électrique pour la mise à la nuance.[19]

IV.4.4.2 Travaux réalisés

SIDER a acquis et mis en place au niveau du Complexe d'El Hadjar; à la DRA, une installation pilote de réduction du minerai de fer de l'éponge de fer, en collaboration avec l'Américain KAISER.

Elle a réalisé quelques essais de production de l'éponge de fer à partir de lumps; le taux de métallisation moyen a été de 85%.

Les essais de fusion au gaz naturel en atmosphère réductrice de cette éponge de fer n'ont pas été menés à terme.

Elle a acquis aussi des équipements de pelletisation ; d'homogénéisation, de broyage et de criblage, ainsi qu'un four électrique à arc.

Chapitre IV : Caractérisation Physico-Chimique du minerai de fer du gisement de gara Djebilet et son Traitement

Des boulettes de bonne qualité ont été produites mais en quantité insuffisante pour réaliser des essais de réduction et de fusion.

Le four électrique à arc, de capacité 1 tonne par coulée, devait permettre de reprendre les essais de fusion réalisés en collaboration avec tous les essais nécessaires à la valorisation de ce minerai.

Ces essais ont été interrompus sans que l'on puisse maîtriser de façon significative ces équipements pilotes, ni de dresser un tableau de résultats métallurgiques et économiques pour la filière.[19]

IV.5 Conclusion

Les travaux ont juste permis aux cadres et aux ingénieurs algériens de se former à la technique de réduction directe et de fusion de l'éponge de fer.

Sur la base des travaux réalisés, on peut dire que le processus est réalisable, mais aucune appréciation ne peut être faite quant aux aspects économique et technique à une échelle industrielle.

Chapitre V :

Problèmes et faisabilité du projet

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

V.1 Introduction

La Société nationale de fer et de l'acier (Feraal) et l'entreprise chinoise Sinosteel equipment & engineering ont signé lundi à Alger un protocole d'accord de réalisation des études de préfaisabilité et de faisabilité des investissements de développement du gisement de fer de Gara-Djebilet (Tindouf). Déjà présente à Bellara (Jijel) et à Oran, Sinosteel est une entreprise étatique chinoise fondée en 1993, activant principalement dans l'exploitation minière, la fabrication d'équipements et l'ingénierie, et est le 2ème importateur chinois de minerai de fer. Ces études de préfaisabilité et de faisabilité devraient être prêtes à fin 2017 et porteront sur l'ensemble des aspects de la mise en exploitation du gisement, a expliqué M. Bouchouareb.

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", a-t-il souligné. Le contrat couvre également la réalisation par des centres de recherche en Chine des essais de déphosphoration et d'enrichissement sur quatre (4) procédés distincts, a expliqué le ministre rappelant que les laboratoires algériens ont pu atteindre en 2015 un taux de déphosphoration avoisinant 0,1%. Sur la base de ces études et essais, Feraal compte réaliser en 2018 une usine-pilote permettant de démontrer la fiabilité du procédé de traitement retenu et de déterminer tous les paramètres de fonctionnement du projet d'exploitation industrielle du minerai de Gara-Djebilet qui sera lancé entre 2021 et 2022. A ce propos, M. Bouchouareb a considéré que pour l'Algérie, la valorisation de ce minerai de fer était à la fois stratégique et un défi, soulignant que ce projet permettra de placer l'Algérie en tant que "leader" de l'industrie sidérurgique et métallurgique à l'échelle continentale en se dotant d'une plateforme de production de taille internationale.

L'exploitation du gisement de fer de Gara-Djebilet permettra aussi à l'Algérie de devenir un "hub métallurgique" stimulant de nouveaux bassins d'emplois. A cet égard, les premières estimations font ressortir un potentiel de création de 4.800 emplois directs et

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

de 14.500 indirects aussi bien au niveau de la mine, des installations industrielles, des annexes que des infrastructures, a-t-il avancé. Pour rappel, le gisement de Gara Djebilet renferme un potentiel d'au moins 1 milliard de tonnes de minerai de fer. L'Algérie compte en extraire 40 millions de tonnes par an. Le coût du projet est estimé à quelques 15 milliards de dollars. La rentabilité d'un tel projet fait que son financement ne pose aucun problème. A 80 dollars la tonne, l'exploitation du gisement de Gara Djebilet rapportera à l'Algérie un revenu annuel de plus de 3 milliards de dollars. La valorisation locale de ce minerai dans l'industrie sidérurgique renaissante rapportera évidemment beaucoup plus à l'économie nationale. Pour l'instant, on ne sait pas si l'Algérie a choisi d'exploiter le gisement de Gara Djebilet seule ou avec un partenaire étranger. [22]

V.2 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. [23]

V.2.1 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 inclut les travaux de laboratoire, l'étude géotechnique, les essais de traitement du minerai.[23]

V.2.2 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.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

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 pré-faisabilité inclue les travaux de laboratoire, l'étude géotechnique, les essais de traitement du minerai.[23]

V.3 Position des problèmes

V.3.1 Besoins en produits sidérurgiques

Tableau V.1 .A l'horizon 2025/2030, sur la base d'hypothèses réalistes, la capacité nationale de production d'acier liquide devrait atteindre les 12 millions de Tonnes environ.[24]

Usines Sidérurgiques	Capacité annuelle horizon 2025/2030 (T/an d'acier liquide)	Matières premières consommées	Besoins importation
TOSYALI Algérie / Oran	6 000 000	Minerai importé sous forme de Concentré	9.000.000
AQS Bellara / Jijel	2 000 000	Minerai importé sous forme de Pellets	3.000.000
SIDER El-Hadjar / Annaba	1 250 000	Minerai national (MFE-Tébessa)	
EDS El-Hadjar / Annaba	1 250 000	Minerai importé sous forme de Pellets	1.800.000

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Diverses Usines Privées Oranie — Centre — Sud	1 500 000	Ferrailles nationales et/ou importées; Minerai importé sous forme de pré- réduit (HBI, CDRI)	1.000.000
TOTAL	12 millions de tonnes d'acier liquide	Importations de matières premières, équivalent à 20 millions de tonnes minerai de fer brut	

A l'exception de SIDER El-Hadjar, toutes les autres usines sidérurgiques nationales consomment des matières premières importées en totalité ou en partie :

- Ferrailles ou Minerais pré-réduits (DRI/HBI), d'un prix unitaire de l'ordre de 200 US\$/T;
- Minerai concentré riche conditionné en Pellets (boulettes) a 120-140 US\$/T;
- Minerai concentré riche en fines a 70-80 US\$/T par TOSYALI Algérie, actuellement seule usine équipée d'une chaîne de pelletisation.

Globalement la production de 12 Millions de tonnes d'acier risque d'entraîner un besoin d'importations d'un montant prévisionnel estimé à 2 Milliards US\$. Face à ce besoin, la valorisation des ressources minières algériennes devient une priorité nationale pour la réduction des importations en coûts et quantités, et la sécurisation des approvisionnements.

Parmi les gisements de minerai de fer identifiés sur le sol national, seuls les gisements de la zone de Gara-Djebilet (Wilaya de Tindouf) sont suffisamment importants et connus pour répondre à ce besoin de la sidérurgie algérienne.

Dans l'Algérie du Nord, hors Ouenza et Boukhadra les sites miniers connus sont de faible importance et, souvent, déjà mobilisés pour alimenter l'industrie cimentière.

En conséquence, tabler sur une mise en valeur de ces sites n'est pas réaliste, dans tous les cas, cela nécessite des travaux de reconnaissance approfondie qui pourraient durer entre huit et dix d'années.

A titre illustratif, ci-après les différents produits, matières premières requises pour la production sidérurgique en fonction des procédés retenus :

- minerai concentré (TOSYALI),
- minerai en morceau (SIDER EL HADJAR),

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

- pellets ou boulettes (AQS, EDS),
- pré-réduits sous forme de DRI ou HBI, et/ou ferrailles (TOSYALI, AQS, privés nationaux)

Matières premières pour le haut fourneau et la réduction directe



Figure V.1 Matières premières pour le haut fourneau : a) Minerai en morceaux, b) Fines de minerai, c) Pellets de minerai [24]

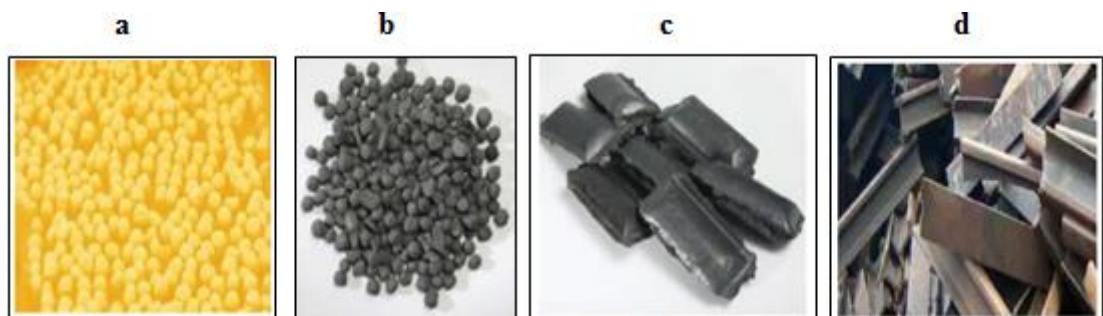


Figure V.2 Pré-réduits : a) Hot DRI, b) Cold DRI, c) HBI, d) Ferrailles [24]

V.2.2 Ressources minières

V.2.2 .1.DONNÉES DES FORAGES HISTORIQUES

Une synthèse des forages rapportés pour Gara Djebilet est présentée dans le Tableau 2 ci-dessous.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Tableau V.2. Forages historiques (d'après Grey et al. 2007) [25]

Secteur	Années	Nbre approx. de trous forés	Société/ Groupe
Gara Centre	1953-54	33	BRMA
	1957	75	BIA
	1976-78	35	KECI
Total	A	143	
Gara-Est	1953-54	5	BRMA
Total		5	
Gara Ouest	1960	51	SERMI
	1976-78	95	KECI
Total	B	146	
Total	A + B	294	

V.2.2 .2.Teneur et tonnage

Guerrak (1988) est arrivé à des réserves économiques du minerai de 985 x 106 tonnes avec une teneur en Fe de 57,8 % pour les gisements cumulés de Gara Centre et Gara Ouest. Il a effectué le tracé des données des trous de forage historiques jusqu'à ce jour pour Gara Centre et Gara Ouest (Figure 4) qui présente une nette tendance en faveur d'une augmentation de la teneur du minerai en direction du nord-est.

L'étude de Rio Tinto (2007) a présenté en résumé 353 trous de forage historiques localisables. Environ deux tiers de ces trous ont des données qui leur sont associées avec moins de 50 % contenant des données sur l'arsenic (Tableau 4 ci-dessous). Il n'a été trouvé aucune donnée pour Gara Est. Répartition des trous de forage sur l'ensemble de Gara Centre et Gara Ouest. Si la répartition géographique des données est acceptable, il n'en reste pas moins que leur âge (30-50 ans) et la localisation imprécise de bon nombre d'entre elles, doivent être signalés. [25]

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Tableau V.3 :Nombre de trous de forage et données d'analyse utilisés dans l'étude de Rio Tinto 2007 (d'après Gray et al. 2007) [25]

Gisement	Trous forés	Trous avec analyses	Analyses avec arsenic
Gara Centre			
Avant Kaiser	161	122	90
Kaiser	35	26	26
Total	196	148	116
Gara-Ouest			
Avant Kaiser	64	47	0
Kaiser	93	50	50
Total	157	97	50
Total	353	245 (69 %)	166 (47%)

Le modèle de teneur-tonnage de Rio Tinto a utilisé les logiciels Micromine. Les contraintes suivantes ont été observées :

- Dans de nombreux cas, un manque d'informations sur la profondeur pour des intervalles de forage ;
- Absence de coordonnées pour de nombreux collets. Lorsque cela est possible, extrapolation à partir des trous de forage adjacents ;
- Remplacement des valeurs négatives et des valeurs « traces » par des valeurs représentant des limites de détection de moitié inférieures ;
- Valeurs parasites dues à des erreurs humaines modifiées ou supprimées/omises ;
- L'analyse de la composition des trous de forage ayant intercepté une teneur en Fe > 50 % a été effectuée trou par trou et incluait généralement un maximum de un ou deux intervalles (1-2 m) de « stériles » (< 50 % de Fe) ;
- Les zones de minerai étant séparées par des parties de stériles du niveau inférieur n'ont pas été incluses dans le modèle ;

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

- Les composites > 50 % de Fe sont représentés section par section ;
- Densité (SG) de 3,5.

Les estimations de teneur et de tonnages effectuées par Rio Tinto ont été jugées prudentes, mais soutiennent bien la comparaison avec les estimations précédentes.

Les données historiques de teneur et de tonnage sont présentées dans le Tableau 5 ci-dessous.

Tableau V.4 : Estimations historiques de teneur et tonnage[25]

	Mt	% de Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	% de P	As	% de MnO	% de TiO
Gara Centre								
Guerrak(1988)	580	57,7						
Ministère	806	57,3	4,7	4,5	0,8			
Kaiser	899	<50						
Rio Tinto	741	55,88	4,24	3,8	0,64	0,02	0,17	0,07
Gara Ouest								
Guerrak (1988)	405	57,9						
Ministère	625	58,3	4,9	4,1	0,8			
Kaiser	626	56,9			0,78			0,44
Rio Tinto	508	56,57	4,96	4,06	0,64	0,01	0,09	0,28

V.2.3. Caractéristiques

Les minerais de fer de ces deux gisements sont considérés comme des minerais acides contenant des teneurs en SiO₂ relativement élevées, d'Al₂O₃ (4 à 5%), de phosphore (0.8 %) et d'arsenic (0.03 %).

Depuis la découverte de ces gisements, de nombreux travaux de recherche et d'études ont été effectués par le BRMA (Bureau de Recherche Minière Algérien en 1953), par le BIA

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

(Bureau d'Investissement en Afrique en 1959) et enfin le SERMI (Service d'Etudes et de Recherches Minières en 1961).

Après l'indépendance, plusieurs études ont été dirigées par la SONAREM avec des partenaires étrangers ayant une notoriété internationale dans le domaine minier (LKAB - Suède, IRSID - France, TEMPO & KAISER ENGINEERING - USA, INSC - Japon et KLOCKNER - RFA).[26]

V.2.4. L'opération de déphosphoration

V.2.4.1. Introduction

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 des tests « réussis ».[27]

V.2.4.2 Aperçu sur la valorisation des minerais

La valorisation de Gara Djebilet, une immense mine à ciel ouvert située à Tindouf, avait été pénalisée, auparavant, par des difficultés techniques notamment celles liées à la teneur élevée du minerai en phosphore et en arsenic qui rendaient son exploitation peu rentable. Pour M. Bouchouareb, ce projet structurant, créateur de richesse et d'emplois, va accompagner la stratégie industrielle nationale en répondant à la demande nationale et en réduisant les importations algériennes en acier (APS) .[27]



Figure V.3.L'installation d'une usine sidérurgique

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

V.2.5. Valorisation du minerai de fer de Gara Djebilet par la filière réduction directe four électrique à arc

HYLSA au Mexique se trouvait dans des conditions similaires à l'Algérie, elle n'avait pas de coke comme ressource énergétique mais elle avait en abondance du gaz naturel et elle possédait aussi du minerai phosphoreux mais qui ne dépassait pas le 0.3% Elle a mis au point le procédé HYL pour traiter son minerai. En décembre 1985 environ 400 tonnes de minerai de fer de Gara Djebilet ont été envoyés à HYLSA au Mexique pour des essais de réduction directe selon le procédé HYL et de fusion au four électrique à arc Ces essais se sont déroulés en trois phases et ont fait l'objet de trois rapports intermédiaires et d'un rapport final.[28]



Figure V.4. Les technologies d'élaboration de l'acier liquid

a) Essais de caractérisation

Un échantillon a été prélevé et utilisé pour les essais de laboratoire

- Caractéristiques minéralogiques ;
- Caractéristiques chimiques ;

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

→ Caractéristiques physiques : dureté, porosité, etc.

→ Caractéristiques métallurgiques.

• Structure du minerai

Plus de 10% sont composés de Magnétite $\text{FeO Fe}_2\text{O}_3$ et d'Hématite Fe_2O_3 Entre 1 et 10% de Calcite (CaCO_3), de Silice (SiO_2) et de silicate d'alumine hydratée Moins de 1% de Feldspath ($6 \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$ ou Na_2O) et d'apatite (CaF) $\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_3$ ou de $(\text{CaCl}) \cdot (\text{PO}_4)_3$.

Analyse de la phase phosphate :

L'analyse de la phase phosphatée révèle que l'on est en présence d'une apatite faiblement carbonatée et sulfatée. Cette phase se répartie en exogangue et en endogangue. L'endogangue est représentée par des cristaux d'apatite de néoformation ne dépassant guère 20 microns et qui se trouvent au cœur du nucléus des éléments ferrifères, et une forme minéralogique de phosphate autre que l'apatite qui se manifeste par le calcul du rapport $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$. La finesse de la maille de libération de ces cristaux et l'excès de phosphore attribuable à une autre forme minéralogique de phosphate compliquent le processus de déphosphoration.[28]

➤ Propriétés physiques du minerai de fer de Gara Djebilet

Les propriétés physiques obtenus depuis le laboratoire de recherche du bureau de HYLSA 1986 Mexique sont représentées sur le tableau V.5.[28]

Tableau V.5. Propriétés physiques du minerai de fer de Gara Djebilet [28]

Densité réelle g/ml	4 - 4.8
Densité apparente	3.2 - 4.3
Porosité, %	15 - 18
Humidité, %	22 - 8
Index d'Abrasion	8.25

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Tendance au collage	22.5
T° de désintégration à ° C	500
% + ¼	70.79
% - 1/8	24.34

b) Essais de réduction directe

- ✚ Les essais de réduction directe ont été réalisés sur du minerai brut sous forme de lump.
- ✚ Ces essais ont eu lieu dans une installation pilote de capacité 24 tonnes par jour, avec un cycle de réduction de 300 kg toute les 20 minutes.
- ✚ Cette installation est similaire aux installations industrielles HYL Lors des essais différents paramètres ont été testés
 - ✚ Volume du gaz réducteur ;
 - ✚ Température du gaz réducteur ;
 - ✚ Refroidissement du pré réduit ;
 - ✚ Dépôt de carbone.

c) Essais de fusion

Les essais de fusion ont été réalisés dans un four électrique à arc de capacité nominale 500 kg fonctionnant avec des électrodes de 10, 20 cm de diamètre avec une puissance de 750 KVA et un voltage en ligne de 13200 V. L'alimentation en pré réduit va de 2 à 35 kg/min. Les essais ont été réalisés selon plusieurs procédures en appliquant différents indices de basicité ; différentes méthodes d'injection de chaux et d'oxygène.[28]

V.2.5.1 Valorisation par le Haut Fourneau

Des essais avaient été menés par la société de sidérurgie algérienne " SIDER " sur l'utilisation de ce minerai dans la filière classique " haut fourneau ".

