



MEMOIRE

Présenté

à



L'UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAÏD-TLEMÇEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES
DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL

Spécialité

Géo-Ressources

Par

Fatima BOUCIF

&

Bouchra CHIKHAOUI

LA RÉPARTITION DES MINÉRAIS FERRIFÈRES DANS LES FORMATIONS CARBONIFÈRES DU SOUS-BASSIN D'ABADLA: ÉTUDE PETROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE

Soutenu le 30 septembre 2026 devant les membres du jury :

Fatiha HADJI, MC (A), Univ. Tlemcen
Salamet MAHBOUBI, MC (A), Univ. Tlemcen
Mustapha BENADLA, MC (A), Univ. Tlemcen
Choukri SOULIMANE, MC (A), Univ. Tlemcen

Président
Encadrante
Co-encadrant
Examineur



MEMOIRE

Présenté à

L'UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAÏD-TLEMCE
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL

Spécialité

Géo- Ressources

Par

CHIKHAOUI Bouchra

&

BOUCIF Fatima

LA RÉPARTITION DES MINÉRAIS FERRIFÈRES DANS LES FORMATIONS CARBONIFÈRES DU SOUS-BASSIN D'ABADLA: ÉTUDE PETROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE

Soutenu le 30 septembre 2026 devant les membres du jury :

Fatiha HADJI, MC (A), Univ. Tlemcen	Président
Salamet MAHBOUBI, MC (A), Univ. Tlemcen	Encadrante
Mustapha BENADLA, MC (A), Univ. Tlemcen	Co- encadrant
Choukri SOULIMANE, MC (A), Univ. Tlemcen	Examineur

Dédicaces

Avec toute mon affection, ma profonde reconnaissance, Je dédie ce modeste travail à :

- ♦ *Ma mère et mon père, que Dieu les protège*
- ♦ *Mes chères frère et sœur.*
- ♦ *A toute ma famille, et mes amis*
- ♦ *A Tous mes amis de la promotion*
- ♦ *A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Bouchra CHIKHAOUI

Avec toute mon affection et ma profonde gratitude, je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents pour leur amour, leurs sacrifices, leurs prières et leur soutien, inconditionnel. Que dieu les protège et les récompense.

A mes chères frère et sœur pour leur présence, leurs affections et leur encouragements.

A toute ma famille et à mes amis, pour leur soutien, leur bienveillance et tous les précieux moments partagés.

A tous mes amis de la promotion, pour leur entraide et les beaux souvenirs que nous avons construits ensemble.

A vous tous, je dédie ce travail avec toute ma reconnaissance.

Merci d'avoir contribué, chacun à votre manière, à la réalisation de ce parcours.

Fatima BOUCIF

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	
RESUME	i
ABSTRACT	ii
ملخص	ii
Premier chapitre : CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE	
I. INTRODUCTION	1
II. PROBLÉMATIQUE	1
III. OBJECTIFS DU TRAVAIL	2
IV. CADRE GÉOGRAPHIQUE	
A. Cadre géographique du bassin de Béchar	2
B. Cadre géographique du bassin d'Abadla	3
V. CADRE GÉOLOGIQUE	
A. Contexte géologique du bassin de Béchar	4
1. Sur le plan stratigraphique	4
1.1. Le Paléozoïque	5
1.2. Le Cénozoïque	6
2. Sur le plan structural	7
2.1. Phase panafricaine	7
2.2. Phase calédonienne	7
2.3. Phase hercynienne	7
2.4. Phases tectoniques post-paléozoïques	7
B. Cadre géologique de sous bassin d'Abadla	8
1. Sur le plan stratigraphique	8
1.1. Le Namurien	9
1.2. Westphalien A	9
1.3. Westphalien B	9
1.4. Westphalien C	9
1.5. Westphalien D	9
1.6. Le Tertiaire	9

1.7. Le Quaternaire	9
2. Sur le plan structural	10
2.1. Fractures sensiblement Est-Ouest	10
2.2. Fractures N35 à 40 E	10
2.3. Fractures subméridiennes	10
V. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL	
A. Sur le terrain	12
B. Au laboratoire	12
Deuxième chapitre : GÉOLOGIE DE GISEMENT	
I. INTRODUCTION	14
II. LIMITES DE GISEMENT D'ÉTUDE	14
III. ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE GISEMENT	16
A. Structure de gisement	16
B. Lithologie de gisement	18
1. Formation namurienne « Namurien Fm »	18
2. Formation westphalienne « Westphalien A »	18
IV. ÉTUDE DE MINÉRAI	19
A. L'Hématite	19
B. La Goethite	20
C. La Sidérite	21
V. MODE DE FORMATION	22
Troisième chapitre : ÉTUDE GÉOCHIMIQUE	
I. INTRODUCTION	24
II. ANALYSE GÉOCHIMIQUE	26
A. Analyse chimique	26
B. Analyse minéralogique	27

III. MODE D'UTILISATION	29
CONCLUSION GÉNÉRALE	34
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37
LISTE DES FIGURES	39
LISTE DES TABLEAUX	42

Remerciements

REMERCIEMENTS

Avant de présenter ce modeste travail, il nous est particulièrement agréable de remercier de nombreuses personnes, qui, de près ou de loin, nous ont aidés à le réaliser et surtout à l'achever.

Tout d'abord, nous nous faisons un devoir d'exprimer nos remerciements à nos professeurs, aux membres du jury, ainsi qu'à tous ceux auprès desquels nous avons eu recours.

Madame **Fatiha HADJI**, Maître de Conférences classe « A », qui nous a fait l'honneur de présider ce jury, nous lui exprimons toute notre reconnaissance.

Notre encadrante, Madame **Salamet MAHBOUBI**, Maître de Conférences classe « A », qui n'a jamais refusé son aide. Elle n'a ménagé aucun effort pour nous faire comprendre la géologie des bassins paléozoïques du Sahara algérien et elle nous a guidés dans la rédaction de ce mémoire ; nous tenons une fois encore à la remercier vivement pour son aide, pour la lecture attentive du manuscrit.

Monsieur **Mustapha BENADLA**, Maître de Conférences classe « A », à qui nous devons une grande reconnaissance pour l'achèvement de ce travail. Il nous a accueillis chaleureusement dans son bureau, nous a prodigué ses conseils et nous a fait bénéficier de son savoir sur la géologie du bassin de Béchar. L'immense gratitude que nous lui devons ne pourra être exprimée par ces quelques mots. Nous sommes enfin reconnaissantes d'être dans notre jury, le deuxième rapporteur de notre mémoire.

Qu'il nous soit permis d'exprimer notre profonde reconnaissance à Monsieur **Choukri SOULIMANE** Maître de Conférences classe « A », pour l'intérêt qu'il n'a pas cessé d'apporter à notre travail et pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers Monsieur **Abdellah SALHI**, Directeur des carrières de la cimenterie de Béchar, pour sa disponibilité et sa serviabilité en ce qui concerne le terrain et les analyses chimiques.

Nous remercions également le chauffeur **Mustapha** pour son aide matérielle et pour sa gentillesse.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants au niveau du Master professionnel, spécialité : **Géo-Ressources Professionnels « GRP »**, pour leur dévouement au cours de ces deux dernières années.

Enfin, nos remerciements vont à toutes nos familles et à nos chers collègues de la promotion.

RESUME

Ce mémoire porte sur l'étude du gisement de fer « PK 40 », situé dans le sous-bassin d'Abadla (bassin de Béchar, Sud-Ouest algérien), au contact structural entre la dalle carbonatée namurienne (calcaire gris de Djeniène) et les argiles marines du Westphalien A. Il s'agit du premier travail consacré spécifiquement à ce gîte, jusque-là seulement mentionné par Deleau (1952). L'étude repose sur un levé de terrain détaillé de la coupe lithologique encaissante, complété par des analyses géochimiques (FRX) et minéralogiques (DRX) réalisées sur des échantillons prélevés dans le gisement, respectivement au laboratoire de la cimenterie de Béchar et dans les laboratoires du CETIM. Sur le plan structural, le gisement se présente sous la forme d'une méga-lentille de fer orientée N40, longue d'environ 500 m et large de 70 m, mise en place au contact tectonique entre les deux formations et contrôlée par le réseau de failles convergentes (N35-40°E et sub-méridiennes) qui affecte la région de Mennouna. Trois minéraux ferrifères ont été identifiés sur le terrain : l'hématite, dominante, la goethite, abondante en partie sommitale, et la sidérite, plus rare et localisée au contact avec la dalle carbonatée, avec un développement notable d'oolithes ferrugineuses en surface. Les analyses chimiques révèlent une forte teneur en Fe_2O_3 (79,6-81,4 %), accompagnée de CaO (4,3-8,7 %) et de SiO_2 (1-4,15 %), les autres éléments restant à l'état de traces (moins de 0,25 %). Les analyses DRX confirment que la goethite et l'hématite dominent largement la paragenèse (jusqu'à 71 % chacune selon l'échantillon), aux côtés de calcite (8-16 %) et d'un peu de quartz (4 % au plus). Cette qualité chimique et minéralogique rend le minerai apte à plusieurs usages industriels, en premier lieu la sidérurgie, mais aussi la production de pellets et de fer réduit directement (DRI), la cimenterie, la fabrication de pigments et l'industrie chimique

Mots-clés : sous-bassin d'Abadla, analyses, géochimiques, FRX, DRX, l'hématite, goethite, sidérite, Béchar.

ABSTRACT

This dissertation focuses on the study of the PK 40 iron deposit, located in the Abadla sub-basin (Béchar basin, southwestern Algeria), at the structural contact between the Namurian carbonate slab (the "Gray limestone of Djenienne") and the marine shales of the Westphalian A. This is the first study specifically devoted to this deposit, which had previously only been mentioned by Deleau (1952). The study is based on a detailed field survey of the host lithological section, complemented by geochemical (XRF) and mineralogical (XRD) analyses carried out on samples collected from the deposit, at the Béchar cement plant laboratory and at the CETIM laboratories, respectively. Structurally, the deposit takes the form of an iron mega-lens trending N40°, about 500 m long and 70 m wide, emplaced at the tectonic contact between the two formations and controlled by the network of convergent faults (N35-40°E and sub-meridian) affecting the Mennouna area. Three iron minerals were identified in the field: hematite, which is dominant; goethite, abundant in the upper part of the deposit; and siderite, rarer and localized at the contact with the carbonate slab, along with a notable development of ferruginous oolites at the surface. Chemical analyses reveal a high Fe₂O₃ content (79.6-81.4%), accompanied by CaO (4.3-8.7%) and SiO₂ (1-4.15%), with the remaining elements present only in trace amounts (less than 0.25%). XRD analyses confirm that goethite and hematite largely dominate the mineral assemblage (up to 71% each, depending on the sample), alongside calcite (8-16%) and a small amount of quartz (up to 4%). This chemical and mineralogical quality makes the ore suitable for several industrial applications, primarily steelmaking, but also the production of pellets and direct reduced iron (DRI), the cement industry, pigment manufacturing, and the chemical industry.

Keywords: Abadla sub-basin, geochemical analyses, XRF, XRD, hematite, goethite, siderite, Béchar.

ملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة رواسب خام الحديد PK 40، الواقعة في حوض عبادلة الفرعي (حوض بشار، جنوب غرب الجزائر)، عند نقطة التماس البنيوي بين صفيحة الكربوناتيّة النامورية (حجر جيرى رمادي من جينيين) وطين وستفاليان البحري A.

