

**UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA**  
**FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES**  
**RENOUVELABLES ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE**  
**L'UNIVERS**  
**Département des Sciences de la Terre et de l'Univers**



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine: Sciences de la Terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Géologie des bassins sédimentaires**

**THEME**

**Apport de l'aéromagnétisme à la recherche des  
occurrences ferrifères dans les confins algéro-tunisiens  
(Souk-Ahras - Tébessa)**

**Réalisé par: Wissam BENSACI**

**Devant le jury:**

**Président:**

**Promoteur: BEGUIRET Lilia**

**M.C. B Univ. Ouargla**

**Examineur:**

**Année Universitaire:2023/2024**

## Remerciements

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la santé Courage et force pour mener à bien cette thèse. J'adresse mes sincères remerciements à

- Madame BEGUIRET Lilia, ma promotrice qui m'a beaucoup aidé durant cette période pour préparer ce mémoire, ainsi que pour ses précieux conseils. Mes remerciements vont également à Monsieur HAROUCHI Lakhdar mon Co-promoteur, pour son orientation et son encouragement.
  
- Parmi les personnes sans qui ce travail n'aurait pas été possible figure Monsieur NACER Jamel Eddine, Chercheur géologue minier et Monsieur GROUNE Daoud Chercheur géophysicien au Centre de Recherche Nucléaire de Draria. (Alger), qui ont grandement contribué à la réalisation de cette thèse, notamment par la rédaction, les cartes et les recherches bibliographiques. C'est un vrai bonheur de travailler au quotidien avec deux personnes aussi compétentes et amusantes. Merci beaucoup pour leur aide, leur disponibilité et leur soutien.
  
- Aux membres du jury qui ont accepté de consacrer du temps précieux, pour l'examen et la critique de ce travail.
  
- Centre de Recherche Nucléaire de Draria (Alger) pour son accueil chaleureux, sa confiance et sa disponibilité (Mme Radia)
  
- Nous adressons nos sincères remerciements aux enseignants du Département de Géologie de l'Université de Kasdi Merbah Ouargla pour nous avoir accompagnés tout au long de notre parcours académique
  
- Nos familles, qui nous ont offert les conditions convenables pour la réalisation de ce travail, ainsi que pour leur aide.

## Dédicaces

Je dédie les fruits de mes efforts et de mon travail à mes honorables parents, qu'Allah prolonge leur vie qui m'ont aidée et encouragée à continuer sur le chemin de la connaissance et de la réussite et à réaliser des études et des recherches universitaires.

Et à mes frères Ahmed, Amer, Amin et Abd El Basset, ainsi qu'à mon grand-père et ma grand-mère, que Allah vous protège et prenne soin de vous, à tous les membres de ma famille, à Sara et Soumia, et à mes amis (Remisa, Chaima.....).

Et à tous ceux qui m'ont aidé à mener à bien cette recherche de près ou de loin

**Résumé :** Cette étude est une contribution à l'effort de recherche et d'exploration du Fer dans les confins-algéro-tunisiens, un vaste domaine qui présente un important intérêt minier pour la recherche de plusieurs substances minérales, notamment le Fer où, plusieurs gisements et indices ont été déjà localisés et sont exploités. L'objectif principal de cette étude est **la mise en évidence de zones potentiellement favorables pour l'accumulation des minéralisations ferrifères**. Ceci peut servir comme un guide pour les futures recherches dans la zone d'étude et permettra certainement de réduire les coûts alloués à l'exploration. L'analyse de la couverture aéromagnétiques et la réinterprétation de l'information magnétométrique à partir de l'application hiérarchisée des différents filtres numériques aux données prétraitées, nous a permis après l'interprétation qualitative et quantitative des cartes filtrées, de localiser des zones susceptibles de contenir des minéralisations ferrifères dans la région d'étude et de démontrer que toute la région des confins algéro-tunisiens reste très perspective pour l'exploration du fer. Ces zones d'intérêt sont spatialement concordantes avec les districts ferrifères connus (indices et gisements) et les formations géologiques contrôlant et encaissant les minéralisations de fer (diapirs triasiques et formations crétaées). Ces résultats confirment et réconfortent l'apport des techniques d'analyses des données aéromagnétiques dans l'exploration des substances minérales ferrifères. En fin, il est à noter que les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ainsi que la mise en évidence de périmètres potentiellement favorables à l'exploration du fer, viennent réconforter les perspectives de la recherche et de l'exploration des ressources ferrifères dans cette partie du Nord-Est algérien. Les anomalies associées à ces zones, méritent d'être développé par des travaux géologiques et géophysiques au sol, pour se prononcer sur leurs potentiels réels.

**Mots-clés :** Aéromagnétisme ; Minéralisations ferrifères ; confins algéro-tunisiens.

**Abstract:** This study is a contribution to the research and exploration effort for Iron in the Algerian-Tunisian borders, a vast area which presents significant mining interest for the research of several mineral substances, notably Iron where, several deposits and indices have already been located and are being exploited.

The main objective of this study is to highlight potentially favorable zones for the accumulation of iron mineralization. This can serve as a guide for future research in the study area and will certainly reduce the costs allocated for exploration.

The analysis of the aeromagnetic coverage and the reinterpretation of the magnetometric data from the hierarchical application of the different digital filters to the pre-processed data, allowed us, after the qualitative and quantitative interpretation of the filtered maps, to locate areas likely to contain iron mineralization in the study region and demonstrate that the entire region of the Algerian-Tunisian borders remains very promising for iron exploration.

These areas of interest are spatially concordant with the known iron districts (indices and deposits) and the geological formations controlling and enclosing the iron mineralization's (Triassic diapirs and Cretaceous formations). These results confirm and reassure the contribution of aeromagnetic data analysis techniques to the iron-bearing mineral substances exploration.

Finally, it should be noted that the results obtained within the framework of this study as well as the identification of potentially favorable areas for iron exploration, reassure the prospects of research and exploration of iron resources in this part of the Algerian North-East. The anomalies associated with these zones deserve to be developed by geological and geophysical field investigations, to decide on their real potential.

**Keywords:** Aeromagnetism; Iron mineralization; Algerian-Tunisian borders.

**ملخص:** هذه الدراسة هي مساهمة في جهود البحث والتنقيب عن الحديد في الحدود الجزائرية التونسية، وهي منطقة واسعة تمثل اهتماما تعدينيا كبيرا للتنقيب عن من المواد المعدنية، ولا سيما الحديد حيث تم بالفعل العثور على العديد من المناجم والتي قيد الاستغلال.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على المناطق التي يحتمل أن تكون مواتية لتراكم معدن الحديد. يمكن أن يكون هذا بمثابة دليل للبحث المستقبلي في منطقة الدراسة وسيؤدي بالتأكيد إلى تقليل التكاليف المخصصة للاستكشاف.

إن تحليل التغطية المغناطيسية الجوية وإعادة تفسير المعلومات المغناطيسية من التطبيق الهرمي للمرشحات الرقمية المختلفة على البيانات المعالجة مسبقاً، سمح لنا، بعد التفسير النوعي والكمي للخرائط المصفاة، بتحديد المناطق التي يحتمل أن تحتوي على خامات الحديد في منطقة الدراسة وتبين أن كامل منطقة الحدود الجزائرية التونسية تظل واعدة جدا للتنقيب عن الحديد.

تتوافق مجالات الاهتمام هذه مكانياً مع مناطق الحديد المعروفة (المناجم والمكامن) والطبقات الجيولوجية التي تتحكم وتحيط بتمعدنات الحديد (ديابير الترياسي والطبقات الطباشيرية). تؤكد هذه النتائج مساهمة تقنيات تحليل البيانات المغناطيسية الجوية في استكشاف المواد المعدنية للحديدية.

وأخيراً، تجدر الإشارة إلى أن النتائج التي تم الحصول عليها في إطار هذه الدراسة وكذلك تحديد المناطق المحتملة للتنقيب عن الحديد، تؤكد آفاق البحث والتنقيب عن موارد الحديد في هذا الجزء من الشمال الشرقي الجزائري. وتستحق الشذوذات المغناطيسية المرتبطة بهذه المناطق أن يتم تطويرها من خلال العمل الجيولوجي والجيوفيزيائي الميداني، لتحديد إمكاناتها الحقيقية.

**الكلمات المفتاحية:** المغناطيسية الجوية؛ تمعدن الحديد؛ الحدود الجزائرية التونسية.

## *Sommaire*

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

**Liste des Figures**

**Liste des tableaux**

### **Introduction générale**

1- Problématique	1
2- Objectifs	1
3- Organisation de l'étude	1

### **Chapitre 1: Cadre géologique**

1.1 Situation géographique	2
1.2 Cadre géologique	3
1.2.1. Lithostratigraphie	3
a. Le Secondaire	3
b. Tertiaire	9
c. Quaternaire	9
1.3 Tectonique	10
1.3.1 Traits structuraux	10
a. La subsidence	10
b. Le diapirisme	11
c. Les plissements	12
d. Les fossés d'effondrement	13
1.3.2. Episodes tectoniques	13
a. La distension crétacée	13
b. La tectonique polyphasée du Tertiaire	14
c. La tectonique récente	14

### **Chapitre 2: Le Fer en Algérie**

2.1 Généralités	15
2.1.1 Minerai de fer	15
2.1.2 Propriétés physiques et chimiques du fer	16
2.2 Minéraux, dépôts et minéralisations du fer	16
2.3 Etat des lieux des substances ferrifères	20
2.3.1 Historique	20
2.3.2 Inventaires des ressources en fer	21

### **Chapitre 3 : Analyse des données aéromagnétiques**

3.1 Introduction	23
3.2 Acquisition des données numériques	23
3.2.1 Paramètres du levé aérogéophysique	23
3.2.2 Présentation des données numérique	23
3.2.3 Evaluation de la qualité des mesures	25
3.3 Prétraitement des données aérogéophysiques	26
3.3.1 Suppression des valeurs erronées	26
3.3.2 Sélection des données de la zone d'étude	26
3.3.3 Maillage des données (Gridding)	26
3.3.4 Etablissement des cartes des données brutes	27

3.4 Traitement des données aéromagnétiques	29
3.4.1 Calcul du champ d'anomalies magnétique	29
3.4.2 Atténuation du bruit résiduel	30
3.4.3 Réduction au pôle nord magnétique	32
3.4.4 Analyse du spectre d'énergie	33
<b>Chapitre 4 : Cartographie du potentiel ferrifère</b>	
4.1 Introduction	34
4.2 Modèle métallogénique du fer en Algérie	34
4.3 Etude structurale	39
4.3.1 Schéma structural synthétique	39
4.3.2 Densité de fracturation	41
4.3.3 Carte du pseudo susceptibilité magnétique	42
4.3.4 Localisation des sources magnétiques	44
4.4 Délimitation des zones perspectives	46
<b>Conclusion</b>	49
<b>Références bibliographiques</b>	50

## LISTE DES FIGURES

Figures	Titre	Page
<b>Figure 1.01</b>	Localisation géographique de la zone d'étude	<b>2</b>
<b>Figure 1.02</b>	Colonne stratigraphique synthétique de la région de Tébessa.	<b>4</b>
<b>Figure 1.03</b>	Carte géologique des confins algéro-tunisiens	<b>6</b>
<b>Figure 1.04</b>	Schéma tectono-gîtologique de la région Souk Ahras-Tébessa	<b>10</b>
<b>Figure 3.01</b>	Caractéristiques du levé aérogéophysique couvrant le territoire national.	<b>24</b>
<b>Figure 3.02</b>	Carte du plan de vol au-dessus de la zone d'étude.	<b>27</b>
<b>Figure 3.03</b>	Carte du champ magnétique brut de la zone d'étude.	<b>28</b>
<b>Figure 3.04</b>	Carte des anomalies magnétiques de la zone d'étude.	<b>30</b>
<b>Figure 3.05</b>	Carte des anomalies magnétiques filtrées de la zone d'étude.	<b>31</b>
<b>Figure 3.06</b>	Carte du champ magnétique anomal, réduit au pôle nord magnétique.	<b>32</b>
<b>Figure 3.07</b>	Spectre d'énergie radialement moyenné de la zone d'étude.	<b>33</b>
<b>Figure 4.01</b>	Carte des domaines géologiques avec localisation des gisements et des indices de fer en Algérie	<b>36</b>
<b>Figure 4.02</b>	Distribution des concentrations ferrifères dans la région d'étude.	<b>38</b>
<b>Figure 4.03</b>	Principaux linéaments magnétiques de la zone d'étude.	<b>40</b>
<b>Figure 4.04</b>	Zones de densités de systèmes de fractures.	<b>41</b>
<b>Figure 4.05</b>	Carte de la susceptibilité magnétique apparente.	<b>43</b>
<b>Figure 4.06</b>	Carte du signal analytique sur laquelle superposés les pics d'anomalies.	<b>45</b>
<b>Figure 4.07</b>	Carte des solutions du signal analytique sur la carte géologique de Tébessa-Souk Ahras	<b>47</b>
<b>Figure 4.08</b>	Carte de la Susceptibilité magnétique sur les solutions du signal analytique.	<b>47</b>
<b>Figure 4.09</b>	Carte des Linéaments magnétiques sur les solutions du signal analytique	<b>47</b>
<b>Figure 4.10</b>	<b>Carte de quelques zones d'intérêt probables pour l'exploration des ressources en fer dans la région d'étude.</b>	<b>48</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
<b>Tableau 2.01</b>	Principales formes minérales du minerai de fer	<b>17</b>
<b>Tableau 2.02</b>	Illustrations des principales formes minérales du minerai de fer	<b>19</b>
<b>Tableau 2.03</b>	Inventaire minérale ferrifère de l'Algérie	<b>22</b>
<b>Tableau 4.01</b>	: Caractéristiques et tes types de minéralisation ferrifères dans les différents domaines géologiques de l'Algérie	<b>35</b>
<b>Tableau 4.02</b>	Catégories des gisements de fer en Algérie	<b>36</b>

## **1 Problématique :**

Le choix des régions potentiellement favorables à la prospection, intervient en premier lieu dans le processus d'exploration et doit se faire sur des bases solides pour réussir les opérations de terrain tout en limitant, à la fois, le temps et les coûts. La partie nord-est du pays, présente un important intérêt minier pour la recherche d'occurrences ferrifères où, quelques gisements et indices ont été déjà localisés. L'étude géologique et métallogénique des concentrations de fer dans ces gisements peut aider à la compréhension des circonstances de formation des dépôts ferrifères, cela constitue un outil très efficace pour l'orientation des opérations de recherche vers des cibles prometteuses au lieu d'effectuer des travaux d'exploration systématiques sur de vastes régions.

Malgré son caractère régional, l'analyse de la couverture aéromagnétique, couvrant le territoire national, a permis de mettre en évidence, plusieurs anomalies magnétométriques qui ont conduit, à leur tour, à la découverte de quelques gîtes de fer notamment au-dessus de la partie nord-est du pays. Tenant compte de l'évolution des méthodes de traitement numérique de données, il est toujours utile de faire une nouvelle lecture de l'information magnétométrique en se basant sur les techniques de filtrage numérique de données pour la mise en évidence de nouvelles zones susceptibles de contenir des minéralisations ferrifères. Cette réinterprétation de la couverture aéromagnétique ne peut être complète que par l'intégration de différentes sources de données prises au sol au niveau des zones indicelles de la région d'étude.

### **Objectifs :**

L'objectif principal de cette étude est la mise en évidence de cibles potentiellement favorables pour l'accumulation de minéralisations ferrifères ce qui peut servir comme un guide pour les futures recherches dans la zone d'étude, cela permettra certainement de réduire, à la fois, le temps et les coûts alloués à l'exploration.

## **2 Organisation de l'étude :**

Cette étude s'organise en quatre (04) chapitres :

Dans le premier chapitre, nous décrivons le contexte géologique régional et local du nord-est algérien, objet de cette étude.

Un aperçu théorique sur les dépôts de concentration de Fer ainsi que la formation des gîtes miniers est présenté dans le deuxième chapitre. Nous donnons également dans cette partie un

aperçu sur les ressources ferrifères de l'Algérie notamment, les dépôts minéralisés déjà découverts dans la zone d'étude.

Les différentes étapes de traitement numérique des données magnétométriques sont détaillées dans le troisième chapitre. Différents filtres numériques sont appliqués aux données prétraitées, pour la mise en évidence des anomalies magnétométriques.

Après avoir effectué une interprétation qualitative et quantitative des cartes filtrées, nous procédons, dans le dernier chapitre, à la délimitation des périmètres susceptibles de contenir des minéralisations ferrifères et ce, par l'intégration de différentes sources d'informations disponibles. En fin, nous achevons ce travail par des conclusions et des recommandations.

# Chapitre 1 :

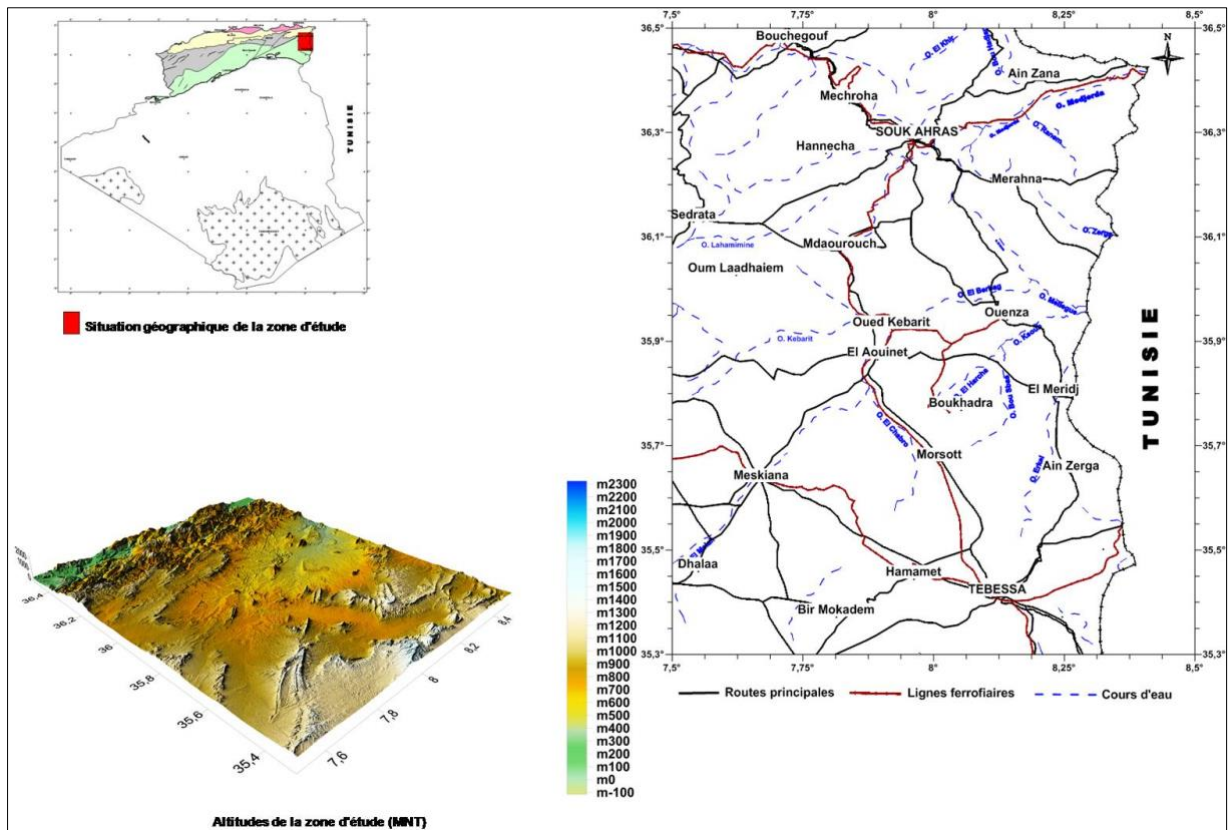
## Cadre géologique

---

### 1.1 Situation géographique :

La région d'études appartient à la partie extrême orientale de l'Algérie du Nord, bordant la frontière algéro-tunisienne, appelée communément "les confins algéro-tunisiens". Les centres administratifs principaux de la région sont les villes de Tébessa et de Souk-Ahras. Le réseau routier est assez important, avec la route nationale RN16 reliant ces villes avec la wilaya d'Annaba au Nord, ainsi que des routes goudronnées reliant leurs différentes localités et les divers secteurs miniers. Il existe également une ligne ferroviaire électrifiée reliant les localités de Tébessa et Tunis (via Souk-Ahras) et Annaba, avec des dérivations pour les mines d'exploitation du fer de l'Ouenza, Boukhadra et celle de phosphate de Djebel El Onk au Sud.

La région est caractérisée par un relief plat, accidenté, parsemé de crêtes montagneuses de direction Nord-Est. Au Sud de la région, on a les Djebels de Mesloula, Ouenza, Boukhadra, Bou Jaber, Guelb (1139m), Mzouzia (1377m) et les Monts de Tébessa plus au Sud. Au Nord, dans la zone de la Haute Medjerda : les Monts de Djebel Soltane, Djebel Ragouba, Djebel Berda, Djebel Mesla, ... Les surélévations relatives sont d'environ 100 à 300 m (Figure 1.01).