Les résultats de ces tests n'ont pas été concluants ; il a été relevé principalement une faible productivité et des consommations importantes de coke (environ 0.8 à 1 tonne de coke par tonne de minerai)[29]

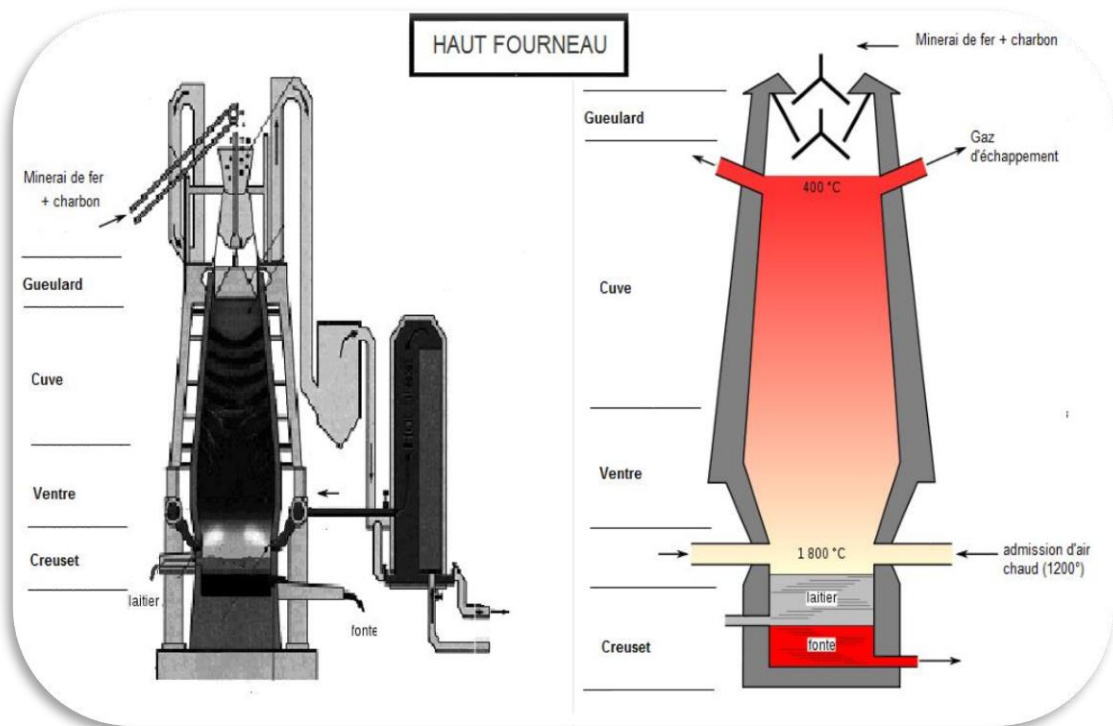


Figure V.5. Valorisation par le Haut Fourneau

V.2.5.2. Essais de valorisation par le procédé SNS-KAISER :

V.2.5.2.1. Principe du procédé :

Le minerai de fer traité (broyé et criblé) et mélangé à de la chaux est transformé en éponge de fer dans une cuve alimentée en continu et sous l'effet de l'hydrogène du CO à une température proche de 1000 °C – Le gaz réducteur est obtenu par cracking du gaz naturel par la vapeur en présence d'un catalyseur suivant la réaction : $CH_4 + H_2O = 3H_2 + CO$ – L'éponge de fer ainsi obtenue alimente un four à gaz de manière continue. Ce four fonctionne comme un haut fourneau avec évacuation cyclique du laitier et du métal. Le métal ainsi obtenu peut être ensuite traité dans un four électrique pour la mise à la nuance. Les travaux ont juste permis aux cadres et aux ingénieurs algériens de se former à la technique de réduction directe et de fusion de l'éponge de fer. Sur la base des travaux

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

réalisés on peut dire que le processus est réalisable, mais aucune appréciation ne peut être faite quant aux aspects économique et technique à une échelle industrielle.[19]

V .3.TRAVAUX ET ETUDES RECENTS (SONATRACH)

V .3.1 Etude de RIO TINTO (2006-2007)

Rio Tinto a réalisé une simulation sur le minerai tout venant à 0.8% P et du minerai enrichi à 0.5% P pour son éventuelle utilisation au Hismelt (Rio Tinto est détenteur de la technologie). Développé par Rio Tinto, ce procédé “peut être considéré à la fois comme une alternative potentielle aux hauts fourneaux et comme une nouvelle manière de produire de l'acier à bas coûts pour les aciéries à arc électrique La nouvelle technologie Hismelt est un procédé de fusion à haute intensité. Elle ne requiert ni four à coke, ni usine de frittage du minerai et rejette moins de gaz à effet de serre par tonne de fonte produite. D'un coût de production inférieur, elle utilise des fines de basse qualité (avec un fort pourcentage d'impuretés), notamment celles très phosphoriques, invendables autrement. Autre avantage : le charbon employé est de basse qualité.

Résultats de la simulation

- **Minerai tout venant à 0,8% P ;**

- ✚ Pour l'élaboration de la fonte au Hismelt, vu que le ratio Alumine/silice est excessivement élevé, une addition de 30T/H de sable (utilisé comme fondant) a été nécessaire.
- ✚ Le modèle de la simulation prévoit l'obtention d'une fonte à 0.114% P, une limite supérieure d'acceptabilité de l'élaboration de l'acier au convertisseur.
- ✚ Une pénalité à l'utilisation (Value In Use) de 10.7 \$/t par rapport à un minerai australien HIB.

- **Minerai enrichi à 0.5% P ;**

- ✚ Pour l'élaboration de la fonte au Hismelt, vu que le ratio Alumine/silice est excessivement élevé, une addition de 20T/H de sable (utilisé comme fondant) a été nécessaire.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

✚ La teneur élevée du minerai en gangue et l'addition de flux de sable résulte en un volume relativement élevé de scories, ce qui a été bénéfique pour l'élimination du phosphore.

✚ Dans sa globalité, le modèle a montré que la valeur à l'utilisation du concentré de minerai de fer était identique à celle du minerai tout venant (soit une pénalité de 39,6\$/T). Donc, l'enrichissement du minerai génère une valeur ajoutée négligeable pour l'utilisation au HIs melt.

Le minerai tout venant et enrichi de Gara Djebilet n'est pas approprié comme matière première d'alimentation à l'HF.

Le HIs melt ne serait être attrayant à Rio Tinto à cause des pénalités inhérentes à l'élaboration de la fonte à partir du minerai de Gara Djebilet.

Une éventuelle et légère amélioration de la qualité du minerai finement broyé pourrait être obtenue suite aux techniques modernes de séparation et flottation.[19]

V .3.2 Etude de CORUS (2008)

Corus Consulting a réalisé des tests physiques et métallurgiques à l'échelle laboratoire sur les échantillons de minerai de fer de Gara Djebilet (450 g) de minerai en morceaux), pour le compte de POSCO.

• Le programme de tests de Corus s'est articulé autour des axes suivants :

- ✚ Essais sur le minerai en morceaux (lump testing) ;
- ✚ Détermination de l'énergie nécessaire pour le concassage et le broyage ;
- ✚ Caractérisation du minerai de fer ;
- ✚ Alternatives d'enrichissement.

• Le but de ces essais était de déterminer :

- ✚ Si le minerai en morceaux (lump) convient comme charge de haut fourneau.
- ✚ Si le minerai convient comme charge pour la production d'agglomérés (sinter) et de boulettes (pellets), pouvant être utilisées au niveau du haut fourneau ou de la réduction directe.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

- ✚ La quantité d'énergie nécessaire pour le concassage et le broyage du minerai de Gara Djebilet.

Résultats d'essais :

- ✚ Le minerai de fer de Gara Djebilet présente de mauvaises propriétés chimiques.
- ✚ Les propriétés physiques et métallurgiques du minerai, mesurées à l'issue des différents tests réalisés, sont bonnes.
- ✚ Le concassage et le broyage du minerai de Gara Djebilet requiert une faible consommation énergétique L'évolution du taux de fer, silice, chaux et oxyde de phosphore .[19]

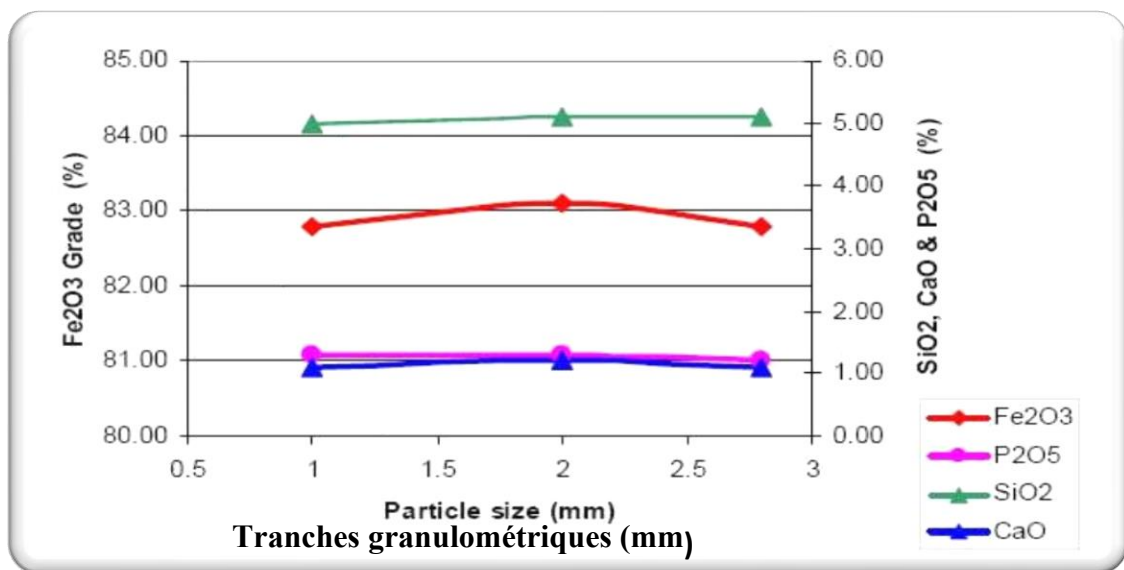


Figure V.6.Séparation magnétique à voie sèche du minerai en morceaux (- 3 mm)

D'après la courbe de la figure I.9, on constate que la teneur des composants nuisibles reste élevée en fonction de la granulométrie de l'échantillon du minerai de fer.[19]

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

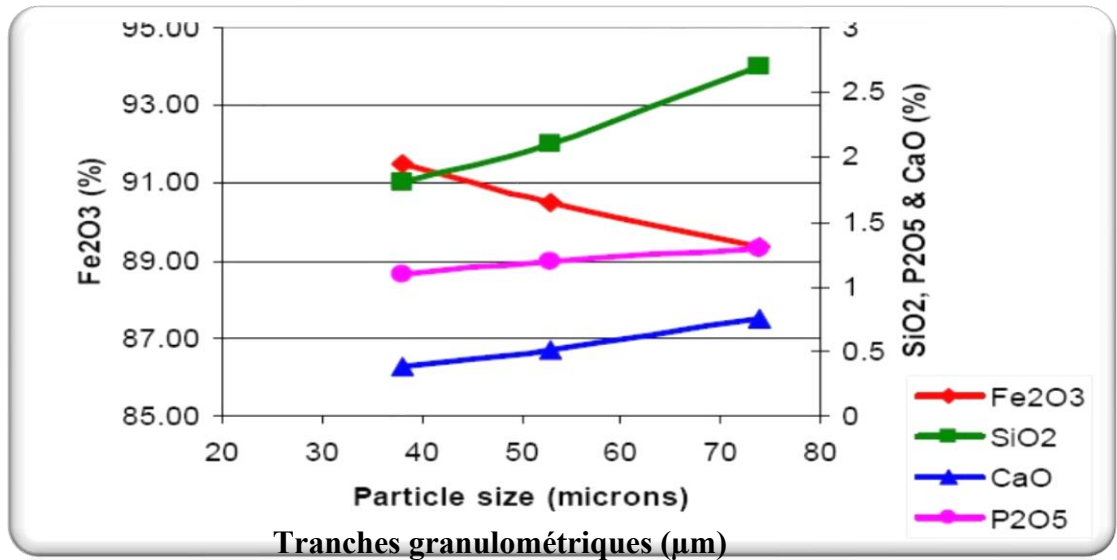


Figure V.7. Séparation magnétique à voie humide du minerai fin (-100µm)

Des améliorations de qualité substantielles ont été atteintes. Ce qui explique qu'il y a une relation entre la libération des éléments nuisibles et la granulométrie, la teneur en phosphore a diminué mais reste toujours élevé .[19]

Tableau V.6: Résultats des essais séparation magnétique par voie humide et sèche

Teneur oxyde, %	Brut	SMH	SMS
P ₂ O ₅	1,8	1,1	1,3
P	0,78	0,48	0,56
SiO ₂	5,3	1,8	5,1
Fe ₂ O ₃	81	92	83
Fe	56,64	64,33	58,04
CaO	1,9	0,4	1,1
Fe recovery	/	73	86-89

SMH: Séparation magnétique à voie humide

SMS: Séparation magnétique à voie sèche

La majeure partie du phosphore est finement disséminé dans le minerai de fer

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

1. Le minerai en morceaux présente de bonnes propriétés physiques et métallurgiques mais ses propriétés chimiques qui sont infectes, le rendent quasiment inutilisable comme charge de haut fourneau.
2. Les essais d'enrichissement réalisés sur le minerai de Gara Djebilet sur la base des techniques standards avec variation de la granulométrie (grossière à fines), n'ont donné que des résultats partiellement satisfaisants.
3. Les fines pour la production d'agglomérés ne sont pas commercialement viables (durables). Chiffre,
4. Les fines pour production de boulettes n'atteignent pas une teneur en fer suffisamment élevée pour être utilisées comme un produit commercialement viable. Cependant, il y a un potentiel pour une amélioration supplémentaire de leur qualité.
5. L'enrichissement du minerai à une granulométrie ultra fines est nécessaire. .[19]

V .3.3 Etude de KIGAM (2008)

L'institut coréen de géologie et d'activités minières (KIGAM) a utilisé deux types de minerais de fer pour ses tests d'enrichissement, gros (> 10 mm) et fine (< 10mm), classés S1 et S2 respectivement.

L'enrichissement par les méthodes telles que le broyage multi-étapes, la séparation magnétique, la décantation et la flottation ont été examinés. .[19]

Tableau V.7.Composition chimique du bureau d'étude Coréen KIGAM

Echantillons	Composition chimique (%)						
	Fe	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂
S ₁	54.76	3.4	0.4	5.3	4.42	1.35	0.42
S ₂	54.77	2.35	0.42	5.73	3.99	0.96	0.4

V .3.4 Etude réalisée par l'institut de recherche des mines et métallurgie de chine (CHANGSHA)

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

En juin 2007, CITIC a remis à SONATRACH un document portant expression d'intérêt pour le projet Gara Djebilet, explicitant ainsi de manière formelle, son intérêt et sa vision pour le développement du projet.

Les différentes analyses et tests sur les échantillons de minerai de fer de Gara Djebilet ont été réalisés au niveau du meilleur laboratoire en Chine (CHANGSHA Research Institute Of Mining And Metallurgy) en 2008. .[24]

• Programme d'essais de CITIC

CITIC a réalisé des tests à l'échelle laboratoire sur les échantillons de minerai de fer de Gara Djebilet. Le programme de tests de CITIC s'est articulé autour des axes suivants :

- 1) La Minéralogie du minerai
- 2) Le Traitement du minerai.

• Minéralogie du minerai

L'analyse de la composition minéralogique réalisée à l'échelle laboratoire sur les échantillons de minerai de fer de Gara Djebilet par le bureau d'étude CITIC est représentée sur le tableau I.6.

Tableau V.8.Composition minéralogique du minerai de fer de Gara Djebilet (CITIC)

Minéral	Magnétite	Maghémite	Hématite	Limonite	Quartz	Chamosite	Cellophane	Autres
Taux %	16,9	34,5	18,1	8,2	4,8	15	2,3	0,2

• Composition chimique

Les résultats de l'analyse de la composition chimique du minerai . .[19]

Tableau V.9.Composition chimique du minerai de fer de Gara Djebilet.

Elément	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
%	56.01	4,36	75.23	6.67	0.28	4.61	2.12	0.45	0.2

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Elément	Na ₂ O	K ₂ O	As	S	P	Ig	T Fe/FeO	Coeff Alcalin
%	0.045	0.011	0.061	0.018	0.79	3.92	12.85	0.23

Le taux de récupération théorique maximal du fer, par sa séparation de ses phases minérales ferrières dans le minerai, est de 98.64%. Selon la composition chimique, le minerai de fer de Gara Djebilet peut être considéré comme un minerai de fer oxydé et acide avec un faible taux de soufre et un taux élevé de phosphore. .[19]

• Traitement du minerai

✚ Essais de pré concentration :

Les essais de pré concentration ont pour objectifs de vérifier si les technologies utilisées pour l'élimination des déchets peuvent être appliquées pour le minerai, de manière à améliorer grandement la qualité des fines au préalable en éliminant le plus possible de refus, ce qui économise de l'énergie et réduit la consommation (par ex, réactifs pour la flottation).

✚ Essais de broyage et deschlammage :

Un essai exploratoire a été réalisé avec différents réactifs (NaOH, Na₂SiO₃) à une finesse de broyage de 87,04% -75 µm.

Les résultats de deschlammage montrent qu'il y a beaucoup de perte de fer, et que ceux-ci sont plus importants que les résultats des épreuves du séparateur magnétique à tube avec la même taille des particules. Donc ce processus de deschlammage n'est pas pratique pour le minerai brut.

✚ Essais de broyage-flottation :

Un essai de flottation a été effectué sur le minerai brut avec une finesse de broyage de 87,04% à -75 µm, pour vérifier la faisabilité de la flottation sur le minerai dans le but d'augmenter le taux de fer et d'éliminer les rejets.

Les résultats du broyage-flottation montrent que les taux des résidus éliminés et de perte de récupération de fer sont respectivement de 49,49% et 27,34%. L'enrichissement était

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

uniquement de l'ordre de 2.82%. Il est donc conclu que l'essai de broyage-flottation de minerai brut n'est pas possible pour l'élimination des résidus.

Essais de séparation magnétique à basse et haute intensité :

- Dans le but d'améliorer la récupération du fer, des tests de séparation magnétique à haute intensité ont été conduits à différentes granulométries. Les résultats ont montré un enrichissement de 2.85 à 3.55% de fer par rapport au minerai brut.
- Si le minerai est soumis à une séparation magnétique à basse intensité et suivie de haute intensité, le concentré obtenu ne sera pas enrichi de façon notable. Donc les produits de SMBI (séparation magnétique à basse intensité) n'auront pas à subir une séparation magnétique à haute intensité.
- Des essais de séparation magnétique à basse intensité (SMBI) ont été conduits sur le minerai à différentes granulométries de fines (45 et 38 μ m). Le produit obtenu (SMBI) avait une teneur en fer variant de 62.78% à 63.5% avec une récupération d'une moyenne de 74%..[24]

Tableau V.10.Composition chimique du minerai enrichie par SMBI

Elément	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	Ig
%	62.94	2.46	3.27	0.77	0.31	0.10	0.54	1.86

Le pourcentage de phosphore est toujours aussi élevé (0,54%) et le pourcentage de la gangue demeure aussi assez élevé, comme il a été montré dans le Tableau. I.8.