وتعد هذه الدراسة الأولى المخصصة تحديداً لهذه الرواسب، التي لم يُشر إليها سابقاً إلا في أعمال ديليو (1952). وتستند الدراسة إلى مسح ميداني تفصيلي للمقطع الصخري المحيط، مدعوماً بتحليل جيوكيميائي (XRF) ومعدنية (XRD) أجريت على عينات مأخوذة من الرواسب، وذلك على التوالي في مختبر مصنع الإسمنت بشار ومخابر CETIM. يتخذ الراسب شكل عدسة حديدية ضخمة بباتجاه شمال شرق 40 درجة، يبلغ طولها حوالي 500 متر وعرضها 70 متراً، وتقع عند نقطة التماس التكتوني بين التكوينين، وتتحكم فيها شبكة من الصدوع المتقاربة (شمال شرق 35-40 درجة وشبه زوالية) التي تؤثر على منطقة منونة. تم تحديد ثلاثة معادن حديدية رئيسية في الموقع: الهيماتيت، وهو المعدن السائد؛ والجوثيت، المنتشر بكثرة في الجزء العلوي؛ والسيديريت، وهو أقل وفرة ويتركز عند التماس مع الصفيحة الكربوناتيّة، مع وجود ملحوظ لعقيدات الحديد الكروية على السطح. وتظهر التحليلات الكيميائية عن محتوى مرتفع من أكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3) (79.6-81.4%)، يرافقه أكسيد الكالسيوم (-4.3%) (CaO) (8.7%) وثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) (1-4.15%)، بينما تبقى عناصر أخرى بكميات ضئيلة (أقل من 0.25%). تؤكد تحليلات حيود الأشعة السينية أن الجيوثايت والهيماتيت يهيمنان بشكل كبير على التركيب المعدني بنسبة تصل إلى 71% لكل منهما، حسب العينة، إلى جانب الكالسيت (8-16%) وكمية ضئيلة من الكوارتز (تصل إلى 4%). هذه الخصائص الكيميائية والمعدنية تجعل الخام مناسباً للعديد من الاستخدامات الصناعية، ولا سيما إنتاج الحديد والصلب، بالإضافة إلى إنتاج الكريات والحديد المختزل مباشرة، وصناعة الأسمت، وإنتاج الأصباغ، والصناعات الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: حوض عبادلة الفرعي، التحليلات الجيوكيميائية، FRX، DRX، الهيماتيت، الجيثيت، السيديريت، بشار.

Chapitre premier :
CADRE GÉNÉRAL DE
L'ÉTUDE

I. INTRODUCTION

Le bassin de Béchar est l'un des principaux bassins sédimentaires de la marge nord-occidentale de la Plateforme saharienne. Il se caractérise par une importante couverture paléozoïque, particulièrement bien représentée par les formations carbonifères, qui enregistrent une histoire sédimentaire et tectonique complexe. L'évolution de ce bassin est notamment associée à la dynamique hercynienne, qui a en partie contrôlé la subsidence, l'organisation structurale et la distribution des dépôts carbonifères (Deleau, 1952 ; Pareyn, 1961 ; Kazi-Tani et al., 1991 ; Nedjari, 1996).

Le sous-bassin d'Abadla, situé dans la partie méridionale du bassin de Béchar, constitue une unité géologique particulièrement intéressante en raison de la diversité de ses formations carbonifères et de la complexité de son évolution tectono-sédimentaire. Les travaux antérieurs ont permis de préciser sa stratigraphie, ses environnements de dépôt ainsi que les principales phases de déformation qui ont affecté la région (Pareyn, 1961 ; Zaigouche, 1985 ; Nedjari, 1991 ; Malti et al., 2008).

Dans ce contexte géologique, le gisement ferrifère de PK 40 constitue un objet d'étude particulièrement intéressant. La minéralisation est localisée dans la partie sommitale de la formation namurienne, au niveau du dernier banc carbonaté, à proximité du contact avec les formations westphaliennes. Elle se présente sous la forme d'une lentille ferrifère orientée globalement NE-SW et associée à un contexte structural particulier. Cette disposition soulève la question des relations entre la lithologie, la structure et la mise en place de la minéralisation.

II. Problématique

Malgré les travaux consacrés à la géologie du bassin de Béchar-Abadla, les caractéristiques géologiques, minéralogiques et géochimiques de la minéralisation ferrifère de PK 40 demeurent relativement peu documentées. Plusieurs questions se posent alors : quelle est la nature minéralogique et géochimique du minerai ? Quelles sont les principales phases porteuses du fer ? Quelle est la relation entre la minéralisation, son encaissant carbonaté et les structures tectoniques ? Enfin, quelles sont les possibilités de valorisation de ce minerai au regard de ses caractéristiques physico-chimiques ?

La problématique de ce travail consiste ainsi à caractériser la minéralisation ferrifère de PK 40 et à préciser les facteurs lithologiques, minéralogiques, géochimiques et structuraux susceptibles d'avoir contrôlé sa localisation et sa mise en place. Une attention particulière est également accordée à l'évaluation des caractéristiques du minerai en vue de discuter de son potentiel de valorisation.

III. Objectifs du travail

Pour répondre à cette problématique, le présent travail vise à caractériser le minerai de fer du gisement PK 40 dans son contexte géologique et métallogénique.

Plus spécifiquement, il vise à :

- préciser le contexte géologique et structural du gisement ;
- caractériser la lithologie de l'encaissant et ses relations avec la minéralisation ;
- identifier les principales phases minérales ferrifères présentes dans le minerai ;
- déterminer la composition géochimique des échantillons étudiés ;
- mettre en relation les données géochimiques et minéralogiques, notamment les résultats de la DRX ;
- discuter le rôle éventuel des contrôles lithologiques et structuraux dans la localisation de la minéralisation ;
- examiner, avec prudence, les éléments permettant de discuter le mode de mise en place de la minéralisation ;
- Enfin, évaluer les possibilités potentielles de valorisation du minerai en fonction de ses caractéristiques chimiques et minéralogiques.

L'étude repose ainsi sur une approche pluridisciplinaire combinant les observations de terrain, l'étude pétrographique, la caractérisation minéralogique par diffraction des rayons X et les analyses chimiques. Cette démarche doit permettre de mieux comprendre les caractéristiques du minerai de PK40 et de préciser son intérêt géologique et économique.

IV. CADRE GÉOGRAPHIQUE

A. Cadre géographique de bassin de Béchar

Le grand bassin présaharien de Béchar est localisé à la marge extrême nord-ouest de la plate-forme saharienne (Fig. 01). Il est situé entre un domaine fortement structuré par l'orogène atlasique (l'Atlas saharien) au Nord, et une chaîne plus stable (chaîne de l'Ougarta) au Sud. Il est délimité par le grand erg occidental à l'Est et la Hamada de Guir à l'Ouest.



Fig. 01 : Schéma général du bassin de Béchar (Extrait de la carte hydrogéologie de Béchar, Échelle : 1 /500.000)

B. Cadre géographique du sous-bassin d'Abadla

Le sous-bassin concerné par cette étude est situé à la marge sud du sous-bassin Kenadza-Béchar, à plus de 20 Km au Sud-Ouest de la ville de Béchar. Il s'interpose entre la Chebket Mennouna au Nord et la chaîne de l'Ougarta au Sud. Il est délimité à l'Est par le flanc Ouest de Djebel Béchar, à l'Ouest par la Hamada de Guir (Fig. 02).

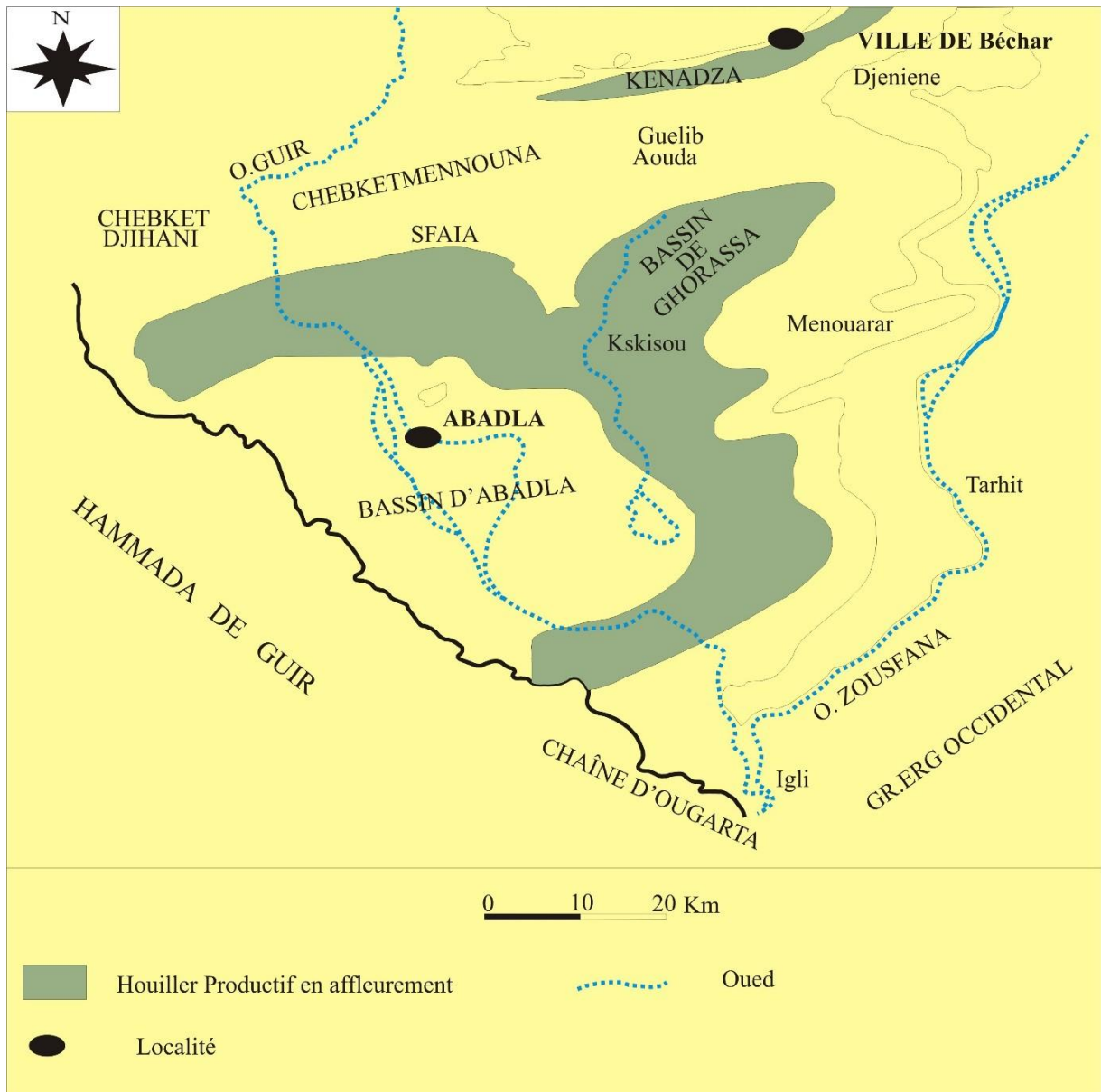


Fig. 02 : Position géographique du secteur d'étude « sous-bassin d'Abadla (In MARMOURI et BOUKENADEL, 2022)

V. CADRE GÉOLOGIQUE

A. Contexte géologique du bassin de Béchar

1. Sur le plan stratigraphique

La série lithostratigraphique synthétique de bassin de Béchar et représentée par un socle granitique, supportant une épaisse couverture sédimentaire essentiellement d'âge paléozoïque (Deleau, 1952).