**Figure 1.01 : Localisation géographique de la zone d'étude**

Le réseau hydrographique est composé d'oueds à écoulement saisonnier (Hiver - Printemps). Les oueds les plus importants dans la région, sont ceux d'Oued Medjerda au Nord et l'Oued Mellègue au Sud. Les Oueds forment des ravins étroits et profonds et plus souvent de larges vallées.

Le climat, nettement continental, est caractérisé par un hiver froid et un été chaud. La température annuelle moyenne est d'environ 15 °C et varie entre -5 °C et 45 °C.

La végétation est relativement pauvre, surtout dans la partie Sud de la région, on y trouve des bocages de conifères et des buissons. Dans la partie au Nord, il existe des forêts de Chêne liège, de la végétation de prairie, et par endroits des plantes de type Halfa.

L'activité humaine est concentrée particulièrement sur l'agriculture et l'élevage. Notons aussi ; l'existence de nombreuses entreprises industrielles au niveau des nouvelles zones industrielles des wilayas de Tébéssa et de Souk-Ahras en plus des mines de l'Ouenza et de Boukhadra.

Les limites géographiques de la région étudiée sont :

OUEST : 7,5 °E

EST : Jusqu'à la frontière Tunisienne

SUD : 35,3°N

NORD : 36,5°N

## **1.2 Cadre géologique :**

Dans cette partie de l'Algérie Nord Orientale, les principales formations géologiques sont représentées par les étages du Secondaire, du Tertiaire et du Quaternaire (Fig.2 et 3).

### **1.2.1. Lithostratigraphie :**

#### **a. Le Secondaire.**

**Le Trias :** Les formations du Trias affleurent à la faveur de nombreux pointements diapiriques d'orientation SO-NE, de différentes dimensions dans les cœurs des structures anticlinales de la région (0.2x0.5 - 25x10 km) et dont les plus importants, sont ceux de Souk-Ahras, Ouenza, Mesloula et Boukhadra.

Ces formations sont représentées par des chaos de blocs et fragments. Elles sont composées d'argiles bariolées et marnes gypsifères, grès verdâtres-rougeâtres, calcaires, cargneules et dolomies noires, fortement fracturées et bréchifiées à ciment argilo-marno-gypsifère. On y décèle aussi des calcaires, des dolomies ferrugineuses bruns foncés et des fragments de roches volcaniques basiques, verdâtres-rougeâtres.

Le Trias est caractérisé par la présence, par endroits, de grains de pyrite et petits cristaux de quartz bipyramidal.

Le contact du Trias avec les autres formations est tectonique. Par endroits, ce contact est matérialisé par la présence de filons ferro-barytiques et minéralisations plombo-zincifères.

		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique	
CENOZOIQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.	
	Néogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.
Paléogène		Eocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.
	MÉSOZOIQUE	CRAÏON	Maest.		250-300
Campan.				500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
CÉNOGÈNE		Con-Sant.		④ 500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
		Turo		180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
CRÉTACÉ		Cénom.		③ 900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.
		Vracon.		② 500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
CRAÏON		Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
		Clans		100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
		Aptien		① 300-600	1- Faciès clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.
		Barrem.		< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloulia).
Jurassique	?		?	?	
Trias		< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.		

Figure 1.02 : Colonne stratigraphique synthétique de la région de Tébessa. (D'après : Dubourdiou 1956, 1959; David 1956; Madre 1969; Fleury 1969; Thibieroz et Madre 1976; Chikhi 1980; Otmanine 1987; Bouzenoune 1993 ; Vila et al., 2000;).

**Les séries anté-crétacées, Les termes jurassiques :** Le Jurassique n'a pas été reconnu dans la région, ni en affleurement ni en sondage. Les terrains les plus anciens connus en affleurement ont été rapportés au Barrémien au Djebel Harraba (Dubourdiou, 1956).

**Le Jurassique** affleure dans les Aurès, dans le Môle constantinois et dans la plate-forme saharienne. Son absence dans la région est due à la grande épaisseur des séries anté-aptiennes, résultat de la subsidence importante qui caractérise le sillon Aurès-Le Kef (Otmanine, 1987).

**Crétacé :** Le Crétacé est représenté par les dépôts de ses termes inférieurs et supérieurs.

✓ **Crétacé inférieur :**

Les formations du Crétacé inférieur sont localisées dans les parties centrales des anticlinaux suivant les axes diapiriques. Elles se manifestent aussi dans les parties élevées du terrain sans Trias affleurant.

- **Absence des termes crétacés anté-barrémiens :** L'absence de terrains plus anciens que le Barrémien en affleurement dans la région est expliquée par le fait que les affleurements du Crétacé inférieur correspondent :
  - à des séries réduites déposées sur le Trias diapirique (Boukhadra);
  - à des séries subsidentes autour des structures diapiriques, relativement plus épaisses qu'on rencontre dans l'Aptien des périclinaux des Djebels Ouenza, Boukhadra et Mzouzia (Otmanine, 1987).
- **Barrémien :** Les dépôts barrémiens affleurent par endroits, notamment dans les secteurs de Mesloul, Djebel Harraba et Djebel Ladjbel. Ils sont essentiellement représentés par des calcaires, dolomies, grès et argiles. L'épaisseur du Barrémien est d'environ 200m.
- **Aptien :** Les formations aptiennes sont localisées surtout dans les bandes suturées de diapirs et dans certains horsts de la région. Ces dépôts représentent l'encaissant principal des minéralisations polymétalliques et/ou ferrières dans le secteur.

Cet étage est représenté par trois faciès :

- Faciès anté-récifal : représenté par une alternance de marnes argileuses gris- verdâtres, de grès quartzeux micacés en bancs de 0.2 à 0.5m et des calcaires gris foncés, sableux, durs, en plaquettes. Les calcaires renferment des Gastéropodes, Mollusques et Echinoïdes.
  
- Calcaires récifaux : marqués essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomités gris clairs et jaunâtres, ainsi que des biomicrites, des calcaires organogènes détritiques et des calcaires contenant de gros fragments d'organismes (Coraux, Foraminifères, Rudistes, Orbitolines, ...).

Dans la base de la série, on observe des assises lenticulaires de calcaires bréchifiés avec des débris de Mollusques.

Selon leur nature lithologique, les calcaires récifaux constituent un faciès favorable à la mise en place de minéralisations polymétalliques et/ou ferrifères dans la région (Ouenza, Boukhadra, Bou Jaber, Mesloul, ...). Leur formation est liée aux hauts-fonds de bassins chauds peu profonds, favorables au développement des Coraux, Foraminifères, Mollusques, Rudistes, Algues vertes, ...

Le faciès des calcaires récifaux est bien développé dans la partie centrale de la région (Mesloul, Ouenza, Boukhadra, Bou Jaber). Au Sud, dans les secteurs de Bekkaria et d'El Ma Labiod, ces calcaires montrent quelques divergences, qui s'expriment par l'abondance de composants sablonneux. Ces différences dans la composition, sont dues à un changement des conditions de sédimentation. Les récifs typiques sont formés dans les bassins profonds à hauts-fonds (partie Nord), tandis qu'au Sud, dans les zones peu profondes, l'influence des dépôts terrigènes est plus marquée (El Ma Labiod) (Otmanine, 1987).



Dans la partie Nord de la région, les marnes finement litées, sont inter-stratifiées par des bancs minces de siltites marneuses et des calcaires noirs.

Il faut noter qu'entre, l'Albien inférieur calcaire et l'Albien moyen marneux et marno-calcaire, on décèle une inconformité stratigraphique. Cette dernière, daté anté-vraconienne (Rouvier, 1990), est le résultat d'une émergence. Elle est marquée par un dépôt de moins d'un mètre de conglomérats grossiers à éléments (jusqu'à 20cm) d'insolubles triasiques (carbonates variés, quartz bi-pyramidé, pélites versicolores, grès). La puissance des dépôts albiens est d'environ 450m.

- **Vraconien** : Le Vraconien ou "Albien Terminal" (Vila, 1995) affleure avec l'Albien dans toute la région. Ces dépôts sont constitués par une série monotone de dépôts marno-argileux. Des marnes, argiles, argiles sablonneuses et argilites y sont aussi rencontrées. A Slatia et à l'Ouenza, Le Vraconien transgressif est conglomératique à la base et présente un remaniement d'éléments triasiques. La puissance du Vraconien varie entre 480 et 600m (Dubourdieu, 1956)

#### ✓ Crétacé supérieur

Il est présent dans la région avec les termes du Cénomaniens, Turonien, Coniacien-Santonien, Campanien et Maestrichtien.

- **Cénomaniens** : Il est représenté par une série monotone de marnes grises et gris-verdâtres à nombreux filons calcitiques. Dans les niveaux supérieurs, les marnes passent en calcaires marneux à composants gréseux avec des intercalations de calcaires gréseux (0.1 à 0.3m). La puissance du Cénomaniens varie de 600 à 900m.
- **Turonien** : Les formations turoniennes sont rencontrées partout dans la région. Elles constituent les flancs des grands anticlinaux et synclinaux et se manifestent par des calcaires marneux en plaquettes gris foncés à noirs à la base avec, notamment, de la matière organique et de rares concentrations pyritiques et marcassitiques. La puissance de ce banc calcaire varie de 4-5m à 10-12m. Parfois, elle s'effile jusqu'à 1 m au niveau de Oued El Kebarit (au Nord de Mesloulia).

En Tunisie, du côté de Bougrine, ce banc d'une puissance d'environ 20 m renferme une riche minéralisation zincifère et plombo-zincifère. Ce faciès dit "Faciès Bahloul", est considéré comme un important métallotect. Il s'agit d'une alternance de lames millimétriques calcaireuses de couleur brun clair et de celles brun foncé, enrichies par des argiles (kaolin) et de la matière organique.

Ces calcaires caractérisent stratigraphiquement le Cénomaniens supérieur et le Turonien inférieur. Dans la partie supérieure, les sédiments du Turonien sont subdivisés en 05 sous-étages. De bas en haut, on a:

- . C<sup>2a</sup> : marnes calcareuses et calcaires marneux en bancs minces (0.1 à 0.5m).
- . C<sup>2b</sup> : alternance de calcaires marneux, marno-calcaires et marnes argileuses.
- . C<sup>2c</sup> : calcaires en bancs (0.2 à 0.5m) et calcaires marneux.
- . C<sup>2d</sup> : alternance de marnes argileuses et bancs épais de calcaires gris.
- . C<sup>2e</sup> : marnes argileuses, marnes et marno-calcaires.

La puissance totale du Turonien varie de 150 à 200m.

- **Coniacien-Santonien** : Les dépôts du Coniacien-Santonien ne sont pas subdivisés à cause du manque de faune caractéristique. Ils sont localisés dans les limites d'anticlinaux et synclinaux dans toute la région. Cet étage est marqué par des dépôts de marnes argileuses grises, verdâtres et jaunes grises, à plaquettes de calcite fibreuses et intercalations de marnes à Lumachelles. Leur puissance varie de 200 à 500m.
- **Campanien** : Les formations de cet étage sont localisées dans la partie Nord de la région (anticlinal de Djebel Ragouba, Djebel Berda, Djebel Frina, El Khanga) et dans la partie Sud dans la région d'El Ma Labiod. Elles sont également présentes dans l'effondrement Aurès-Kef, au niveau du synclinal Taoura-Merahna, où elles se trouvent recouvertes par des formations plus jeunes.

Le Campanien est subdivisé en 03 sous-étages. A la base, on a les marnes gris-verdâtres et gris clairs, surmontés par un deuxième niveau qui se manifeste par des calcaires gris, blancs crayeux en bancs minces (0.3 - 0.6m). Le sommet de la série est représenté par des calcaires gris, blancs argileux et des marnes calcaires. La puissance du Campanien varie de 300 à 600m.

Il est à noter que dans les limites de l'anticlinal Ragouba-Djebel Berda, les calcaires campaniens encaissent des filons calcitiques à minéralisation plombo-zincifère. Ces filons ont une orientation prédominante NO-SE.

- **Maestrichtien** : Les dépôts maestrichtiens sont localisés principalement dans la partie Nord de la région (de Souk-Ahras à Djebel Frina), où ils forment les flancs de l'anticlinal de Djebel Frina. Ils sont aussi localisés au Nord de Taoura, dans le synclinal Taoura-Merahna et dans l'anticlinal d'El Ma Labiod au Sud de la région. Il s'agit de calcaires massifs, épais, gris blancs avec des intercalations de marnes gris vertes. La puissance du Maestrichtien varie de 250 à 300m. Dans les calcaires du Maestrichtien est encaissée une minéralisation plombo-zincifère et cuprifère. Cette dernière est localisée dans des filons de calcite, galène et sphalérite, de

direction transverse à l'orientation des plis. C'est le cas de l'anticlinal de Djebel Ragouba-Djebel Berda et de la zone faillée Nord (El Khanga, El Khariga).

## **B. Tertiaire**

Les formations tertiaires sont représentées par celles du Paléogène et du Néogène (David, 1956).

- **Paléogène** : Il se manifeste dans la région par les formations de l'Eocène.

- **Eocène** : L'Eocène est localisé dans la partie Nord de la région, devant le front des nappes telliennes au Nord de Tébessa et au Sud de la région d'El Ma Labiod. Il est représenté essentiellement par des marnes grises à matière organique, des calcaires gris en alternance avec des marnes, des calcaires bitumineux et des schistes.

Dans la partie Nord de la région, des minéralisations cupro-ferrifères et plombo-zincifères contenant de l'or et de l'argent, sont encaissées dans les marnes et les calcaires de l'Eocène. Ces minéralisations sont localisées dans les zones de bréchification, développées au contact du Campanien-Maestrichtien et avec les argiles et grès de l'Oligo-miocène. La puissance de l'Eocène est estimée à 200m.

- **Néogène** : Le Néogène est marqué par les formations du Miocène inférieur et moyen et celles du Mio-pliocène.

- **Miocène inférieur et moyen** : Ils se manifestent par des conglomérats, grès, argiles, marnes et des calcaires lacustres. Ces dépôts transgressent sur les formations les plus anciennes de la région et sont localisés au Nord de l'axe Bou Jaber-Boukhadra-Sedrata. Ils occupent aussi une grande surface au Nord-Est de l'Ouenza, au contact avec les formations du Trias (David, 1956). La puissance du Miocène varie de 50 à 200m.

Il est à signaler que dans le gisement antimonio-zincifère de Hammam N'Baïls (au Nord-Ouest de la région), les principales roches encaissantes sont des calcaires lacustres et des argiles sablonneuses rouges et noires du Miocène. Ces formations gisent sub-verticalement à proximité du contact tectonique avec le Trias.

- **Mio-pliocène** : Localisé surtout dans la moitié Nord de la région, il est représenté par des conglomérats bariolés, grès et sables, argiles et calcaires lacustres. Sa puissance est d'environ 150m.

## **c. Quaternaire**

Les dépôts quaternaires occupent les parties basses du relief et couvrent des surfaces importantes de la région. Ils renferment des groupes génétiques différents : croûtes calcaires, limons, cailloutis et poudings. Leur puissance varie de 1 et 50m.

De cette stratigraphie il en ressort que plusieurs niveaux stratigraphiques sont litho-logiquement et structurellement favorables pour la formation de minéralisations polymétalliques et/ou ferrifères : Aptien-Albien, Cénomaniens-Turonien, Eocène moyen-supérieur et Mio-pliocène. Leur lien spatial avec les corps diapiriques du Trias est un trait caractéristique de ces minéralisations dans la région.

### 1.3 Tectonique

La région d'étude appartient à l'Atlas saharien extrême oriental du point de vue structural. Elle est caractérisée par de puissantes formations méso-cénozoïques. Ces dernières sont percées en plusieurs endroits par des formations du Trias diapirique et interrompues par des fossés d'effondrement. Les principaux traits structuraux marquant la région sont la subsidence, le diapirisme, les fossés d'effondrement et les traces des différentes phases tectoniques ayant affecté la région (Fig.1.04). Ces traits structuraux se résument en quatre phases majeures :

- l'accumulation d'une série sédimentaire très épaisse (subsidence)
- le diapirisme des formations triasiques
- le plissement des séries sédimentaires suivant la direction atlasique (NE-SO)
- la création de fossés d'effondrement orientés NO-SE à Est-Ouest.

#### 1.3.1 Traits structuraux

**a. La subsidence :** L'accumulation sédimentaire totale a atteint selon Dubourdiou (1956) une puissance d'environ 4000 à 5000m, alors que les estimations bathymétriques selon certains auteurs ne dépassent pas quelques centaines de mètres. Sur le plan régional, le taux de la subsidence a varié dans le temps et dans l'espace. La sédimentation a été perturbée au moins dès l'Aptien et à divers reprises par la création de hauts-fonds, sur lesquels s'est déposée une sédimentation carbonatée sub-récifale. Ces hauts-fonds ont, semble-t-il, été induits par l'activité diapirique des formations triasiques, qui a pu être initiée, pour certains auteurs par le jeu des accidents du socle (Masse et Chikhi-Aouimeur, 1982). Cette dernière hypothèse ne semble, cependant, pas être nécessaire pour le déclenchement du processus de la subsidence (Talbot et al., 1987).

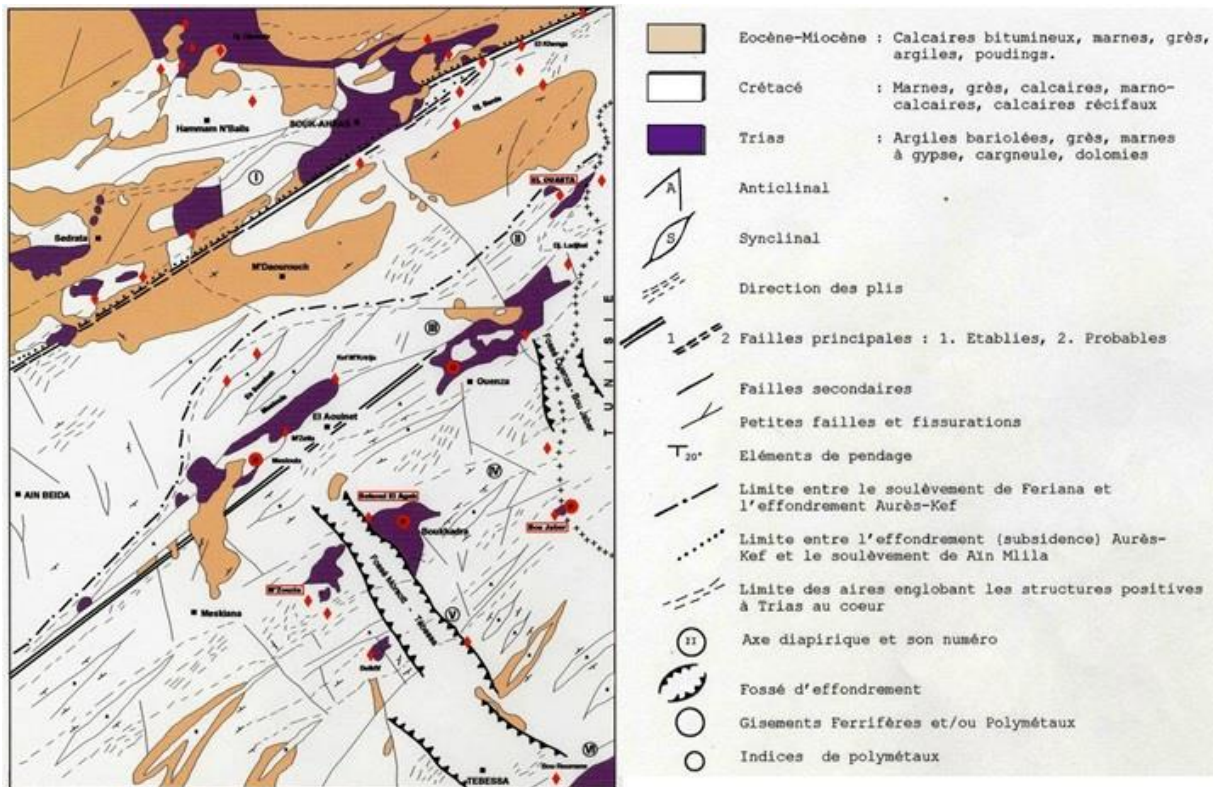


Figure 1.04 : Schéma tectono-géologique de la région Souk Ahras-Tébessa (O.R.G.M, 1991 et 1995)

**b. Le diapirisme :** Les formations triasiques affleurent dans la région sous forme de nombreux pointements, sur une bande d'environ 80km de direction NE-SO. Elles sont le plus souvent masquées par des formations plus jeunes.