Il faut signaler que la teneur en phosphore, élément indésirable contenu dans le minerai, est de 0,8% soit 8 à 10 fois la norme de sa commercialisation et ne peut être abaissée en dessous de 0,3% après les traitements d'enrichissement éprouvés à ce jour. Ce qui ne permet pas d'envisager, au stade actuel de la technologie, sa facile commercialisation au niveau international.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Consécutivement à la forte hausse des prix du minerai de fer, beaucoup de pays (Chine, Nigéria, Kazakhstan, Suède, USA, ...) se sont lancés dans la recherche de solutions de déphosphoration des minerais de fer contenant un taux élevé de phosphore.

Au vu de ces nouveaux éléments :

Une entité dénommée Société Nationale du Fer et de l'Acier, par abréviation "FERAAL SPA". a été créée le lundi 2 décembre 2013 en partenariat entre SONATRACH/Holding AIE (55%), MANAL (25%) et SIDER (20%). Son capital social de départ est de 200 000 000 DA.

Elle a pour objet social l'étude, l'exploitation, le transport, la transformation et la commercialisation du minerai de fer et de ses dérivés issus des gisements de fer Gara Djebilet et de Mechri Abdelaziz.

FERAAL a mis en place une organisation de travail. Elle a fait une synthèse des travaux réalisés jusqu'à ce jour sur le minerai de fer de Gara Djebilet. Elle a préparé un cahier de charges et un projet de contrat avec pour objectif :

- Confirmer les résultats obtenus précédemment avec certain laboratoires étrangers ou nationaux en ce qui concerne l'enrichissement ;
- Réaliser de nouveaux essais à la lumière de nouvelles données techniques ou technologiques. Ces essais doivent permettre de définir le schéma de production le plus adéquat pour le minerai de fer de Gara Djebilet dans toutes ses phases (Exploitation des mines, traitement du minerai, enrichissement du minerai, déphosphoration) ;
- Étudier toutes les possibilités de valoriser le minerai de fer de Gara Djebilet à travers les nouvelles technologies ;
- Étudier les meilleures variantes de transport de ce minerai jusqu'aux portes des usines et jusqu'au port ;
- Étudier l'implantation des différentes unités de production (traitement, enrichissement, déphosphoration). .[19]

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

V.4.ETUDE DE RECHERCHE SUR LE MINERAI DE FER OOLITHIQUE

Guerrak, S. 1988, a réalisé une étude des minerais de fer oolitiques, ce travail décrit que la tectonique a montré la genèse du minerai de fer qu'il est oolithique, le contour de ce dit gisement, en outre la diversité minéralogique que peut contenir le gisement de minerai de fer de Gara Djebilet.

La minéralisation est intercalée avec des sédiments argileux à sableux et elle peut être liée à un paléo-environnement d'îlot de barrière, bordé par une lagune intérieure ou un embrassement peu profond et une mer épicontinentale. Pris par les bancs paléozoïques, les sédiments oolitiques montrent une minéralogie marquée principalement par la magnétite, l'hématite, la goethite, la maghémite, la chamosite (bavalite), la sidérite, l'apatite et le quartz. Trois associations para-génétiques présentent une distribution verticale avec un minerai non magnétisant inférieur, un minerai magnétisé et un minerai non magnétisant supérieur. Trois types de faciès pétrographique ont été définis: un faciès cimenté (FOC); Un faciès détritral (FOD); Et un faciès non détritral (FOND).

Les données chimiques de l'ensemble du champ montrent une différence entre le minerai non magnétisant inférieur (Fe = 54.6%), le minerai magnétisant (Fe = 57.8%) et le minerai non magnétisant supérieur (Fe = 53%). Le minerai magnétisé, qui correspond principalement au minerai exploitable (degré de coupure à 57%), à la composition suivante: $\text{SiO}_2 = 4.9\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4.2\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 61.43\%$, $\text{FeO} = 19.2\%$ et $\text{P}_2\text{O}_5 = 1.8\%$. Les réserves de minerai économiques calculées correspondantes sont de 985×10^6 t, avec 57.8% Fe.

Manieh, A.A., 1984, cette étude montre d'une part, que le minerai de fer oolithique est l'unique dans son genre vis-à-vis ses caractéristiques physicochimique issues de sa genèse, il est sédimentaire, a pris la forme oolithique de 1 mm de taille cimenté par des minéraux de gangue à savoir : silice, argile, dioxyde de titane etc....

D'autre part ce travail vise à obtenir la fraction libérée en mettant en considération : la taille de tiges (corps broyant), le rapport de masse de tiges / minerai et

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

de temps de séjour de broyage suivi par le calcul de la constante de Bond qui estime les besoins énergétiques du matériel utilisé afin de confirmer la faisabilité de ce travail, reste à dire que ce minerai ne contient pas des éléments nuisibles comme le phosphore et l'arsenic, c'est la raison pour laquelle il a été opté pour la réduction magnétisante qui a pour but de déphosphoriser le minerai de fer oolitique de ce dit gisement Waid Fatima. Suivie d'expériences magnétiques de séparation visant à augmenter la teneur en fer du minerai afin que le concentré produit puisse être réduit directement dans un réacteur à lit fluidisé.

Ionkov, K. 2012, l'efficacité de la méthode choisie pour traiter un minerai de fer à haute teneur en minéral utile et phosphoreux à la fois, on parle ici de torréfaction en ajoutant soit du $\text{Ca}(\text{OH})_2$ soit du CaO . Le minerai de fer oolitique est calciné à 900°C afin de faire séparer la gangue du minerai de fer oolitique, dont le majeur infectieux éléments est le phosphore (p), sa teneur est diminuée après lixiviation d'environ 0.15% sous l'influence de l'acide hydrochlorique ou nitrique pour une fraction de 0.3 mm considérée comme maille de libération, cette étude ce n'est qu'un essai en visant part lequel, l'amointrissement du taux des éléments nuisibles à savoir le phosphore, l'arsenic, l'aluminosilicates etc..., d'une part, d'autre part l'efficacité de la méthode appliquée dite lixiviation.

Obot, O. W., & Anyakwo, C. N. 2012 comme la nature peut intervenir en tant que méthode de traitement à long terme selon le milieu de culture conditionné par des paramètres à savoir : température, profondeur et pression, les Micro coccus capte les atomes de fer (Fe) et cadmium (Cd) qui sont prédominants dans le gisement de minerai de fer d'Agbaja du Nigeria, ainsi que le cuivre (Cu), du zinc (Zn) et du manganèse (Mn) sont remarqués comme des éléments mineurs, ces agents microbiens dites magnetotactiques sont capable d'éliminer le phosphore (p) jusqu'à 69.66% en faisant entourer les atomes de fer par pression osmotique en détriment de l'énergie dégagée par le système d'osmose imposé par ces Micrococcus afin de poursuivre leur cycle de vie, cette méthode n'est pas faisable dans le secteur économique pour la durée de traitement qui est longue évaluée à quatre semaines, pourtant son importance dans la sauvegarde d'écosystème.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Zhu, D. Q, 2013, la technologie de réduction directe par addition de carbonate de sodium Na_2CO_3 et de séparation magnétique a été développée pour traiter le minerai de fer à haute teneur en phosphore de l'Australie occidentale. Le minerai de fer et le produit réduit ont été étudiés par microscopie optique et microscopie électronique à balayage. On constate que le phosphore existe dans la limonite sous forme de solution solide, qui ne peut être éliminée par des moyens traditionnels. Lors de la torréfaction de la réduction, Na_2CO_3 réagit avec les minéraux de gangue (SiO_2 et Al_2O_3), formant du phosphate contenant du silicate d'aluminium et endommageant la structure du minerai, ce qui favorise la séparation entre le fer et le phosphore pendant la séparation magnétique.

Pendant ce temps, Na_2CO_3 améliore également la croissance des grains de fer, en augmentant la teneur en fer et la récupération de fer. On obtient dans les conditions optimales le concentré de fer, qui donne 94.12% en poids de Fe et 0.07% en poids de P à la récupération du fer de 96.83% et le taux de déphosphorisation de 74.08%. Le produit final (poudre de fer métallique) après briquetage peut être utilisé comme charge pour la fabrication de l'acier par un four à arc électrique pour remplacer la ferraille.

Ionkov. K, 2013, la bonification sert à déphosphoriser le concentré magnétique gravimétrique oolithique en impliquant une combinaison de torréfaction, rebroyage, séparation magnétique et lixiviation à l'eau et à l'acide sont étudiées. La torréfaction a été effectuée à 900°C pendant 1 h sans ou avec de la chaux ou de l'hydroxyde de sodium comme additifs de torréfaction. Lorsque des additifs ont été utilisés, des phases de ciment de type SiAl-Na-Ca-O ont été détectées ainsi que la giuseppettite minérale. Pendant le processus thermique, le silicate de sodium est liquéfié et les phases nouvellement formées enrobent les oolithes et pénètrent à l'intérieur des fissures. L'analyse par spectroscopie de dispersion énergétique a indiqué que la zone entourant les oolites se compose de phases de Na, Al et Si avec une partie de phosphore y étant capturée.

En raison de la torréfaction alcaline, la goethite est partiellement transformée en magnétite et cette réduction est renforcée par une augmentation du dosage d'hydroxyde de sodium. L'étude de la redistribution du phosphore montre qu'il ne peut être séparé que partiellement si la lixiviation n'est pas accompagnée d'un rebroyage et d'une séparation physique. La dose recommandée de l'agent réducteur pour le schéma d'écoulement final

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

est de 8% en masse par rapport au concentré. Le broyage à une taille moyenne de 0.040 mm avec l'eau et la lixiviation acide et la double séparation magnétique crée des conditions pour obtenir un concentré de fer de haute qualité avec 65.97% de Fe et une récupération de 92.43%, avec une diminution simultanée de la teneur en phosphore de 0.71% à 0.05 %.

Yang, M 2015, ensuite dans la présente étude, le changement de phase induit par la torréfaction et son influence sur l'élimination du phosphore par lixiviation ont été étudiés pour le minerai de fer à haute teneur en phosphore. Les résultats indiquent que le phosphore dans le minerai est associé à la goethite et existe principalement dans la phase amorphe Fe_3PO_7 . Le phosphore reste en phase amorphe après avoir été torréfié en dessous de 300 °C. Le grattarolaite (Fe_3PO_7) se trouve dans des échantillons torréfiés à 600-700 °C, révélant que la phase phosphore est transformée de la forme amorphe en grattarolaite cristalline pendant la torréfaction.

Les tests de lixiviation sur le grattarolaite pur synthétisé révèlent un faible taux d'élimination du phosphore par lessivage de l'acide sulfurique. Lorsque la température de torréfaction est supérieure à 800 °C, le grattarolaite réagit avec l'alumine pour former du phosphate d'aluminium et la réactivité du grattarolaite avec l'alumine augmente avec l'augmentation de la température de torréfaction. Par conséquent, la vitesse d'élimination du phosphore augmente également avec l'augmentation de la température de torréfaction due à la formation de phosphate d'aluminium soluble dans l'acide.

Li, Y. L, Sun, 2012, afin d'exploiter l'hématite oolitique à haute teneur en phosphore, l'élimination du phosphore en torréfaction à réduction directe de l'hématite oolitique à haut phosphore de type Nin xiang avec une teneur en fer d'environ 43.58%, une teneur en phosphore d'environ 0.83% a été étudiée. De réduction et d'élimination du phosphore.

Les résultats montrent que la poudre de fer à réduction directe avec une teneur en fer de 91.35%, 85.12% en récupération, une teneur en phosphore d'environ 0.081% est obtenue à condition que l'agent déphosphorant NCP et le nouvel agent déphosphorisant

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

TS soient utilisés ensemble. On constate que la phase phosphatée n'a pas changé, encore existant sous forme d'apatite après réduction directe, et l'élimination du phosphore est obtenue par séparation magnétique finement broyée.

L'addition d'agent déphosphorisant peut rendre la limite des particules de gangue et des particules de fer métallique deviennent lisses et claires, ce qui est bon pour la dissociation des particules de fer métallique et de la gangue, tandis que l'agent déphosphorisant peut également favoriser la réduction de la fayalite.

XU, C. Y 2012, le minerai d'hématite oolitique à haute teneur en phosphore est l'un des minerais de fer intrinsèques typiques en Chine, et les procédés classiques d'enrichissement se révèlent impraticables pour éliminer efficacement le phosphore du minerai. Un meilleur indice de valorisation a été obtenu par torréfaction à réduction directe avec agent de déphosphorisation suivi de deux étapes de broyage et de séparation magnétique. La teneur en phosphore (P) diminue de 0.82% dans le minerai brut à 0.06% dans le concentré magnétique et la teneur totale en fer augmente de 43.65% à 90.23%, la récupération du fer peut atteindre 87%.

Les mécanismes d'élimination du phosphore dans l'enrichissement du minerai d'hématite oolitique à haute teneur en phosphore par torréfaction à réduction directe avec agent de déphosphorisation ont été étudiés par DRX, MEB et EPMA. Les résultats ont montré qu'environ 20% de l'apatite dans le minerai brut transféré dans le phosphore et volatilisé avec le gaz dans le processus de torréfaction de la réduction, alors que le reste 80% apatite n'a pas été impliqué dans la réaction de génération de phosphore et restait comme apatite Dans les produits torréfiés, qui a été enlevé aux résidus par broyage et séparation magnétique.

Une petite quantité de phosphore existait dans le concentré magnétique sous forme d'apatite. La texture oolitique du minerai brut a été en partie modifiée au cours de la torréfaction, ce qui a entraîné la formation de néphéline dans la réaction entre l'agent de déphosphorisation, SiO_2 et Al_2O_3 dans le minerai brut, ce qui a grandement amélioré le degré de libération des minéraux dans les produits grillés. À la rectification ultérieure et à la séparation magnétique.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

Tang, H. Q. 2010, Une nouvelle méthode (séparation à base de gaz plus séparation par fusion) a été proposée pour éliminer le phosphore du minerai de fer à teneur élevée en phosphore qui était de 1.25% de teneur en phosphore et de 50.0% de teneur en fer. HSC et la théorie de la coexistence de la structure des scories ont été adoptées pour l'analyse théorique.

La réduction gazeuse a été effectuée en utilisant un réacteur à lit fixe et l'échantillon de minerai de 80 g avec une taille moyenne de particules de 2 mm a été réduit en utilisant CO ou H₂ à une température de 1073 K pendant 5 heures. 50 g de l'échantillon réduit avec 3,0% de CaO en tant qu'additif ont ensuite été soumis à une séparation à l'état fondu dans un four électrique à une température de 1873 K sous atmosphère d'Ar. Dans chaque essai, on a effectué SEM, EDS, examen microscopique optique et analyse chimique de l'échantillon de minerai réduit, de l'échantillon de métal et de l'échantillon de scorie.

Les résultats de toutes les expériences de réduction à base de gaz ont montré que les rapports de métallisation du fer étaient d'environ 65% et que les composés du phosphore dans le minerai restaient inchangés. Il a été convenu avec les simulations, sauf que le taux de métallisation du fer était inférieur à la valeur prédite; Cette différence est attribuée à la cinétique.

Les résultats des expériences de séparation à l'état fondu ont montré que la teneur en P dans les échantillons métalliques est de 0.33% (échantillon de métal à partir du produit de réduction H₂) et de 0.27% (échantillon de métal à partir du produit de réduction de CO). Les rapports de partage du phosphore des deux cas étaient inférieurs aux valeurs prédites. Quelque quantité de phosphore dans les échantillons de métal existant car l'inclusion de scories était considérée comme la raison de cet écart.

Bersi, M. 2010, la région de minerai de fer de Gara Djebilet est l'une des régions les plus importantes d'Afrique. Situé dans la partie sud-ouest de l'Algérie à la frontière avec la Mauritanie, la région de Gara Djebilet est caractérisée par un terrain escarpé, ce qui rend cette zone difficilement accessible.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

En raison de ces conditions, les techniques de télédétection et la géophysique sont les meilleurs moyens de cartographier ce minerai de fer. Les formations de Gara Djebilet sont caractérisées par une forte teneur en fer, particulièrement riche en hématite, chamosite et goéthite. La forte teneur en fer provoque une bande d'absorption à 0.88 μm , ce que l'on appelle la bande 5 dans les images Landsat 8 d'Imagerie de Terre Opérationnelle (OLI). Dans cette étude, nous avons intégré des données géologiques, des données d'aérogravité et des données de télédétection afin de cartographier la distribution du gisement de fer de Gara Djebilet.

Plusieurs traitements de télédétection ont été appliqués à l'image Landsat 8 OLI, tels que les composites de couleur, le ratio de bande, l'analyse des composantes principales et un index mathématique, ce qui a aidé à localiser la surface de distribution du minerai de fer.

Les résultats des techniques d'interprétation du gradient gravimétrique, de la modélisation bidimensionnelle directe et de l'inversion 3-D des données d'aéro-variance ont fourni des informations sur la distribution 2-D et 3-D du dépôt de fer. La combinaison de la télédétection et de la gravité nous aide à évaluer le potentiel minéral de Gara Djebilet. Le tonnage estimé du minerai de fer à Gara Djebilet est d'environ 2.37 milliards de tonnes avec 57% Fe. [24]

CONCLUSION

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 oolitique, appelée anciennement oolithe par extension. 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.

En 2015 en raison de la faible croissance de la production mondiale d'acier, La hausse continue de l'offre, conjuguée à la chute de la demande, a fait de 2015 une année difficile pour le marché du minerai de fer.

La production mondiale de minerai de fer a atteint 3320 millions de tonnes en 2015, soit une légère diminution par rapport à 2014 (3420 millions de tonnes).

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

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

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

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

IRSID a effectué des essais comparatifs de triage magnétique à faible intensité, par voie humide, avec ou sans grillage magnétisant, réalisés sur les produits du triage magnétique par voie sèche. Les échantillons ont été broyés à 50 µm et soumis à une séparation magnétique par voie humide.

Les essais d'enrichissement du minerai soumis par Kaiser portent essentiellement sur : Triage du minerai brut ; Séparation humide à haute intensité magnétique (SHHIM) ; Frittage magnétique et une réduction directe.

Différents essais de séparation magnétique à voie sèche et à voie humide ont effectués à l'Université de Prague sur les différentes fractions du minerai, suivi de flottation, de triage magnétique ou de broyage. Ces essais ont montré une diminution de la teneur en phosphore.

HYLSA au Mexique se trouvait dans des conditions similaires à l'Algérie, elle n'avait pas de coke comme ressource énergétique mais elle avait en abondance du gaz naturel et elle possédait aussi du minerai phosphoreux mais qui ne dépassait pas le 0.3%.