1.1. Le Paléozoïque

Il consiste en une importante succession de dépôts sédimentaires s'étageant du Cambrien au Carbonifère. Ce dernier y est largement représenté. On se référant aux travaux des géologues précédents, cette série est résumée comme suite :

1.1.1. Le Cambrien

Caractérisé par une épaisse assise (plus de 1200 m d'épaisseur maximale) de dépôts terrigènes (grès, quartzites, conglomérats, grès ferrugineux) plus connue sous le nom de grès d'Ougarta « Fm de Hassi Merchimine et Fm d'El Arich El Megta ».

1.1.2. L'Ordovicien

Il est représenté dans sa partie basale par une épaisse série argileuse « Fm argileuse d'Oued Rhabi », à laquelle succèdent des argiles micacées riches en matières organiques « Fm argiles noirâtres de Tiférouine ». L'ensemble est clôturé par des grès quartzites, devenant de plus en plus argileux vers le haut « Fm de Meharez ».

1.1.3. Le Silurien

Il affleure au Nord de Béchar, et il est caractérisé par une abondance de faune et la puissante série argileuse et carbonato-argileuse.

1.1.4. Le Dévonien

Il est formé de bas en haut essentiellement par :

-Dévonien inférieur : La lithologie est essentiellement argileuse et argilo-gréseuse à faciès fins. Dans la partie sommitale, on note la présence de calcaire (Fm argilo-gréseuse de Zeimlet, Fm de Saheb el Djir et Fm de Dkhissa).

-Dévonien moyen : constitué principalement de calcaires dolomitiques et d'argiles et est relativement peu épais. Il correspond à la période du maximum de la transgression marine (Fm de Teferguenit et Fm de Tertasset ou Marhouma).

-Dévonien supérieur : Il débute par une série argilo-carbonatée, passant à des grès fins, puis à une puissante série argileuse contenant des calcaires griottes. La partie sommitale, plus gréseuse et silteuse, marque le début de la régression (Fm Ouarourout ou de Djebel Kahal).

1.1.5. Le Carbonifère

Largement développé dans la partie Nord de la wilaya, il présente de grandes variations de faciès. Dans l'ordre ascendant, on distingue les formations suivantes :

-Le Viséen ou « schistes de Ben Zireg Fm » : Il est observé au niveau de Ben Zireg. Il est représenté par des dépôts de flysch. Ces dépôts sont composés généralement d'argiles schisteuses verdâtres, admettant des passées carbonatées.

-Le Westphalien : bien exposé au sud du bassin et plus précisément dans le sous bassin d'Abadla. Il est représenté par une alternance de formations marines et continentales (Westphalien A, B, C et D). Ces formations sont représentées généralement par d'épaisses combes d'argile de teinte verdâtre et s'alternent avec des niveaux gréseux ou carbonatés.

1.2. Le Cénozoïque

Il est formé essentiellement de dépôts détritiques, représentés par des conglomérats, des galets éolisés, des grès, des limons et des argiles.

Nous signalons que les accumulations sableuses et les dépôts lacustres forment des dunes « Erg » et les entablements hamadiens.

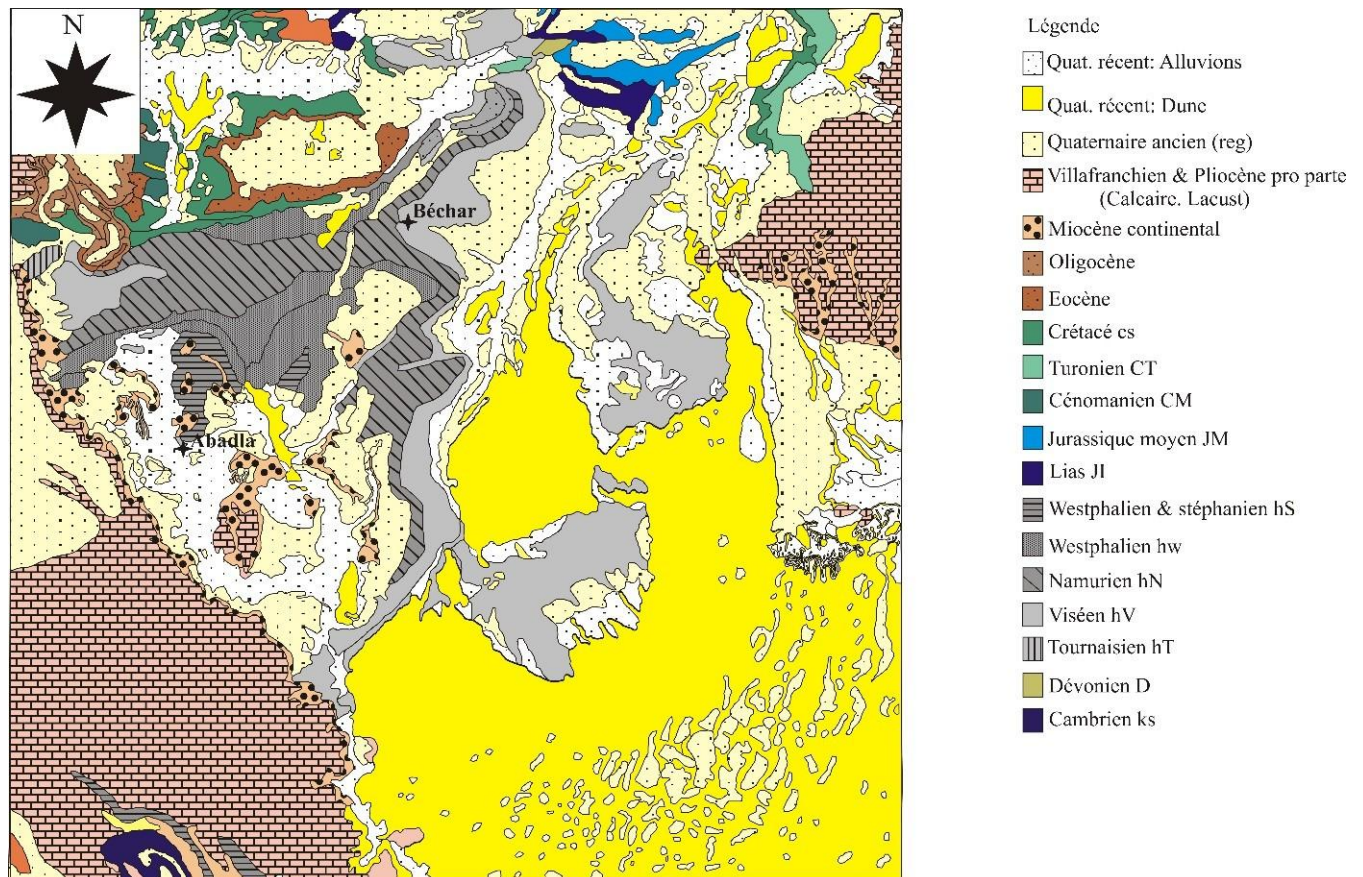


Fig. 03 : Carte géologique du bassin de Béchar (Extrait du ministère de l'Énergie et des Mines, Agence nationale des activités minières, Échelle: 1/500000)

2. Sur le plan structural

L'histoire structurale du bassin de Béchar est résumée comme suit (fig. 04)

2.1. Phase panafricaine

Cette phase tectonique a commencé il y a environ 550 à 600 millions d'années lors de la collision entre le craton ouest-africain et le craton saharien (Bouclier touareg) , formant des accidents régionaux de direction NNE-SSW.

2.2. Phase calédonienne

Cette phase tectonique s'est déroulée du début du Paléozoïque jusqu'à la fin du Silurien.

2.3. Phase hercynienne

Cette phase, plus tardive (du Dévonien terminal au Carbonifère), inclut les phases bretonnes, intra-viséennes et intra-namuriennes, caractérisées par des chevauchements, des failles et des discordances.

2.4. Phases tectoniques post-paléozoïques

Des chevauchements et des déformations tectoniques associés à la tectonique alpine sont observés à l'extrême nord du bassin de Béchar, notamment des chevauchements des couches jurassiques sur celles du Visséen supérieur.

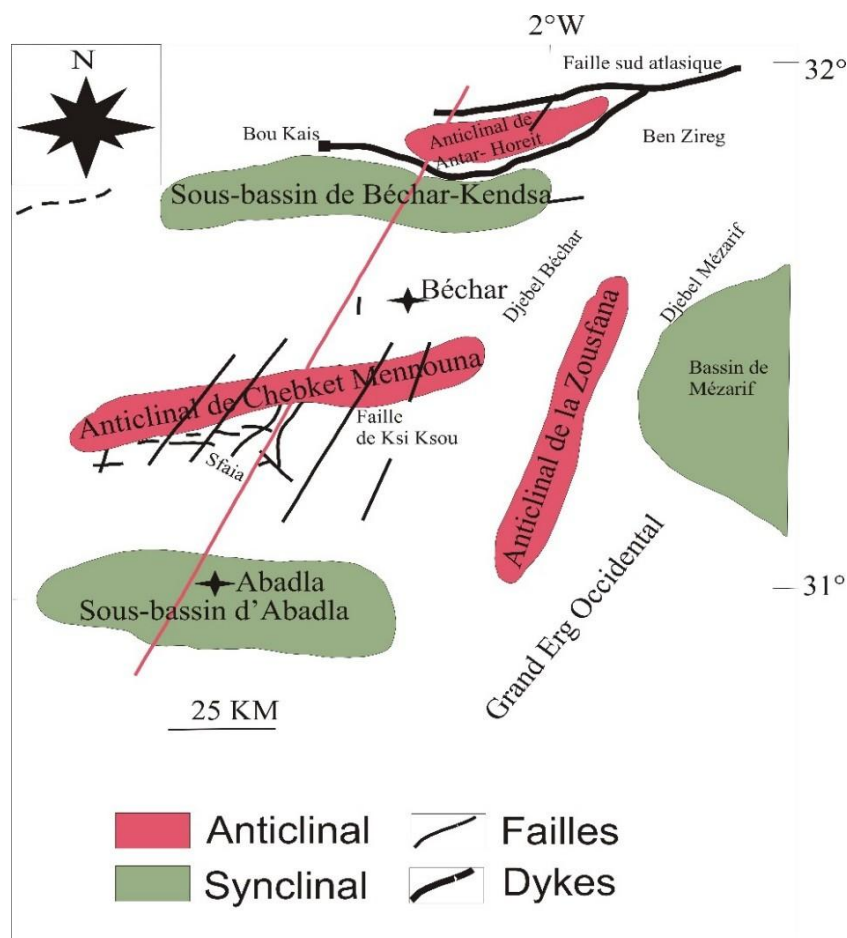


Fig. 04 : Carte structurale du bassin de Béchar (in Benamar et Mesli ,2023)

B. Cadre géologique du sous-bassin d'Abadla

1. Sur le plan stratigraphique

En se référant aux travaux des précurseurs, tels que DELEAU, 1952, la série stratigraphique du sous-bassin d'Abadla est résumée comme suit :

1.1. Le Namurien

Il est représenté par une dalle carbonatée de teinte grisâtre, le « calcaire gris de Djeniene » (DELEAU,1952). Cette dalle forme un repère lithologique le long du sous-bassin d'Abadla.