La mise en place de ces diapirs a fait l'objet de nombreux travaux depuis ceux de Termier (1906) jusqu'à ce jour. Toutefois leur mise en place par halocinèse est largement admise (Perthuisot, 1978). Il s'agit là du mouvement ascensionnel des évaporites, résultant sans ambiguïté de la simple poussée d'Archimède (Trusheim, 1960). En d'autres termes, c'est le mouvement ascensionnel spontané des évaporites (sel) dans une couverture sédimentaire.

Le percement des masses évaporitiques a été reconnu depuis longtemps au Nord de la région dans le sillon tellien. Quoique; localement, les nappes de charriage, dans leur déplacement ont prélevé une semelle d'évaporites. Ce phénomène a engendré le décoiffement des extrusions diapiriques (Caire, 1951; Rouvier, 1977; Aoudjehane, 1989).

Selon Zerdazi (1990), la gravimétrie ne reflète pas toujours le développement des structures diapiriques dans la région à cause de l'absence de contraste de densité entre les formations diapiriques et les formations constituant la subsidence des synclinaux de bordure. Cela concorde avec les résultats gravimétriques qui indiquent des anomalies négatives au-dessus des subsidences.

- **Indices de l'activité diapirique :** Les études faites sur les différents indices de l'activité diapirique enregistrés dans la sédimentation montrent l'existence d'époques ou de phases communes à de nombreux massifs. Il s'agit essentiellement des remaniements sédimentaires d'éléments triasiques, des changements de faciès, des constructions récifales, des variations importantes des épaisseurs, des lacunes de sédimentation, etc.

Les indices d'activités diapiriques, les plus anciens dans la région, sont d'âge Aptien. Ils ont été signalés à l'Ouenza (Thibiéroz et Madre, 1976), où les galets de dolomies perforés par du Trias sont repris tout au long de la sédimentation des calcaires gargasiens (Bouzenoune, 1993). Ces derniers montrent aussi d'importantes variations de faciès et d'épaisseur. Des remaniements semblables, ont été également signalés à la base de la série calcaire de l'Albo-aptien de Djebel Mzouzia (Otmanine, 1987) et à Boukhadra (Nedjari, 1984).

Parmi les conséquences du diapirisme, on note celles enregistrées dans les structures de Slata et de l'Ouenza. Le percement et le déversement des formations triasiques ont provoqué le renversement de la couverture albo-aptienne, qui a été ensuite scellée, à Slata par la discordance du Vraconien transgressif. Ce renversement a été daté à Slata de l'Albien supérieur (Smati, 1986; Perthuisot et al., 1988). Le Vraconien transgressif est conglomératique à la base et présente un remaniement d'éléments triasiques, aussi bien à Slata qu'à l'Ouenza. Une autre phase, datée du Cénomaniens a été signalée au Djebel Lorbeus en Tunisie (Perthuisot, 1978), au Djebel Chambi (Chihi et al., 1984) et a été envisagée au Belkfif (Otmanine, 1987).

Dans le Crétacé supérieur, au niveau de Fedj El Adoum dans le sillon tunisien, des variations considérables dans les épaisseurs ont été déterminées. Ces dernières sont la preuve du jeu synsédimentaire du diapir (Laatar, 1980).

Du côté de Khenchla, sur le bord Sud du sillon Aurès-Kef, des galets du Trias sont remaniés dans les calcaires récifaux au Sénonien (Lessard, 1955). Le percement s'est manifesté aussi, par les variations rapides d'épaisseurs et de faciès des récifs santoniens (Camoïn et al., 1990).

En Tunisie septentrionale, au Djebel Ech Cheid, la sédimentation a subi des perturbations à partir du Crétacé supérieur. Ces perturbations sont traduites, particulièrement, par des réductions d'épaisseur. Le remaniement du quartz automorphe et autres débris du Trias dans la sédimentation du Lutétien supérieur a permis de dater le percement des masses triasiques de cette époque (Perthuisot, 1972).

Le remaniement des éléments du Trias sont également connus dans les dépôts miocènes. Notamment à l'Ouenza et à Boukhadra, où ces derniers sont strictement transgressifs et discordants sur le Trias (Dubourdieu, 1956).

Sous l'action des contraintes des phases tectoniques récentes - Miocène supérieur, Villafranchien - les formations triasiques ont pu être localement mobilisées à Boukhadra (Dubourdiou, 1956) et au Sud de Belkif (Otmanine, 1987). En Tunisie, des percements de Trias se sont effectués au travers des nappes minces en place et ce durant le Miocène (Rouvier, 1977).

En résumé, on constate que ces différentes phases de percement ne se limitent pas à un seul massif, mais se retrouvent dans plusieurs sites. Ce synchronisme a conduit à proposer un certain nombre de phases de percement diapirique, notamment : les phases aptiennes, anté-miocènes et anté-lutésiennes (Rouvier et Perthuisot, 1991).

**c. Les plissements :** La région est caractérisée par la présence d'anticlinaux à grands rayons de courbure, de direction atlasique NE-SO. Les anticlinaux sont, le plus souvent, percés dans leur charnière par du Trias diapirique. Ils montrent également des terminaisons périclinales et sont généralement relayés entre eux par de vastes structures synclinales. Leur extension est, parfois, interrompue par les accidents orthogonaux qui bordent les fossés d'effondrement (Fig.4).

Les anticlinaux avec leur allure actuelle, résultent des compressions néogènes. Toutefois, l'âge exacte de leur formation est très discuté : en Algérie, la phase majeure a été considérée comme étant comprise entre l'Eocène et le Miocène, en raison de l'existence d'une discordance entre le Miocène marin et les terrains du Crétacé et de l'Eocène (Dubourdiou, 1956; Dubourdiou et Durozoy, 1956; Bles, 1969; Bles et Fleury, 1969; Vila, 1980; Kazi-Tani, 1986). En Tunisie centro-septentrionale, l'épisode compressif majeur a été daté du Miocène supérieur avant et pendant le dépôt des formations molassiques du Tortonien-Messinien (Rouvier, 1972, 1977). Les études microtectoniques récentes ont montré que le jeu de failles bordières des fossés d'effondrement est intervenu dès le Crétacé. Ce phénomène s'est poursuivi en distension pendant le Miocène inférieur et moyen et rejoué ensuite lors des serrages du Miocène supérieur et du Quaternaire ancien (Chihi, 1984; Chihi et al., 1984; Chihi et Ben Ayed, 1991); optant, ainsi, pour une phase compressive (à l'origine de la formation des anticlinaux de la région) entre l'Eocène et le miocène.

**d. Les fossés d'effondrement :** Les fossés d'effondrement sont orientés NO-SE à Est-Ouest. Ils sont souvent bordés par des accidents majeurs ayant joué en failles normales.

La formation des fossés d'effondrement est très discutée; pour certains auteurs (Dubourdiou, 1956; David; 1956; Castany, 1951, 1954; Kazi-Tani, 1986), ces fossés résultent d'une activité tectonique distensive post-miocène inférieur. Les fossés de Ouled Bou Ghanem et de Tébessa-Morsott se sont effondrés respectivement après le Miocène inférieur et pendant le Quaternaire (Dubourdiou et Durozoy, 1950). Quant au grabben de Tébessa-Morsott, selon Otmanine (1987), il s'est ouvert par de petites failles N140 à N160 à la suite d'une phase tectonique distensive NE-SO, qui est postérieure au

Miocène. Pour d'autres auteurs (Bismuth, 1973; Chihi et al., 1984; Ben Ayed et al., 1990), les premières manifestations d'effondrement de ces grabbens ont commencé au cours de la distension crétacée et l'effondrement majeure a eu lieu durant le Miocène (Aquitaniens-Tortonien).

Ces fossés sont comblés par des dépôts récents, notamment du Quaternaire (graviers, limons) avec des épaisseurs difficiles à quantifier. A Tébessa, un forage d'eau a traversé ces dépôts sur une profondeur de 171m sans toutefois atteindre le substratum crétacé (Dubourdiou et Durozoy, 1950). Dans le fossé de Kasserine (Tunisie), l'épaisseur de ces séries quaternaires est évaluée à 300m (Zouari, 1984).

Le rejet des accidents bordiers est également variable, il est d'une centaine de mètres à 400 mètres dans le fossé de Tébessa-Morsott et peut aller jusqu'à 1500-1700 m dans le fossé de Ouled Bou Ghanem (Dubourdiou et Durozoy, 1950).

### 1.3.2. Episodes tectoniques.

L'histoire géologique de l'Atlas saharien oriental avant le Crétacé reste inconnue car les terrains les plus anciens affleurant sur le Trias sont du Barrémien.

**a. La distension crétacée :** C'est au cours de cette période que sont apparues les premières ébauches des discontinuités sur lesquelles se sont moulées les futures structures qui caractérisent la région (Bouzenoune, 1993).

- Dès l'Aptien (et peut-être avant), on assiste à l'apparition de failles normales syn sédimentaires affectant le substratum et sa couverture. Ces accidents majeurs ont créé des variations de puissance et de faciès, des discontinuités et des lacunes au sein des séries. Ils ont contribué à déclencher l'ascension du Trias et ont contrôlé, par leurs jeux antérieurs, la formation des fossés d'effondrement et la géométrie des plis atlasiques.
- A l'Albien supérieur, la couverture albo-aptienne est percée par un Trias diapir, entraînant le redressement des couches et donnant lieu à des structures complexes allant des plis évasés aux plis en champignons. Ces structures sont généralement scellées par la transgression vraconienne. Cet épisode a été décelé à Slatat (Tunisie) par Smati (1986) et a été mis en évidence dans plusieurs massifs tels l'Ouenza, M'zouzia et Boukhadra.
- L'épisode cénomaniens a été décrit comme étant distensif Nord-Sud à NE-SO en Tunisie (Bou Grine) par Bles (1982) et compressif de direction NO-SE dans le bassin de

Kasserine (Chihi et al., 1984). Il s'est manifesté, dans la région de Tébessa, par des décrochements traduisant un raccourcissement NE-SO (Otmanine, 1987).

**b. La tectonique polyphasée du Tertiaire :** Le cycle tectonique tertiaire a joué alternativement en extension et en compression. Il est responsable de la configuration actuelle de l'Atlas saharien. Les séries sédimentaires ont été plissées, les fossés se sont effondrés et le phénomène diapirique a été réactivé (Bouzenoune, 1993).

- La phase atlasique, différemment datée, a plissé la région selon des amplitudes variantes, en tenant compte des discontinuités et de la puissance des séries lithologiques préexistantes. Cette phase a donné lieu à une multitude d'anticlinaux et de synclinaux orientés NE-SO à ENE-OSO.
- Une phase distensive, aussi différemment datée, a réactivé les anciens accidents, permettant ainsi la création de fossé d'effondrement.

**c. La tectonique récente :** C'est une phase tectonique qui affecte aussi bien les séries marines crétacées et tertiaires que le Miocène molassique.

Au Nord-Ouest de Belkif, Bles et Fleury (1969) ont mis en évidence une phase distensive qui a provoqué le redressement des couches plio-villafranchiennes. Cette phase a eu lieu à la suite de la réactivation des accidents majeurs qui délimitent le fossé Tébessa-Morsott (Bouzenoune, 1993).

Dans la région de Kasserine (Tunisie), un épisode compressif NNO-SSE du Quaternaire ancien a replissé les mégastructures miocènes dans les sites de Selloum, Chambi et Hamra. D'autre part, au cours du Quaternaire récent, une nouvelle phase compressive NNO-SSE a réactivé les accidents majeurs en décrochements dextres (Chihi et al., 1984).

## Chapitre 2 :

# Le fer en Algérie

---

### 2.1 Généralités :

De symbole (Fe), le fer est le quatrième élément chimique le plus abondant de la croûte terrestre avec une concentration moyenne de 7%, derrière l'Oxygène, le Silicium et l'Aluminium (Taylor & Mc Lennan, 1985). Selon Marshall & Fairbridge (1999). Il possède trois étages d'oxydation : FeO (Fer élémentaire), Fe<sup>2+</sup> (Ferreux) et Fe<sup>3+</sup>(Ferrique). On le retrouve dans de nombreuses classes minéralogiques. À l'état ferreux, il est associé au Magnésium dans les silicates (Olivine, Pyroxène, Amphibole et Biotite) et il se trouve également à l'état réduit, notamment, dans les sulfures (Pyrite, Marcassite, Pyrrhotite, etc...) et les carbonates (Sidérite, Ankérite, ...).

#### 2.1.1 Minerai de fer :

Le minerai de fer est une combinaison de minerais desquels le fer métallique peut être extrait de façon rentable. Il s'agit d'une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxyde, comme l'Hématite. Les minerais de fer ont une teneur en fer variable selon le minéral ferrifère. Il fer est généralement commercialisé sous la forme d'un minéral plutôt que d'un métal, Il présente de nombreuses variantes chimiques et physiques qui servent à fournir le fer nécessaire à l'élaboration de l'acier ou à des fins non métallurgiques (oxyde de fer entrant dans la fabrication de pigments, d'appareils électroniques, d'abrasifs et de matériaux de constructions).

Il est principalement utilisé à 98% pour la fabrication d'acier et les 2% restants sont utilisés dans diverses applications :

- La **poudre de fer** dans certains types d'aciers, des aimants, des pièces d'automobiles et des catalyseurs ;
- Le **fer radioactif Fe59** est utilisé **en médecine** comme élément traceur dans la recherche biochimique et métallurgique ;
- Le **bleu de fer** dans les peintures, l'encre d'imprimerie, les plastiques, les produits cosmétiques, les couleurs de peintre, le bleu de lessive, la teinture de papier, l'engrais, les finis en émail cuit sur les véhicules et les électroménagers, et les finis industriels ;

- L'**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. La production de l'acier, quant à elle, stimule presque toute la demande de minerai de fer.

### 2.1.2 Propriétés physiques et chimiques du fer.

Le fer, en tant que corps simple (métal), présente en fonction de la température un polymorphisme métallique. Le corps pur fond à 1538 °C. L'ébullition du fer, caractérisée par une chaleur latente d'ébullition, apparaît vers 2860 °C et en pratique, pour un corps simple plus ou moins impur, entre 2750 °C et 3000 °C.

Combiné à l'oxygène, le fer s'oxyde selon les conditions en trois oxydes de fer : oxyde de fer FeO "oxyde ferreux" ; oxyde de fer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> "oxyde ferrique" ; oxyde de fer Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> "oxyde magnétique". A l'air libre, en présence d'humidité, il se corrode en formant de la rouille constituée d'oxydes et d'oxy-hydroxydes ferriques hydratés (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O et FeO(OH)·nH<sub>2</sub>O). La rouille étant un matériau poreux, la réaction d'oxydation peut se propager jusqu'au cœur du métal.

En solution aqueuse, l'élément chimique fer est présent sous forme ionique avec deux valences principales : Fe<sup>2+</sup> ou fer ferreux) et Fe<sup>3+</sup> ou fer ferrique. Un certain nombre d'ions conduisent à la précipitation des ions du fer en solution. L'ion hydroxyde HO<sup>-</sup> est de ceux-là. L'ion sulfure S<sup>2-</sup> permet de former le sulfure FeS et le sulfure FeS<sub>3</sub> pour des pH pas trop acides.

Concernant l'oxydo-réduction des ions de fer, les potentiels de références des couples du fer sont : Fe<sup>2+</sup>/Fe : E° = -0,44 V et Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> : E° = +0,77 V. On constate que le fer métallique n'est pas stable en milieu aqueux. Il s'oxyde d'autant plus vite que le pH est bas.

## 2.2 Minéraux, dépôts et minéralisations du fer.

Le fer peut se manifester sous des formes minérales diverses : Hématite, Magnétite, Sidérite, Pyrite etc.... (Tab. 2.01 et Tab. 2.02). La majeure partie du fer dans la croûte terrestre est combinée avec l'oxygène, formant ainsi des minerais d'oxydes de fer, tels que : l'Hématite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), la Magnétite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) et la Limonite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O).

Environ une météorite sur vingt comprend de la Taénite, unique alliage de minéral de fer-nickel (fer 35-80%) et de la Kamacite (fer 90-95%). Bien que rares, les météorites de fer sont une source de fer nickelé.

L'autre source naturelle de fer métal légèrement nickelé, sont les gisements de fer tellurique ou fer natif des minéralogistes qui sont plus rares. Environ 90% des gisements de minerai de fer dans le monde sont contenus dans une couche de faible épaisseur et très riche en Fe(II) "fer rubané".

**Tableau 2.01 : Principales formes minérales du minerai de fer**

(R.M. Cornell, U. Schwertmann, 1996 ; A.P. Zhukhlistov, 2001; E. Jansen, A. Kyek, W. Schafer, U. Schwertmann, 2002)

Minerai	Répartition chimique	Couleur	Caractéristiques
<b>MINERAIS OXYDES</b>			
<b>Magnétite</b> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	72,36% Fe 27,64 % O	Gris foncé à noir	Roche très magnétique.
<b>Hématite</b> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	69,94% Fe 30,06% O	Gris acier à rouge vif	Elle a plusieurs origines et modes de genèse. En dehors des roches sédimentaires, l'hématite prend naissance aussi dans les roches métamorphiques, ainsi qu'en petites quantités dans les veines hydrothermales, dans les roches magmatiques et dans les zones d'oxydation. On désigne ordinairement du nom d'hématite les variétés cristallisées et cristallines plus dures. L'hématite micacée est une hématite lamellaire qui se présente en grains, souvent associé au quartz. Si elle est stratifiée et forme une roche, on la désigne comme micaschiste ferreux ou itabirite. Les gisements d'hématite sont très nombreux dans le monde. Les gisements les plus riches se trouvent en Suède et en Russie.
<b>Goethite</b> FeO (OH)	60-65%	Noire-marron	La goethite est tout d'abord un produit d'altération d'autres minéraux de fer, dont la pyrite, la magnétite et la sidérite. Elle se forme ne même temps que la limonite par oxydation de la pyrite ou par déshydratation de la limonite elle-même. Dans divers gisements, elle est aussi associée à l'hématite, à des oxydes de manganèse et à la calcite. On en trouve aussi à l'intérieur de géodes de quartz formées dans des environnements hydrothermaux. Les gisements les

			plus connus sont le Siegerland (Allemagne) et Cornouailles (Grande-Bretagne).
<b>Limonite</b> <b>(Hématite brune)</b> $\text{FeO(OH).nH}_2\text{O}$	62,85% Fe 27,01% O 10,14% $\text{H}_2\text{O}$	Jaune ou marron, parfois noire	Elle se forme très fréquemment un peu partout, surtout par oxydation d'autres minerais de fer. Les deux principaux minéraux dont fait partie la limonite sont la goethite et la lépidocrocite. Elle est abondante dans les minerais oolithiques. Les plus importants gisements se trouvent en Suède et en Finlande où on l'appelle "fer des marais" ou "fer des lacs", parce qu'elle se forme au fond de certains lacs, sous l'action de micro-organismes.
<b>Ilménite</b> $\text{FeTiO}_3$	36,80 % Fe 31,57% Ti 31,63% O	Noire	Parfois en association avec de petites quantités de magnétite. Généralement exploitée pour le titane qu'elle contient. Le minerai de fer est extrait en tant que sous-produit. cette roche n'est pas magnétique.