Rio Tinto a réalisé une simulation sur le minerai tout venant à 0,8% P et du minerai enrichi à 0,5% P pour son éventuelle utilisation au HIsmelt (Rio Tinto est détenteur de la technologie). Ce procédé peut être considéré à la fois comme une alternative potentielle aux hauts fourneaux et comme une nouvelle manière de produire de l'acier à bas coûts pour les aciéries à arc électrique. La nouvelle technologie HIsmelt est un procédé de fusion à haute intensité. .[19]

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

V.5. Le problème de transport

Introduction

L'Algérie possède d'importantes réserves de minerai de fer, près de trois milliards de tonnes dans deux principaux gisements situés dans le Sud-ouest Algérien, il s'agit des gisements de Gara Djebilet et Mècheri. Abdelaziz.

Ces gisements exploitables à ciel ouvert, sont moyennement riches en fer (57-58%) et sont tous les deux caractérisés par une forte teneur en phosphore (~ 0,8 %), et une gangue acide.

Le gisement de Gara Djebilet est situé à environ 140 km au sud-est de Tindouf. Il est formé de 3 zones : Est, Ouest et centre. L'un des plus importants au monde, s'étend sur une superficie de 131 km².

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.

Transport : 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. [21]

V.5.1. 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

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

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.[21]

A) Les transports ferroviaires

S'agissant du transport des ressources minières du gisement de Gara-Djebilet, 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.

« Dans la perspective de l'exploitation des ressources minières que renferme le site de Gara Djebilet, le projet de réalisation d'une voie ferrée entre Gara Djebilet à Abadla, sur une distance de 950 kilomètres est incontournable»,



Figure V.8. Transport de minerai de fer ferroviaire par train

Lignes ferroviaires (distances) :

- Gisement de fer de Gara-Djebilet ---> Beni Saf (Algérie) 1540 km
- Gisement de fer de Gara-Djebile (Algérie) ---> Gisement de fer Zouerate (Mauritanie) 620 km

- Gisement de fer de Gara-Djebilet (Algérie) ---> Port Nouadhibou (Mauritanie) 1320 Km
En passant par la Mauritanie le trajet n'est plus court que de 220km.

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.

Conclusion la meilleure option c'est de relier le gisement de fer à Béchar la ligne existe déjà jusqu'au port d'Oran. Le trajet entre Gara-Djebilet et Béchar ne fait que 950 km.[21]

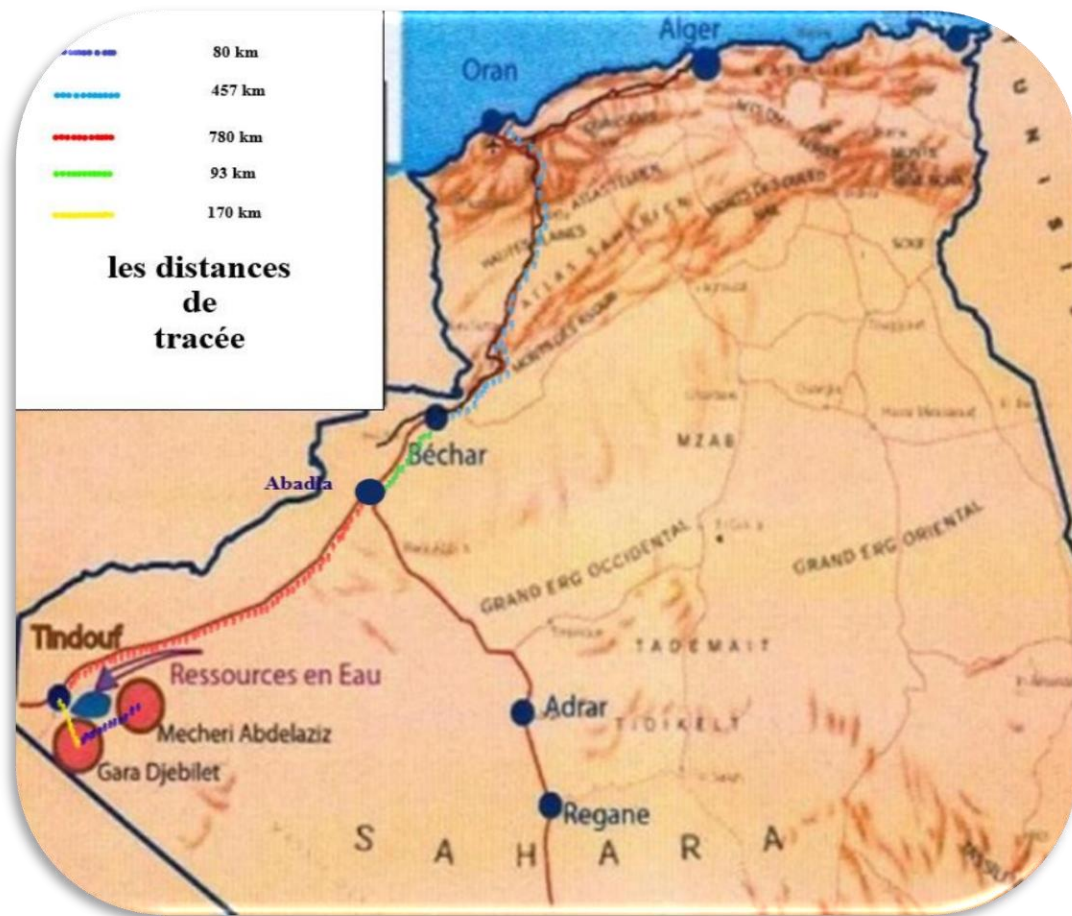


Figure V.9. Schéma de tracée

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.

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

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. [21]



Figure V.10. 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. [21]



Figure V.11. 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]

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

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 surutilisation 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 investissement (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. [19]

V.6. Etudes d'exploitation et de transport :

Les différentes études menées dans les années 1970 ont abouti aux conclusions suivantes :

l'extraction du minerai sera menée à ciel ouvert, l'évacuation du minerai pourrait se faire avec plusieurs variantes à savoir :

Par la méditerranée (1500 Km de voie ferrée à réaliser) par l'atlantique ou plusieurs solutions avaient été envisagées

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

On pouvait en chiffrer les résultats sur le papier. Comme le volume de ces minerais était beaucoup trop élevé pour pouvoir être consommé sur place, il fallait en prévoir l'exportation.

- Ceci posait le problème d'un débouché sur la mer. Or les ports algériens les plus proches, Arzew et Ghazaouet', étaient à 1 300 kilomètres, Port-Étienne, en Mauritanie, à 1 400 kilomètres, alors que les ports marocains de La Gazelle et de Tarfaya se trouvaient respectivement à 400 et 515 kilomètres.

- (Une voie rejoignant directement la côte en traversant le territoire d'Ifni serait encore plus courte, mais elle posait le problème de l'enclave espagnole.)

Or 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.

En le faisant transiter par les ports algériens, le minerai de Tindouf n'était plus compétitif, alors qu'il le demeurait largement en transitant par les ports marocains. Pour tenter d'échapper à cette obligation, la Sonarem, ou « Société nationale de recherches et d'exploitations minières », dépendant du ministère algérien de l'Industrie et de l'Énergie, avait étudié quatre-vingt-quatre variantes du tracé, portant sur toutes les possibilités d'évacuation.

- Or toutes avaient abouti à la même conclusion; l'exploitation des richesses de Tindouf n'était rentable qu'à condition d'emprunter le territoire marocain.[21]

V.6.1. Le rôle du gaz naturel dans le projet Gara Djebilet

Plusieurs découvertes de gaz naturel ont été mises en évidence au sud-ouest algérien, à quelques 550 Km des gisements de fer de Gara Djebilet et Mechri Abdelaziz. Ces sites potentiels découverts dans les années 1980 se situent :

dans la cuvette de SBAA dans le bassin de REGGANE La production de gaz naturel à proximité de ces gisements serait un élément d'appréciation important dans le cadre d'une

Chapitre V : Problèmes et faisabilité du projet

vision globale d'un projet intégré visant à l'extraction du minerai de fer et son enrichissement sur place avant transport par le procédé de réduction directe.[19]

Chapitre VI :

Problématique

organigramme

		Gisements de Fer Monde			
		Gisements de fer en Algérie			
Gist 1	Gist 2	Gist 3	Gist 4	Gist 5	Gist 6
Ouenza	Boukhadra	Ghara Djebilet	Mechri Abdelaziz	Djebel Anini	Sidi Maarouf
Identification	Identification	Identification	Identification	Identification	Identification
		Problématique	Problématique		
Contraintes A		Contraintes B		Contraintes C	
Traitement		Infrastructures		Transport	
Projet 01		Sources Hydrique		Transport par Route	
Projet 02		Sources Electriques		Transport par Train	
Projet 03		Sources Energétiques		Transport Par Pipe	
				Transport Maritime	

Logistique Distances

		Distance Km			
		Route	Chemin de fer		
Ghara Djebilet	Tindouf	170			
	Mechri Abdelaziz	250			
	Bechar	950			
	Oran	1600	1600		
	Jijel	2416			
	Annaba	2400			
Mechri Abdelaziz	Tindouf	400			
	Bechar				

VI .Gisements de fer en Algérie

VI .1.Aperçu :

Le MEM a estimé les réserves de minerai de fer à Gara Djebilet (200 km au sud-est de Tindouf, à proximité de la frontière avec la Mauritanie) et celles du gisement Mechri Abdelaziz (400 km à l'est de Tindouf) à 3,5 milliards de tonnes, sans compter les 189 mt d'Ain Temouchent (à l'extrémité occidentale du pays entre Oran et Tlemcen), de Djebel Anini (dans la wilaya de Sétif à 300 km à l'est d'Alger), d'Ouenza-Boukhadra (dans la wilaya de Tébessa à l'extrême est du pays près de la frontière tunisienne, plus précisément à 70 km de Tébessa, le chef-lieu de la wilaya) et de Sidi Maarouf (dans la wilaya côtière de Jijel située au nord-est du pays à quelque 314 km à l'est d'Alger). [29]

VI .2.En Algérie

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

Les ressources nationales en matière du minerai de fer sont localisées et réparties sur six gisements dont ceux de l'Ouenza et Boukhadra situés à l'Est du pays, exploités par le groupe SIDER Tébessa, les réserves géologiques sont de 87 millions de tonnes avec 48 % Fe.

Avec une production de 2 millions de tonnes/an, la minéralisation hématique est encaissée dans les calcaires récifaux Aptiens.

Actuellement dans la même région, le gisement de Chaabet-el-Ballout (Souk-Ahras), de réserves géologiques de 10 millions de tonnes avec 53% Fe.

Chapitre VI : problématique

La filiale SOMIFER-spa, du groupe Ferphos à travers ses mines de Khanguet (Tébessa), Sidi Maarouf (Jijel), Djebel Anini (Sétif) ce dernier a des réserves géologiques de 6,75 millions de tonnes avec 55 % Fe.

Le gisement de Rouina (Ain Defla) assure une production du minerai de fer représenté par de l'hématite destinée essentiellement pour la fabrication du ciment.

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

Les autres gisements non encore exploités se trouvent dans la région du sud-ouest du pays : Il s'agit de grand gisement de

Ghara-Djebilet : les réserves géologiques arrivent jusqu'à 2 milliards de tonnes avec 57% Fe et de minéralisation ferrifère oolithique sous forme de corps lenticulaires encaissés dans les grès du Dévonien inférieur (Praguien).

Mecheri-Abdelaziz : réserves géologiques sont de 1.350 millions de tonnes avec 52% Fe, une minéralisation ferrifère oolithique localisée sous forme de lentilles dans les grès du Dévonien Supérieur.

- **Le Fer**

L'essentiel du potentiel géologique en fer se trouve au Sud-Ouest du pays avec 3,5 milliards de tonnes à 57% Fe. Il s'agit des gisements de Mecheri Abdelaziz et de Gara Djebilet, situés à 250 km à l'Est de Tindouf.

Le potentiel localisé au Nord du pays est évalué à environ 70 millions de tonnes réparties entre les gisements d'Ouenza et Boukhadra dans la wilaya de Tébessa (60 Millions de tonnes) et l'indice de Djebel Hanini dans la wilaya de Sétif (12 Millions de tonnes à 60% Fe).

VI .3.Le gisement ferrifère de l'Ouenza

Identification

Le complexe minier de djebel l'Ouenza est une unité de production du minerai de fer. La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba.

La mine d'el Ouenza est la plus grande mine d'Algérie avec une réserve de 120 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 55% en moyenne.

VI .3.1.Gisement de l'Ouenza :

Le massif de l'Ouenza situé dans le Nord-est Algérien. Il se trouve à 160 km au sud de la ville d'Annaba, dans l'Atlas saharien oriental près des frontières

Algéro-Tunisiennes.

La minéralisation de la région de l'Ouenza se trouve essentiellement dans des formations carbonatées d'âge aptien localisée à proximité des appareils diapiriques.

Cette minéralisation est principalement ferrifère ou bien accessoirement polymétalliques, la première minéralisation est essentiellement hématique avec la présence d'autres oxydes et hydroxydes de fer.

VI .4.Le gisement ferrifère de Boukhadra

VI .4.1.Gisement de Boukhadra :

Le gisement de Boukhadra est situé à 47Km de la mine de l'Ouenza. Son importance réside dans le gisement de fer qui est considéré comme la deuxième source de minerai de fer en Algérie, après celle de la mine de l'Ouenza. [30]

Le gisement de fer de Boukhadra est à relief montagneux de type amas et filons: il s'agit d'un gisement dressant d'origine hydrothermal, caractérisé par une morphologie ventriculaire avec une longueur d'environ 900 à 2200m et une épaisseur d'environ 10 à 50m.

Globalement le gisement de Boukhadra est composé de quatre (04) corps minéralisés principaux avec des petites veines de moindre importance:

- Corps principal;
- Corps Nord ;
- Corps Médian ;
- Corps Sud.

Le Djebel Boukhadra s'étend sur une longueur de 7 à 8Km et une largeur variant de 3 à 5Km, suivant une direction NE-SW.

Le gîte principal de Boukhadra, de direction NE-SW et d'une longueur de 1 Km, est représenté par de grandes et petites veines (e=25 à 30m, pendage 65° NW) qui se joignent dans la partie occidentale pour former un amas de 250 à 300 m de longueur avec 100 m de puissance, cet amas plonge sous les dépôts, du Trias.

Le gîte secondaire est un filon de plusieurs centaines de mètres de long., de direction NE-SW avec un pendage de 50° à 60° vers l'Est et d'une épaisseur d'une dizaine de mètre en général.

Chapitre VI : problématique

Le gisement ferrugineux de Boukhadra, appartenant au domaine de l'Atlas saharien est localisé dans le massif montagneux de Djebel Boukhadra, caractérisé par une structure anticlinale très simple de direction NE-SW avec une terminaison périclinale au NE.

Les côtes absolues dans les limites de la concession minière variant de 750m au pied de la montagne à 1463m au point culminant, localisé au niveau du pic de Boukhadra.

VI .4.2.Composition minéralogiques

Le minerai exploité est constitué principalement d'hématite, le constituant majeur du minerai, goethite et autres ocres limonitiques. [31]

Il est issu de l'oxydation de la sidérose située au dessous de niveau hydrostatique.

- a) L'hématite (Fe_2O_3) : l'hématite se présente sous plusieurs formes. Elle est pulvérulente de couleur bleu noire rougeâtre, il s'agit d'un minerai riche, dur et homogène laissant souvent apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté.
- b) La goethite (FeOOH) : La goethite forme des encroûtements à surface mamelonnée, brillante. Elle accompagne souvent l'hématite et elle est très fréquente dans les géodes.
- c) La limonite [Terme englobant un ensemble d'hydroxydes de fer (type FeO-OH , $n\text{H}_2\text{O}$): Les ocres limonitiques correspondent à des argiles imprégnées de limonites presque toujours associés à la goethite en encroûtement. En plus de ces produits oxydés, on trouve aussi dans le minerai exploité de la calcite blanche en grands cristaux spathiques de 1 à 5 cm.
- d) La sidérite (FeCO_3) : Elle caractérise le minerai primaire sous le niveau hydrostatique.

VI.4.3. Catégorie et estimation des réserves

Selon la première estimation des réserves réalisées par la D.E.D (la Division d'Etude et Développement) basée sur les résultats de prospection, les réserves géologiques globales sont évaluées à 50 millions de Tonnes en catégories B, C1, C2.

Catégorie A (réserves certaines)

Catégorie B (réserves probables)

Catégorie C (réserves possibles) [31]

VI .5.Le gisement de fer d'Anini

Le gisement de fer d'Anini est situé dans la partie nord-orientale de la chaîne alpine de l'Algérie à environ 30 km dans la partie Nord-Ouest de la wilaya de Sétif.

Il est constitué de corps de minerais de forme karstiques et lenticulaires de direction N135°.

La minéralisation ferrifère est constituée essentiellement d'hématite, de goethite et d'argile ferrugineuse.

La minéralisation ferrifère du gisement de Djebel Anini, qui est encaissée dans les calcaires massifs d'âge Cénomaniens-Turonien se localise principalement dans la partie sud-ouest de ce dernier.

L'étude minéralogique, montre des associations minérales simples à savoir des hydroxydes et oxydes de fer « goethite, hydrogoethite, hématite », calcite et quartz.

VI .6.Gisement de Rouina

Le gisement de fer –ROUINA est situé dans la Wilaya d'Ain Defla est l'une des anciennes mines d'Algérie, sa production est destinée à servir les cimenteries du centre et Ouest , comme ajout parce que la matière première extraite est considérée comme un minerai de fer de faible teneur contient un taux élevé des impuretés tels que la silice et l'alumine.

Chapitre VI : problématique

Le gisement de fer de Rouina, fait partie du massif rocheux de Rouina. .

La majorité des réserves est représentée par la goethite au sein de laquelle il y a des accumulations de forme irrégulière d'hématite.

Le minerai de fer de Rouina est constitué essentiellement de limonite et d'hématite avec un taux élevé d'impuretés de silice et d'alumine. Ce gisement fait partie des gisements pauvres en fer et nécessite une valorisation.

VI .7.La mine de sidi Maârouf

La région appartient au domaine Nord atlasique connu localement sous le nom de la chaîne des Bâbords, elle est limitée par : mer méditerranée au Nord. Wilaya de Skikda à l'Est. Wilaya de Bejaia à l'Ouest.wilaya de Sétif et de Mila au Sud.

IL est traversé par la route nationale Constantine -El Milia – Jijel à 85 km de Constantine, 1 5 km d'El Milia et à 75 km de jjel. **[30]**

La mine de sidi Maârouf possède des réserves exploitables de l'ordre de 55 millions de tonnes; tous ces paramètres font que ce minerai est destiné aux différentes cimenteries de l'Est Algérien, sous la tutelle de SPA SOMIFER Tébessa utilisé comme d'adjuvant pour la fabrication du ciment (clinker).

La teneur moyenne du minerai de fer du gisement de Sidi Maarouf est estimée à 44,18 % en fer.

Sur l'ensemble du gisement, les teneurs moyennes sont les suivantes :

Fe total = 44, 18%, SiO₂ = 13, 66%, CaO = 5, 35%.

Les gisements de Gara Djebilet et de Mecheri Abdelaziz, classés parmi les géants mondiaux, ont un potentiel minier de plus 3 milliard de tonnes avec une teneur en fer de 56%.