1.2. Westphalien A

Il s'agit d'une épaisse combe d'argiles schisteuses admettant des niveaux gréseux et carbonatés. Ces derniers sont riches en fossiles benthiques marins, tels que les échinodermes.

1.3. Westphalien B

Il est formé par des alternances argilo-gréseuses. Les grès sont épais, chenalisés, de couleur rougeâtre, montrant des litages horizontaux plans, des rides de courant et comportant des bois silicifiés. Les argiles sont verdâtres et admettent des passées gréseuses.

1.4. Westphalien C

Il est constitué d'une alternance d'argiles bleuâtres et de grès. Ces argiles renferment des niveaux de charbons. Ces derniers sont d'épaisseur décimétrique, atteignant au maximum 0,60 m.

1.5. Westphalien D

Ce sont des alternances de marnes à aspect schisteux et de grès. Les marnes admettent quelques niveaux lumachelliques et des couches de houille.

1.6. Le Tertiaire

Au Nord du bassin. Il est représenté par une épaisse corniche carbonatée, de teinte jaunâtre, clôturant les formations précédentes. Au Sud, en revanche, il est formé par des dépôts détritiques formant des buttes réparties dans le bassin.

1.7. Le Quaternaire

Il est observé le long du lit de l'Oued Guir. Il est représenté essentiellement par des faciès détritiques et plus précisément conglomératiques.

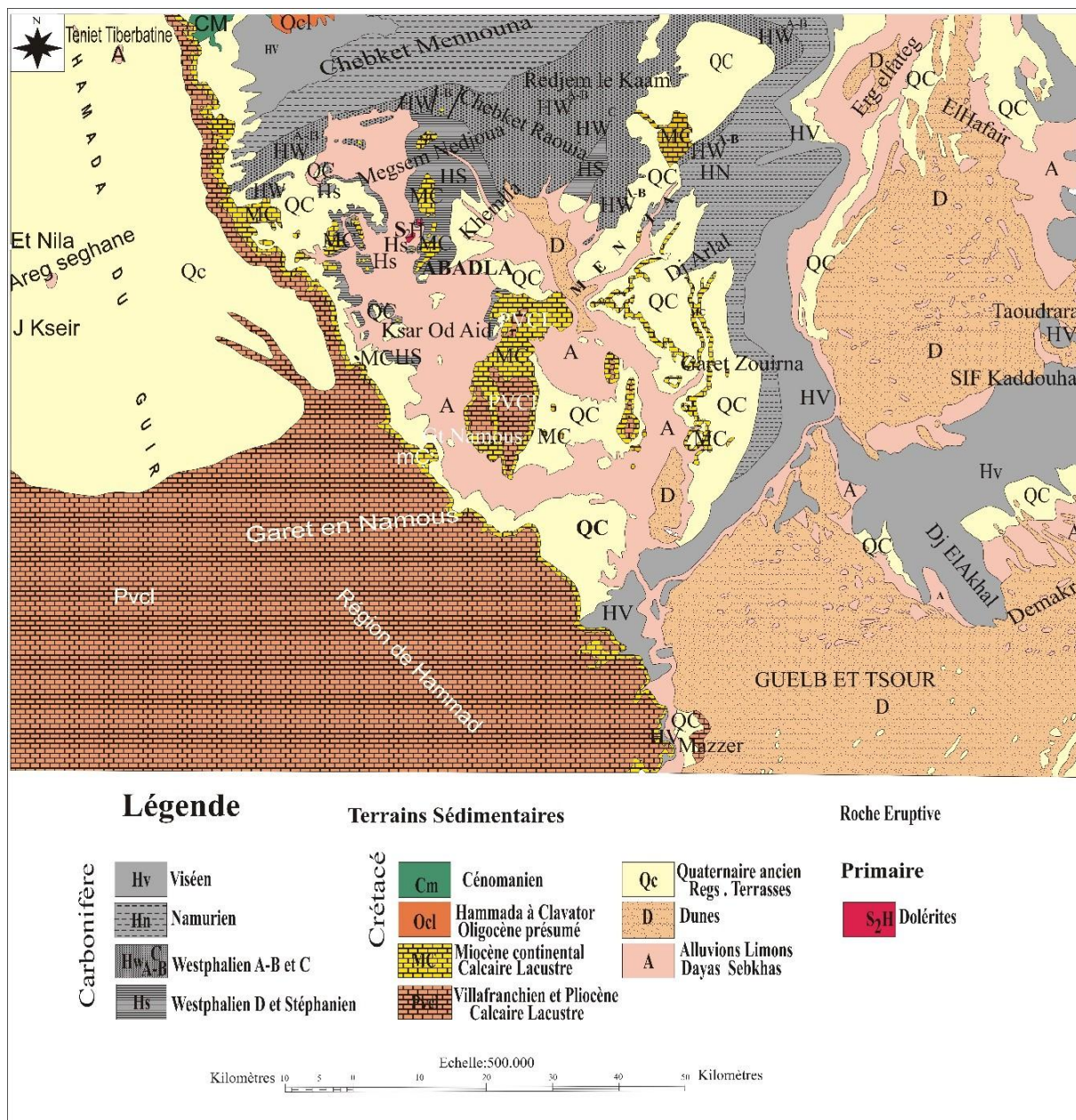


Fig. 05 : Carte géologique du sous-bassin d'Abadla (Extrait de la carte géologique d'Abadla, échelle : 1/500.000)

2. Sur le plan structural

Parmi les fractures enregistrées dans le sous-bassin d'Abadla, nous pouvons distinguer suivant l'ordre de leur formation (Fig. 06) :

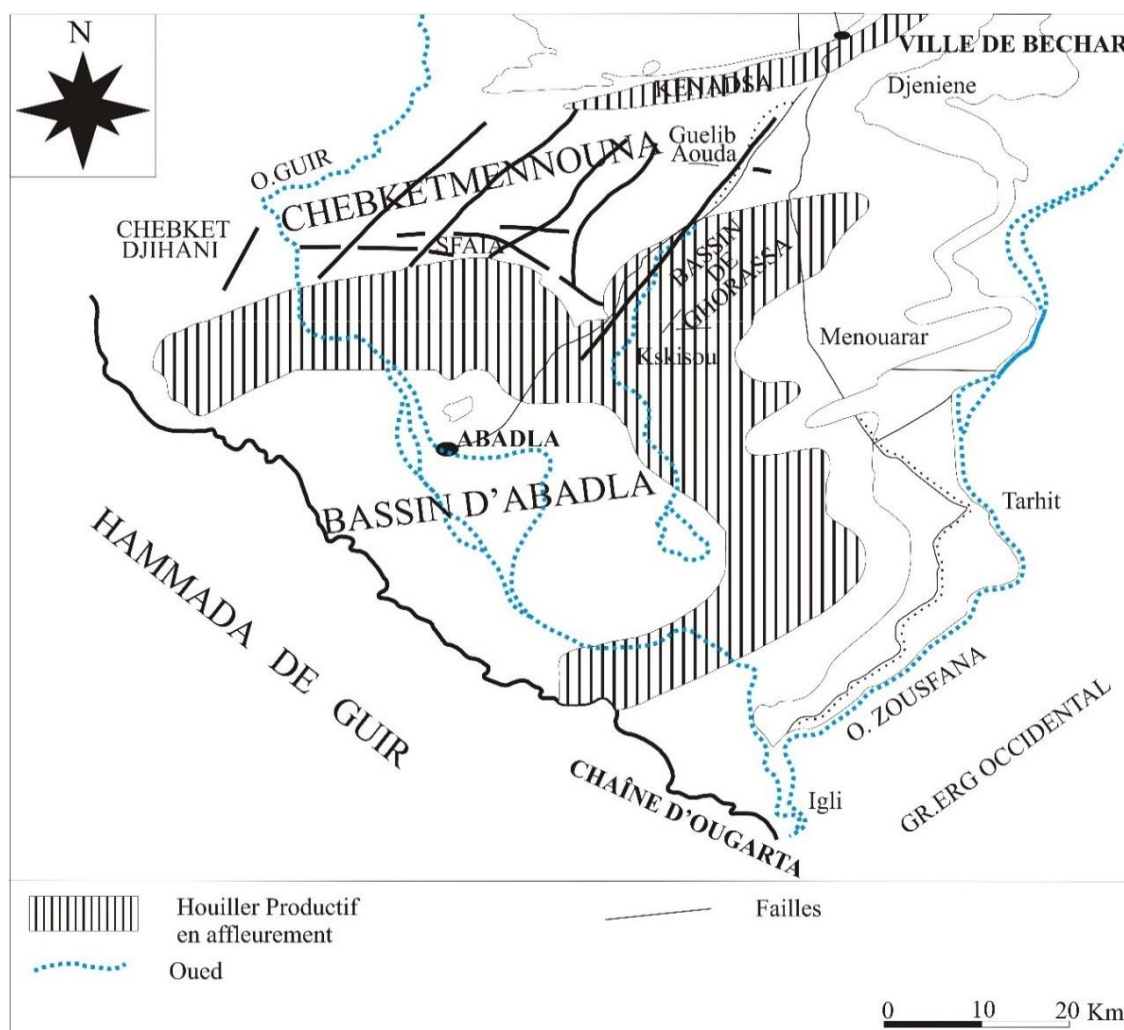


Fig. 06 : Carte structurale de sous-bassin d'Abadla (in Mermouri et Boukenadel, 2022)

2.1. Fractures sensiblement Est-Ouest

Ce style n'évoque pas l'influence immédiate de la dislocation du socle et par le fait même que les fractures sont plus nettement marquées sur le bord sud de Mannouna que sur le bord nord.

2.2. Fractures N35 à 40 E

Ces fractures contenant une émission fissurale de dolérite sont linéaires et leurs relais sont faibles. Entre ces axes s'intercalent des fractures secondaires conjuguées, se ramifiant en faisceaux convergents. Ces axes d'Est en Ouest, sont :

- La faille de Ksiksous-Guelb el Aouda ;
- La faille de Mennouna-Hassi Ariat ;
- La faille double de Tidmamine ;
- La faille de Djihani.

2.3. Fractures subméridiennes

Ce sont les derniers cisaillements de la couverture carbonifère entre les axes principaux à émission fissurale de dolérite.

VI. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

A. Sur le terrain

Après la reconnaissance des roches encaissantes du minerai de fer, un levé détaillé d'une coupe lithologique a été réalisé, banc par banc, en notant les particularités sédimentaires (nature pétrographique, couleur, figures, structures, etc.) et les caractéristiques géométriques des roches renfermant le fer (forme, largeur, longueur, etc.). Parallèlement, un échantillonnage systématique a été réalisé pour les différents types de minéralisation ferrière observés sur le terrain.

B. Au laboratoire

Les travaux de laboratoire sont consacrés essentiellement aux analyses chimiques (FRX) et minéralogiques (DRX) de quelques échantillons de fer prélevés du gisement PK40.

Nous signalons que les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire d'analyses de la cimenterie de Béchar. Parallèlement, les analyses minéralogiques ont été effectuées dans les laboratoires de CETIM.

Chapitre deuxième : GEOLOGIE DE GISEMENT

I. INTRODUCTION

L'objectif primordial de ce chapitre est de caractériser la qualité lithologique de la roche encaissante le minerai de fer du gisement PK 40. Pour réaliser cette étude, une coupe lithologique a été levée en détail, en mentionnant toutes les particularités pétrographiques caractérisant cette roche, telles que : la couleur, les figures et structures sédimentaires, tectoniques, le contenu fossilifère, etc. Parallèlement, une étude métallogénique a été effectuée afin de déterminer les différents minéraux ferrifères enregistrés sur le terrain.