### LES CARBONATES

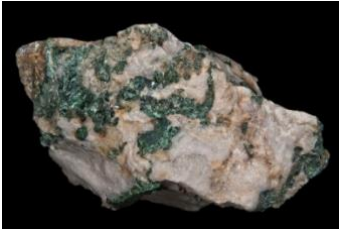
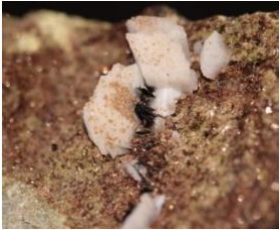
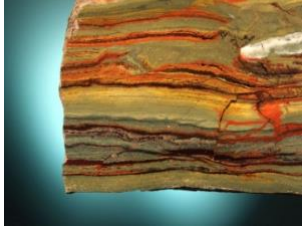
<b>Sidérite</b> $\text{FeCO}_3$	48,20% Fe 37,99% $\text{CO}_2$ 13,81% O	Blanche à grise verte, brune en présence d'humidité	On la trouve dans les roches sédimentaires (calcaires et schistes), dans les filons hydrothermaux et dans les filons métallifères. Elle est rarement pure à l'état naturel. On la rencontre le plus souvent avec le Ti ou le Ni. Elle s'altère en limonite ou goethite. les solutions hydrothermales, en traversant les formations carbonatées, dissout le calcaire qui est substitué par la sidérite (métamorphose hydrothermale). Pendant ce processus, il se forme du carbonate de calcium (Fleur de fer). Le plus important gisement est l'Erzberg (Eisenerz, Autriche)
<b>LES SILICATES</b>			


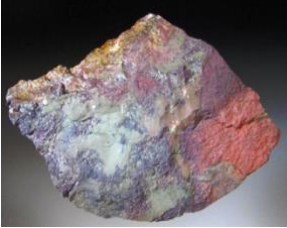
<p><b>Chamosite, Stilpnomélane, Greenalite, Minnesotaite, Grunerite</b></p>	<p>La formulation chimique est difficile, vu qu'il s'agit d'un groupe très complexe d'aluminosilicates alcalins de Mg, Al, Mn, Ba et fer.</p> <p>Les minerais de ce type, bien que d'une importance assez limitée en tant que tels pour la production de minerai de fer, présentent un certain intérêt en tant que source de minerais oxydés.</p>		
<p><b>LES SULFURES</b></p>			
<p><b>Pyrite</b> FeS<sub>2</sub>  (Or des fous)</p>	<p>46,55% Fe 53,45% S</p>	<p>Jaune cuivré</p>	<p>C'est la roche contenant du minerai de fer la plus répandue. Comme l'ilménite, elle n'est souvent pas exploitée pour le fer mais pour sa teneur en soufre. Le fer en est exploité comme sous-produit. On la trouve dans des roches de toute nature et de tout âge géologique, mais surtout dans les roches métamorphiques et sédimentaires associées à des milieux réducteurs. A l'état primaire elle est sous forme d'imprégnation ou disséminée dans la roche. La pyrite est souvent associée à des gisements de houille et à des lits argileux. Les principaux gisements sont : Italie (Gavorrano), Grèce (la Chalcidique) (Grèce), Suède (Gallivare) et Etats-Unis (Utah). Les principaux producteurs : l'Espagne (Rio Tinto) et le Japon.</p>
<p><b>Pyrrhotite</b> FeS<sub>2</sub></p>	<p>60,4% Fe 39,6% S</p>	<p>Jaune- Bronze</p>	<p>On le trouve couramment avec la Pentlandite et d'autres sulfures dans des roches ignées pauvres en silice : Kongsberg (Norvège), Andreasberg (Allemagne), Trentin (Italie) et Sudbury (Canada). La variété Troilite, dont la composition est proche de celle du sulfure de fer (FeS), est un constituant important de certaines météorites.</p>
<p><b>Marcassite</b> FeS<sub>2</sub></p>	<p>46,55% Fe 53,45% S</p>	<p>Jaune- cuivré</p>	<p>D'origine hydrothermale ou sédimentaire, la marcassite associée généralement à la galène, à la sphalérite, à la pyrite, etc... et à d'autres sulfures. On la trouve le plus souvent avec la pyrite dans le charbon et dans les roches sédimentaires ou métamorphiques. Elle forme des concrétions dans l'argile et dans le calcaire et apparaît, mais plus rarement, dans certaines veines de minerais. On a les gisements de : Folkestone, Douvres et Freiberg (Sud de l'Angleterre), Monts des Géants et Sokolov (Tchécoslovaquie), Cap Blanc Nez (France).</p>

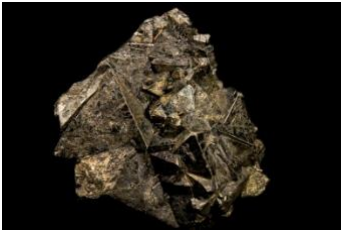


*Tableau 2.02 : Illustrations des principales formes minérales du minerai de fer*

**Types de Minerais**

MINÉRAIS OXYDES		
<p><b>Magnétite</b> <math>\text{Fe}_3\text{O}_4</math></p> 	<p><b>Hématite</b> <math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></p> 	<p><b>Goethite</b> <math>\text{FeO}(\text{OH})</math></p> 
Magnesia, Thessalie (Bolivie)	Hématite, Col de Couraduc. Hautes-Pyrénées (France)	Goethite, Mine de fer de <u>Dunet</u> , Indre (France).
<p><b>Limonite (Hématite brune)</b> <math>\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}</math></p> 	<p><b>Ilménite</b> <math>\text{FeTiO}_3</math></p> 	
Limonite, Gaofeng Mine (Chine)	Ilmenite sur épidote, Crique de Bilhéric, île de Groix, Morbihan (France)	
LES CARBONATES		
<p><b>Sidérite</b> <math>\text{FeCO}_3</math></p> 		

LES SILICATES		
<p><b>Chamosite</b></p> 	<p><b>Stilpnomélane</b></p> 	<p><b>Greenalite</b></p> 
Vielsalm, Bastogne, Province de Luxembourg (Belgique)	Stilpnomelane et adulaire du mont-Chemin en Valais (Suisse)	Biwabik, St. Louis County, Minnesota (USA)

<b>Gruenerite</b>	<b>Minnesotaite</b>
	
Gruenerite, North of Keystone, South Dakota (USA)	<b>Empire mine, Marquette iron range, Michigan (USA)</b>

<b>LES SULFURES</b>		
<b>Pyrite</b> FeS <sub>2</sub>  (Or des fous)	<b>Pyrrhotite</b> FeS <sub>2</sub>	<b>Marcassite</b> FeS <sub>2</sub>
		
Pyrite - Mines de Huaron (Pérou)	Pyrrhotite et quartz Bluebell Mine - Colombie Britannique (Canada)	Marcassite en rognon, Carrière de Beez, Namur (Belgique)

## 2.3 Etat des lieux des substances ferrifères :

### 2.3.1 Historique :

- Durant l'époque coloniale, la recherche et l'exploitation minières du fer s'intéressaient uniquement aux gisements sub-affleurant, peu profonds, faciles à exploiter et à teneur riche en fer.
- La première exploitation de fer en Algérie a débutait approximativement durant l'année 1867 à Béni Saf par la société Mokta El Hadid (ASGA, 2023).
- De 1865 à 1966, plus de 117 millions de tonnes de minerai de fer ont été extraites, dont 100 Mt provenaient des principales mines de l'Ouenza et Boukhadra (Tébessa), Timezrit (Béjaia), Rivet El Maden (Blida), Zaccar (Ain Defla) et Béni Saf (Ain Témouchent). Le reste provenait des 28 petites exploitations fermées avant l'indépendance pour diverses raisons.

- En 1921 et 1925, la société de l'Ouenza entama, respectivement, l'exploitation des plus grands gisements connus à l'époque de l'Ouenza et de Boukhadra (ORGM, 1990).
- A l'aube de l'indépendance, des missions de recherches minières et géologiques, guidées par le Bureau Algérien de Recherches et d'Exploitations Minières (BAREM), étaient programmées à travers le territoire national en vue d'établir un bilan sur les gisements connus et de déterminer les terrains privilégiés et perspectifs pour la mise en évidence des gisements de substances métalliques et/ou non métalliques.
- En 1967 (création de la SONAREM), la participation algérienne dans la production mondiale en minerai de fer était de l'ordre de 0,48% avec 3Mt/an (22<sup>ème</sup> place sur 43 producteurs mondiaux et la 4<sup>ème</sup> place des producteurs en Afrique).
- De 1964 à 1988, des campagnes de recherche et d'explorations minières étaient effectuées sporadiquement sur certains gisements et anciennes exploitations et depuis, pratiquement aucune campagne n'a été mise en œuvre pour déterminer et circonscrire le potentiel géologique ferrifère national, à l'exception des quelques campagnes de prospection à caractère régional qui ont été entreprises par la SONAREM, puis l'EREM (actuel ORGM) dans les régions suivantes :
  - ✓ Petite Kabylie (1972-1974) ;
  - ✓ Région de Collo (1972-1984) ;
  - ✓ Région de l'Ouenza-Boukhadra (1976-1979) ;
  - ✓ Nord-Est algérien (1985-1988).

### **2.3.2 Inventaires des ressources en fer :**

Les grandes concentrations de fer sont localisées principalement dans la partie nord-est du pays avec 259 concentrations, la région Ouest avec 69 concentrations et le centre et le Sud algérien avec respectivement 16 et 33 concentrations (Bouterfas, 2015).

L'inventaire minéral ferrifère en Algérie est représenté comme suit (Tab. 2.03) ci-après :

**Tableau 2.03: Inventaire minérale ferrifère de l'Algérie (ASGA, 2023)**

Etat	Inventaire
<b>Les anciennes exploitations abandonnées</b>	Environ 80 exploitations de gîtes de fer durant l'époque coloniale ont été dénombrées à travers le pays. La majorité de ces dernières sont proches des régions littorales (Port d'exportation) et sont caractérisées par leur qualité des minerais et leur exploitation facile. Il s'agit principalement des gisements de l'Ouenza, Boukhadra, Timezrit, Béni Saf, Zaccar et Khanguet, dont l'exploitation a continué après l'indépendance, jusqu'aux années 1976-1980.
<b>les gisements en cours d'exploitation</b>	Sept (07) mines de fer sont en activité : Six (06) sont situées à l'Est : Ouenza, Boukhadra, Khanguet, Chaabet el Ballout, Anini et, Aïn Babouche ; et (01) une à l'Ouest du pays : Rouina Aïn Defla),
<b>les gisements étudiés, en cours d'exploration et non exploités</b>	<p>Les campagnes de prospection engagées en Algérie, depuis la SONAREM (1967), et celles par la SONAREM-ORGM (1971-1988), ont permis de mettre en évidence ce qui suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>District de l'Edough-Filfila</b> : 25 anomalies magnétiques (Boumaïza - Tebeiga, Aïn Mokra Sud, Aïn Dahlia, Karezas, Draa Mereba, etc.). Seul le gisement de Boumaïza a été dégagé</li> <li>• <b>District de l'Ouenza-Boukhadra</b> : On a les mines de l'Ouenza et de Boukhadra (en activité) et les petits gîtes localisés au voisinage immédiat de ces dernières : Koudiat Souda, Kahkouh (Ouenza) et Aïn Zazia (Boukhadra).</li> <li>• <b>District de Petite Kabylie</b> : Gîtes de Euch El Bez, Collo, Aïn Sedma, Oued Bibi, Cavallo et Bou Mraou (Amizour)). L'unique gisement ayant un intérêt industriel est celui de Bou Mraou (Amizour).</li> <li>• <b>District de Grande Kabylie</b> : Quelques indices de fer à magnétite-hématite, sans valeur économique : Aïn Oudrer, Haizer, Béni Kou- fi, Lakhdaria, Béni Douala, Bou Hatén et Ighil Aghbalou.</li> <li>• <b>District de Ghazaouet-Nedroma</b> : Quelques indices ferrifères sans intérêt économique avec hématite-limonite-sidérite, sous forme D'amas stratiformes, lentilles et nids.</li> <li>• <b>Région de Béni Saf</b> : Deux gisements ont été étudiés : Camerata et Sidi Safi.</li> <li>• <b>Région d'Oran-Arzew</b> : Six (06) gîtes répertoriés dans la région, le plus important est celui de Kristel-I.</li> <li>• <b>Région de Ténès-Cherchell</b> : Une trentaine (30) d'indices répertoriés, seul le gîte de Breira est retenu.</li> <li>• <b>Région du Zaccar</b> : Trente-sept (37) gîtes et indices sont répertoriés. Le plus important est le gisement de Zaccar (déjà épuisé).</li> <li>• <b>Régions Sud-Bassin de Tindouf</b> : Gisements de Gara Djebilet et de Mechri Abdelaziz.</li> </ul>
<b>les gisements et indices non étudiés</b>	Plus de 250 indices et points de minéralisations ferrifères, répartis sur les divers grands domaines géologiques de l'Algérie. Il s'agit notamment du : Socle Kabyle (79), de l'Atlas Tellien (72), des Hauts-Plateaux (19), de l'Atlas saharien (44) et de la Plateforme saharienne (plus de 30 indices).

# Chapitre 3 :

## Analyse des données aéromagnétiques

---

### 3.1 Introduction :

Les données numériques utilisées dans ce travail, font partie du levé aéroporté magnéto-spectrométrique, couvrant tout le territoire national, effectué par la compagnie Américaine Aeroservice Corporation, entre 1971 et 1974 et avait pour objectif la recherche minière et la cartographie géologique régionale.

Dans ce chapitre, nous effectuons une analyse complète des données aéromagnétiques contenant les trois volets : prétraitement, traitement et interprétation. D'abord, nous décrivons sommairement les paramètres et les procédures adoptées pour le prétraitement du levé, suivi d'une brève critique de la qualité et de la précision des données mesurées au-dessus de la région de Souk Ahras et Tébessa. Puis, nous appliquons aux données corrigées une variété de filtres numériques et ce, dans le but d'améliorer leur qualité. Enfin nous effectuons une interprétation qualitative et quantitative des différentes cartes magnétiques.

### 3.2 Acquisition des données numériques :

#### 3.2.1 Paramètres du levé aérogéophysique :

La région d'étude (Souk Ahras – Tébessa), est située à l'extrême Nord-Est du pays, elle est comprises entre les méridiens « 7.5° et 8.5°E » et les parallèles « 35.3° et 36.5° N » (Fig. 3.01). La couverture Magnéto-Spectrométrique, au-dessus de la zone d'étude, a été réalisée avec les paramètres suivants :

- Distance entre les lignes de vol : 2 Km ;
- Intervalles entre les lignes de traverse : 10 Km ;
- Altitude de vol 150 m ;

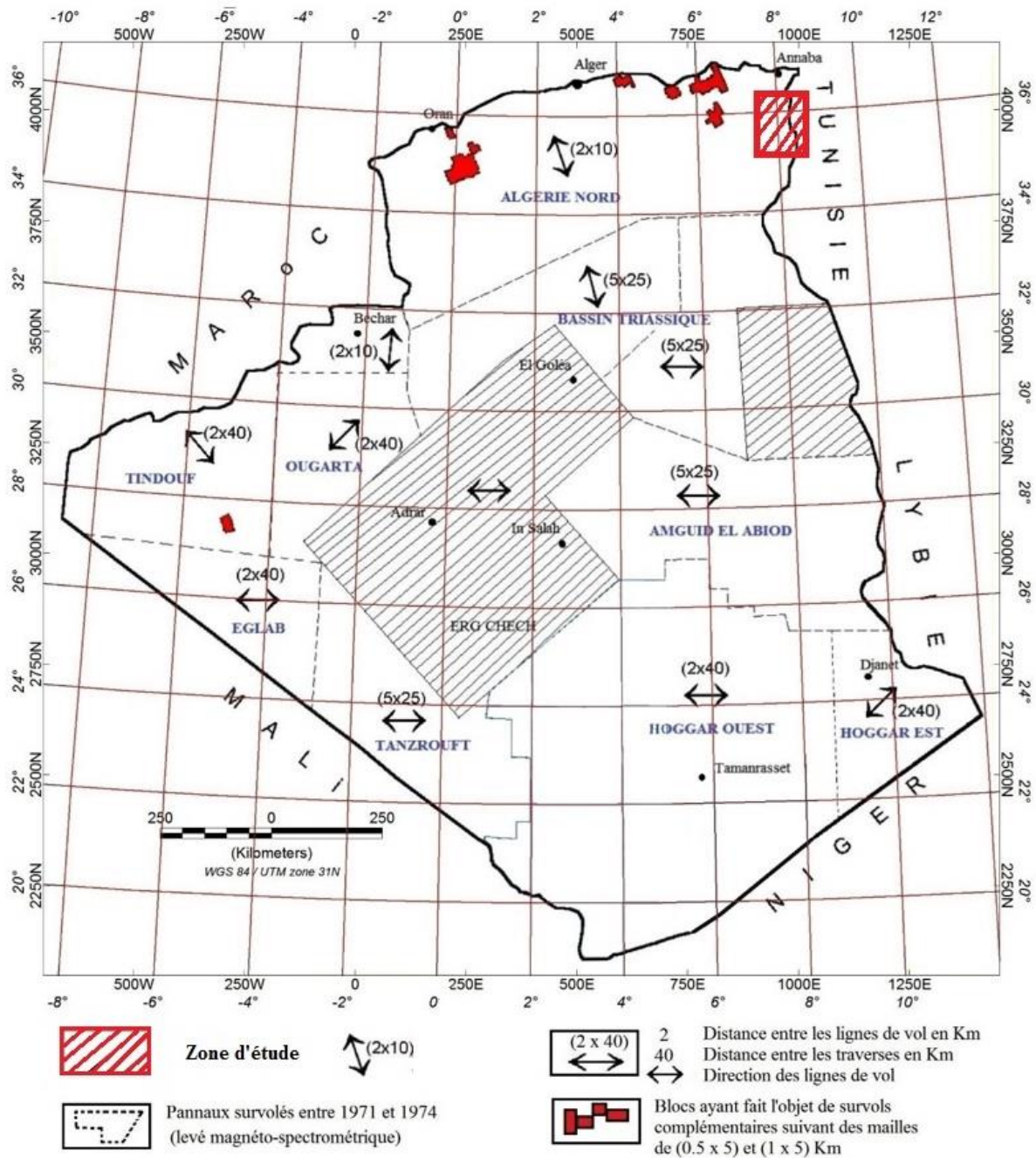
- Direction des lignes de vol : Nord 160° (NW-SE) ;
- Pas d'échantillonnage : 152 pieds (46.2 m).

### **3.2.2 Présentation des données numériques :**

Au cours de la mise en œuvre du levé aérogéophysique, l'enregistrement des données a été effectué sur des bandes magnétiques. A l'arrivée de ces bandes au centre de compilation, les données passaient par plusieurs étapes de traitement préliminaire. Après avoir effectué les différentes corrections, des cartes magnétométriques, ainsi que des cartes des plans de vol à différentes échelles ont été élaborées. Les coordonnées sont projetées dans le système Universal Transverse Mercator (UTM), zone 32 Nord (zone comprises entre les méridiens 6° et 12° Est, hémisphère Nord), suivant l'ellipsoïde de référence Clarke 1880.

Dans le cadre de ce mémoire, nous exploitons un fichier numérique (extension .xyz) contenant uniquement les données magnétiques, extrait du fichier global dont, chaque ligne de vol comprend trois champs d'enregistrement :

- Coordonnée X (Projection UTM) en kilomètres ;
- Coordonnée Y (Projection UTM) en kilomètres ;
- Champ magnétique total en nano Tesla (nT) ;



**Figure 3.01 : Caractéristiques du levé aérogéophysique couvrant le territoire national. (D'après Aeroservice Corporation, 1975)**

### 3.2.3 Evaluation de la qualité des mesures :

- **Mise en œuvre du levé :** Du fait du caractère régional du levé et vue la distance entre les lignes de vol qui est de l'ordre de 2 Km, seuls les zones anormales et les anomalies étendues ont pu être mise en évidence. Pour une étude régionale, on peut dire que les paramètres de vol préétablis, montre dans l'ensemble une bonne conformité, à l'exception de l'altitude de vol au niveau des variations brusques du relief. Le choix d'une distance de 10 km entre les lignes de

traverse peut être considéré largement suffisant pour la correction des variations transitoires du champ magnétique terrestre.

- **Mesures :** Selon le rapport final d'Aeroservice, l'enregistrement du champ magnétique à la station de base au sol est dicté uniquement par la nécessité de s'assurer que le levé était exécuté durant les périodes calmes. Pour les corrections diurnes, il paraît qu'Aeroservice a utilisé des équations polynomiales du 2ème ou 3ème ordre qui sont calculées sur la base des écarts aux points d'intersection entre lignes et traverses, cette technique, adoptée par d'autres compagnies, a montré sa fiabilité quand les points de mesure sont éloignés de la station de base de plus de 50 Km (Allek, 2005).

Il est à noter qu'à l'époque de compilation des données (1974), Aeroservice a procédé à l'élimination du champ régional en utilisant l'unique modèle IGRF existant à l'époque (i.e., IGRF65), calculé au 8ème ordre (Aeroservice, 1975), qui n'est pas du plus précis.

Le point de référence théorique par rapport auquel on avait calculé ce gradient régional aurait une valeur de l'ordre de 34 000 nT (Asfirane, 1994), une valeur qui ne représente nullement le champ magnétique au-dessus de la zone d'étude. Pour cela, on peut considérer les valeurs retranscrites sur les fichiers numériques comme étant les mesures d'un champ magnétique total particulier, il est composé des valeurs du champ d'anomalies auxquelles se superpose un champ normal constant de l'ordre de 34 000 nT.

- **Pas de mesure :** La prise de mesure aérienne se fait généralement chaque seconde, par conséquent, la distance entre les mesures est fonction de la vitesse de l'avion. La vitesse moyenne des avions utilisés pour la couverture aéro-géophysique était d'environ 167 km/h. l'intervalle de mesure est de l'ordre de 46.2 m en moyenne (152 pieds). Un examen des données a permis de constater que ce pas d'échantillonnage a été globalement respecté.
- **Déviations des lignes de vol :** Au-dessus de la zone d'étude, la distance nominale entre les lignes de vol est de l'ordre de 2 Km. L'analyse des coordonnées des points de mesures montre que les écarts des trajectoires de la presque totalité des lignes de vol ont été maintenus dans la limite des spécifications préétablies (i.e., déviation maximale de 400 m sur 15Km).
- **Altitude de vol :** L'analyse des mesures de l'altitude radar montre que l'altitude de vol nominale qui est 150 m, n'a pas été vraiment respectée sur toute la région d'étude. Au niveau des bordures des structures montagneuses on a enregistré des altitudes qui dépassent largement la limite admise (250 m au-dessus du sol). Les soudaines déviations d'altitude nominale de vol sont expliquées par le relief montagneux, notamment au dans la partie Nord-Ouest de la région d'étude, qui complique les conditions de vol. En effet, en plus des mesures sécuritaires de vol, il est difficile que l'avion s'adapte avec des tels changements brusques du relief.