VI .8.Gisement de Ghara Djebilet

La mine de Gara Djebilet est une mine de fer située dans le Sud de l'Algérie à 200 km Sud-ouest de Tindouf, l'un des plus importants au monde, s'étend sur une superficie de 131 km² et offre des réserves estimées à 3,5 milliards de tonnes, dont 1,7 milliard de tonnes sont exploitables avec une teneur de 58,57 % de fer.

La mine de Gara Djebilet a été découverte en 1952.

La localité de Ghara Djebilet est située à proximité de la frontière avec la Mauritanie, à 200 kilomètres au sud-est de Tindouf-ville.

Le gisement affleure à ciel ouvert avec trois grandes zones de minerai : Gara Ouest, Gara Centre et Gara Est.

La partie la plus riche se situe à la Gara centrale

Une des trois lentilles composant le gisement ferrugineux de Gara Djebilet, localisée à une vingtaine de kilomètres de la frontière avec la Mauritanie

Les réserves exploitables de Gara- Djebilet sont de l'ordre de 1,7 milliard de tonnes à 57% de fer, localisées dans deux lentilles importantes:

Une lentille Ouest avec 780 millions de tonnes et

Une lentille Centre avec 900 millions de tonnes

Le corps de minerai s'enfonce en pente douce et régulière (2%) en direction Nord. Les roches encaissantes sont de nature sédimentaire (argiles, grès argileux et microconglomérats) attribuées au Dévonien (entre 400 et 350 Millions d'années).

Chapitre VI : problématique

Elles constituent une série monoclinale faiblement inclinée vers le Nord (2 à 5°) du flanc sud du synclinal de Tindouf.

Minéraux ferrifères : Hématite, Magnétite, Chlorites, Goethite, Sidérite, Hydroxydes de fer. Minéraux non-ferrifères : Quartz, Calcite, Apatite, Illite, Minéraux lourds et sulfures (en traces).

C'est un minerai de fer ($Fe_2O_3=79,4\%= \text{Fer-métal } 55,6 \%$) phosphoreux ($P_2O_5=1,38\%$ soit 0,6% de Phosphore) et accessoirement titanifère ($TiO_2:0,17\%$) et vanadifère ($V_2O_5 :0,08\%$) qui peuvent donc être coproduits avec le fer.

Les différentes études menées ont confirmé que l'extraction du minerai sera faite à ciel ouvert, alors que son évacuation peut se faire soit par la Méditerranée (1.500 km de voie ferrée à réaliser), soit par l'Atlantique où plusieurs solutions avaient été envisagées.

VI .9.Gisement de Mecheri Abdelaziz

Le gisement d'Abdelaziz Mecheri, à quelque 250km au nord-est de Ghara Djbilet, et 180km environ au SE de la ville de Tindouf.

La minéralisation est encaissée dans les roches du dévonien supérieur, de nature sédimentaire (conglomérats, grès, quartzites, argiles et siltites).

La minéralisation est complexe et comprend trois paragenèses principales ;
maghémite-magnétite, bavalite-hématite, bavalite-magnétite et quatre faciès types :

Faciès micro-conglomératique (FMC),

Faciès à oolites dispersées dans une matrice détritique (FOD),

Faciès à oolites dispersées dans une matrice non détritique (FOND)

Faciès à oolites jointives, cimentées (FOC).

Chapitre VI : problématique

Sur l'ensemble du gisement, les teneurs moyennes sont les suivantes :

Fe total : 43,49% ; SiO₂=13,66% ; P₂O₅=2,31% ; CaO=5,35%

Les réserves de Mechri Abdelaziz sont de l'ordre de 700 millions de tonnes de minerai pour une teneur moyenne de 52,45% de fer.

Les différentes études menées ont confirmé que l'extraction du minerai sera faite à ciel ouvert,

La texture du minerai

La texture est oolitique.

Les dimensions des oolites varient de 50 à 500 microns.

Morphologie des corps :

lenticulaire Composition minéralogique (d'après S. Guerrak)

a) Minéraux ferrifères

Hématite 19.2%

Magnetite 25.4%

Bavalite 8.3%

Goetite 1.9%

Maghemite- Trace

Ce gisement, par la présence d'un corps de minerais riche à magnétite, vient améliorer grandement les quantités et la qualité des minerais.

Soixante ans après la découverte du gisement, les multiples projets d'exploitation du gisement de Ghara Djebilet, de mise en valeur et développement demeurent en phases de préfaisabilités et faisabilité.

Les premières études (Bureau de recherche minière en Algérie, 1953,

Chapitre VI : problématique

Bureau d'investissement en Afrique, 1959,
Service d'études et recherches minières 1961)
Après la nationalisation des mines en 1966

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.

VI .10.Problématique

VI .10.1.Présentation état actuel, perspectives et développement du secteur

Un projet et des portées

Le projet d'exploitation de la mine de fer de Gara Djebilet est destiné à accompagner le développement économique du pays et de la région, en particulier.

Aussi, il est attendu de ce mégaprojet de nombreuses retombées sur la région et sa population et sur l'économie nationale.

D'après l'étude technique.

- **Sur le plan scientifique,** la recherche est orientée vers le développement de nouvelles procédures innovantes et efficaces pour éliminer le phosphore et enrichir le minerai en fer.
- **Sur le plan technique,** le développement et la maîtrise de nouveaux procédés efficaces pour éliminer le phosphore et enrichir le minerai en fer.
- **Sur le plan économique,** L'impact est énorme sur l'économie de notre pays

Chapitre VI : problématique

l'enjeu est également important, car le minerai enrichi en fer et débarrassé de son phosphore, peut être utilisé par les industries sidérurgiques algériennes et exporté à l'étranger.

- **Sur le plan socioéconomique**, l'impact est considérable, car un minerai de très bonne qualité avec un coût moindre sera disponible en abondance.

Il convient toutefois de rappeler que l'exploitation de ce gisement se heurte à 3 **problématiques majeures**, qui sont :

A- La teneur élevée en phosphore dans le minerai 0,8% P alors que le pourcentage admis pour son utilisation industrielle doit être sensiblement inférieur à 0,1 % P ;

B- la disponibilité de l'énergie nécessaire à son exploitation (gaz, électricité) et de l'eau.

C- la nécessité de réaliser des infrastructures de transport (rail) pour ramener les productions de leur lieu d'extraction à Gara Djebilet vers celui de leur transformation à Béchar, puis vers les aciéries et ports du nord.

La première contrainte, 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.

La valorisation de Gara Djebilet, ayant été pénalisée par la teneur élevée du minerai en phosphore et en arsenic qui rendaient son exploitation peu rentable et que le traitement du minerai en parvenant à réduire le taux du phosphore dans le fer pour le porter de 0,8% à 0,03%.

Deuxième contrainte, l'alimentation du projet en ressources énergétiques (gaz, électricité) et en eau, sachant par ailleurs qu'une telle activité en est grosse consommatrice, et qu'en conséquence, une attention prioritaire doit être accordée à ce projet pour le mettre dans les meilleures.

Dans l'optique de concrétiser 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.

La Troisième contrainte qui concerne les infrastructures nécessaires au développement et à l'exploitation du gisement (extraction, traitement, transport, transformation) ; il s'agit de :

- La réalisation de lignes de chemin de fer devant relier le site minier de Gara Djebilet à Tindouf (140 km), d'une étude pour le raccordement, par voie ferroviaire du site du gisement vers Abadla (Bechar) sur un tracé de 950 km, et d'une ligne reliant Béchar à Oran (674 km), ou tout au moins réaliser son dédoublement sur une partie du tronçon ;
- réalisation des infrastructures de base (site minier, routes et voies d'accès...).

Toutes ces infrastructures et autres moyens logistiques ajoutés aux investissements dans les équipements de production vont nécessiter la mobilisation de moyens financiers.

La première contrainte : Valorisation du minerai de Gara Djebilet.

Le phosphore est appelé poison du fer car il le rend cassant. Pourtant toute l'industrialisation est basée sur la sidérurgie d'un minerai de fer de teneur médiocre (30%) et phosphoreux (1,8% P₂O₅) et réputé oolithique.

La déphosphoration du minerai constituait jusque là une contrainte ayant entraîné l'exploitation de ce gisement.

Les procédés

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. [32]

Ils peuvent être classés en 4 catégories :

Procédé 01

- Procédés d'enrichissement

- Procédés d'enrichissement : séparation gravimétrique - calcination réductrice - séparation magnétique basse et haute intensité, flottation

Procédé 02

-Procédés de déphosphoration

- Procédés de déphosphoration :

- Lixiviation acide ou basique

- Flottation

- Calcination avec « agents déphosphorant » suivi de flottation ou lixiviation

-Procédé 03

-Procédé de réduction directe avec agent « déphosphorant »

- Procédé de réduction directe avec agent « déphosphorant » suivi de séparation magnétique.

Procédé 04

-Autres techniques

- Autres techniques contribuant à la dislocation des oolithes non encore développées : ultrasons, microondes.

Traitement

Chapitre VI : problématique

La séparation magnétique et la lixiviation sont les deux méthodes les plus répondues dans l'enrichissement des minerais de fer, elles permettent l'élimination d'une grande partie d'impuretés non magnétiques ou de récupérer les éléments ferrifères

La lixiviation est l'une des méthodes les plus utilisés et qui accompagne d'autres procédés de séparation physiques et mécaniques. Elle trouve une large application dans le cas de traitement des minerais qui présentent une difficulté d'enrichissement et de valorisation.

Dans ce chapitre, des généralités sur les méthodes d'enrichissement par des procédés Chimique telles-que, la lixiviation et par voix physique comme la séparation magnétique sont présentées.[33]

VI .10.2.La lixiviation

La lixiviation est l'art d'extraire les métaux de leurs minerais. Les minerais contiennent généralement les éléments métalliques à l'état oxydé. La majorité parmi eux sont des sulfures, des oxydes, des chlorures ou des carbonates.

Cette technique est souvent utilisée pour des métaux lourds et précieux comme le cuivre, le zinc et l'uranium ; elle est basée sur des réactions chimiques visant à absorber spécifiquement la substance à extraire.

La lixiviation consiste à mettre en solution, sous forme ionique, le ou les métaux recherchés. [34]

VI .10.3.Techniques de lixiviation

La lixiviation nécessite la mise en contact d'un fluide avec un solide, les techniques de lixiviation dépendent de la teneur en éléments utile ainsi que de la facilité de

dissolution. On tient à signaler que toutes ces techniques citées ci-dessous se font soit dans les cuves ayant des différentes formes ou dans les fossés préparés. [35]

VI .10.3.1..Lixiviation par percolation

Dans cette technique le contact est réalisé par circulation de la solution lixiviante à travers un lit fixe des solides en couches de grain relativement perméable.

VI .10.3.2. Lixiviation par agitation

L'agitation permet un meilleur contact entre l'agent de lixiviation et solides à lixivier . On distingue : -Agitation pneumatique : elle se fait dans les Pachuca (réacteur cylindrique) munit d'une tubulure centrale à travers laquelle une injection d'air comprimé détermine un mouvement ascendant de la pulpe. -Agitation mécanique : le réacteur de lixiviation est agité mécaniquement afin de permettre un bon contact.

VI .10.3.3. Lixiviation suppression

Cette technique permet de l'accélérer la mise en solution des éléments utiles qui sont lentes à pression atmosphérique, elle a lieu dans les autoclaves et la pulpe est injecté sous pression. Étant donné que la cinétique réactionnelle des sulfures est lente, cette technique est recommandable pour ce type de minerais utilisés.

VI .10.4.Types de lixiviation

Les types de lixiviation sont classés suivant les agents lixivians utilisés [36].

.

On distingue

VI .10.4.1. Lixiviation chimique

Chapitre VI : problématique

La lixiviation permet de extraire des éléments constituant des minéraux en faisant passer une solution aqueuse à travers le sol permettant la dissolution des matières solides qui y sont contenues. Cette technique est couramment utilisée dans le secteur minier pour récupérer des métaux de valeur (argent, or, cuivre, uranium, zinc...) à partir de matériaux géologiques.

La lixiviation est une réaction de formation de complexes entre les éléments des lixivants de la solution et le métal contenu dans la roche. C'est une réaction lente limitée par la distribution des réactifs dans le solide et des produits de la réaction dans la solution. [36]

VI .10.4.2. Lixiviation bactérienne

Les chercheurs du secteur métallurgique ont isolé et étudié des bactéries capables d'oxyder les minéraux à base de fer ferreux et de soufre et d'en libérer les métaux. L'équivalent de 11.5% de la production de cuivre aux Etats-Unis est fourni par un procédé avec lixiviation bactérienne.

Les bactéries responsables en grande partie de l'extraction des métaux appartiennent à l'espèce *Thiobacillus ferrooxidans*.

VI .11.Séparation magnétique

La séparation magnétique est un procédé qui utilise la force engendrée par un système magnétique pour séparer les particules présentant des propriétés magnétiques différentes. Ce type de séparation consiste à soumettre les minéraux à l'action d'un champ magnétique. Les différences de susceptibilité magnétique, entre les espèces minérales, sont alors les principaux critères qui permettent d'effectuer le fractionnement. [37]

VI .11.1.Principe de séparation magnétique

La séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique.

À partir de cette propriété, les matériaux peuvent être divisés en trois classes. La première classe est composée des matériaux ferromagnétiques dont la susceptibilité magnétique est très forte.

La deuxième classe comporte des matériaux paramagnétiques qui présentent une susceptibilité magnétique faible. La troisième classe est constituée des matériaux diamagnétiques possédant une susceptibilité nulle. [37]

VI .11.2.Théorie de séparation magnétique

Le sens physique de procédé de la séparation magnétique consiste en fait que le champ magnétique change la trajectoire gravitationnelle des particules possédantes les propriétés magnétiques, de qui provoque leur extraction du mélange avec d'autre minéraux, cette extraction est due au champ magnétique et au gradient de l'intensité qui exprime le changement de l'intensité du champ par l'unité de distance. [38]

VI .11.3.Types de séparation magnétique

On fonction de l'intensité du champ magnétique les séparations sont classées comme suit :

- A-Séparation magnétique à basse intensité (SMBI):

Principalement utilisée pour la séparation des matériaux ferromagnétiques ou paramagnétiques de susceptibilité magnétique élevée, et/ou les matériaux de

granulométrie plus ou moins grossière. Le dispositif généralement utilisé est un aimant permanent fonctionne normalement à champ magnétique ouvert, c'est-à-dire que les lignes de force magnétique se referment dans un milieu magnétique peu perméable, air ou eau. L'aimant utilisé, a un champ magnétique profond (attire à distance) ou non (épuration ou concentration de minerais) suivant l'objectif de la séparation. L'intensité de champ varié de 80 à 160 KA/m [39]

-B- Séparation magnétique à haute intensité (SMHI):

Utilisée pour le traitement des matériaux faiblement magnétiques, brut ou fin, en modes humides ou secs, le générateur du champ magnétique est un circuit conventionnel (électroaimant composé d'une ou de deux bobines en cuivre résistif entourant un noyau de fer doux ($\mu_r = B/\mu_0 H$ très élevé)) à champ magnétique fermé d'une intensité allant de 400 kA/m à 1 600 kA/m, ou un aimant permanent à forte énergie spécifique (alliages en céramique).

L'alimentation des séparateurs à haute intensité ne doit pas comporter un trop fort pourcentage de particules ferromagnétiques ou ferrimagnétiques (< 0,5 %). Il est souvent conseillé de faire passer préalablement l'alimentation dans un séparateur magnétique à basse intensité. [39] .

-C- Séparation magnétique à haut gradient du champ:

Elle utilise des bobines en cuivre ou supraconductrices pour le traitement de particules ultrafines contenues dans une dispersion solide ou un fluide ainsi les matériaux qui ont des propriétés magnétiques très faibles. D'après le milieu de séparation magnétique on distingue.[40]

-D-Séparation magnétique par voie sèche:

réservée en général aux traitements des produits grossiers (granulométrie de l'ordre du millimètre à quelques centimètres) elle s'effectue dans le champ magnétique suivant deux principaux régimes : Régime d'extraction (retirer les particules magnétiques de la masse par force magnétique) et Régime de déviation ou de maintien (déviation des particules magnétiques de leurs trajectoires par effet du champ magnétique et une force mécanique).[40]

-E- Séparation magnétique par voie humide:

On utilise ce type de séparation magnétique lorsque le minerai magnétique est difficilement séparable vu leur granulométrie très fine (- 1mm à 40 μ m) ou lorsqu'il y a une formation d'agrégats créés par l'attraction électrostatique entre les particules en voie sèche, ou lorsque le produit à traiter est déjà sous forme de pulpe minérale et même lorsque on cherche à éviter les dégagements intenses de poussières.[41]

Deuxième contrainte, l'alimentation du projet en ressources énergétiques

Mais ce n'est pas le seul problème, puisqu'il est question de la nécessité d'utiliser beaucoup d'eau et d'énergie, deux ressources qui sont rares dans le bassin géologique de Tindouf où se trouve le gisement.

Le deuxième handicap est lié à l'énergie, qui ne peut provenir que d'importantes réserves en gaz naturel tout autour du gisement de Ghara Djebilet.

1/-Sources Hydrique

2/-Sources Electriques

3/-Sources Energétiques

Il convient toutefois de rappeler que l'exploitation de ce gisement se heurte à 3 problématiques majeures, qui sont :

– La teneur élevée en phosphore dans le minerai 0,8% P alors que le pourcentage

Chapitre VI : problématique

- admis pour son utilisation industrielle doit être sensiblement inférieur à 0,1 % P ;
- la nécessité de réaliser des infrastructures de transport (rail) pour ramener les productions de leur lieu d'extraction à Gara Djebilet vers celui de leur transformation à Béchar, puis vers les aciéries et ports du nord ;
 - la disponibilité de l'énergie nécessaire à son exploitation (gaz, électricité) et de l'eau...

Outre le problème de la teneur en phosphore, il se pose l'autre contrainte qui concerne les infrastructures nécessaires au développement et à l'exploitation du gisement (extraction, traitement, transport, transformation) ; il s'agit de :

- La réalisation de lignes de chemin de fer devant relier le site minier de Gara Djebilet à Tindouf (140 km), Tindouf à Béchar (806 km), et d'une ligne reliant Béchar à Oran (674 km), ou tout au moins réaliser son dédoublement sur une partie du tronçon ;
- réalisation des infrastructures de base (site minier, routes et voies d'accès...).

Toutes ces infrastructures et autres moyens logistiques ajoutés aux investissements dans les équipements de production vont nécessiter la mobilisation de moyens financiers importants.

Il y a aussi l'alimentation du projet en ressources énergétiques (gaz, électricité) et en eau, sachant par ailleurs qu'une telle activité en est grosse consommatrice, et qu'en conséquence, une attention prioritaire doit être accordée à ce projet pour le mettre dans les meilleures conditions d'exploitation.

À ce titre, le recours à l'énergie solaire photovoltaïque notamment se justifie amplement pour fournir le projet, mais aussi toute la région en électricité.

En partant de l'hypothèse qu'une solution économiquement viable pourrait être confirmée 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 3 à 5 années, la mise en œuvre des autres infrastructures (rail, électricité, routes, eau,

gaz).