A la fin, nous proposons un mode de formation pour cette substance utile, en nous basant principalement sur la structure du gisement, les différents types de minéraux ferrifères et les différents phénomènes tectoniques ayant affecté ce gisement.

II. LIMITES DE GISEMENT D'ÉTUDE

Le gisement de fer Pk 40 est situé à environ 70 km au nord-nord-est de la commune d'Abadla et 30 km au Sud-Ouest de la ville de Béchar (Fig. 07 et 08).

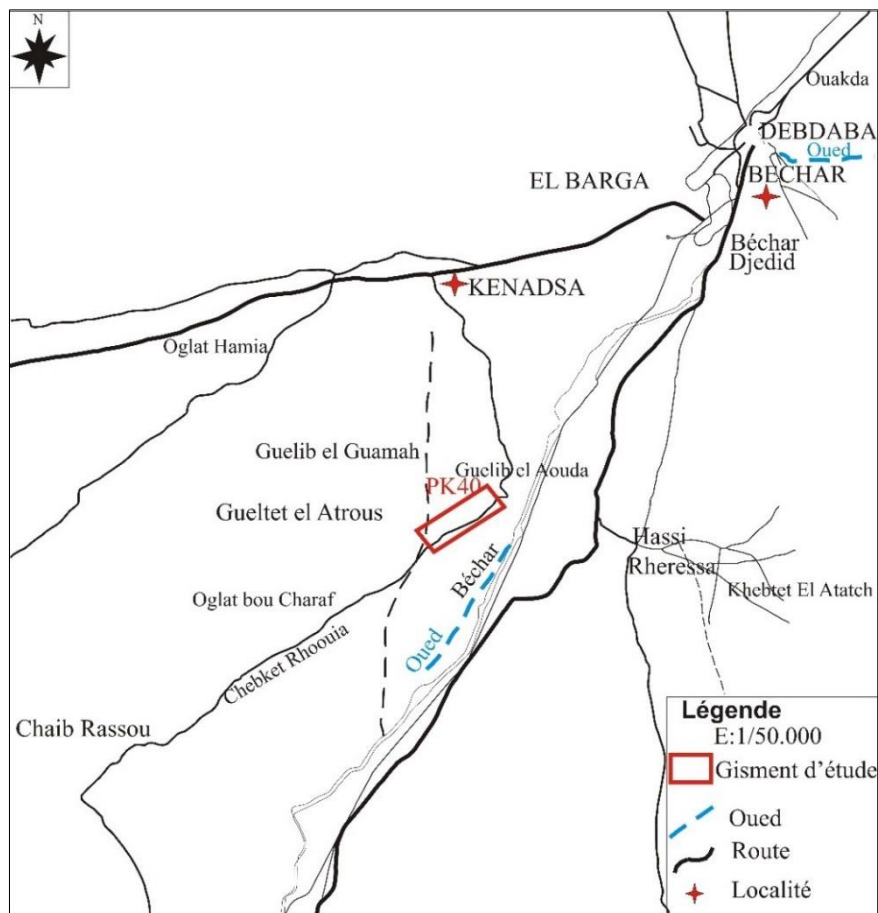


Fig.07 : Situation géographique du gisement de fer PK40

Ce gisement a pour coordonnées UTM suivantes (Tab. 01) :

Tab. 01 : Coordonnées UTM du périmètre d'exploration de gisement de fer PK40

Points	Coordonnées UTM NS	
	X(m)	Y(m)
1	546833	3469369
2	547457	3468016
3	543670	3466247
4	542852	3467625
Superficie :657 ha		

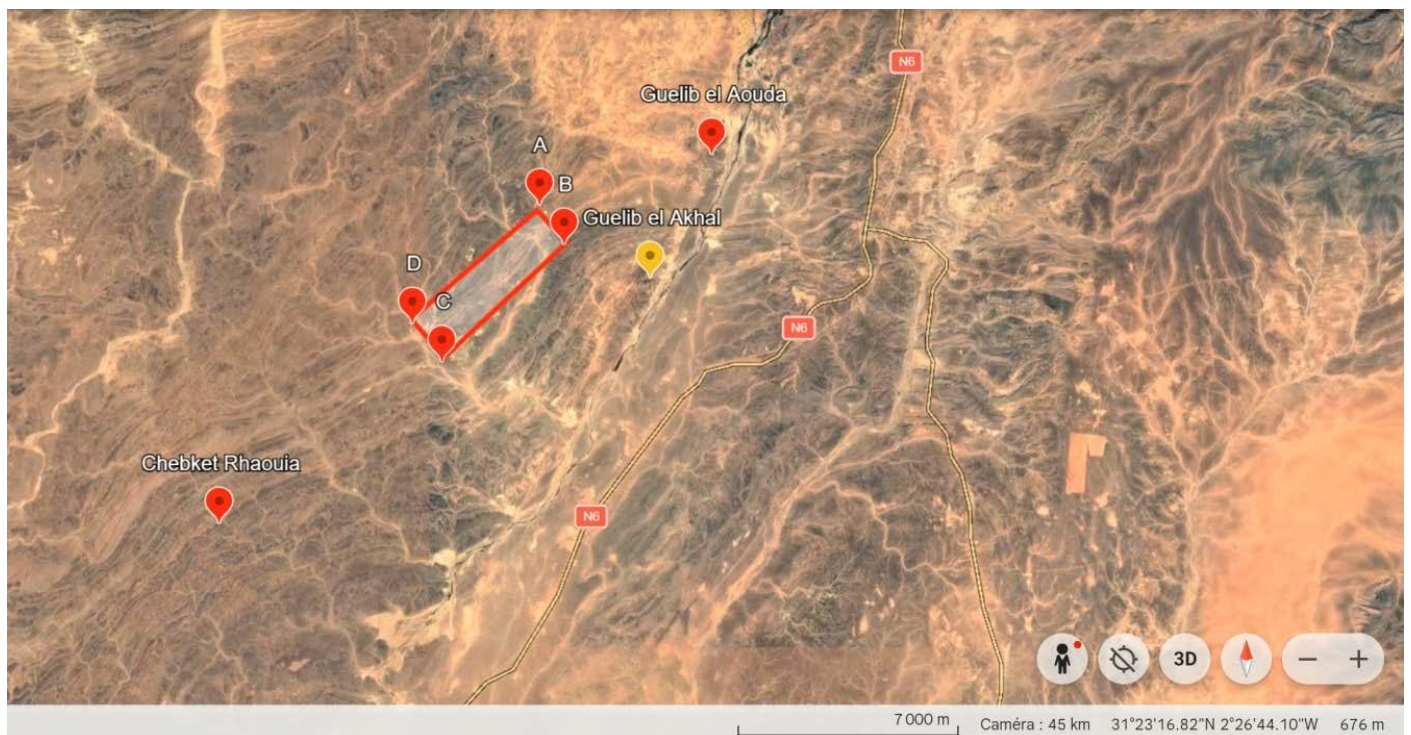


Fig. 08 : Image satellitaire montrant le positionnement de la zone étudiée de ce gisement (Google Earth,2026)

III. ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE GISEMENT

A. Structure de gisement

Les terrains affleurant dans ce gisement correspondent à deux formations bien distinctes :



Fig.09 : Vue panoramique de gisement de fer PK40

-Une formation d'âge namurien, essentiellement carbonaté « Namurien Fm ».

-Une deuxième formation, de matériel d'âge Westphalien « Fm du Westphalien A marin », essentiellement argileuse, en contact tectonique avec la première formation.

Le contact entre ces deux formations est de nature tectonique, étant donné que le minerai n°40 de fer objet de notre étude est localisé dans la surface structurale du dernier banc de calcaire bleuâtre de la formation namurienne (Fig. 10).

Il est à noter que, ce gisement se présente sous la forme d'une méga-lentille de fer de direction N 40. Cette lentille s'étale sur environ 500m en longueur et 70 m en large.



Fig. 10 : photo montrant le contact tectonique de surface structurale du dernier banc carbonaté et le gisement

B. Lithologie de gisement

Notre gisement de fer de PK40 est intercalé entre deux formations bien distinctes, l'une carbonatée attribuée au Namurien, l'autre détritique datée du Westphalien. Dans le détail, nous relevons la succession lithologique suivante (Fig. 11) :

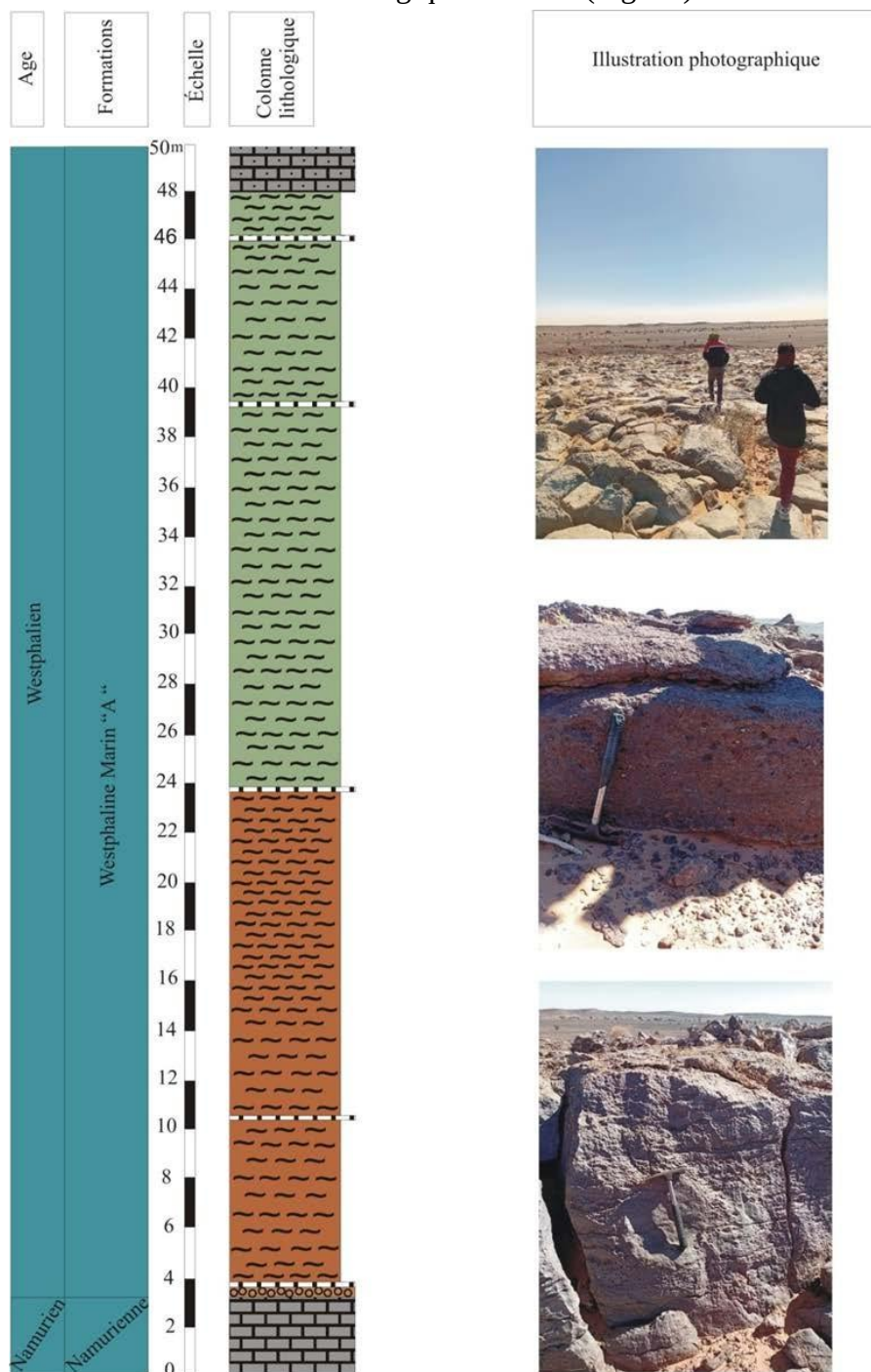


Fig. 11 : Colonne lithologique montrant la succession litho stratigraphique formant le gisement de fer PK40

1. Formation namurienne « Namurien Fm »

Nous avons étudié uniquement sa partie sommitale où s'intercale notre gisement. Cette partie est représentée par la superposition de deux bancs de calcaire grisâtre d'épaisseur métrique. Ces carbonates sont légèrement dolomitisés, massifs, compacts, et montrent des stylolithes sub –horizontaux.