### 3.3 Prétraitement des données aérogéophysiques :

L'examen des fichiers des données numériques montre certaines insuffisances ; on constate des cases vides pour certains points de mesures, des valeurs erronées pour d'autres points et des entêtes de caractères alphanumériques pour chaque ligne de vol, ce qui impose des améliorations afin de récupérer l'information perdue et adapter ces fichiers au traitement numérique par la suite. Pour y remédier, un traitement préliminaire a été appliqué aux données brutes au niveau de la Division de l'Etude et de la Qualification des Minerais du Centre de Recherche Nucléaire de Draria (Groune, 2019).

### **3.3.1 Suppression des valeurs erronées :**

Ces valeurs, dues essentiellement aux erreurs d'enregistrement (appareillage), affectent énormément le traitement de données en produisant des anomalies fictives. Pour remédier à ce problème, après les avoir identifiées, ces valeurs ont été éliminées et remplacées par des cases vides. Les zones endommagées sur les bandes magnétiques sont traduites par des valeurs nulles sur les fichiers de données numériques. Pour un traitement minutieux, ces valeurs nulles, sont aussi éliminées et remplacées par des cases vides.

### **3.3.2 Sélection des données de la zone d'étude :**

Dans le cadre de ce travail nous exploitons un fichier numérique global qui fait partie du bloc Nord 32, contenant 954.495 points de mesure magnéto-spectrométrique répartie sur 624 lignes de vol avec un taux de cases vides de l'ordre de 0.4 %. A partir du fichier global, nous avons extrait les données de la région d'étude (Souk Ahras – Tébessa. Le fichier obtenu contenant quelques 132.000 points de mesure distribués sur 128 lignes (119 000 points) de vol et 14 lignes de traverse (13 000 points).

### **3.3.3 Maillage des données (Gridding) :**

Après avoir corrigé la base de données de toutes les interférences, la première opération, normalement effectuée, est de construire la grille de données. Cette opération consiste à déterminer, par interpolation, les valeurs du champ mesuré au niveau des nœuds d'une grille bidimensionnelle régulière et ce, à partir des données mesurées où la distribution des points et des lignes est moins régulière. Cette représentation des données en grille est indispensable pour certaines opérations de traitement telles que la cartographie et le filtrage bidimensionnel.

- **Méthode d'interpolation** : Dans notre cas et vu la conception du levé aérogéophysique, nous avons opté pour la technique de minimum courbure (minimum curvature). Cette dernière, qui offre la possibilité de renforcer la tendance régionale le long des lignes de vol, est devenue l'algorithme d'interpolation le plus populaire pour les données aérogéophysiques (Smith and Wessel, 1990).

- **Pas de la grille :** Le choix adéquat du pas de la grille (intervalle d'échantillonnage) dépend essentiellement de la distance moyenne entre les points de mesures et de la manière de répartition des données. Dans le cas de levées aérogéophysiques, le pas de la grille est pris généralement entre  $\frac{1}{2}$  et  $\frac{1}{4}$  de la distance entre les lignes de vol. Dans notre cas et pour l'interpolation des données, un intervalle d'échantillonnage égal à  $\frac{1}{4}$  de l'espacement entre les lignes de vol a été adopté.

### 3.3.4 Etablissement des cartes des données brutes :

Après avoir corrigé la base de données brute de toutes les erreurs nous avons pu construire les grilles des différents champs selon les paramètres adéquats. Une série de cartes peut alors être établie pour chaque bloc.

#### Cartes du plan de vol :

La zone d'étude a été survolée avec une altitude moyenne de vol théorique de 150 m par rapport à la surface du sol. La carte du plan de vol, montrent dans l'ensemble une bonne conformité des paramètres des trajectoires préétablies que ce soit pour les lignes principales ou les lignes de traverse (Fig. 3.02).

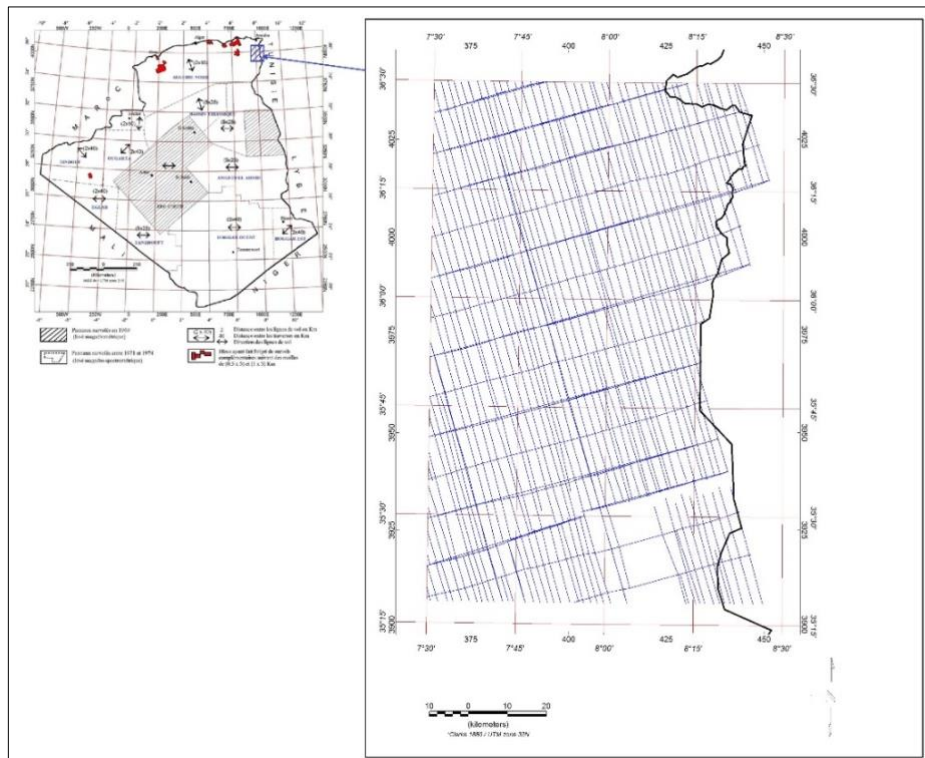
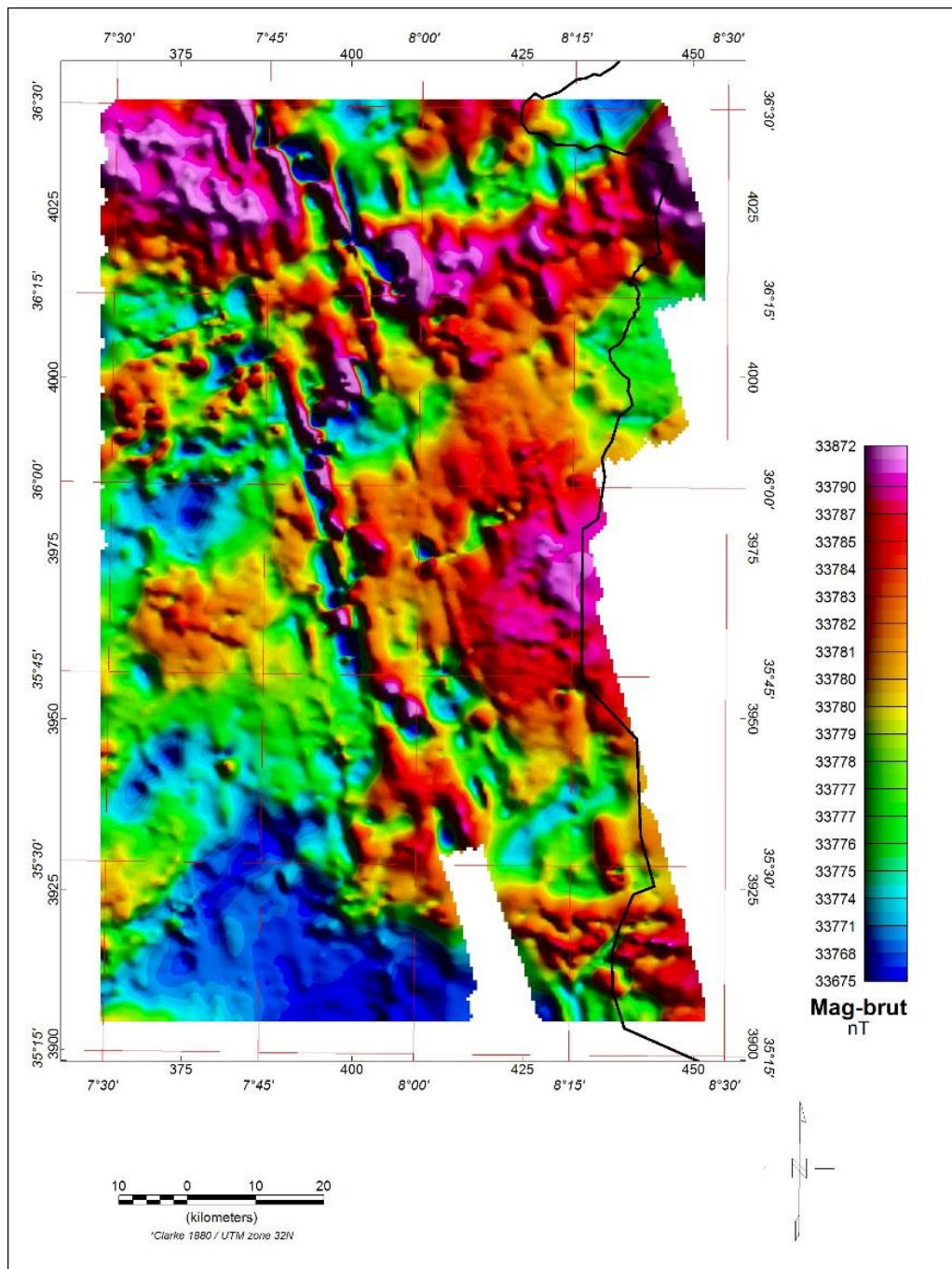


Figure 3.02 : Carte du plan de vol au-dessus de la zone d'étude.

### **Carte des données magnétiques brutes :**

La carte des données magnétiques brutes (Figure 3.03), représente en réalité un champ magnétique particulier composé de deux termes comme il a été expliqué précédemment. Du point de vue quantitatif, les valeurs du champ (34000 à 35000 nT) sont loin d'être représentatives du champ magnétique total au-dessus de la zone d'étude, où la composante régionale moyenne est de l'ordre de 42000 nT, ce décalage est dû essentiellement aux procédures d'analyse de données introduites par *Aeroservice*.

Qualitativement, la carte du champ magnétique (dit brut) montre une distribution des anomalies magnétiques très variable, ceci peut être expliqué par la complexité géologique de la zone d'étude. Malgré leur aspect dipolaire, les linéaments magnétiques ont bien mis en évidence les structures majeures de la région. Les plus importants linéaments se situent le long des accidents tectoniques et des contacts lithologiques qui constituent des pièges naturels pour les dépôts minéralogiques. On constate également un faible niveau de bruit résiduel, qui se manifeste sur la carte sous forme d'anomalies indésirables (artefacts) de hautes fréquences épousant la direction des lignes de vol. Ces erreurs résiduelles, appelées aussi erreurs de nivellement, affectent, très souvent les levés aéroportés et pour les atténuer, on applique généralement un filtrage de dé-ondulation appelé également le micro-nivellement.



**Figure 3.03 : Carte du champ magnétique brut de la zone d'étude.**

### **3.4 Traitement des données aéromagnétiques :**

Dans cette section, nous appliquons aux mesures brutes, les corrections et les filtres nécessaires afin d'améliorer leur qualité, de mieux positionner les anomalies magnétiques, de séparer leurs sources.

### 3.4.1 Calcul du champ d'anomalies magnétique :

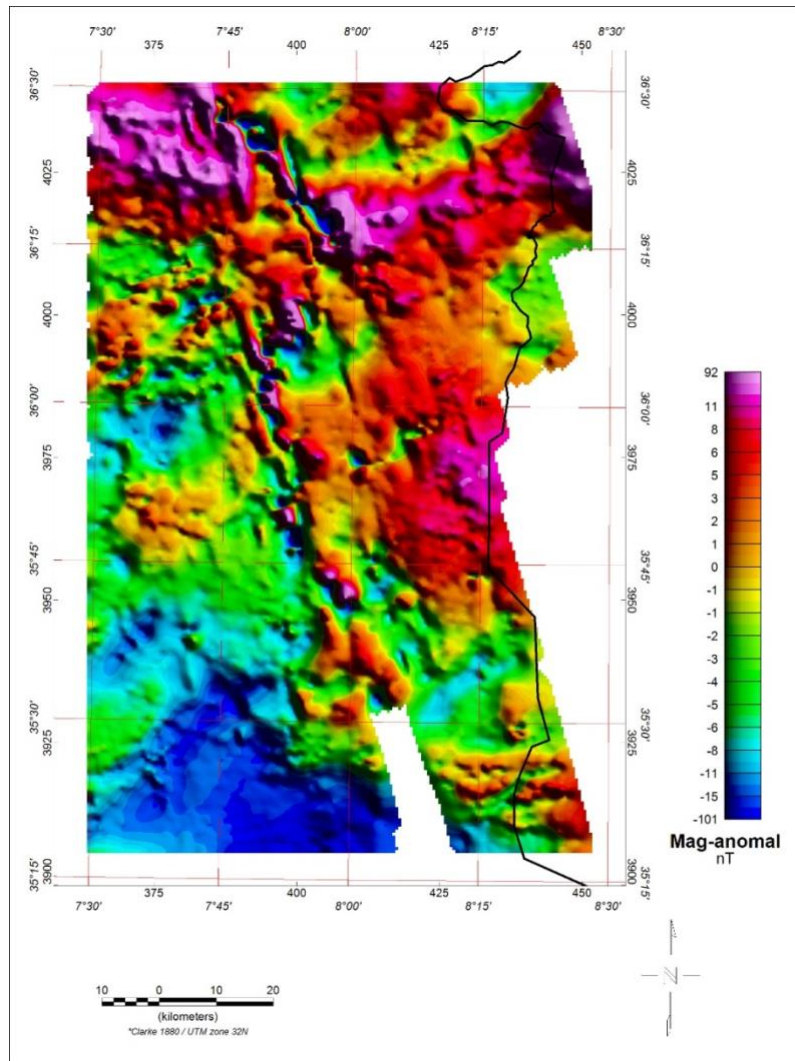
- **Modélisation du champ régional :** Le champ magnétique total, mesuré à la surface de la terre, correspond à la somme de deux champs, un champ régulier (régional) et un champ d'anomalie d'origine crustale (local) dû aux changements de structure ou de la nature géologique du sous-sol. Théoriquement, l'anomalie du champ magnétique peut être représentée approximativement par la différence entre la valeur du champ total (mesuré) et celle du champ régional (calculé).

Principalement, deux approches sont adoptées pour la détermination de la composante régionale du champ : Polynômes de faible degré, une approche, purement mathématique appliquée dans le cas d'un domaine limité (Le Mouël, 1969) et modèles du champ de référence IGRF, une approche, souvent utilisée dans le cas des zones relativement vastes. Tenant compte de l'étendue de notre zone d'étude nous avons opté pour l'utilisation de ce dernier pour l'élimination de la composante régionale du champ.

- **Estimation du champ normalement mesuré :** Comme l'approche adoptée par Aeroservice, n'est pas du plus précise comme il a été expliqué précédemment, il est donc plus cohérent de remonter aux mesures originales du champ total, et à partir desquelles nous procéderons à la soustraction d'un modèle de référence adéquat. Pour annuler les corrections introduites par Aeroservice sur le champ mesuré, Nous avons rajouté aux données le modèle IGRF 65 après avoir soustrait une valeur constante de 34000 nT (niveau de référence théorique). Les valeurs du champ ainsi obtenu correspondraient certainement aux données brutes qu'on a dû enregistrer au-dessus de la zone d'étude.
- **Etablissement de la carte des anomalies magnétiques :** Puisque le levé aérogéophysique, au-dessus de la zone d'étude a été effectué en 1972, pour le calcul du champ des anomalies magnétiques, nous avons soustrait à partir de ces données, les valeurs du modèle du champ géomagnétique définitif de référence DGRF 70 calculé pour cette l'époque 1970-1975.

La carte ombrée des anomalies magnétiques (Fig. 3.04) est obtenue par soustraction de la composante régionale (DGRF 70) à partir des données normalement observées. A première vue, le champ anomal montre une image compliquée des anomalies magnétiques, cette complication dans l'allure des anomalies magnétiques est due à un double effet ; contamination par la composante de hautes fréquences (anomalies de courtes longueurs d'ondes) liées aux sources magnétiques peu profondes et l'asymétrie des anomalies causée par l'inclinaison du champ magnétique observé dans la zone d'étude qui est de l'ordre de 51°.

Enfin, on note que le faible niveau de bruit résiduel épousant la direction des lignes de vol, est toujours visible sur les cartes, même après la correction de la composante régional du champ ce qui nécessite un filtrage fin pour l'élimination de ce bruit.



**Figure 3.04 : Carte des anomalies magnétiques de la zone d'étude.**

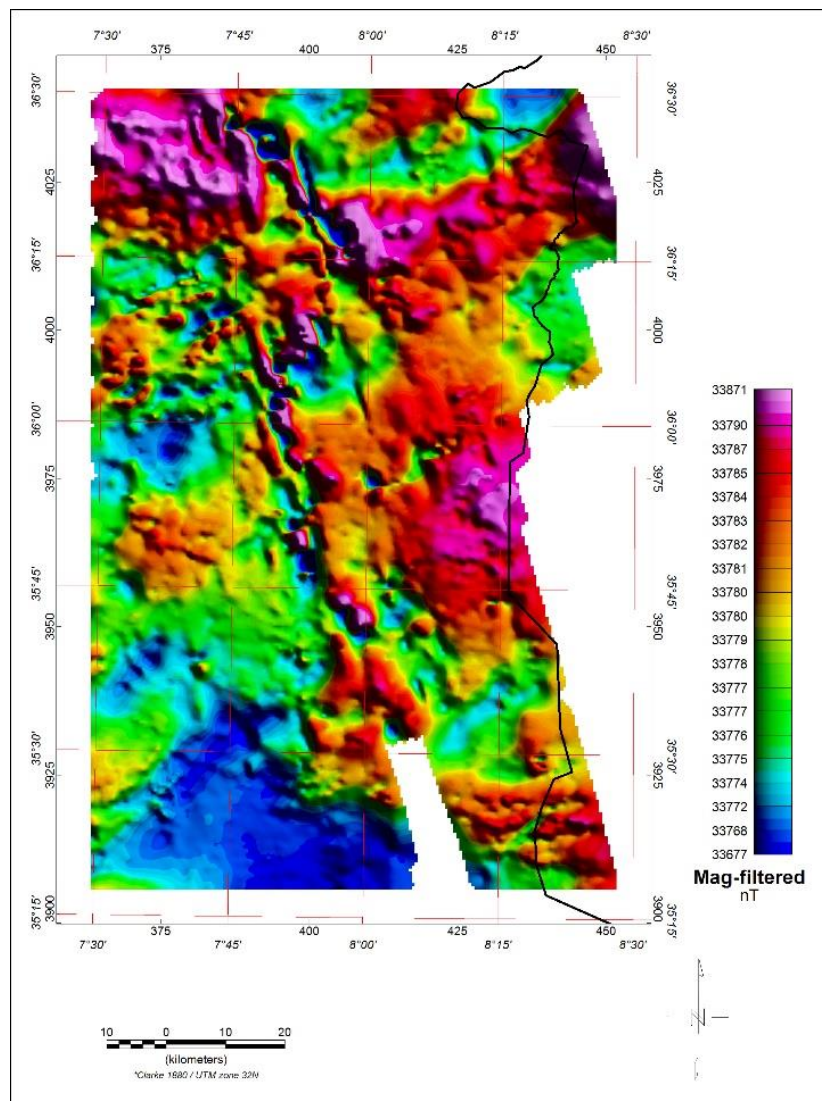
### 3.4.2 Atténuation du bruit résiduel :

La carte du champ d'anomalies magnétique montre un faible niveau de bruit résiduel épousant la direction des lignes de vol. Ce bruit, qui persiste même après l'application des corrections systématiques et le nivellement standard, peut être expliqué par de mauvaises corrections des variations diurnes, par l'effet de relief dans le cas d'un terrain accidenté ou encore par l'instabilité des émetteurs de très basses fréquences VLF (Mauring et Kihle, 2005). Pour l'atténuation de ces erreurs résiduelles, nous avons opté pour l'application de l'algorithme de Paterson, Grant & Watson Limited (**PGW**), utilisé par le logiciel Oasis montaj (Geosoft, 1998). Ce dernier s'effectue sur deux étapes ;

- D'abord, dans le domaine fréquentiel, un filtrage directionnel classique s'applique sur la grille de données pour isoler le bruit de dé-ondulation à l'aide du filtre passe-haut de Butterworth et le filtre directionnel (généralement cosinus directionnel).