Remarque :

Si elle n'est pas lancée en parallèle et de manière rigoureuse et coordonnée, est de nature à se traduire par des délais préjudiciables.

La Troisième contrainte : la nécessité de réaliser des infrastructures de transport

Distances

Lignes ferroviaires (distances)

- Gisement de fer de Gara-Djebilet ---> Beni Saf (Algérie) 1540 km

- Gisement de fer de Gara-Djebile (Algérie) ---> Gisement de fer Zouerate (Mauritanie) 620 km

- Gisement de fer de Gara-Djebilet (Algérie) ---> Port Nouadhibou (Mauritanie) 1320 Km

En passant par la Mauritanie le trajet n'est plus court que de 220km...

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 port d 'Oran ou Ghazaouët.

Conclusion la meilleure option c'est de relier le gisement de fer à Béchar la ligne existe déjà jusqu'au port d'Oran. Le trajet entre Gara-Djebilet et Béchar ne fait que 950 km.

Chapitre VI : problématique

... L'évacuation normale du minerai aurait du s'effectuer par chemin de fer vers l'Océan (Tan-Tan est à 500km),

Alors qu'actuellement, il est transféré par camion sur Béchar et par train vers Oran soit 1500km de transport...

L'étude d'exploitation du méga-gisement de fer de Gara-Djebilet (170 km Sud-ouest de Tindouf)

la nécessité d'unifier les visions des différents secteurs pour lancer un véritable investissement dans le gisement de Ghar-Djebilet .

Une ligne de chemin de fer Tindouf-Tantan (Maroc) ne fera que 300 km

Le coût de transport du minerai de ces mines jusqu'à Oran par voie ferré (1500 KM) sera très élevé et découragera n'importe quel investisseur étranger.

L'unique solution pour que ce projet voie un jour le jour sera de transporter le minerai par voie ferrée jusqu'au port de Tantan sur l'atlantique est de là, l'acheminer vers Oran par bateau.

Mechri Abdelaziz, situé à 200 km à l'Est de Ghar Djebilet,

Etude sur le transport du minerai de fer

Une étude sur le transport du minerai par chemin de fer, de Gara Djebilet vers la région de Macta dans le golfe de Arzew (Nord-ouest du pays : entre Arzew et Mostaganem).

Cette étude a porté sur plusieurs variantes :

Chapitre VI : problématique

1/- Un system de transport qui se situerait entièrement en territoire Algérien, allant de Gara Djebilet jusqu'à la Macta (Alternative Nord).

2/- Un system de transport allant de Gara Djebilet a un port de la côte atlantique marocain, et de la part de la mer à la Macta (Alternative Ouest).

3/- Un system de transport allant de Gara Djebilet à un port atlantique mauritanienne (Nouadhibou) et de la part de la mer à la Macta (Alternative Sud). [42]

La compagnie Ford Bacon Davis a également conduit une étude sur le transport du minerai par chemin de fer, et a examiné en plus de ces trois alternatives, une 4eme alternative, à savoir :

- Un system de transport allant de Gara Djebilet a un port de la côte atlantique (Rio-de Oro) à travers le Sahara occidental, et delà par la mer à la Macta.

Ces études ont identifié les critères techniques de réalisation du système de transport et elles peuvent être regroupées en deux points essentiels :

- La détermination du tracé optimal du chemin de fer.
- L'identification, avec précision, des caractéristiques et spécifications des infrastructures (voie ferrée, fondation, ouvrages d'art.) et du matériel roulant (wagons, locomotive.)

Les gisements de fer de Gara Djebilet et de Mechri Abdelaziz sont distants de 250 km et situés respectivement à environ 130 km au sud-est et 400 km à l'est de Tindouf dans l'extrême ouest de l'Algérie. Gara Djebilet est à 300 km directement de l'océan Atlantique (via la Mauritanie ou le Maroc) et à 1600 km au sud de la côte méditerranéenne de l'Algérie

Chapitre VI : problématique

Nous pouvons aussi bien évacuer le minerai par l'Atlantique via la Mauritanie que l'acheminer vers le Nord, si on se résout enfin à réaliser cette voie ferrée (Tindouf-Béchar) dont est tributaire tout le développement.

VI .12.Variantes en perspectives

VI .12.1.Introduction

Trois sites miniers sont concernés par les phases d'exploitation de ce gisement, dont les ressources sont estimées à plus de trois (3) milliards de tonnes, localisés à Ghara Djebilet Ouest, Centre et Est, en plus du gisement de fer de Mechri Abdelaziz, situé à 200 km à l'Est de Ghara Djebilet.

Dans la wilaya de Bechar, et dans le cadre de ce projet minier, il est prévu à l'horizon 2029-2030 la réalisation de nombreuses installations et infrastructures de production sidérurgiques, installations de stockage du minerai provenant des sites d'exploitation de Ghara-Djebilet dans le but de son acheminement vers le nord du pays (Bethioua, wilaya d'Oran), par camion électrique et par train spécial, sachant qu'il est prévu la réalisation de 1.700 km de voies ferrées Bechar-Tindouf-Ghara Djebilet.

Tous les moyens de transport ne sont pas forcément adaptés à toute activité ou à toute entreprise. En effet, chaque mode de transport bénéficie d'avantages et d'inconvénients à prendre en compte en amont.

C'est pourquoi il faut toujours déterminer au préalable les besoins en transport afin de choisir le moyen ou les moyens les plus pertinents. Voici quels sont les différents types de transport.

Critères du choix du moyen de transport

D'un moyen de transport à l'autre, les éléments du coût de transport varient souvent en sens inverse.

D'après la définition classique du coût de transport dans laquelle seul le coût de roulage est considéré, nous serions amenés la plupart du temps à choisir le moyen de transport dont le coût de roulage est le plus faible.

Le choix du moyen de transport va se faire en tenant compte de deux éléments :

- les caractéristiques de la marchandise.
- La distance sur laquelle le transport doit être effectué

VI .13. Choix du moyen de transport en fonction de la distance

Le coût de transport global est composé d'éléments fixes et d'éléments variables proportionnels à la distance.

Les procédés d'évacuation du minerai de fer du complexe.

- 1/-Transport par Route,
- 2/-Transport par Train,
- 3/-Transport Par canalisation,
- 4/-Transport Maritime.

VI .13.1.Transport Routier

VI .13.1.1.Le transport par voie routière

C'est le mode de transport terrestre le plus utilisé partout dans le monde. À la fois rapide, simple et économique, le transport routier s'adapte à des trajets courts et directs, mais aussi à des transports de courte et de longue distance, allant jusqu'à 2000 km.

Le transport routier est un système de transport très sécurisé. En effet, avec les évolutions techniques au fil des révolutions industrielles, le transport routier a évolué.

Ces systèmes couvrent toutes les opérations du processus de production. Dans le même temps, les coûts de transport pour les carrières à ciel ouvert représentent 60 à 75 % du coût des matières premières.

Chapitre VI : problématique

Parmi les avantages du transport routier, il y a le coût. C'est le mode de transport le moins onéreux pour faire des courtes distances

Afin d'optimiser les opérations minières et les processus de transport, et éliminer l'inefficacité des processus, il faut évaluer le débit du réseau de transport minier, vérifier l'équipement nécessaire pour transporter la masse rocheuse, élaborer des recommandations sur la sélection de l'équipement et sa quantité, confirmer que la capacité de production spécifiée avec le parc d'équipement donné est atteinte.

VI .13.1.2.Le transport ferroviaire

Le transport ferroviaire est depuis longtemps la pierre angulaire d'un acheminement des marchandises rapide, efficace et axé sur le développement durable. Presque toutes les industries dépendent des réseaux ferroviaires.

Lorsqu'il s'agit de transporter des marchandises en vrac et parcourir de longues distances (plus de 1000 km), le transport ferroviaire est le mode de transport le mieux adapté.

Pourtant ce mode de transport présente de nombreux avantages il est moins bruyant, moins polluant et moins dangereux que le transport routier. Il a de nombreux avantages et il pourrait se développer un peu plus dans les années à venir.

Il est notamment avantageux en matière de rapport qualité-prix. Rapide et fiable, le transport ferroviaire est proposé à des tarifs accessibles.

Après le transport fluvial, le transport ferroviaire est le moyen le plus efficace pour déplacer de grands volumes de marchandises

Les chemins de fer sont idéaux pour transporter de grands volumes de marchandises en vrac. Les coûts du transport ferroviaire pour les matériaux en vrac sont généralement assez bas.

Le transport ferroviaire est généralement plus économique en carburant que le transport routier.

Les chemins de fer sont un moyen de transport efficace. Les transports efficaces sont un composant critique du développement économique, au niveau national aussi bien que mondial. [43]

VI .13.1.3Transport par Canalisation

Un **minéroduct** est un pipeline destiné à faire transiter un minéral sous forme d'une suspension liquide (slurry) jusqu'à un port d'exportation ou une zone de traitement.

Certains produits miniers sont transportés en suspension sous forme de boue (slurry). On parle de minéroduct (en anglais : Slurry pipeline) ; pour le charbon transporté pulvérulent, mélangé à de l'eau, sous forme d'une boue liquide (schlamm), on parle d'hydrocarboduc.

Le Slurry Pipeline offre un mode de transport continu et intégré qui permet de générer des économies substantielles grâce à l'acheminement du phosphate par voie humide et se traduit également par des économies en eau et en énergie.

Le transport par canalisation est un mode de transport de matières gazeuses, liquides, solides ou polyphasiques, réalisé au moyen de conduites constituant généralement un *réseau* ou *système* de transport.

Un minéroduct peut facilement résoudre le problème du transport si la revalorisation ne se fait pas sur place. Il consomme 2,5 millions de litres d'eau par heure.

Avec un minéroduct, le procédé ne sera pas non plus rentable.

VI .13.1.4.Le transport maritime

Le transport maritime consiste à déplacer des marchandises par voie maritime. Le transport maritime comprend également la prise en charge du pré-acheminement et du post-acheminement. Le transport maritime le moyen de transport dans le commerce mondial le plus important, en termes de capacité.

Historiquement, le fret maritime est le transport le plus fréquemment utilisé pour les entreprises qui ont de gros volumes. Au gré du temps et des évolutions technologiques,

Chapitre VI : problématique

c'est devenu un moyen de transport sûr et rapide permettant d'acheminer toujours plus de cargaisons à travers le monde entier.

Il permet d'acheminer des marchandises à gros volumes

Ce mode de transport couvre l'essentiel des matières premières (, minerai de fer ,)

Comparé à d'autres moyens de transport, le transport maritime est très économique sur de longues distances. Il est aussi considéré le plus écologique des transports, compte tenu du volume et du poids des marchandises qu'il est en capacité de transporter, en une seule et même expédition.

VI .14.Analyse du Processus de transport

VI .14.1.Introduction.

L'Algérie possède d'importantes réserves de minerai de fer, près de trois milliards de tonnes dans deux principaux gisements situés dans le Sud ouest Algérien, il s'agit des gisements de Gara Djebilet et Mècheri Abdelaziz.

Ces gisements exploitables à ciel ouvert, sont moyennement riches en fer (57-58%) et sont tous les deux caractérisés par une forte teneur en phosphore (~ 0,8 %), et une gangue acide.

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.

Le projet sera réalisé en 3 phases :

- Première Phase de 2022-2024 : ligne de chemin de fer, et réalisation de l'unité pilote d'exploitation de la mine.
- Deuxième Phase de 2024-2027 : lancement de la production de 2 à 4 MM tonnes de minerai traité ou non sur site en fonction du résultat de la phase pilote.

Chapitre VI : problématique

- Troisième Phase de 2027 et au-delà : montée en cadence de la production de minerai pouvant atteindre 50 MM tonnes par an vers 2035, dont environ 60% de minerai traité.

L'investissement final devrait atteindre environ 30 Mds \$.

Pour accompagner son développement, deux projets d'infrastructures pour le transport et l'exploitation du minerai.

Un premier projet consiste à renforcer la ligne de chemin de fer actuelle qui permet le transport du minerai de fer de ghara djebilet jusqu'à la côte, Oran.

Une ligne de près de 900 km, une voie unique qui induit un passage des trains en alternance.

L'exploitation du second gisement, Mecheri Abdelaziz à 200 km à l'Est de ghara-djebilet du site actuel, inclut un deuxième projet d'installations minières, une nouvelle ligne de chemin de fer de 200 km, reliant le nouveau gisement.

C'est que l'exploitation du fer de Ghara Djebilet et Mecheri Abdelaziz nécessitera de grands investissements dans les centrales électriques, des réseaux de transport, une utilisation rationnelle de l'eau qui fait défaut ainsi que l'éloignement des sources d'approvisionnement, d'éviter la détérioration de l'environnement.

Deux options se distinguent :

1/- évacuer le minerai par l'Atlantique via la Mauritanie.

2/- construire le complexe sidérurgique de Marsat Hadjaj (Daïra Arzew/Oran), si on réalisait la voie ferrée (Tindouf-Béchar) dont est tributaire tout le développement tout en modernisant l'axe Bechar/Oran.

VI .14.2. Une voie ferroviaire Tindouf-Abadla (Bechar).

S'agissant du transport des ressources minières du gisement de Ghara-Djebilet et Mechri Abdelaziz, et dans la perspective de l'exploitation des ressources minières que

Chapitre VI : problématique

renferme ce site, le projet de réalisation d'une voie ferrée entre Ghara Djebilet à Abadla, (Bechar) sur une distance de 950 kilomètres est incontournable.

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.

VI .14.3. Identification des gisements en étude:

VI .14.3.1.Localisation :

Au sud ouest de l'Algérie , deux gisements de fer ont été identifiés dénommés Gara Djebilet et Mechri Abdelaziz.

Le gisement de Ghara Djebilet est situé à 130 Km au Sud Est de la ville de Tindouf, près de la frontière Algéro-Mauritanienne, à 300 Km à vol d'oiseau de l'océan atlantique et à 1.600 Km au sud de la côte algérienne.

Le gisement de Mechri Abdelaziz est situé à 400 Km à l'Est de Tindouf et à quelque 250 Km du gisement de Gara Djebilet.

VI .14.3.2. Etudes de mise en valeur :

Les études de mise en valeur ont été principalement menées sur le gisement de Gara Djebilet.

Ce gisement est facile d'accès et l'extraction du minerai pourrait être menée à ciel ouvert sans problèmes particuliers.

Concernant le gisement de Mechri Abdelaziz, les mêmes conditions minières que celles de Gara représentent un atout supplémentaire pour la valorisation de ces deux gisements.

Afin de lever ces incertitudes un certain nombre de travaux et d'études ont été réalisés depuis.

VI .14.4.Etudes en perspectives d'exploitation et de transport :

Les différentes études menées ont abouti aux perspectives suivantes :

- L'extraction du minerai sera menée à ciel ouvert,
- L'évacuation du minerai pourrait se faire avec plusieurs variantes à savoir :

Variante A

Evacuation partielle

1/- Transport par camion sur le tracé Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers Bechar.

2/- Transport par Chemin de Fer de Bechar vers Oran par la méditerranée (1500-1600 Km de voie ferrée à réaliser)

Variante B

Le Transport par Chemin de fer de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers le port d'Oran 1500 km. Arzew et Ghazaouet sont à 1 300 km.

Variante C

Le Transport par l'atlantique ou plusieurs solutions avaient été envisagées.

1/- le Transport de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers Laâyoune Sahara occidental l'océan Atlantique à 665 km.

2/- le Transport **combiné par route reliant Tindouf (Algérie) à Zouerate (Mauritanie), sur une longueur de 775 km**, et par chemin de fer de 704 km qui relie les mines de fer de Zouerate au port minéralier de Nouadhibou.

3/-Le Transport du minerai par voie ferrée jusqu'au port de Tan-Tan(Maroc) sur l'atlantique est de là, l'acheminer vers Oran par bateau. Les ports marocains de La Gazelle et de Tarfaya se trouvent respectivement à 400 et 515 kilomètres.

Chapitre VI : problématique

En conclusion initiales

de ces études, nous pouvons dire que le coût du transport de la tonne de minerai de fer aurait 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.

Systèmes de variantes en perspective.

Tableau VI.1. Variantes

Variantes	Types	Modes et Lieux
Variante A	Evacuation partielle	Transport par camion
		Transport par Chemin de Fer
Variante B	Evacuation Directe	Le Transport par Chemin de fer
Variante C	Le Transport par l'atlantique	Laâyoune Sahara occidental
		Zouerate (Mauritanie),
		Tan-Tan.(Maroc)

Description

Variante A

Evacuation partielle

1/- Transport par camion sur le tracé Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers Bechar.

Chapitre VI : problématique

2/- Transport par Chemin de Fer de Bechar vers Oran par la méditerranée (1500 Km de voie ferrée à réaliser.

La production du minerai de fer sera acheminée, «*par une flotte de camions électriques*». L'acheminement se fera vers le port de Mostaganem, notamment.

Variante B

Le Transport par Chemin de fer de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers le port d'Oran 1500 km. Arzew et Ghazaouet sont à 1 300 km.

Variante C

Le Transport par l'atlantique ou plusieurs solutions avaient été envisagées.

1/- Le Transport de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers Laâyoune Sahara occidental l'océan Atlantique à 665 km.

2/- Le Transport **combiné par route reliant Tindouf (Algérie) à Zouerate (Mauritanie), sur une longueur de 775 km**, et par chemin de fer de 704 km qui relie les mines de fer de Zouerate au port minéralier de Nouadhibou.

3/-Le Transport du minerai par voie ferrée jusqu'au port de Tan-Tan(Maroc) sur l'atlantique est de là, l'acheminer vers Oran par bateau.

Les ports marocains de La Gazelle et de Tarfaya se trouvent respectivement à 400 et 515 kilomètres.

En passant par la Mauritanie le trajet n'est plus court que de 220km.

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.

Une ligne pour connecter Gara Djebilet et Zouerate en Mauritanie où là il y a déjà une ligne de chemin de fer jusqu'au port de Nouadibouh ça serait encore mieux, surtout que les exportations de tous genres vers la Mauritanie augmentent.

Chapitre VI : problématique

En Mauritanie, la ligne ferroviaire qui relie les mines de Zouerate au port de Nouadhibou existe, il resterait à connecter les mines de fer de Gara Djebilet et Tindouf à Zouerate.

Consistance technique

Le **chemin de fer de Tindouf à Bechar** sera constitué d'une ligne à voie unique, longue de 950 km qui reliera les mines de fer de Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz à la ville de Bechar en premier lieu et de Bechar à un des ports d'Algérie au Nord en deuxième lieu.

Première Phase de 2022-2024 : ligne de chemin de fer, et réalisation de l'unité pilote d'exploitation de la mine. Deuxième Phase de 2024-2027 : lancement de la production de 2 à 4 MM tonnes de minerai traité ou non sur site en fonction du résultat de la phase pilote.

D'après les calculs sur les variantes proposées, nous pouvons présenter les caractéristiques du mode de transport qui répondent aux programmes et satisfaire les besoins de production planifiée pour les différentes phases d'exploitation.