2. Formation westphalienne « Westphalien A »

La base de cette formation débute par un niveau conglomératique de teint brunâtre, plus ou moins induré. C'est un poudingue formé essentiellement des éléments issus de l'érosion des formations précédentes. Sur ce niveau conglomératique, repose une épaisse série argileuse interrompue par des niveaux gréseux. Les argiles ont une couleur rougeâtre à la base devenant verdâtre vers le haut, un aspect feuilleté et se caractérisent par la présence des passées lumachelliques renfermant une faune marine diversifiée, telles que des Crinoïdes, les brachiopodes. Les grès se présentent souvent en bancs bien stratifiés, de couleur noirâtre, d'une faible épaisseur ne dépassent pas 0,30 m. Ces grès sont très riches en figures et structures sédimentaires, en particulier les rides de courant et les litages horizontaux plans.

Cette série argileuse qui peut atteindre une épaisseur de 50m, est clôturée par une barre de deux mètres épaisseur, de teinte grisâtre, formée de calcaire gréseux. Cette barre montre à sa surface sommitale des rides de courant de type lingoïde.

IV. ETUDE DE MINERAI

A l'issue des observations effectuées sur le terrain, nous avons relevé trois principaux minéraux ferrugineux formant le gisement de fer PK40 :

A. L'Hématite

L'hématite est le minéral le plus dominant. Elle se présente à la surface sous forme de lambeaux de longueur métrique. Elle est de teinte sanguine (Fig. 12).



Fig. 12: Aspect macroscopique d'une hématite observée dans le gisement de fer PK40

B. La Goethite

La goethite est assez abondante. Elle est surtout localisée dans la partie sommitale du gisement. Il s'agit de blocs dont le diamètre est métrique, de teinte noirâtre. La surface de cette goethite est complètement recouverte de nodules centimétriques de teinte noire (Fig. 13).



Fig. 13 : Aspect macroscopique d'une Goethite observée dans le gisement de fer PK40

C. La Sidérite

Nous avons observé ce minéral uniquement dans le contact entre la surface structurale de la dernière barre carbonatée namurienne et la lentille ferrifère. Il s'agit d'un carbonate de fer tapissant la surface supérieure de la dalle carbonatée (Fig. 14). Ce minéral y est moins fréquent.



Fig. 14 : Aspect macroscopique d'une sidérite observée dans le gisement de fer PK40

A la fin, nous notons que, la particularité de ce gisement est le large développement à sa surface de nodules centimétriques de fer en forme sphérique (oolithe ferrugineuse).

V. MODE DE FORMATION

A la limite supérieure de la formation namurienne et le début de la formation Westphalien marin « Westphalien A », apparaît une immense lentille minéralisée de fer. Cette lentille orientée NE-SW suivant les axes d'alignement ougartiens. Ce fer peut se former par hydrothermalisme lorsque des fluides hydrothermaux chauds et riches en éléments métalliques circulent à travers les fractures et les failles des roches (fig15).



Fig. 15 : Exemple de faille N35 à 40 E travers le gisement qui est responsable de remonté les eaux chaudes

1. **Circulation des fluides hydrothermaux** : les eaux chaudes circulent en profondeur et dissolvent le fer présent dans les roches .
2. **Transport du fer** : le fer est transporté sous forme dissoute , principalement sous forme de Fe^{2+}
3. **Remontée et refroidissement** : les fluides remontent vers des zones moins profondes , où la température et la pression diminuent .
4. **Précipitation du fer** : les changements de température , de PH et des conditions d'oxydoréduction provoquent la précipitation du fer sous forme de minéraux tels que la magnétite et l'hématite.

5. **Formation de gisement** : l'accumulation successive de ces minéraux dans les fractures ou les zones de circulation des fluides conduit à la formation d'un gisement de fer hydrothermal.

Chapitre troisième : ETUDE GEOCHIMIQUE

I. INTRODUCTION

Ce dernier chapitre est consacré à l'étude chimique et minéralogique de la substance utile afin de déterminer sa qualité géochimique. Celle-ci nous renseigne sur les différents domaines d'utilisation. Pour réaliser cette étude, quelques échantillons ont été sélectionnés dans le gisement.

Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire d'analyse de la cimenterie de Béchar. Les analyses minéralogiques, quant à elles, ont été réalisées dans les laboratoires de CETIM, dans la wilaya de Boumerdès.

II. ANALYSE GÉOCHIMIQUE

A. Analyse chimique

L'analyse chimique de trois échantillons prélevés du gisement PK 40 est présentée dans le tableau suivant (Tab. 02)

Tab. 02 : Résultat d'analyse chimique des échantillons sélectionnés dans le gisement PK40 :

Ech.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Cl	PF
1	1.00	0.07	79.61	6.59	0.20	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	0.00	12.40
2	1.91	0.24	81.01	8.71	0.11	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.05	0.00	7.89
3	4.15	0.12	81.39	4.34	0.11	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	9.78
Teneur moy.	2.35	0.14	80.67	6.54	0.14	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.05	0.00	10.02

Les trois échantillons présentent une très forte dominance du Fe₂O₃, avec des teneurs comprises entre 79,61 et 81,39 %, pour une moyenne de 80,67 %. Cette forte concentration en Fe₂O₃ caractérise une minéralisation fortement enrichie en fer. Les variations entre les trois échantillons sont faibles, ce qui traduit une composition relativement homogène de la minéralisation ferrifère étudiée.

La SiO₂ présente des teneurs faibles à modérées, comprises entre 1,00 et 4,15 %, avec une moyenne de 2,35 %. L'échantillon 3 se distingue par une teneur en SiO₂ plus élevée (4,15 %) que les échantillons 1 et 2. Cette différence peut traduire une contribution légèrement plus importante de phases siliceuses ou détritiques dans cet échantillon. Toutefois, cette interprétation devrait être confrontée aux observations pétrographiques et minéralogiques.

Le CaO, avec une teneur moyenne de 6,54 % et des valeurs comprises entre 4,34 et 8,71 %, constitue le deuxième constituant majeur après Fe₂O₃. Cette teneur relativement importante peut être liée à la présence de phases carbonatées, notamment compte tenu du contexte carbonaté de la minéralisation de PK40. Cependant, la géochimie seule ne permet pas d'identifier précisément le minéral porteur du Ca ; cette interprétation doit être vérifiée par les données minéralogiques, notamment la calcite ou d'autres carbonates.

Les teneurs en Al_2O_3 (0,07–0,24 %), MgO (0,11–0,20 %), K_2O (0,01 %), Na_2O (0,01 %), TiO_2 (0,01 %) et MnO (0,04–0,06 %) sont très faibles. Cette composition indique une contribution limitée des minéraux aluminosilicatés, des phases potassiques et sodiques ainsi que des oxydes de titane et de manganèse. La très faible teneur en Al_2O_3 est particulièrement intéressante puisqu'elle suggère une faible contribution argileuse ou détritique dans les échantillons analysés.

Le SO_3 , le P_2O_5 et le Cl présentent également des teneurs très faibles et relativement constantes, ne montrant pas d'enrichissement significatif de ces éléments.

B. Analyse minéralogique

L'analyse par diffraction des rayons X réalisée sur les trois échantillons précédents consiste à déterminer la nature des constituants minéraux formant le minerai de fer du gisement PK 40.

La composition minéralogique estimative semi quantitative a été évaluée sur la base des résultats chimiques (diagrammes cristallographiques, Fig. 16) : elle figure sur le tableau suivant (Tab. 03) :

Tab. 03 : Résultat d'analyse minéralogique de minerai de fer de gisement PK 40

Minéraux présents	Composition minéralogique%			
	Ech. 01	Ech. 02	Ech. 03	
Goethite	71	11	63	
Calcite	12	16	08	
Hématite	16	71	25	
Quartz	-	01	04	
Autres	01	01	-	

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X met en évidence une association dominée par les phases ferrières, représentées principalement par la goethite et l'hématite. La calcite est également identifiée dans les différents échantillons, tandis que le quartz est présent dans les deuxième et troisième échantillons. Cette association minéralogique est en accord avec les résultats géochimiques, qui montrent un fort enrichissement en Fe_2O_3 , avec des teneurs comprises entre 79,61 et 81,39 % (moyenne de 80,67 %), ainsi qu'une teneur moyenne en CaO de 6,54 %. La présence de quartz dans certains échantillons est également compatible avec les teneurs en SiO_2 , qui atteignent 4,15 % dans l'échantillon le plus siliceux.