- Après avoir extrait la grille de bruit sous forme d'une nouvelle colonne dans le fichier de données (domaine espace), un opérateur de limitation d'amplitude et un filtre passe-bas (filtre de Naudy) s'appliquent à ce canal. Grâce à ce processus de filtrage sélectif, les données du bruit sont pratiquement dépouillées de tout signal géologique résiduel (Naudy et Dreyer, 1968). Enfin, une carte filtrée est obtenue par la soustraction de ce bruit des données originales.

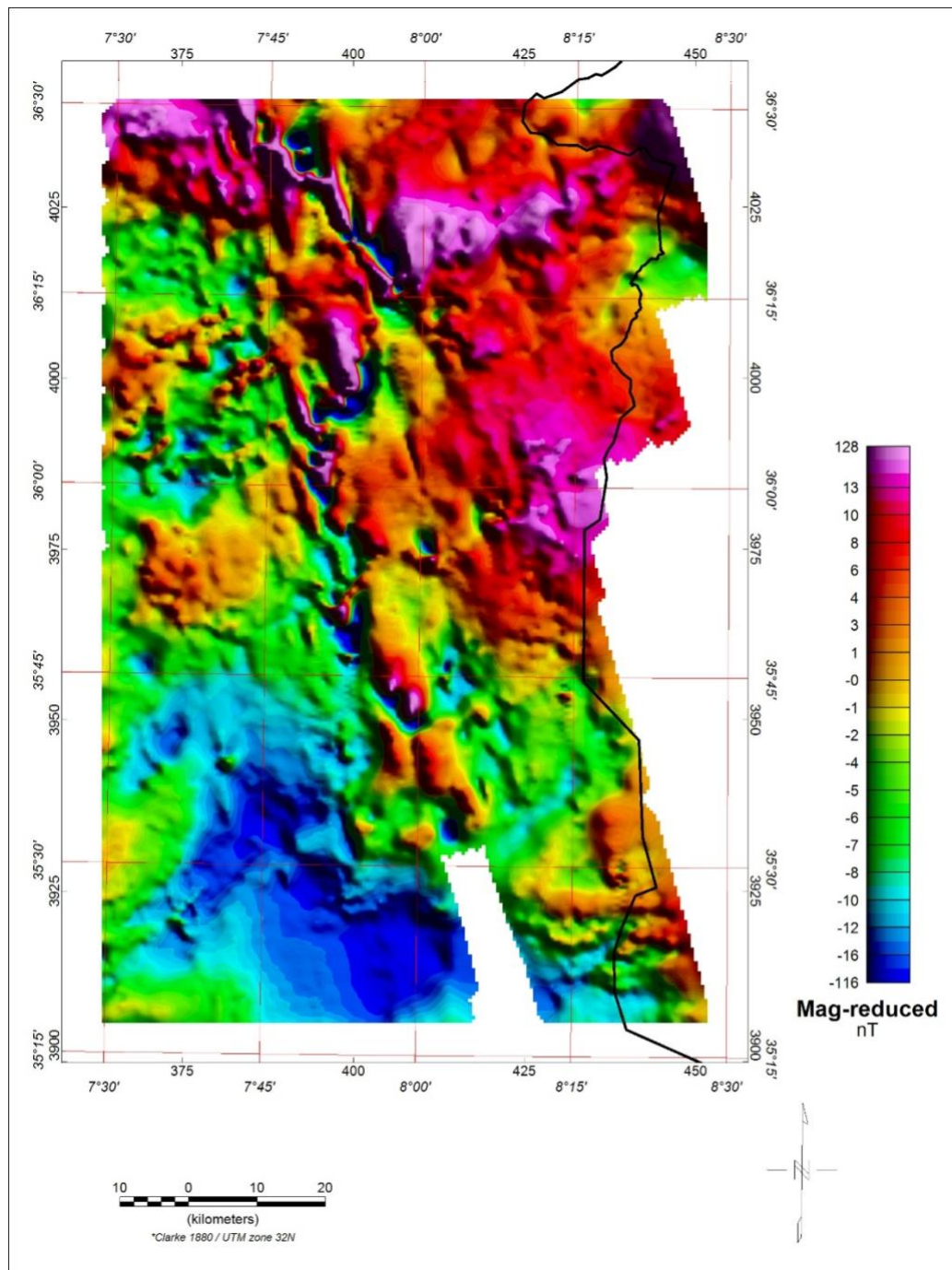
La carte des anomalies magnétiques (Fig. 3.05) filtrées montre un net regroupement des linéaments le long des éléments structuraux majeurs malgré leur aspect dipolaire, causé par l'inclinaison magnétique qui est de l'ordre de  $51^\circ$  en moyenne. Il est à signaler que quantitativement, les amplitudes des anomalies magnétiques présentent une atténuation insignifiante (de l'ordre de 1 nT). Cette conservation en grandeur, des anomalies magnétiques, peut être expliquée par les basses amplitudes des erreurs résiduelles comparées à celles du signal utile dans la direction des lignes de vol, ceci prouve la fiabilité de la technique PGW employée pour l'élimination du bruit de micro-nivellement. En effet, la procédure de limitation d'amplitude du bruit, adopté par l'algorithme PGW, offre la possibilité de conserver le signal géologique de haute fréquence dans la direction de vol, caractérisé par des amplitudes généralement supérieures à celles du bruit résiduel.



**Figure 3.05 : Carte des anomalies magnétiques filtrées de la zone d'étude.**

### **3.4.3 Réduction au pôle nord magnétique :**

La réduction au pôle consiste à calculer des pseudo-anomalies qui seraient observées au pôle nord magnétique en ramenant à la verticale, la direction du champ. La réponse de ce filtre, est la formule simplifiée de la réduction au pôle développée par (MacLeod et al, 1993) qui ont introduit un facteur ( $I_a$ ) pour la correction de l'effet d'amplification d'inclinaison. Dans le but de déterminer une valeur de ( $I_a$ ) valable pour les données aéromagnétiques de la région de Souk Ahras - Tébessa, des tests effectués sur les données avec différentes valeurs de ( $I_a$ ) ont montrés que cet effet disparaît complètement à partir de  $I_a \geq 60^\circ$ .



**Figure 3.06 : Carte du champ magnétique anomal, réduit au pôle nord magnétique.**

Pour le calcul de l'opérateur de la réduction au pôle, nous avons opté pour une inclinaison de ( $51^\circ$ ) et une déclinaison de ( $-2.5^\circ$ ), qui correspondent au centre de la zone d'étude pour l'époque de réalisation du levé, à une altitude moyenne de 800 m. La carte d'anomalies magnétiques réduites au pôle nord magnétique (Figure 3.06) montre que les anomalies positives sont légèrement déplacées vers le nord et que les anomalies dipolaires sont transformées en anomalies à pôle unique. La comparaison de cette carte avec la carte géologique montre une bonne corrélation entre les anomalies magnétiques et les différents domaines et structures géologiques. La carte du champ réduit au pôle permet donc la mise en évidence des différentes structures notamment les failles et les contacts lithologiques. Elle

constitue le document de base pour toutes les étapes de traitement et d'interprétation des données magnétiques à suivre.

Il est à signaler que lors du traitement des données aéromagnétiques une multitude de filtres numériques peuvent être appliqués au champ réduit au pôle dont, le choix du filtre ou de la combinaison de filtres à appliquer dépend essentiellement des objectifs visés par ce traitement.

#### 4.3.4 Analyse du spectre d'énergie :

Le spectre d'énergie radialement moyenné calculé pour la zone d'étude est illustré par une courbe 2D qui représente les variations de la densité du spectre d'énergie normalisé «  $\ln(E)$  » en fonction des fréquences spatiales exprimées en *cycles/km* (Fig. 3.07). Les profondeurs moyennes, peuvent être calculées à partir de la demi-pente d'une droite passant par la portion linéaire du spectre.

L'analyse de la pente du spectre d'énergie fait apparaitre, quatre (04) ensembles magnétiques de profondeurs moyennes distincts, calculées à partir du niveau de vol qui est de l'ordre de 0.15 Km. Les profondeurs estimées sont : 4.6km, 0.84km, 0.66km et 0.057km. L'ensemble de profondeur moyenne les plus élevées, correspondant aux plus basses fréquences (sources profondes) et vice versa. La courbe du spectre d'énergie, radialement moyennée, montre un pic spectral qui se produit à la fréquence 0.006 cycles/km, ceci exprime la limitation de l'extension en profondeur du premier ensemble.

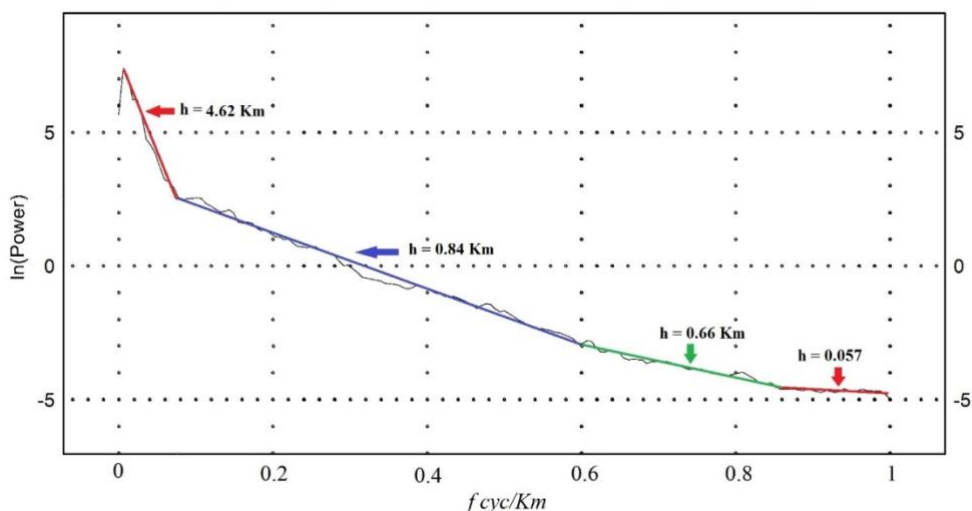


Figure 3.07 : Spectre d'énergie radialement moyenné de la zone d'étude.

# Chapitre 4 :

## Cartographie du potentiel ferrifère

---

### 4.1 Introduction :

Les travaux de recherche et d'exploration, effectués dans la région d'étude, ont permis de mettre en évidence plusieurs gîtes ferrifères dont, les minéralisations de fer sont, globalement, associées aux formations crétacées en bordure immédiate avec les formations triasiques des diapirs

A partir des résultats de l'analyse des données aéromagnétiques et des différents levés géologiques, effectués au niveau des gîtes existants, nous essayons d'établir, dans ce chapitre, un modèle métallogénique de cette ferrifère région. Un tel modèle peut servir à la délimitation des zones potentiellement favorables à l'accumulation de minéralisations ferrifères, ce qui diminuera considérablement les coûts alloués à l'exploration.

### 4.2 Modèle métallogénique du fer en Algérie :

Du point de vue géo-structural, l'Algérie est divisée en deux domaines structuraux majeurs, séparés par l'Accident Sud Atlasique (ASA):

- La chaîne tellienne (alpine) au Nord : domaine tellien, Hauts Plateaux et Atlas saharien ;
- La chaîne africaine au Sud : monts d'Ougarta, Hoggar et massif des Eglab

Concernant les modèles génétiques, Popov (1976) a pu établir la classification des gisements de fer en Algérie, en mettant en évidence le type génétique et surtout le domaine tectonique auquel ils appartiennent (Tab.4.01 et Fig. 4.01). Il distingue ainsi, les types de gisements ci-après (ASGA, 2023):

- **Gisements d'origine sédimentaire** : Aïn Babouche (Tébessa), Gara Djebilet et Mechri Abdelaziz (Tindouf) et les indices de fer dans : le bassin de Tindouf, la chaîne de l'Ougarta, le Tassili d'Ilizi, le Hoggar et l'Ahnet ;
- **Gisements d'origine hydrothermale** (filon à sidérite et substitution dans les carbonates) : Ouenza, Boukhadra, Chaabet El Ballout et Khanguet ;
- **Gisements de ségrégation associés aux roches volcaniques acides (Skarns)** : Aïn Sedma (Collo) et Môle d'In Ouzzal (Hoggar) ;
- **Gisements de remaniement ou de remplissage karstique** : Djebel Anini (Sétif)

Les caractéristiques et les types de minéralisation ferrifères dans les différents domaines géologiques de l'Algérie sont résumés dans le tableau 4.01.

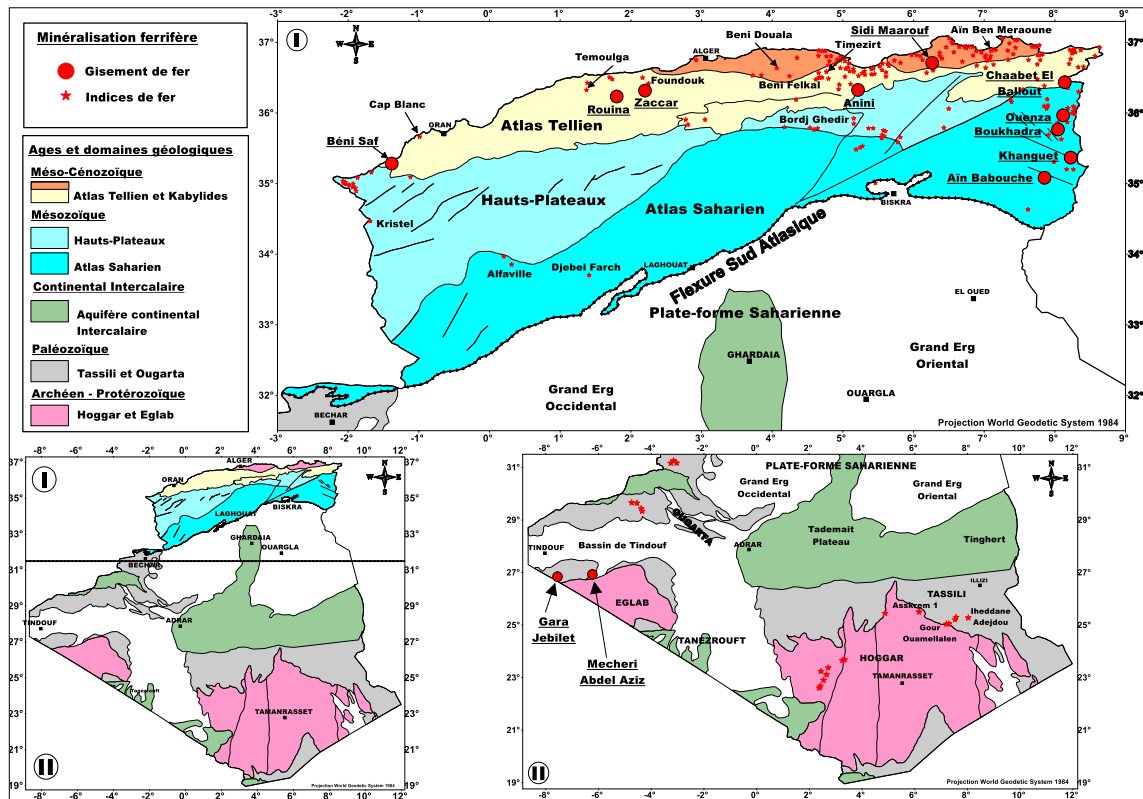
La région des confins algéro-tunisiens (zone d'étude), est caractérisée par de puissantes formations méso-cénozoïques (Crétacé). Ces dernières sont percées en plusieurs endroits par des formations du Trias diapirique et interrompues par des fossés d'effondrement. Les principaux traits structuraux marquant la région sont la subsidence, le diapirisme, les fossés d'effondrement et les traces des différentes phases tectoniques ayant affecté la région et contrôlé la mise en place des différentes minéralisations. Ils se résument en quatre phases majeures:

- l'accumulation d'une série sédimentaire très épaisse (subsidence) ;
- le diapirisme des formations triasiques ;
- le plissement des séries sédimentaires suivant la direction atlasique (NE-SO) ;
- la création de fossés d'effondrement orientés NO-SE à EO.

Les conditions de genèse et l'âge des concentrations ferrifères en Algérie restent très variés. En général, les gisements de fer en Algérie sont divisés en trois (03) principales catégories : des gisements de ségrégation, de substitution dans les calcaires, de filons proprement dits et des gisements d'allure filonienne; et accessoirement du minerai de fer sédimentaire (Tab. 4.02).

**Tableau 4.01 : Caractéristiques et des types de minéralisation ferrifères dans les différents domaines géologiques de l'Algérie (ASGA, 2023)**

Régions	Domaines	Caractéristiques et des types de minéralisation ferrifères
<b>Sud algérien</b>	<b>Plateforme Saharienne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définitivement consolidée à l'Hercynien</li> <li>- Composée par le Bouclier anté cambrien de Réguibat et la couverture paléozoïque légèrement plissée dans sa partie occidentale</li> <li>- Caractérisée par des gisements de fer sédimentaire de type BIF (Zghamra et Reboub - Béni Abbes - W. Béchar) et oolitiques -Tindouf)</li> </ul>
<b>Nord Algérien</b>		- Correspond à la région plissée par l'orogénèse alpine qui couvre la bordure septentrionale de la plateforme saharienne
	<b>Présaharien (Atlas saharien)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il s'agit de la plateforme épicontinentale, tabulaire (Môles oranais et constantinois) ou plissé (Atlas saharien) lors des phases alpines (fin Crétacé-Tertiaire)</li> <li>- Présente une forte concentration de gisement de fer d'origine hydrothermale, avec la présence d'un gisement et deux indices de fer oolithique.</li> </ul>
	<b>Tellien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ce domaine couvre le sillon mio-géosynclinal tellien et une partie de la plateforme épicontinentale</li> <li>- Caractérisé par une tectonique complexe et par l'importance des masses allochtones mises en place au Miocène inférieur</li> <li>- Renferme une forte concentration de gisements de fer type Amas de substitution dans les calcaires télé-thermaux et de filons irréguliers (épithermaux), étroitement liés au magmatisme tertiaire. La superposition de plusieurs phases de minéralisations est caractéristique surtout pour les filons.</li> </ul>
	<b>Massifs de Kabylie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractérisés par : <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Un métamorphisme régional anté Silurien</li> <li>❖ Une ampleur de la tectonique alpine</li> <li>❖ Un magmatisme miocène (Petite Kabylie)</li> </ul> </li> <li>- Ce domaine renferme des gîtes de type skarns à magnétite, avec des silicates de Ca-Mg-Fe</li> </ul>
	<b>Domaines géologiques dont fait partie la région d'étude</b>	



**Figure 4.01: Carte des domaines géologiques avec localisation des gisements et des indices de fer en Algérie**

**Tableau 4.02 : Catégories des gisements de fer en Algérie (Popov, 1976 et autres).**

Catégorie	Minéralisation	Morphologie	Encaissant	Gisement/Mine/Localité
Gisements de Ségrégation	Magnétite, Hématite	Amas de pyrites de fer	Complexe de granite et de microgranite	Aïn Sedma (Collo)
Gîtes de substitution dans les calcaires	Sidérose manganésifère Hématite	Filons Et Gros agrégats	Calcaires carbonifères	Sud-Oranais
			Calcaires liasiques	Sebabna, Ras el Maden, Zaccar, les Babors, Sidi Maarouf, Tissimiran, etc...
			Calcaires crétacés	Ouenza, Boukhadra, Khanguet el Mouahad
Filons proprement dits et gisements d'allure filonienne	Sidérose pyrite de Fer, cuivre gris chalcopryrite	Filons et allure filonienne		Littoral entre Cherchell et Ténès  Atlas Blidéen
Gisements sédimentaires	Hématite Sidérose	Reliques d'oolithes et couche à	Marnes éocènes	Gara Djebilet et Mechri AbdelAziz (Tindouf)