Nous proposons le schéma suivant :

Les trains, dont la [longueur](#) peut atteindre 3.0 km, seront constitués de 4 à 5 locomotives et de 250 à 300 wagon-trémie pour le minerai de fer d'une [charge utile](#) de 90 tonnes chacun.

Le chemin de fer de Tindouf à Bechar et le port d'Oran se résume à une seule ligne de voie ferrée.

Cette ligne sera longue de 1500-1600 km. Elle part de la mine de fer de Ghara Djebilet et relie le port au Nord du pays.

Son utilisation principale sera initialement le transport de minerai de fer de la mine au port minéralier.

Chapitre VI : problématique

Les trains qui y circuleront font une longueur de 3.0 km, seront traînés par 4 -5 locomotives qui tireront environ 300 wagons de minerai, le poids total du convoi pouvant atteindre 27 000 tonnes.

Concernant la deuxième consistance du projet pour le transport routier ou par camions ,nous proposons le schéma suivant :

Utiliser des camions miniers pour le déplacement du minerai de fer de Tindouf à Bechar sur une distance de 950 km .des camions de capacité de charge de 100 tonnes et un nombre de 100 unités .la capacité totale sera de 10000 tonnes /jour.

Tableau VI.2. des Caractéristiques pour variantes

Variante A				
Evacuation partielle				
Paramètres				
	Camion	Charge Utile	Distances Xi	Nombre
Transport par camion	Camion minier	100 t	950 km	100
Transport par Chemin de Fer	Wagon-trémie	Charge Utile	Locomotives	
	200-300	90 T	4-5	950 km

Variante B				
Evacuation partielle				
Paramètres				
Transport par Chemin de Fer	Wagon-trémie	Charge Utile	Locomotives	
	200-300	90 T	4-5	1500-1600

Évaluation de la capacité ferroviaire

Déterminer la capacité de transport de minerai de la Société ferroviaire.

Description

Effectuer, à l'aide d'une modélisation par événements discrets, une étude de temps et mouvements des opérations de transport de minerai de fer pour ses clients.

Déterminer différents modes opératoires pour les opérations de transport.

Calculer la capacité théorique de chaque mode opératoire ;

Modéliser les infrastructures ferroviaires et les mouvements de train ;

Effectuer les simulations de chaque option de mode opératoire et selon différentes flottes de wagons ;

Proposer des pistes d'amélioration au temps de cycle.

VI .15. Augmentation de la capacité du chemin de fer

VI .15.1. Etude de pré faisabilité 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.

- 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 ;

Chapitre VI : problématique

- 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.

VI .15.2.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 pré faisabilité et de faisabilité

- Études préliminaires de niveau supérieur ;
- Études « bancables » détaillées ;
- Évaluation et estimation des investissements ;
- Optimisation des investissements à long terme.

2. Services d'ingénierie, d'approvisionnement et de gestion des travaux

- Conception ferroviaire ;
- Conception détaillée ;
- Optimisation des alignements ;
- Services de stratégies contractuelles (appels d'offres, évaluation et attribution) ;
- Supervision de la construction.

3. Services techniques

Chapitre VI : problématique

- augmentation de la capacité des chemins de fer (voie et ponts) et de la charge par essieu ;
- Services d'inspection et audits ;
- Planification du matériel roulant et des ateliers ;
- Conception et spécifications ;
- Planification et ingénierie de la signalisation ferroviaire et des systèmes de télécommunication ;
- Développement de systèmes d'entretien et d'ingénierie et élaboration de manuels ;
- Évaluation des opérations existantes dans le but de réduire et d'optimiser l'utilisation des actifs existants.

4. Planification de l'exploitation et assistance à la maintenance

- Planification et analyse de la capacité ;
- Développement de règles ;
- Audits liés à la sécurité ferroviaire ;
- Planification de stratégies de transport ;
- Assistance au niveau de l'exploitation et de la maintenance ;
- Stratégie de gestion des actifs ;
- Formation.

5. Institutionnel

- Formation et assistance technique ;
- Réforme organisationnelle ;
- Évaluation des marchés et du trafic ;
- Évaluation des coûts de service ferroviaire et de l'établissement des tarifs

Importantes Distances

Chapitre VI : problématique

L'évacuation normale du minerai aurait du s'effectuer par chemin de fer vers l'Océan (Tan-Tan est à 500km),

Alors qu'actuellement, il est transféré par camion sur Béchar et par train vers Oran soit 1500km de transport.

Lignes ferroviaires (distances)

- Gisement de fer de Gara-Djebilet ---> Beni Saf (Algérie) 1540 km

- Gisement de fer de Gara-Djebile (Algérie) ---> Gisement de fer Zouerate (Mauritanie) 620 km

- Gisement de fer de Gara-Djebilet (Algérie) ---> Port Nouadhibou (Mauritanie) 1320 Km

En passant par la Mauritanie le trajet n'est plus court que de 220km...

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 le port d'Oran ou Ghazaouët.

Conclusion la meilleure option c'est de relier le gisement de fer à Béchar la ligne existe déjà jusqu'au port d'Oran. Le trajet entre Gara-Djebilet et Béchar ne fait que 950 km.

Transporter le minerai par voie ferrée jusqu'au port de Tantan sur l'atlantique est de là, l'acheminer vers Oran par bateau.

Tableau VI.3. des données de Distances

Point du Gisement	Destinations	T-Routier	T-Chemin Fer
Ghara Djebilet-Tindouf	Tindouf	170	
	Mechri Abdelaziz	250	
	Bechar	950	
	Oran	1600	1600

Chapitre VI : problématique

	Beni Saf	1540	1540
	Jijel	2416	
	Annaba	2400	
Mechri Abdelaziz	Tindouf	400	
	Bechar		

Point du Gisement	Destinations	T-Routier	T-Chemin Fer
Tindouf	Zouerate- Mauritanie	775 km	775 km
	Nouadibou-Mauritanie	1470	1320
	Tan-Tan- Maroc	300	500
Ghara Djebilet	Zouerate- Mauritanie	620	
	Laâyoune Sahara occidental) l'océan Atlantique	665	



Figure VI.1. La réalisation de la route terrestre reliant Tindouf et Zouerate

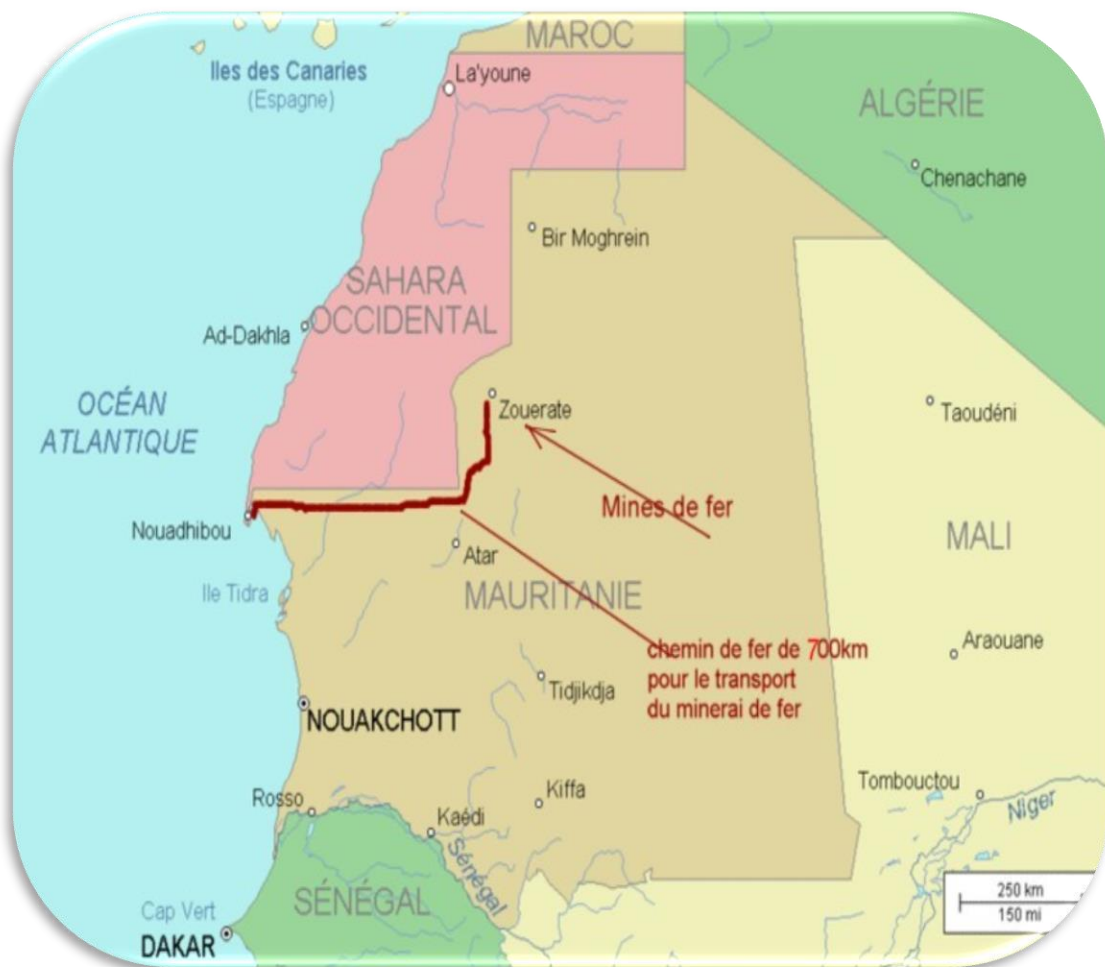


Figure VI.2. Le Chemin de fer de Zouerate à Nouadhibou (Mauritanie).

Le projet de réalisation d'une route dépendante de Tindouf (Algérie) à Zouerate (Mauritanie), sur une longueur de 775 km, sera réalisé par des entreprises algériennes, permettant à l'Algérie d'édifier, pour la première fois depuis l'indépendance, un ouvrage d'une telle envergure en dehors de ses frontières.

Si le gisement de fer de ce site doit être exploité un jour, la voie d'évacuation normale du minerai serait la côte marocaine qui est éloignée seulement de 500 à 510 km.

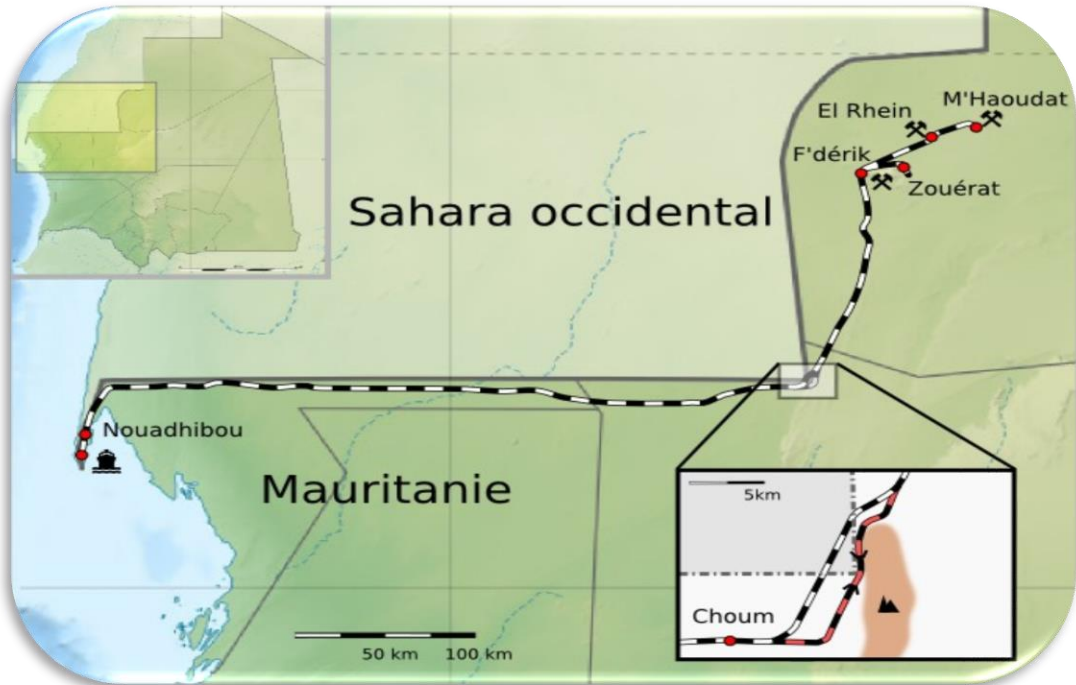


Figure VI.3.:Le Chemin de fer de Zouerate à Nouadhibou (Mauritanie).

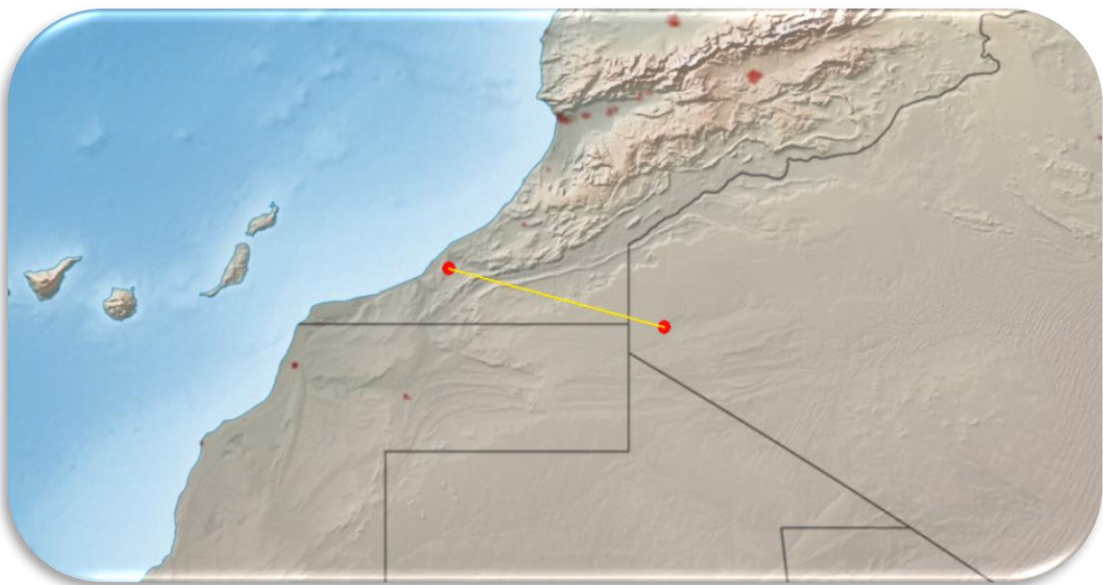


Figure VI.4.Distance de Tindouf à Tan-Tan (Maroc)

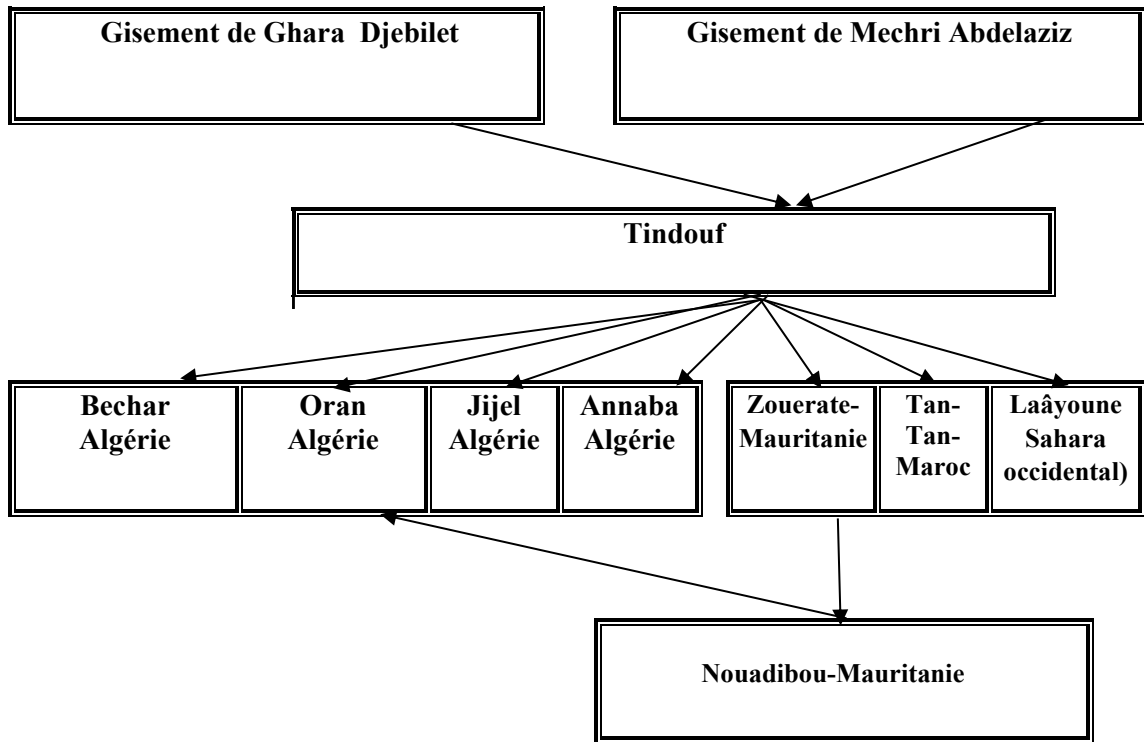
Chapitre VI : problématique

Tableau VI.4. des données de Distances possibles

Point du Gisement	Destinations	Distances	Xi	Observations
Ghara Djebilet-Tindouf	Tindouf	X1	170	Route -Voie Ferrée
Mechri Abdelaziz-Tindouf	Tindouf	X2	400	Route -Voie Ferrée
Tindouf	Bechar	X3	950	Route -Voie Ferrée
Tindouf	Oran	X4	1600	Route -Voie Ferrée
Tindouf	Jijel	X5	2416	Voie Ferrée
Tindouf	Annaba	X6	2400	Voie Ferrée

Point du Gisement	Destinations	Distances	Xi	Observations
Tindouf	Zouerate- Mauritanie	X7	775	Route
Tindouf	Tan-Tan- Maroc	X8	300	Route-Voie Ferrée
Tindouf	Laâyoune Sahara occidental)	X9	665	Voie Ferrée
Tindouf	Nouadibou-Mauritanie	X10	1470	Route-Voie Ferrée