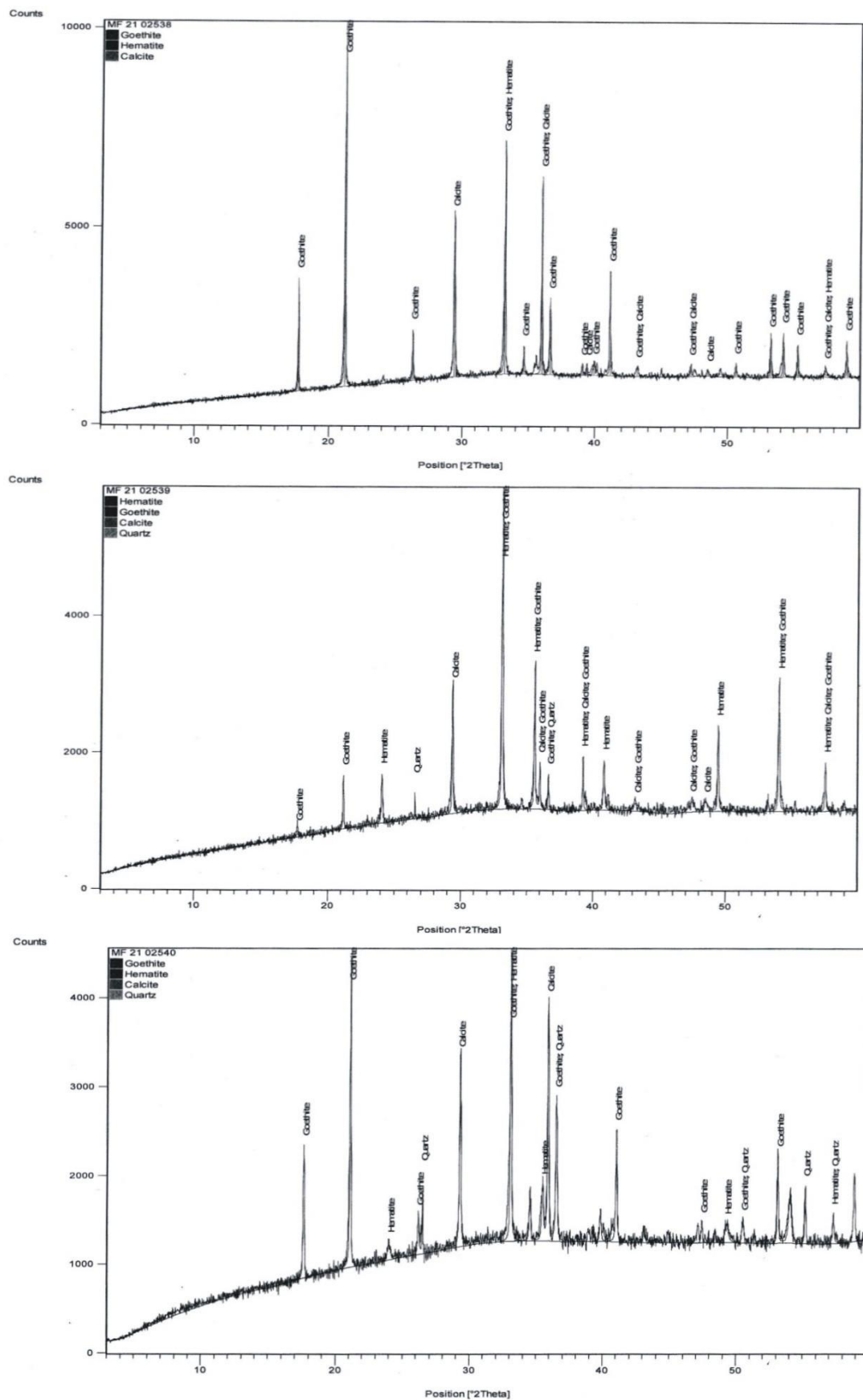


Fig. 16 : Diagrammes cristallographiques des trois échantillons analysés par DRX

III. MODE D'UTILISATION

1. Industrie sidérurgique : principale voie de valorisation

La principale voie de valorisation envisagée pour le minerai de PK40 est son utilisation comme matière première ferrifère dans l'industrie sidérurgique. Les résultats géochimiques montrent une teneur moyenne élevée en Fe_2O_3 , de l'ordre de 80,67 %, tandis que les analyses par diffraction des rayons X indiquent que le fer est principalement porté par la goéthite et l'hématite. Ces caractéristiques confèrent au minerai un intérêt potentiel pour la production de fer et d'acier.

Après les opérations appropriées de préparation et, si nécessaire, d'enrichissement, le minerai peut être destiné aux procédés métallurgiques permettant de transformer les oxydes de fer en fer métallique. Selon ses caractéristiques physiques, chimiques et métallurgiques, il pourrait être utilisé sous forme de minerai calibré, de concentré, d'aggloméré ou de boulettes.

Le fer ainsi obtenu constitue la matière première essentielle de la production d'acier, lequel intervient dans de nombreux secteurs industriels, notamment :

- la construction des bâtiments et des ouvrages d'art ;
- la construction des ponts, tunnels et infrastructures ;
- la fabrication des voies ferrées ;
- la construction navale ;
- l'industrie automobile ;
- la fabrication de machines et d'équipements industriels ;
- la production de canalisations et de réservoirs ;
- la fabrication de différents équipements mécaniques et industriels.

La valorisation sidérurgique du minerai dépend toutefois de plusieurs paramètres qui ne sont pas entièrement déterminés dans la présente étude, notamment la granulométrie, la teneur en fer total, la nature et la proportion des gangues, ainsi que le comportement du minerai lors des opérations de réduction.

2. Production de boulettes de minerai de fer

Une autre possibilité de valorisation consiste à transformer le minerai finement broyé et préalablement enrichi en boulettes de minerai de fer (iron pellets). Cette opération permet d'obtenir un produit présentant une granulométrie et une composition plus homogènes et mieux adaptées aux procédés sidérurgiques.

La production de boulettes nécessite généralement plusieurs étapes : concassage, broyage, concentration du minerai, homogénéisation, agglomération sous forme de boulettes

et traitement thermique. L'objectif est d'obtenir un produit présentant une teneur élevée en fer et une quantité limitée de constituants indésirables.

Dans le cas du minerai de PK40, sa forte teneur en Fe_2O_3 et la prédominance de l'hématite et de la goethite constituent des caractéristiques favorables à l'étude de cette voie de valorisation. Toutefois, la présence de calcite et de quartz, mise en évidence par les analyses DRX, doit être prise en considération dans l'évaluation de la qualité du concentré.

La faisabilité de la production de pellets devrait donc être vérifiée par des essais d'enrichissement et d'agglomération, permettant notamment de déterminer la récupération du fer et les propriétés mécaniques des boulettes obtenues.

3. Production de fer par réduction directe

Le minerai pourrait également être envisagé comme matière première pour les procédés de réduction directe du fer (DRI, Direct Reduced Iron). Ces procédés consistent à réduire les oxydes de fer à l'état solide afin d'obtenir un produit riche en fer métallique, sans passer nécessairement par l'étape traditionnelle du haut-fourneau.

La présence importante d'hématite et de goethite constitue un élément favorable à l'étude de cette voie. Toutefois, l'aptitude réelle du minerai à la production de DRI ne peut pas être établie uniquement à partir de sa teneur élevée en Fe_2O_3 .

Elle nécessite notamment de connaître :

- la teneur en fer total ;
- les teneurs en silice et en alumine ;
- les éléments pénalisants, notamment le phosphore et le soufre ;
- la granulométrie ;
- la porosité et la texture du minerai ;
- sa réductibilité ;
- son comportement lors du chauffage et de la réduction.

Ainsi, le minerai de PK40 peut être considéré comme un candidat potentiel pour cette voie de valorisation, mais des essais métallurgiques complémentaires sont nécessaires pour confirmer son aptitude à la production de DRI.

4. Mélange avec d'autres minerais ferrifères

Le minerai de PK40 pourrait également être valorisé par mélange avec d'autres minerais de fer présentant des caractéristiques chimiques ou minéralogiques différentes.

Le principe consiste à rechercher une composition globale permettant d'obtenir une matière première répondant aux exigences du procédé métallurgique. Un minerai fortement enrichi en fer peut ainsi contribuer à améliorer la teneur globale en fer d'un mélange, tandis

que d'autres minerais peuvent être utilisés pour ajuster certaines caractéristiques chimiques ou physiques.

Cette approche pourrait être particulièrement intéressante si les caractéristiques du minerai de PK40 ne permettent pas une utilisation directe. La possibilité d'un tel mélange devra toutefois être déterminée à partir d'analyses chimiques plus complètes et d'essais technologiques.

5. Utilisation potentielle dans l'industrie cimentière

En raison de sa richesse en oxydes de fer et de la présence de phases carbonatées, notamment la calcite, le minerai pourrait également présenter un intérêt comme matière première ferrifère secondaire dans l'industrie cimentière, sous réserve de la compatibilité de sa composition avec les formulations utilisées.

Dans la fabrication du ciment, les composés ferrifères participent à la formation des phases du clinker. L'utilisation d'une matière première riche en fer peut donc contribuer à ajuster la composition du mélange cru.

Cette possibilité constitue cependant une voie de valorisation secondaire par rapport à l'utilisation sidérurgique. Elle nécessiterait une caractérisation chimique plus complète afin de vérifier la compatibilité du minerai avec les exigences du procédé de fabrication du clinker.

6. Utilisation potentielle comme source de pigments

La présence d'hématite dans le minerai ouvre également une possibilité de valorisation dans le domaine des pigments minéraux à base d'oxydes de fer. Les oxydes de fer sont utilisés comme pigments en raison de leur stabilité et de leurs propriétés colorantes.

Après traitement et purification appropriés, des matériaux riches en oxydes de fer peuvent notamment être utilisés dans :

- les peintures et revêtements ;
- les matériaux de construction colorés ;
- le béton coloré ;
- les briques et les tuiles ;
- certaines applications céramiques.

Cette voie de valorisation reste toutefois conditionnée par la pureté minéralogique et chimique du matériau, ainsi que par ses propriétés colorimétriques. Les seules données actuellement disponibles ne permettent donc pas de conclure à une aptitude directe du minerai de PK40 à la production de pigments.

7. Applications dans l'industrie chimique et autres utilisations

Les oxydes et hydroxydes de fer peuvent également trouver diverses applications industrielles, notamment dans la production de certains catalyseurs, adsorbants, matériaux fonctionnels et composés à base de fer.

La présence d'hématite et de goethite dans le minerai de PK40 pourrait donc présenter un intérêt pour certaines de ces applications après traitement et purification. Cependant, contrairement à la valorisation sidérurgique, ces utilisations nécessitent généralement des produits présentant des caractéristiques minéralogiques et chimiques beaucoup plus spécifiques.

Elles doivent par conséquent être considérées comme des possibilités complémentaires, et non comme des utilisations établies du minerai sur la base des résultats actuels.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail a été consacré à l'étude géologique, pétrographique, minéralogique et géochimique de la minéralisation ferrifère du gisement PK40, situé dans le sous-bassin d'Abadla, au sein du bassin de Béchar. L'objectif principal était de caractériser le contexte géologique du gisement, d'identifier les principales phases minérales porteuses du fer et d'évaluer les caractéristiques chimiques et minéralogiques du minerai.

L'étude de terrain a permis de préciser le contexte géologique du gisement, qui se développe au niveau de la partie sommitale de la formation namurienne, constituée principalement de calcaires, à proximité de la série westphalienne à dominante argileuse et gréseuse. La minéralisation se présente sous la forme d'une importante lentille ferrifère, orientée globalement NE-SW, et associée à la surface structurale du dernier banc carbonaté namurien. Cette disposition souligne l'importance du contexte lithologique et structural dans la localisation de la minéralisation.

Les observations de terrain ont permis d'identifier plusieurs phases ferrifères, principalement l'hématite et la goethite, ainsi que de la sidérite localisée au contact entre la minéralisation et la dalle carbonatée. La présence de nodules ferrugineux à morphologie sphérique constitue également une caractéristique particulière du gisement. L'hématite apparaît comme l'une des principales phases ferrifères observées sur le terrain, tandis que la goethite est particulièrement représentée dans les parties superficielles du gisement.

Les analyses géochimiques réalisées sur trois échantillons mettent en évidence un fort enrichissement en fer, avec des teneurs en Fe_2O_3 comprises entre 79,61 et 81,39 %, soit une moyenne de 80,67 %. Les teneurs en SiO_2 et en Al_2O_3 restent faibles, avec respectivement des moyennes de 2,35 et 0,14 %, tandis que le CaO atteint une moyenne de 6,54 %. Les autres constituants présentent des teneurs très faibles. Cette composition traduit ainsi un minerai fortement enrichi en fer et relativement pauvre en composants aluminosilicatés et détritiques.

Les analyses par diffraction des rayons X confirment la prédominance des phases ferrifères, représentées essentiellement par la goethite et l'hématite. La calcite est également présente dans les trois échantillons, tandis que le quartz est identifié dans les deuxième et troisième échantillons. L'association minéralogique obtenue est donc cohérente avec les résultats géochimiques et confirme le caractère principalement ferrifère de la minéralisation, avec une composante carbonatée et localement siliceuse.