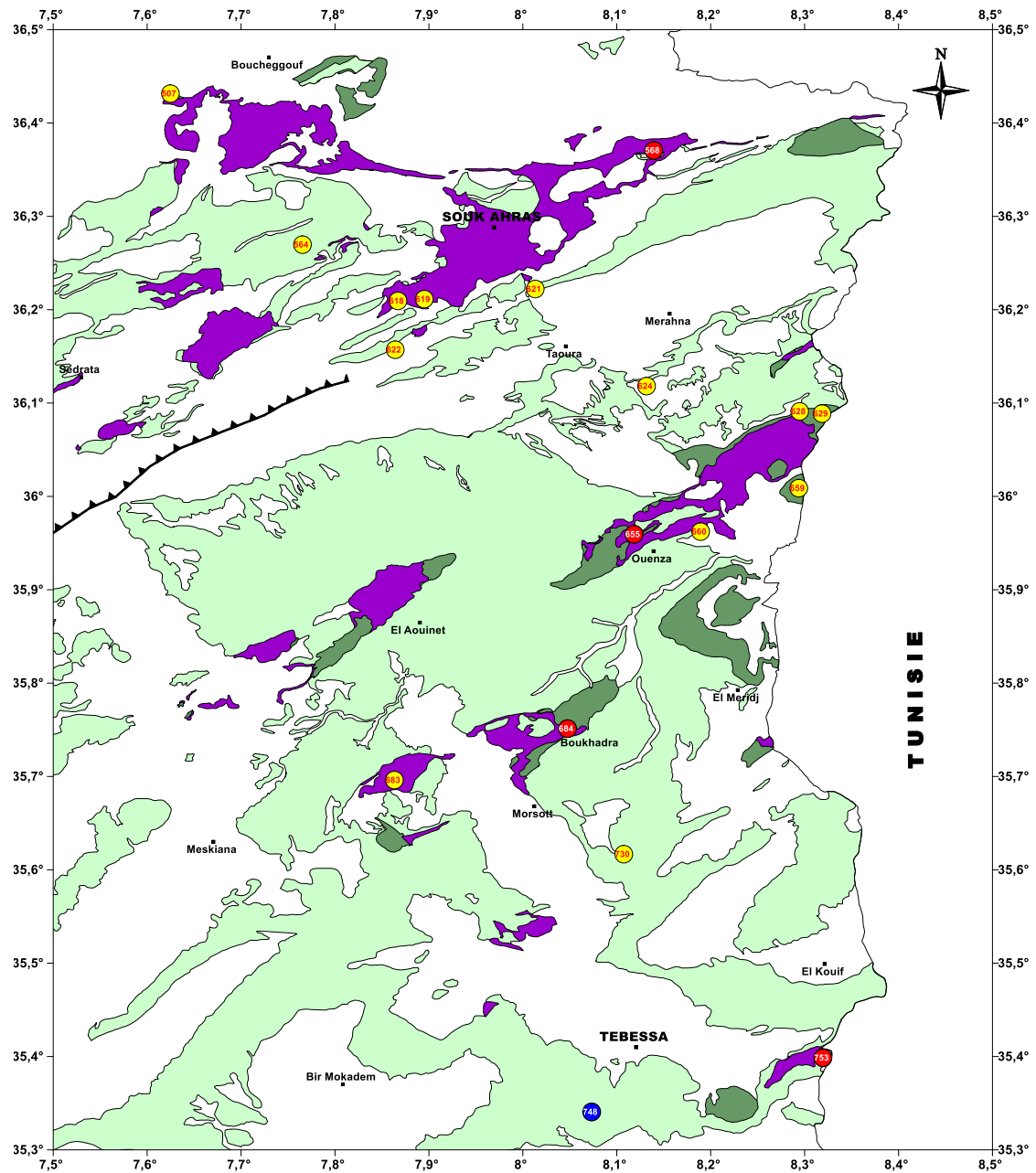
		magnétite		Ain Babouche (Tébessa) Béni Saf (Ain Témouchent)
--	--	-----------	--	---

Sur le plan métallogénique, la région d'étude renferme un grand nombre d'indices de minéralisations et de gisements ferrifères et/ou polymétalliques présentant des relations étroites avec les **diapirs triasiques**. Ces gîtes, localisés dans ou à proximité des appareils diapiriques, sont des concentrations minérales de **Fe**, Pb, Zn, Cu, F, Ba, Sr. Parmi les minéraux principaux représentant ces minéralisations, il y a : galène, sphalérite, hématite, cuivre gris, sidérite avec des minéraux secondaires comme la pyrite, la chalcopyrite et la marcassite (NACER, 1998).

Ces minéralisations se manifestent sous plusieurs aspects morphologiques : corps stratoïdes et sub-stratiformes, filons, zones filoniennes et de bréchification, filons et amas de minerai de **Cu-Fe-(Pb-Zn)-Ag-Au-Bi**, accumulations irrégulières en forme de colonne, zone ferro-barytique avec des sulfures de Pb-Zn-Cu, stratiforme syn-diagénétique.

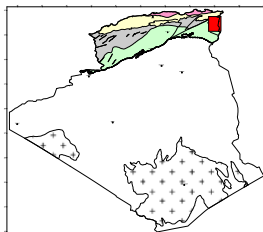
Les niveaux stratigraphiques porteurs de la minéralisation polymétallique et/ou ferrifère dans la région sont les étages de : l'Aptien-Albien, Cénomaniens-Turonien inférieur, Maestrichtien-Campanien, Eocène supérieur et Miocène inférieur et Moyen. L'âge des minéralisations varie selon les différents auteurs du **Crétacé supérieur** au Mio-pliocène avec cependant trois époques métallogéniques principales : Laramienne (Crétacé supérieur-Paléocène), Pyrénéenne (Lutétien) et Atlasique (Burdigalien).

Les concentrations en fer dans la région d'étude se manifestent par plusieurs indices et de gisements liés aux formations calcaires du Crétacé au contact des diapirs triasiques (Fig. 4.02).



LEGENDE:

Autres étages indifférenciés    Crétacé supérieur    Crétacé inférieur    Trias



Situation géographique de la zone d'études

OCCURRENCES FERRIFÈRES		
Code	Occurrences	Nature
507	Chaabat El Magrine	Fe
564	Souk Ahras	Fe (Zn)
621	Hammam Tessa	Fe
618	Sakhal	Fe (Pb, Zn)
619	Oued Chouk	Cu (Fe, Py-Sulfures)
622	Si Ghanem	Mn (Fe)
624	Djebel M'Barek	Fe (Zn)
628	Hammeima Nord	Fe (Zn)
629	Hammeima	Fe (Zn)
659	Djebel Harraba	Zn (Fe, Cu)
660	Ragbel Magen	(Fe (Cu)
683	Chaabat Tzembei	Pb (Fe)
730	Djebel Zitouna	Zn (Fe)

INDICE DE FER		
Code	Indice	Nature
748	Djebel Anoual Nord	Fe (Pb, Zn)

GISEMENT DE FER		
Code	Gisement	Nature
568	Chaabat Ballout	Fe (Cu)
655	Ouenza	Fe (Cu, Py-Sulfures)
684	Boukhadra	Fe (Cu, Pb)
753	Khanguet El Mouhad	Fe

Distribution des concentrations ferrifères dans les confins algéro-tunisiens  
 Extrait de la carte géologique au 1/200 000 (ANRH, 2008)  
 et  
 de la carte des gîtes minéraux de l'Algérie au 1/500000 (Constantine Nord, ONIG, 1987).

Figure 4.02.: Distribution des concentrations ferrifères dans la région d'étude.

### 4.3 Etude structurale :

Du fait qu'elles contrôlent la mise en place des dépôts ferrifères, les éléments litho-structuraux jouent un rôle primordial dans la procédure de formation de gîtes des concentrées ferrifères. Dans le but de mettre en évidence les différents blocs lithologiques et les systèmes de fracturation, nous étudions, dans cette section, le contexte structural de la zone d'étude en se basant sur la carte d'anomalies magnétiques réduites au pôle nord magnétique décrite dans le chapitre précédent.

#### 4.3.1 Schéma structural synthétique :

Pour une étude structurale appropriée de la zone d'étude, nous avons exploité les résultats de la carte d'anomalies magnétiques réduite au pôle, présentés dans le chapitre précédent. Ainsi, nous avons éclairci la continuité de certains éléments structuraux, identifié d'autres inconnus auparavant et localisé les principaux systèmes de fractures.

La figure 4.03 illustre la carte des linéaments magnétiques de la zone de Tébessa-Souk Ahras établie à partir de la carte réduite au pôle.

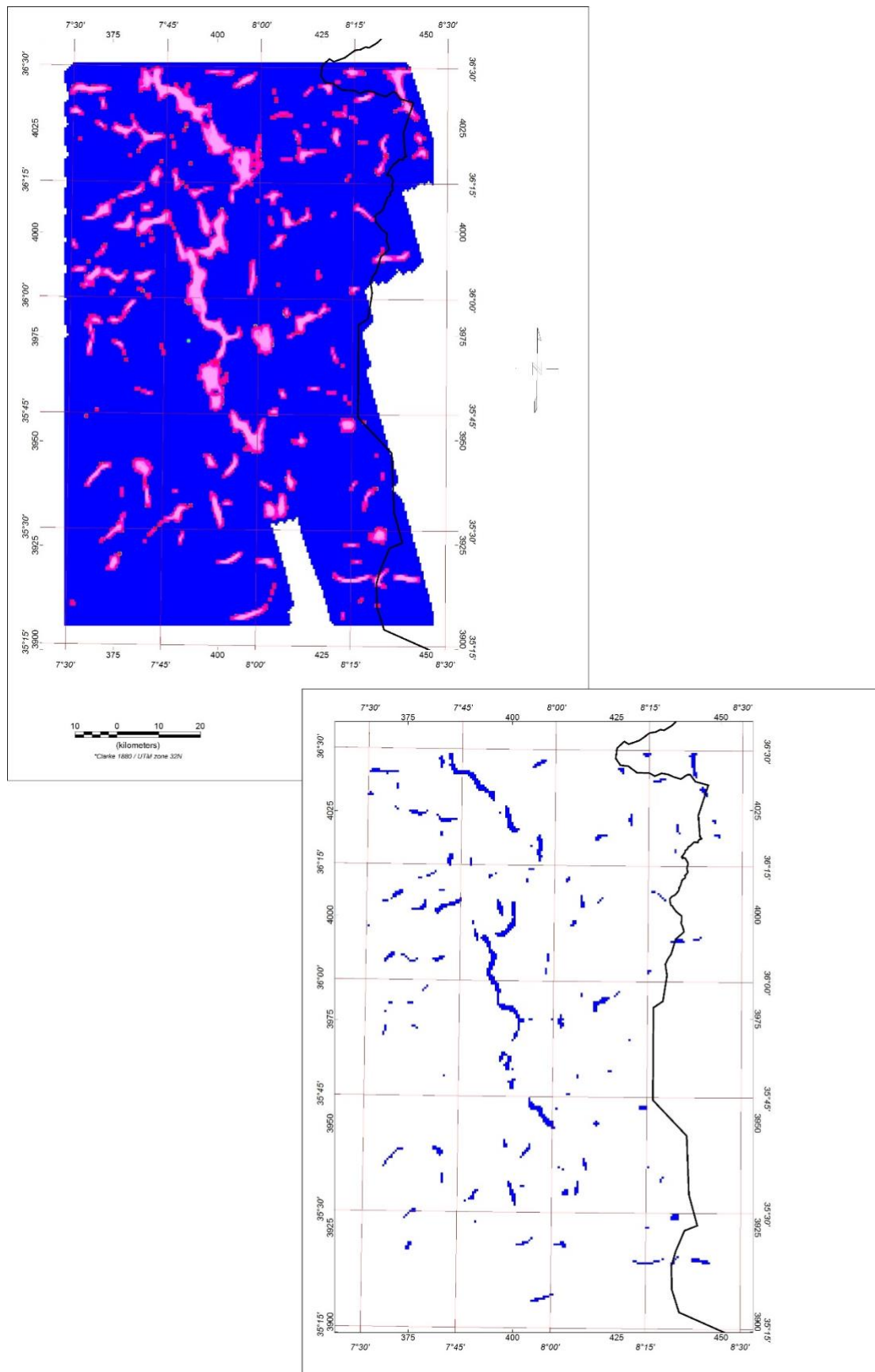
On constate une orientation, généralement NE-SW (Nord 160°) de la majorité des linéaments magnétiques, ils correspondent aux accidents majeurs de la zone d'étude.

Contrairement aux accidents majeurs, représentés par des continuités de linéaments sur plusieurs kilomètres, les systèmes de failles obliques secondaires orientés SW-NE et WE-NW sont traduits par des linéaments plus ou moins discontinus.

Les contacts entre les différents blocs structuraux sont également bien mis en évidence.

Le schéma structural synthétique montre, une bonne corrélation entre les linéaments magnétiques et la géologie de la région d'étude. Les linéaments magnétiques associés aux failles et dykes identifiés au cours de cette étude sont plus ou moins cartés sur les cartes géologiques existantes au 1:200 000 de la région d'étude. Cependant, certains linéaments n'étaient pas identifiés auparavant.

**NB :** Il est à noter que dans toutes les cartes, la ligne électrifiée du chemin de fer reliant Annaba (au Nord) à Bir El Ater (au Sud) via Souk-Ahras et Tébessa apparaît sous forme de linéaments de hautes fréquences (sources superficielles).



*Figure 4.03 : Principaux linéaments magnétiques de la zone d'étude.*

#### 4.3.2 Densité de fracturation : mise en page ; simple et justifié pas en gras

La densité de fracturation a été calculée à partir des linéaments magnétiques en utilisant le logiciel Oasis montaj de GEOSOFT. La carte des regroupements des fractures (Figure 4.04) montre une densité élevée de failles au niveau de trois ensembles située dans la partie Ouest de la zone d'étude avec une orientation NO-SE. O pas W

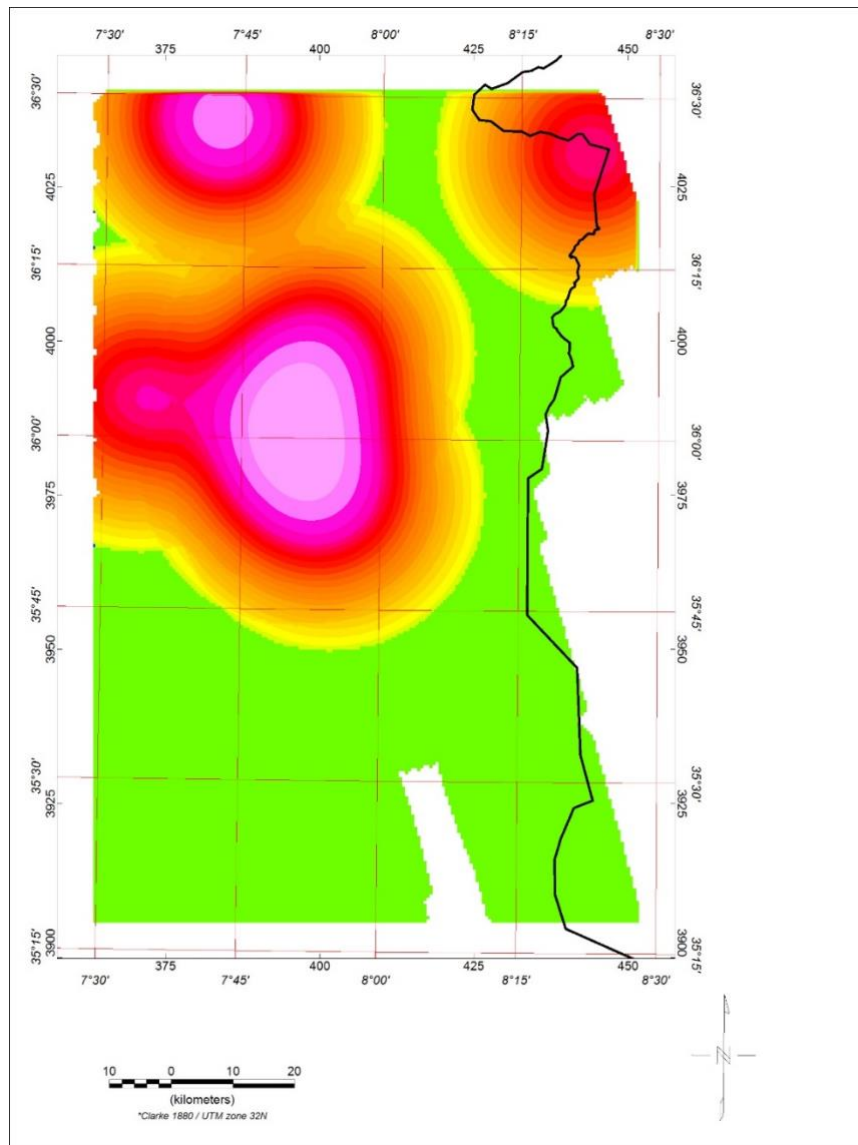


Figure 4.04 : Zones de densités de systèmes de fractures.

### 4.3.3 Carte du pseudo susceptibilité magnétique :

La pseudo-susceptibilité magnétique (susceptibilité apparente) est une transformation qui permet d'obtenir la distribution spatiale de la susceptibilité magnétique (ou aimantation) des roches à partir des anomalies du champ magnétique.

L'opérateur du calcul de la pseudo-susceptibilité magnétique, est en réalité un filtre composé des opérateurs de la réduction au pôle, du prolongement vers le bas (dans notre cas jusqu'au niveau du sol) et d'un coefficient qui corrige l'effet géométrique dû à l'élévation. Le calcul de la susceptibilité est réalisé en admettant que l'aimantation des sources est purement induite et que la réponse magnétique de ces sources est causée par un modèle constitué d'un ensemble de prismes verticaux ayant une extension en profondeur infinie. La carte du pseudo-susceptibilité magnétique permet de distinguer les formations géologiques par leurs aimantations. Les formations les plus magnétiques attribuées aux roches plutoniques et volcaniques basiques et ultrabasiques se caractérisent par des valeurs très élevées de la susceptibilité magnétique.

La figure 4.05 représente la distribution des pseudo-susceptibilités magnétiques de la zone d'étude. Le calcul des pseudo-susceptibilités a été effectué à partir de cartes d'anomalies préalablement filtrées par la suppression des courtes longueurs d'onde afin de minimiser leur influence sur les cartes établies. Par ailleurs, l'application d'un filtre de Wiener a été nécessaire pour réduire l'effet de l'amplification du bruit de courte longueur d'onde causé par l'opérateur du prolongement vers le bas qui rentre dans la composition du filtre de la pseudo-susceptibilité.

Les valeurs des pseudo-susceptibilités varient entre (0 et  $1.08 \cdot 10^{-3}$  u.S.I.). Les valeurs les plus élevées sont attribuées aux formations constituées de migmatites à magnétite, de même pour les concentrations ferrifères dans un environnement péri-diapirique. De fortes valeurs de pseudo-susceptibilité magnétique caractérisent également les accidents tectoniques et les contacts lithologiques.

Trop de vide dans le texte

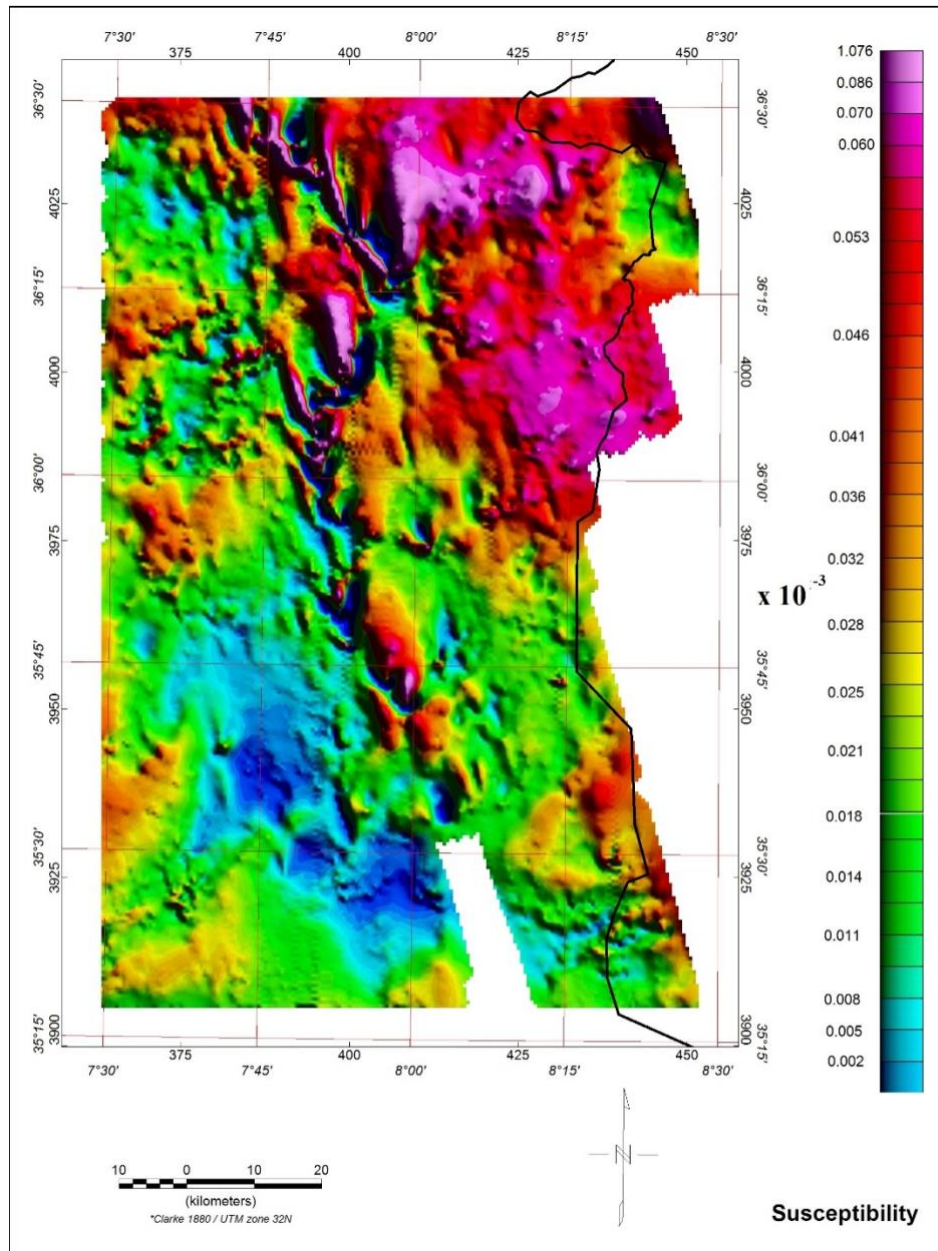


Figure 4.05 : Carte de la susceptibilité magnétique apparente.