Schéma des circuits et tracés des possibilités d'évacuation du minerai de fer



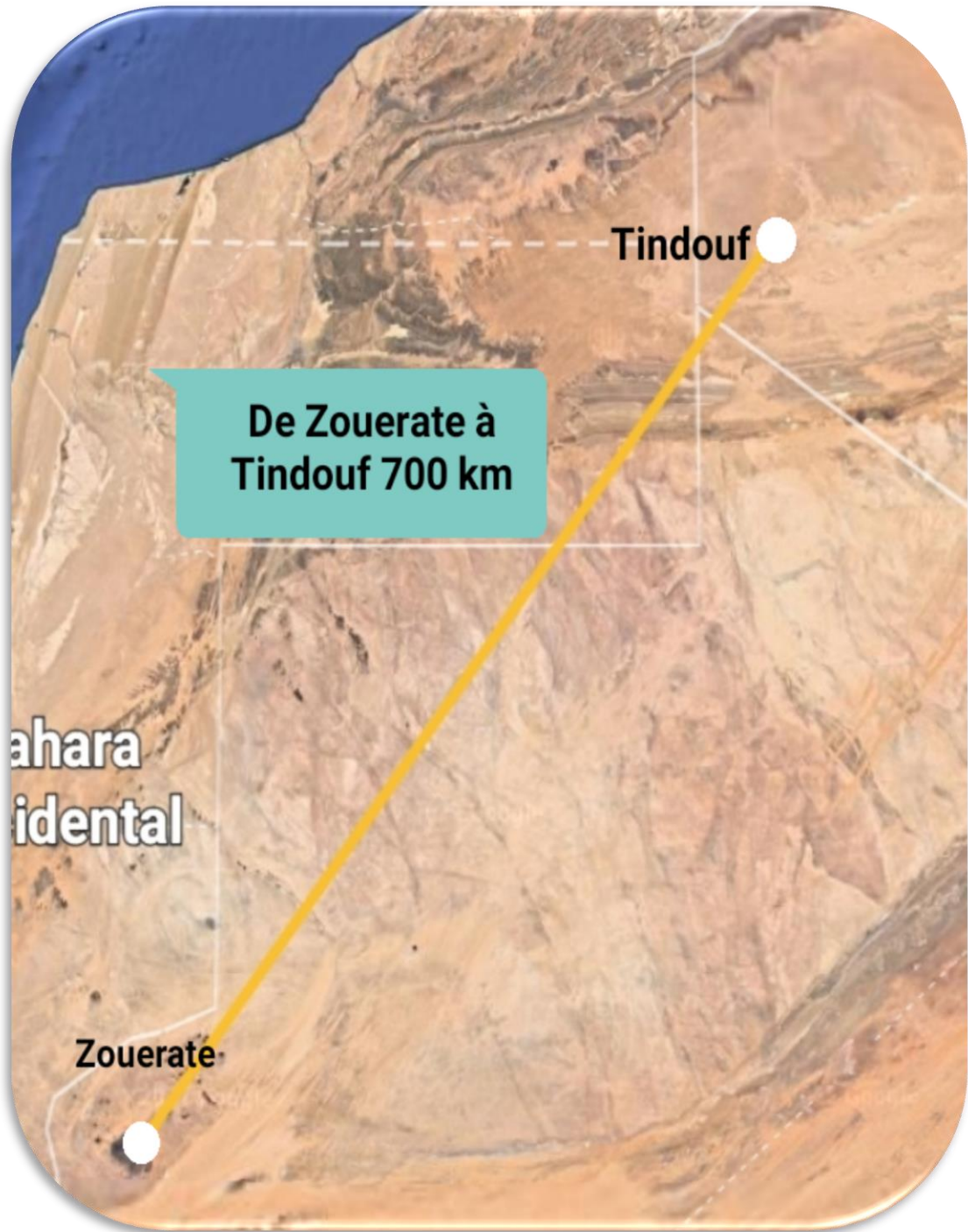


Figure VI.5: Distance de zouerate à tindouf .[44]



Figure VI.6: Distance de bécher à oran. .[44]



Figure VI.7: Distance de bécher à jijle.[44]



Figure VI.8. Distance de nouadhibou à tindouf. .[44]

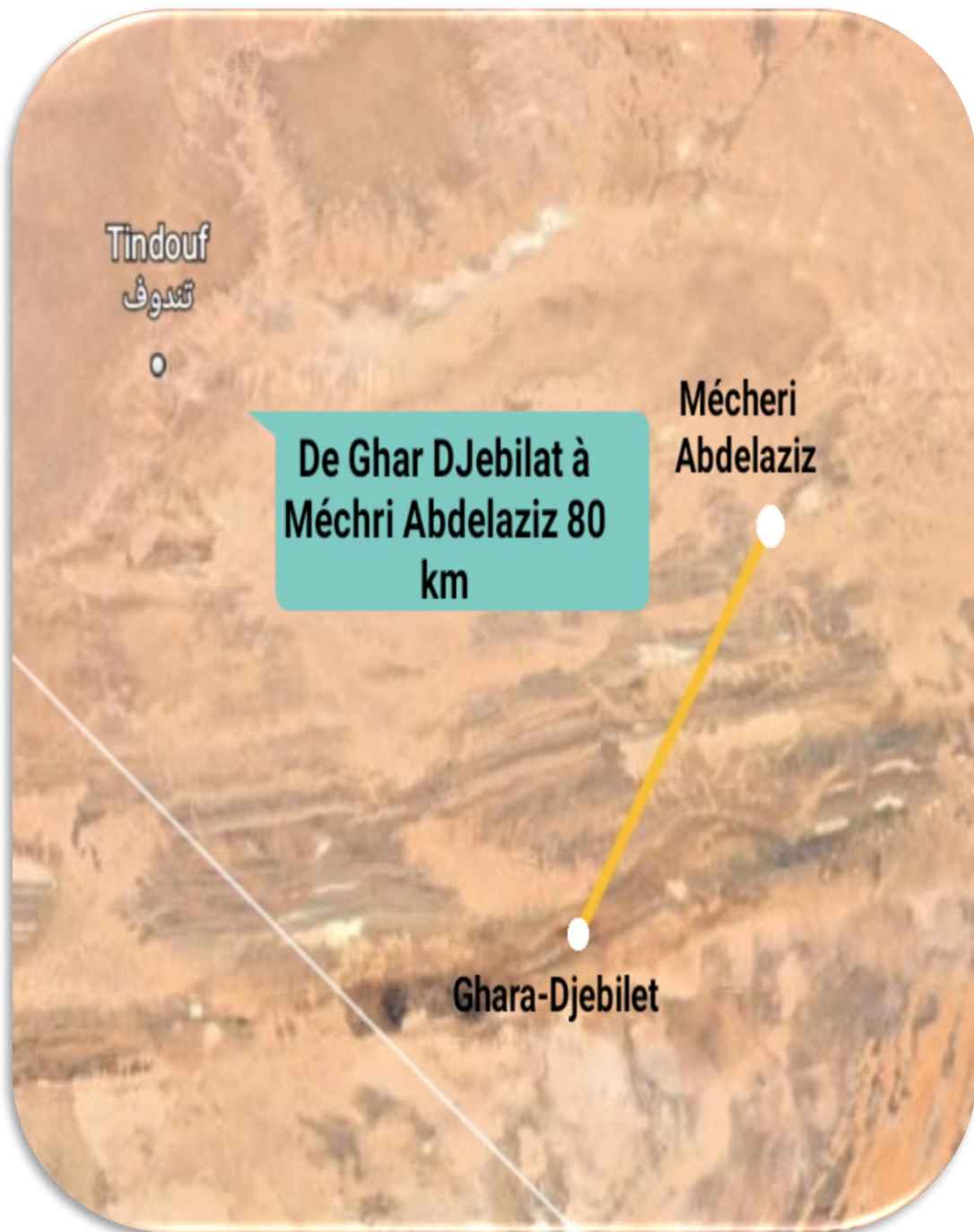


Figure VI.9. Distance de ghara djebilet à Mécheri Abdelaziz. .[44]



Figure VI.10. Distance de Tindouf à abadla. .[44]



Figure VI.11. Distance de Tindouf à Tan-Tan (Maroc) .[44]

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le projet d'exploitation de la mine de fer de Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz est destiné à accompagner le développement économique du pays et de la région, en particulier.

Aussi, il est attendu de ce mégaprojet de nombreuses retombées sur l'économie nationale.

D'après l'étude technique.

- **Sur le plan scientifique**, la recherche est orientée vers le développement de nouvelles procédures innovantes et efficaces pour éliminer le phosphore et enrichir le minerai en fer.
- **Sur le plan technique**, le développement et la maîtrise de nouveaux procédés efficaces pour éliminer le phosphore et enrichir le minerai en fer.
- **Sur le plan économique**, L'impact est énorme sur l'économie de notre pays

L'enjeu est également important, car le minerai enrichi en fer et débarrassé de son phosphore, peut être utilisé par les industries sidérurgiques algériennes et exporté à l'étranger.

- **Sur le plan socioéconomique**, l'impact est considérable, car un minerai de très bonne qualité avec un coût moindre sera disponible en abondance.

Il convient toutefois de rappeler que l'exploitation de ce gisement se heurte à 3 problématiques majeures, qui sont :

- A- **La teneur élevée en phosphore dans le minerai 0,8% P** alors que le pourcentage admis pour son utilisation industrielle doit être sensiblement inférieur à 0,1 % P ;
- B- **B- la disponibilité de l'énergie nécessaire à son exploitation** (gaz, électricité) et de l'eau.
- C- **C- la nécessité de réaliser des infrastructures de transport** (rail) pour ramener les productions de leur lieu d'extraction à Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz vers celui de leur transformation à Béchar, puis vers les aciéries et ports du nord.

Conclusion Générale

Pour accompagner son développement, il a lancé deux projets d'infrastructures pour le transport et l'exploitation du minerai.

Le projet en bref

Un premier projet consiste à renforcer la ligne de chemin de fer actuelle qui permet le transport du minerai de fer de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) jusqu'à la côte, Oran. Une ligne de près de 900 km, une voie unique qui induit un passage des trains en alternance.

L'exploitation du second gisement, Mecheri Abdelaziz à 200 km à l'Est de Ghara-Djebilet du site actuel, inclut un deuxième projet d'installations minières, une nouvelle ligne de chemin de fer de 200 km, reliant le nouveau gisement.

La première phase du projet d'exploitation de cette mine vient d'être approuvée par le Conseil des Ministres qui s'est réuni le 08 Mai 2022. Cette première phase va comporter entre autres une infrastructure très importante, à savoir une ligne de chemin de fer sur 950 Km entre Tindouf et Béchar destinée principalement à assurer le transport du minerai du site vers Bechar, d'où il sera à nouveau transporté vers la côte Nord du pays pour transformation en sidérurgie ou exportation.

L'évacuation du minerai pourrait se faire avec plusieurs variantes à savoir :

Variante A

Evacuation partielle

1/- Transport par camion sur le tracé Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers Bechar.

2/- Transport par Chemin de Fer de Bechar vers Oran par la méditerranée (1500-1600 Km de voie ferrée à réaliser)

Variante B

Le Transport par Chemin de fer de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers le port d'Oran 1500 km. Arzew et Ghazaouet sont à 1 300 km.

Variante C

Le Transport par l'atlantique ou plusieurs solutions avaient été envisagées.

1/- le Transport de Tindouf (Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz) vers Laâyoune Sahara occidental l'océan Atlantique à 665 km.

Conclusion Générale

2/- le Transport **combiné par route reliant Tindouf (Algérie) à Zouerate (Mauritanie), sur une longueur de 775 km**, et par chemin de fer de 704 km qui relie les mines de fer de Zouerate au port minéralier de Nouadhibou.

3/-Le Transport du minerai par voie ferrée jusqu'au port de Tan-Tan(Maroc) sur l'atlantique est de là, l'acheminer vers Oran par bateau. Les ports marocains de La Gazelle et de Tarfaya se trouvent respectivement à 400 et 515 kilomètres. .

Recommandations

Recommandations

Dans la mesure des renseignements disponibles, l'étude et analyses des besoins en transport et les divers projets susceptibles d'être considérés dans le programme, les points suivants sont à soulever.

Le **chemin de fer de Tindouf à Bechar** sera constitué d'une ligne à voie unique, longue de 950 km qui reliera les mines de fer de Ghara Djebilet et Mechri Abdelaziz à la ville de Bechar en premier lieu et de Bechar à un des ports d'Algérie au Nord en deuxième lieu.

Première Phase de 2022-2024 : ligne de chemin de fer, et réalisation de l'unité pilote d'exploitation de la mine. Deuxième Phase de 2024-2027 : lancement de la production de 2 à 4 MM tonnes de minerai traité ou non sur site en fonction du résultat de la phase pilote.

D'après les calculs sur les variantes proposées, nous pouvons présenter les caractéristiques du mode de transport qui répondent aux programmes et satisfaire les besoins de production planifiée pour les différentes phases d'exploitation.

Nous proposons le schéma suivant :

Les trains, dont la longueur peut atteindre 3.0 km, seront constitués de 4 à 5 locomotives et de 250 à 300 wagon-trémie pour le minerai de fer d'une charge utile de 90 tonnes chacun.

Le chemin de fer de Tindouf à Bechar et le port d'Oran se résume à une seule ligne de voie ferrée.

Cette ligne sera longue de 1500-1600 km. Elle part de la mine de fer de Ghara Djebilet et relie le port au Nord du pays.

Son utilisation principale sera initialement le transport de minerai de fer de la mine au port minéralier.

Recommandations

Les trains qui y circuleront font une longueur de 3.0 km, seront traînés par 4 -5 locomotives qui tireront environ 300 wagons de minerai, le poids total du convoi pouvant atteindre 27 000 tonnes.

Concernant la deuxième consistance du projet pour le transport routier ou par camions, nous proposons le schéma suivant :

Utiliser des camions miniers pour le déplacement du minerai de fer de Tindouf à Bechar sur une distance de 950 km .des camions de capacité de charge de 100 tonnes et un nombre de 100 unités .la capacité totale sera de 10000 tonnes /jour.

La meilleure option c'est de relier le gisement de fer à Béchar la ligne existe déjà jusqu'au port d'Oran.

Une présentation de plusieurs tracés d'évacuation du minerai de fer du site minier vers les différentes destinations0.

Références bibliographiques

[1]<https://unctad.org/fr/press-material/le-secteur-du-minerai-de-fer-sest-repris-en-2016-selon-un-rapport-de-la-cnuccd>

[2]<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/faits-sur-le-minerai-de-fer/20594>

[3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Minerai_de_fer

[4]<https://www.monde.diplomatique.fr/1965/10/A/26894#:~:text=La%20production%20de%20minerai%20de,esp%C3%A9rer%20encore%20une%20sensible%20am%C3%A9lioration.>

[5]https://fr.wikipedia.org/wiki/Mine_de_Gara_Djebilet#:~:text=La%20mine%20de%20Gar%20Djebilet,milliard%20de%20tonnes%20sont%20exploitables.

[6] https://fr.wikipedia.org/wiki/Mine_d%27Ouenza

[7] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Boukhadra>

[8]https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ni_Saf#:~:text=B%C3%A9ni%20Saf%20est%20le%20nom,Antiquit%C3%A9%20jusqu'%C3%A0%20nos%20jours.

[9]https://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9_Mokta_El_Hadid#:~:text=La%20Soci%C3%A9t%C3%A9%20Mokta%20El%20Hadid,quelque%20temps%20apr%C3%A8s%20l'ind%C3%A9pendance.

[10]<https://mmagister.univ.setif.dz/images/facultes/SNV/2012/ZERROUG%20Khaled.pdf>

[11]<https://www.monde.diplomatique.fr/1965/10/A/26894#:~:text=La%20production%20de%20minerai%20de,esp%C3%A9rer%20encore%20une%20sensible%20am%C3%A9lioration.>

[12]<https://www.energy.gov.dz/?rubrique=hydrocarbure>

Références bibliographiques

[13] 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,

[14] <http://univ-bejaia.dz/xmlui/handle/123456789/15863?show=full>

[15] <https://docplayer.fr/57316352-2eme-colloque-international-sur-la-geologie-du-sahara-ressources-minerales-enhydrocarbures-et-en-eau.html>

[16] http://www.univ-bejaia.dz/documents/appel/projet_garadjebilet_ATRST.pdf

[17] <https://www.algerie-eco.com/2021/03/31/mebtoul-quelle-rentabilite-de-lexploitation-des-gisements-du-fer-de-gara-djebilet-et-du-phosphate-de-tebessa/>

[18] CONTRAT N° 20658275/FERAAL/DMT CONSULTING GMBH/2015

[19] FERAAL Entreprise Nationale de Fer et de l'Acier

[20] <https://www.algerie1.com/actualite/l-etude-dexploitation-du-mega-gisement-de-fer-de-gara-djebilet-bientot-finalisee>

[21] http://www.mem-algeria.org/bids/mines/technical_paper_gara-djebilet.htm#Map

[22] « chinois Sinosteel chargé d'étudier la faisabilité du projet du Gisement de fer de Gara-Djebilet » [archive], sur Huffpost (consulté le 13 mars 2017)

[23] Jijel-Coronavirus: Flambée des prix du matériel médical

[24] la Société Nationale du Fer et de l'Acier (Epe FERAAL Spa)

[25] CONTRAT N° 20658275/FERAAL/DMT CONSULTING GMBH/2015

[26] Discussion Starter • #3 • Nov 11, 2010 (Edited)

[27] <https://www.algerie1.com/actualite/l-etude-dexploitation-du-mega-gisement-de-fer-de-gara-djebilet-bientot-finalisee>

Références bibliographiques

[28]http://www.mem-algeria.org/bids/mines/technical_paper_gara-djebilet.htm#Map

[29]Les ressources de l'Algérie Tahchi Belgacem Dans Outre-Terre 2016/2 (N° 47), pages 152 à 164

[30]POPOV.A : les gisements de fer en Algérie (direction des mines et la géologie, Alger)

[31]HAMIS. A. (2001) Les gisements de fer sédimentaires un exemple : gisement de fer oolithique de Mecheri Abdelaziz

[32]PROJET Traitement du minerai de Gara Djebilet PEM012017

[33] GUERRAK S et al ., 1985. Les minéralisations ferrifères du Sahara Algérien : le gisement de fer oolithique de Mecheri Abdelaziz (bassin de Tindouf)

[34] Alwayai C., Traitement hydrométallurgique de minerais cupro-cobaltifère du Katanga, D.E.A., Université de liège, 2006

[35] Habashi F., Principles of Extractive Metallurgy, volume 2 Hydrometallurgy, Gordon and Breach, Science Publishers, New York, 1970

[36] MwepuwaNzovu. Notes de cours de métallurgie générale destinées aux étudiants de deuxième graduat métallurgie, Faculté Polytechnique, UNIKOL, inédit, 2013-2014.

[37] Rao, G.V., Markandeya R., Sharma, S.K., 2016. Recovery of Iron Values from Iron Ore Slimes of Donimalai Tailing Dam. Transactions of the Indian Institute of Metals .Volume 69, Issue 1, 1 January 2016, Pages 143-150

[38] Serge Bouchard, Traitement du minerai, édition le Criffon d'argile, 2001, Canada.

[39] Barry A. Wills, Tim Napier-Munn .Mineral processing technology, Elsevier Science & Technology Books 2006

Références bibliographiques

[40] Gosselin A., Blackburn D., Bergeron M., 1999. Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques, Direction de la Protection de l'Environnement, Sainte-Foy, Canada

[41] Nakai Y., Mishima F., Akiyama Y., Nishijima S., 2011. Development of h

[42] FERRAL. Projet de Traitement du minerai de Gara Djebilet 2015.

[43] Guerrak S, 1988 - Géologie du minerai de fer oolithique du Dévonien précoce du champ de Gara Djebilet, plate-forme saharienne, Algérie : in Ore Geology Reviews

[44] Google Earth. site web