L'ensemble des observations permet de considérer le minerai de PK40 comme une ressource ferrifère présentant un intérêt potentiel pour la valorisation, notamment dans le domaine sidérurgique. Sa forte teneur en fer constitue un paramètre favorable, tandis que la présence de calcite et de quartz doit être prise en compte dans l'évaluation de sa qualité et dans les éventuels procédés d'enrichissement. Toutefois, une caractérisation technologique et métallurgique plus approfondie serait nécessaire avant de pouvoir définir précisément les conditions de son utilisation industrielle.

Sur le plan génétique, la localisation de la minéralisation au niveau de la limite entre les formations namurienne et westphalienne, son association avec la dalle carbonatée et son contexte structural suggèrent un contrôle lithologique et structural important. Le rôle éventuel de circulations de fluides hydrothermaux constitue une hypothèse intéressante, mais les données actuellement disponibles ne permettent pas, à elles seules, de démontrer de manière définitive une origine hydrothermale. Cette interprétation devra être confortée par des études complémentaires portant notamment sur les textures minérales, les relations entre les phases ferrières et les structures tectoniques, les éléments traces et, si possible, les données isotopiques.

Cette étude constitue une première contribution à la caractérisation du gisement ferrière PK40 et met en évidence son intérêt géologique et économique potentiel. Elle apporte des données nouvelles sur sa géométrie, son contexte lithologique, son assemblage minéralogique et sa composition chimique. Des travaux complémentaires, fondés sur un échantillonnage plus représentatif et des analyses minéralogiques, géochimiques et métallurgiques approfondies, permettront de mieux préciser le mode de formation du gisement, son potentiel économique et les conditions optimales de sa valorisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALIEV M., AIT LAOUSSINE N., AVROV V., ALEKSINE G., BAROULINE G., LAKOVLEV B., KORJ M., KOUVYKINE J., MAKAROV V., MEDVEDEV E., MKRTCHIANE O., MOUSTAFINOV R., ORIEV L., OROUDJEVA D., OULMI M. et SAID A. (1971) – Structures Géologiques et perspectives en pétrole et en gaz du Sahara Algérien. *Copyright : SONATRACH*, tome I, 274 p.

BENAMAR D., MESLI S. (2023) – Les roches semi-précieuses de djebel Zrigat (Abadla, wilaya de Béchar) : caractérisation et analyse pétrographique. *Mémoire de Master professionnel*, Université de Tlemcen, 52p.

BENYOUCEF M. (2013) - Le bassin crétacé du Guir (sud-ouest algérien) : Caractérisation litho-bio stratigraphiques, Sédimentologiques & Paleogeographiques. Université de Tlemcen.

ETHMANE M. V. (2024) _ Minéralisation de fer dans le bassin d'Abadla (sud-ouest de Béchar) : caractérisation pétrographique et géochimique. *Mémoire de Master Professionnel*, Univ. de Tlemcen, 44P

DELEAU P. (1952) – La région de Colomb-Béchar XIXème Congrès géologique international. *Monographies régionales*, 1^{re} Série : ALGERIE –N° 8, 104 p.

DONZEAU M. (1972) – Les déformations hercyniennes dans le Paléozoïque des Monts d'Ougarta (Sahara occidental algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, serie D, tome 274 p.

FABRE J. (1971) : Structure de l'Algérie saharienne. Eléments pour une carte tectonique. *Publ. Serv. Géol. Algérie*, nouv. Série, 41, pp. 161-185.

KHENNOUS M. (1997) - Les bassins sédimentaires paléozoïques avoisinants la ride de de l'Ougarta (Sahara algérien occidental) : histoire de l'évolution sédimentaire et structurale en vue de la recherche pétrolière. *Thèse de Doctorat*, université Johannes Gutenberg de Mayence (Mainz), Allemagne, 201 p.

KAZI TANI N., NEDJARI A., et DELFAUD J. (1991) – Modalités de fonctionnement d'un bassin d'avant-fosse. L'exemple du Carbonifère de Béchar (Sud-Oranais, Algérie). *C. R. Acad. Sci* ; (Paris), t. 313, 2, pp. 579-585.

MAACHE N. (1987) – Etude sédimentologique (Lithostratigraphie –Diagenèses –paléogéographie) Des séries du Dévonien de la Saoura Monts de l'Ougarta

Sahara Nord occidental Algérie. *Thèse Doctorat*, université de Paris – sud centre d'Orsay, 192p.

MADI A. (1994) – Les bioconstruction carbonifères du bassin de Bécha, Sahara Algérien : Sédimentologie, diagenèse et potentiel pétrolière. *Thèse Doctorat*, université LAVAL, Québec, 312 p.

MARMOURI E. et BOUKENADEL N. (2022) – caractérisation géologique et physico-chimique des argiles et des calcaires du gisement de Ben Zireg (NE BECHAR) ; Mémoire de Master Professionnel . Univ. de Tlemcen , 50P

MEKKAOUI A. (2015) – Le magmatisme basique de l'axe Domrane –kahal Tabelbala (Daoura, Monts de l'Ougarta, Sud-Ouest, Algérie) : Géologie Pétrologie, Géochimie et Contexte Géodynamique. *Thèse Doctorat*, université d'Oran 2,257p.

NEDJARI A. (1991) – Dynamique du remplissage littoral et continental moscovien du bassin d'avant fosse de Béchar. Electroséquences, modèles sédimentaires, paléo pédogénèses. *Thèse Doctorat. ésSci*, U.S.T.H.B. Alger, 289 p.

PAREYN (1961) – Les massifs carbonifères du Sahara Sud-Oranais. Tome I : Stratigraphie et tectonique Ed. C.N.R.S, *Publ. Centre de Recherche Saharienne*, Paris, 325 p.

SEBBAR M. (1986) – Foraminifères et Algues calcaires du Carbonifère inférieur (Viséen supérieur-Serpukhovien) du bassin de Béchar, Sahara Nord-occidental, Algérie. Utilisation paléobiogéographique. *7^{ème} Sémi. Nat. Sci. Terre*, Alger, résumés, p. 138.

ZAIGOUICHE D. (1985) – Examen des phases d'instabilité orogénique du bassin de Béchar Abadla et leurs relations avec la sédimentation.). *Thèse Doctorat 3ème cycle*, U.S.T.H.B. 228 p.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Fig. 01 : Schéma général du bassin de Béchar (Extrait de la carte hydrogéologie de Béchar : 1 /500.000).

Fig. 02 : Position géographique du secteur d'étude « sous bassin d'Abadla (In MERMOURI et BOUKENADEL, 2022).

Fig. 03 : Carte géologique de bassin de Béchar (Extrait du ministère de l'Énergie et des Mines, Agence nationale des activités minières, Echelle: 1/500000).

Fig. 04 : Carte structurale de bassin de Béchar (in BENAMAR et MESLI ,2023)

Fig. 05 : Carte géologique de sous bassin d'Abadla (Extrait de la carte géologique d'Abadla, échelle :1/500.000).

Fig. 06 : Carte structurale de sous bassin d'Abadla (In MERMOURI et BOUKENADEL, 2022).

Fig. 07 : Situation géographique de gisement de fer PK40.

Fig. 08 : Image satellitaire montrant le positionnement de la zone étudiée de ce gisement (Google Earth,2026).

Fig. 09 : Vue panoramique du gisement de fer PK40.

Fig. 10 : photo montrant le contact tectonique de surface structurale dernier banc et gisement.

Fig. 11 : Colonne lithologique montrant la succession litho stratigraphique formant le gisement de fer PK40.

Fig. 12 : Aspect macroscopique d'une Hématite observée dans le gisement de fer PK40.

Fig. 13 : Aspect macroscopique d'une Goethite observée dans le gisement de fer PK40.

Fig. 14 : Aspect macroscopique d'une sidérite observée dans le gisement de fer PK40.

Fig. 15 : Exemple de faille N35 à 40 E travers le gisement qui est responsable de remonté les eaux chaudes

Fig. 16 : Diagrammes cristallographiques des trois échantillons analysés par DRX.

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tab. 01 : Coordonnées UTM du périmètre d'exploration de gisement de fer PK40

Tab. 02 : Résultat d'analyse chimique des échantillons sélectionnés dans le gisement PK40

Tab. 03 : Résultat d'analyse minéralogique de minerai de fer de gisement PK 40

PLANCHES PHOTOS

Planche 1 :

PL.1, Fig. 01 : Tranché d'exploration de minerais de fer crusé par ANAM Béchar

PL.1, Fig. 02 : Massif d'Hématite

PL.1, Fig. 03 : Dernier banc carbonaté de la formation Namurienne

Planche 2 :

PL.2, Fig. 04 : Contact entre la surface structural du banc carbonaté d'age Namurienne et le gisement

PL.2, Fig. 05 : La base de formation Westphalienne A niveau conglomératique indiquant le début de la formation westphalienne A

PL.2, Fig. 06 : Partie sommitale de la limite ferrifère

Planche 1 :



Fig. 01



Fig. 02



Fig. 03

Planche 2 :



Fig. 01



Fig.02



Fig. 03

Type de Master : Professionnel

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Géo-Ressources

Titre du mémoire: LA RÉPARTITION DES MINÉRAIS FERRIFÈRES DANS LES FORMATIONS CARBONIFÈRES DU SOUS-BASSIN D'ABADLA: ÉTUDE PETROGRAPHIQUE ET GÉOCHIMIQUE.

Auteurs: Fatima BOUCIF & Bouchra CHIKHAOUI

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude du gisement de fer « PK 40 », situé dans le sous-bassin d'Abadla (bassin de Béchar, Sud-Ouest algérien), au contact structural entre la dalle carbonatée namurienne (calcaire gris de Djeniène) et les argiles marines du Westphalien A. Il s'agit du premier travail consacré spécifiquement à ce gîte, jusque-là seulement mentionné par Deleau (1952).

L'étude repose sur un levé de terrain détaillé de la coupe lithologique encaissante, complété par des analyses géochimiques (FRX) et minéralogiques (DRX) réalisées sur des échantillons prélevés dans le gisement, respectivement au laboratoire de la cimenterie de Béchar et dans les laboratoires du CETIM. Sur le plan structural, le gisement se présente sous la forme d'une méga-lentille de fer orientée N 40, longue d'environ 500 m et large de 70 m, mise en place au contact tectonique entre les deux formations et contrôlée par le réseau de failles convergentes (N35-40°E et

subméridiennes) qui affecte la

Mots clés : sous-bassin d'Abadla, analyses, géochimiques, FRX, DRX, l'hématite, goethite, sidérite, Béchar.

région de Mennouna. Trois minéraux ferrifères ont été identifiés sur le terrain : l'hématite, dominante, la goethite, abondante en partie sommitale, et la sidérite, plus rare et localisée au contact avec la dalle carbonatée, avec un développement notable d'oolithes ferrugineuses en surface.

Les analyses chimiques révèlent une forte teneur en Fe_2O_3 (79,6-81,4 %), accompagnée de CaO (4,3-8,7 %) et de SiO_2 (1-4,15 %), les autres éléments restant à l'état de traces (moins de 0,25 %). Les analyses DRX confirment que la goethite et l'hématite dominent largement la paragenèse (jusqu'à 71 % chacune selon l'échantillon), aux côtés de calcite (8-16 %) et d'un peu de quartz (4 % au plus). Cette qualité chimique et minéralogique rend le minerai apte à plusieurs usages industriels, en premier lieu la sidérurgie, mais aussi la production de pellets et de fer réduit directement (DRI), la cimenterie, la fabrication de pigments et l'industrie chimique.