### 4.3.3 Localisation des sources magnétiques :

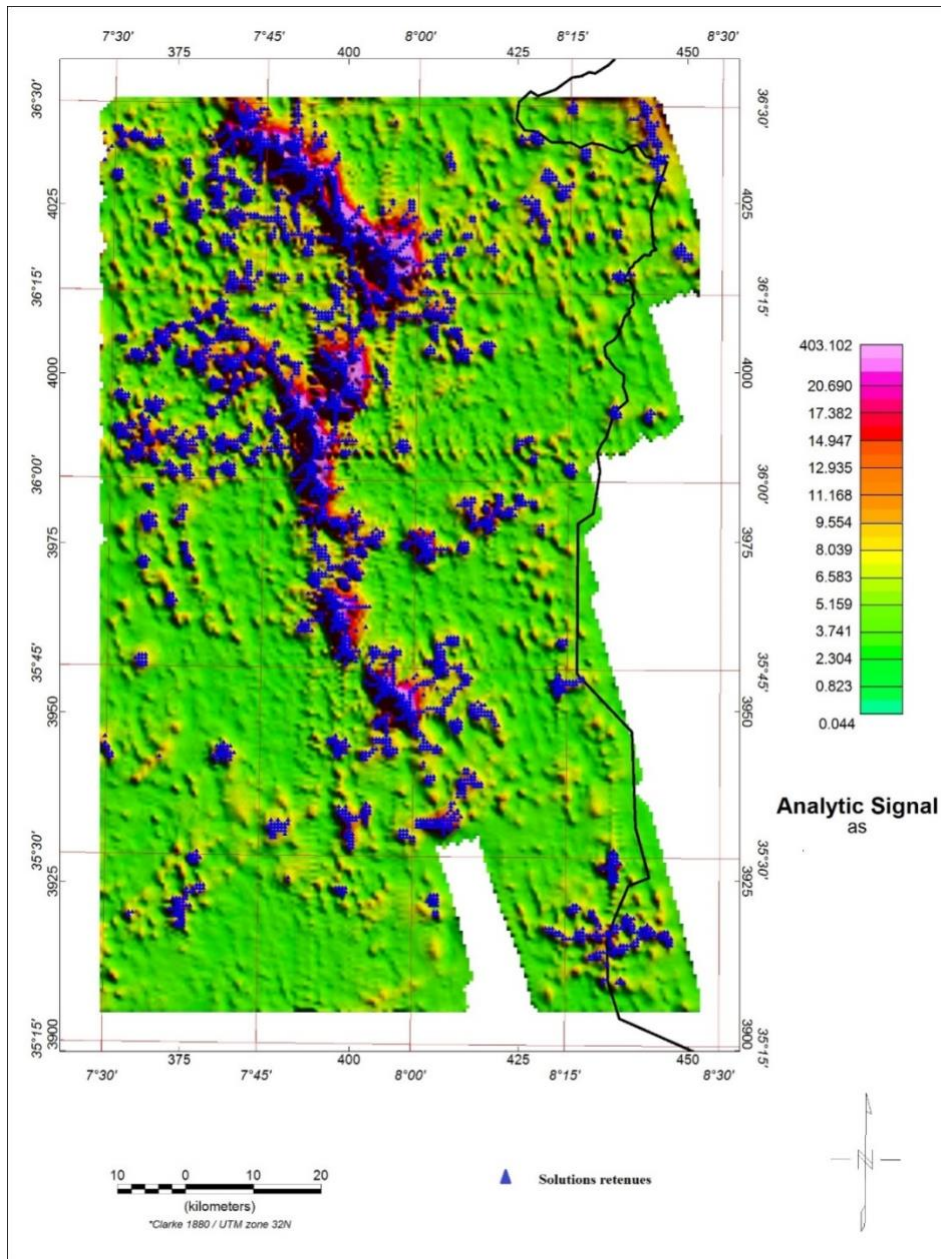
Plusieurs techniques, qui reposent sur divers principes et qui diffèrent dans la stabilité et la fiabilité des solutions, ont été développées dans le but d'estimer les paramètres de ces sources perturbatrices. Pour la localisation des sources causant les anomalies magnétiques mesurées au-dessus de la région d'étude, nous appliquons, dans cette section, au champ réduit au pôle, la méthode du signal analytique.

L'amplitude du signal analytique est définie comme étant « la racine carrée de la somme des carrés des deux dérivées : horizontale et verticale » (Roest et al., 1992). Cette amplitude a été utilisée dans ce travail pour localiser, dans le plan horizontal, les contacts lithologiques présentant un contraste d'aimantation et les accidents tectoniques caractérisés généralement par une signature magnétique positive due aux minéraux ferromagnétiques piégés par ces accidents.

La figure 4.06 illustre la carte de l'amplitude du signal analytique établie à partir de la carte d'anomalies magnétiques réduites au pôle. On constate que les amplitudes relativement élevées (plus de 10 nT/Km), coïncident parfaitement avec les linéaments magnétiques dans la carte d'anomalies magnétiques réduites au pôle ce qui offre la possibilité de localiser les éléments structuraux de la zone d'étude.

La localisation de ces éléments structuraux est déduite à partir des maxima locaux observés dans la carte de l'amplitude du signal analytique. Le procédé de la recherche automatique des maxima (pics) est basé sur l'algorithme de Blakely et Simpson (1986). Pour la recherche et l'identification des maxima ou pics du signal analytique il est important de fixer, préalablement, un seuil de détection minimal pour ne considérer que les maxima pouvant avoir une signification réaliste.

Les maxima calculés par la méthode du signal analytique, estimés à **2585 *maximas*** (solutions). Les points bleus indiquent les positions des pics. Le seuil de détection à partir duquel les maxima sont pris en considération, a été fixé à la valeur de **40nT/Km**.



**Figure 4.06 :** Carte du signal analytique sur laquelle superposés les pics d'anomalies.

#### **4.4 Délimitation des zones perspectives :**

Dans le but de délimiter les régions indiciaires et de mettre en évidence les périmètres, potentiellement favorables pour l'accumulation de minéralisations ferrifères dans la zone d'étude, nous procédons, dans cette section à la combinaison des différents résultats de l'interprétation de données magnétométriques et géologiques. Dans ce contexte, trois principales sources d'information sont employées, à savoir :

- Résultats de l'étude structurale, représentés par la carte des linéaments magnétiques (systèmes de fractures), pour l'aspect structural.
- Résultats de l'étude de faciès, représentés par la carte géologique au (1 : 200 000), pour l'aspect litho-structural régional.
- Résultats de l'interprétation des données filtrées, représentés par la carte de répartition des pics d'anomalies du signal analytique et le filtre de susceptibilité apparente.

#### **Localisation des zones anormales :**

Pour mieux cerner les zones anormales susceptibles de contenir des minéralisations ferrifères, il nécessaire d'analyser, non seulement le champ magnétique total, mais aussi les cartes transformées (filtrées). Dans le but de localiser les régions à tendance ferrifère dans la zone d'étude, nous avons opté pour la superposition des résultats des sources cités ci-dessus sur la carte géologique et ce, pour intégrer, à l'interprétation, les deux aspects : structural et lithologique.

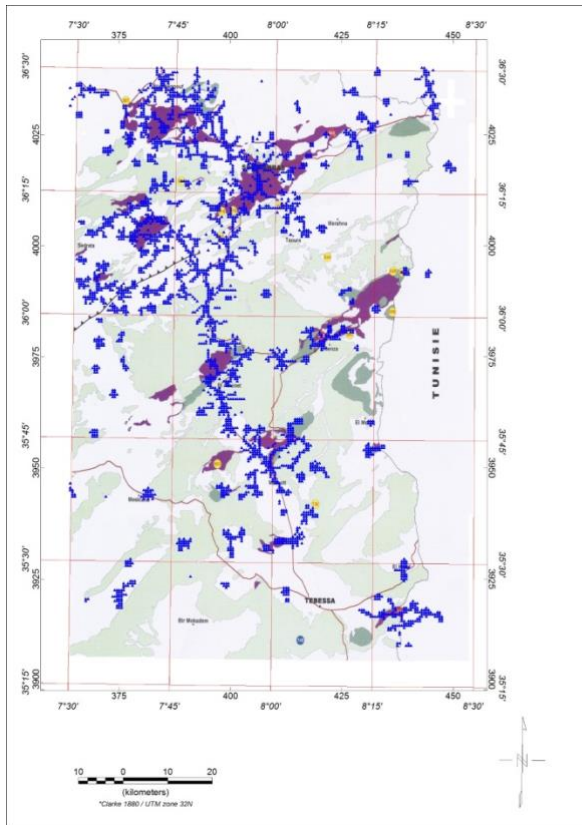
Le regroupement de plusieurs types d'anomalies au-dessus de zones géographiquement restreintes indique des cibles potentielles pour l'existence de fer dans la zone d'étude. L'analyse visuelle de la répartition des anomalies a permis de mettre en évidence plusieurs zones perspectives qui présentent des signatures magnétiques importantes. Les principaux regroupements de pics d'anomalies sont illustrés par les Figure 4.07, 4.08, et 4.09 et montrent la dispersion spatiale des concentrations ferrifères dans la région d'étude.

La figure 4.10, propose sur la base du traitement des données aéromagnétiques, à savoir la distribution des sources magnétiques, les linéaments magnétiques dégagés et les solutions du signal magnétiques et de la susceptibilité magnétique des formations géologiques dans la région d'étude, quelques zones d'intérêt probables pour l'exploration du fer, bien que toute la région reste très perspective.

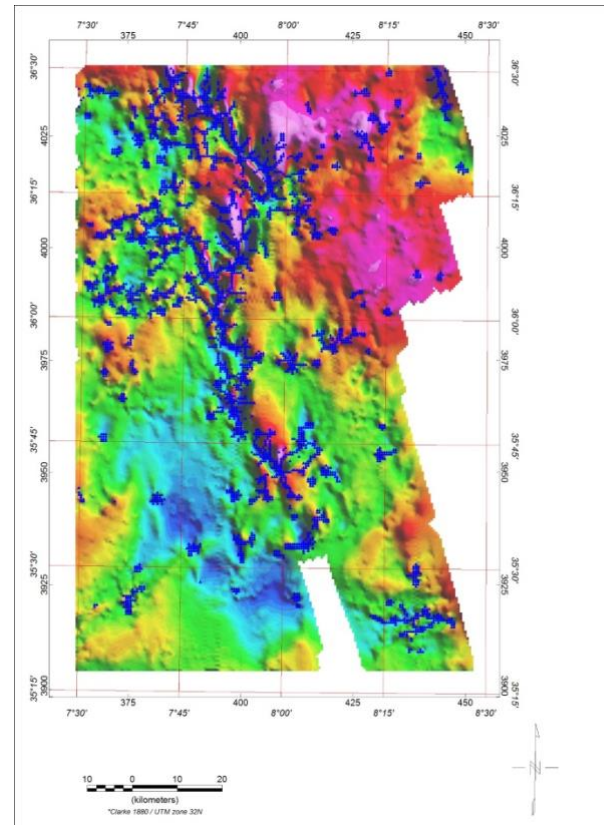
Il en ressort également, que les zones d'intérêt dégagées sont spatialement concordantes avec les districts ferrifères connus (indices et gisements) et les formations géologiques contrôlant et encaissant

les minéralisations de fer (diapirs triasiques et formations crétacées). Ceci confirme et réconforte énormément les résultats du traitement des données aéromagnétiques.

On tient à noter que la ligne électrifiée du chemin de fer, desservant les localités et les mines de fer dans la région, se dégage parfaitement sur les différentes cartes éditées ce qui influe négativement sur l'interprétation des résultats surtout pour dégager les anomalies liées principalement aux occurrences ferrifères naturelles. Des travaux de terrains géophysiques et géologiques sont nécessaires pour enlever certaines ambiguïtés.



*Figure 4.07 : Carte des solutions du signal analytique sur la carte géologique de Tébessa-Souk Ahras.*



*Figure 4.08 : Carte de la Susceptibilité magnétique sur les solutions du signal analytique*

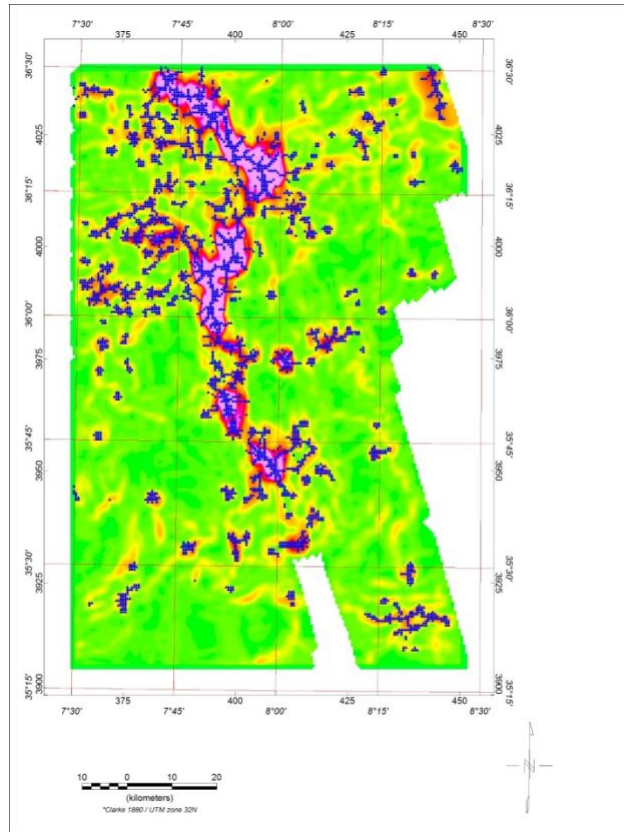


Figure 4.09 : Carte des Linéaments magnétiques sur les solutions du signal analytique

**Au terme de ce travail, qui vise la mise en évidence de cibles potentiellement favorable à la recherche du fer dans la région de Tébessa-Souk Ahras en utilisant les données aéromagnétiques, nous avons pu localiser plusieurs zones susceptibles de contenir des minéralisations de fer associées principalement aux formations géologiques du Crétacé aux environs immédiats des diapirs triasiques.**

**Les travaux réalisés ainsi que les résultats obtenus, dans le cadre de cette étude, peuvent être résumés en ce qui suit :**

- **Recueil et synthèse des différents éléments litho-stratigraphiques et métallogéniques de la zone d'étude, notamment les formations géologiques du crétacé et diapirs du Trias leurs relation avec les minéralisations ferrifères.**
- Un aperçu sur les propriétés du fer, ses minéralisations et sa gîtologie, ainsi qu'un état des lieux sur les ressources minérales en de l'Algérie en général et ses principales concentrations dans la région d'étude.
- Une introduction aux différentes techniques et étapes du traitement numérique des données magnétométriques et l'application des différents filtres numériques aux données prétraitées, pour la mise en évidence des anomalies magnétométriques.

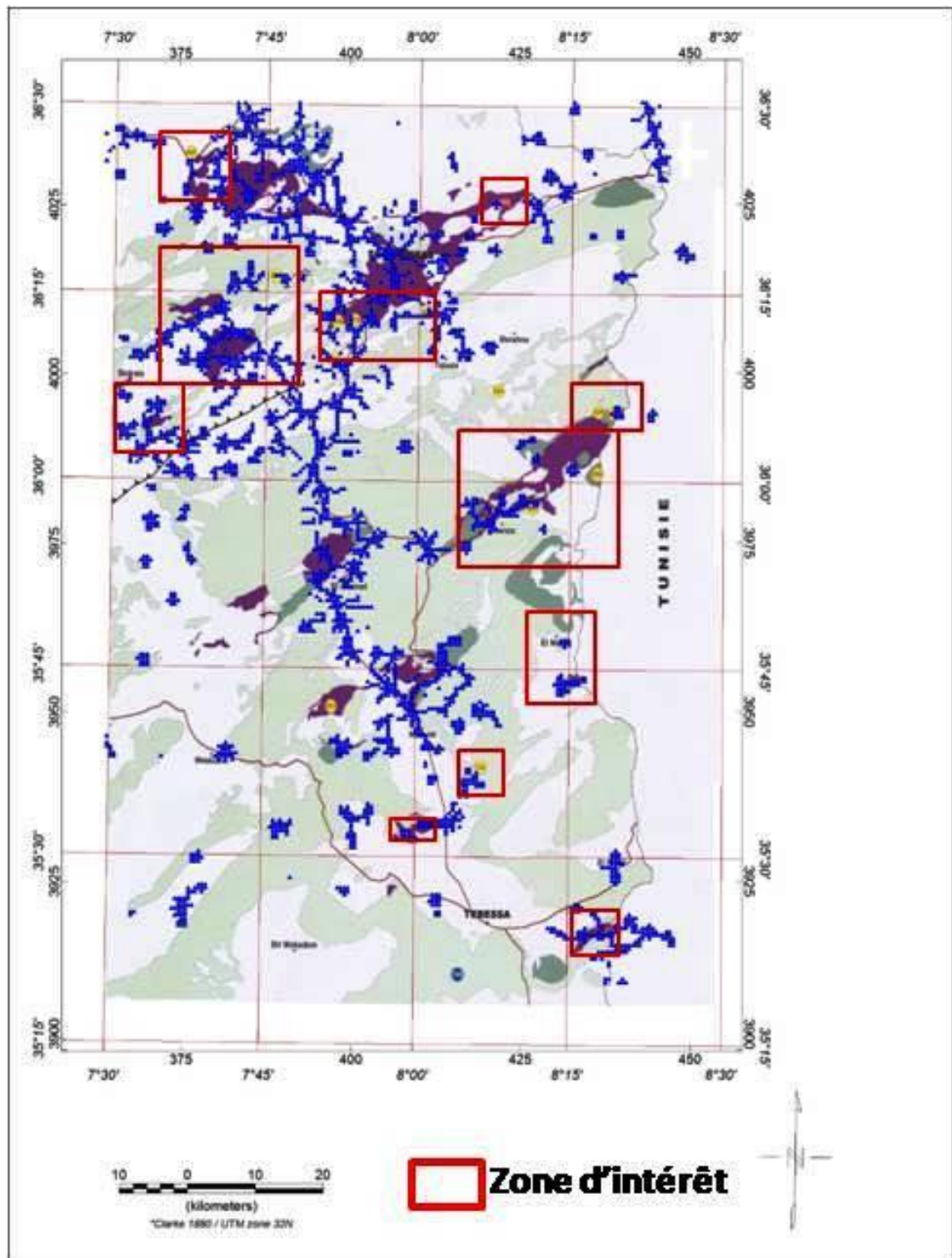
**L'interprétation qualitative et quantitative des carte filtrées éditées, nous a permis**

**de localiser des zones susceptibles de contenir des minéralisations ferrifères et ce, par l'intégration de différents résultats, notamment la susceptibilité magnétique, le signal analytique et les données géologiques.**

Il est à noter que ces zones d'intérêt sont spatialement concordantes avec les districts ferrifères connus (indices et gisements) et les formations géologiques contrôlant et encaissant les minéralisations de fer (diapirs triasiques et formations crétacées).

En conclusion, les résultats obtenus dans le cadre de cette étude, ainsi que la mise en évidence de zones potentiellement favorables à l'exploration du fer, viennent réconforter d'une part, l'apport de la technique aéromagnétique dans l'exploration du fer, vu la concordance spatiale des résultats obtenus avec les gisements et indices de fer connus et d'autre part par dans les perspectives de la recherche et de l'exploration des ressources ferrifères dans cette partie du Nord-Est Algérien.

On remarque que la ligne électrifiée du chemin de fer, desservant les localités et les mines de fer dans la région, se dégage parfaitement sur les différentes cartes éditées ce qui influe négativement sur l'interprétation des résultats surtout pour dégager les anomalies liées principalement aux occurrences ferrifères naturelles. Des travaux de terrains géophysiques et géologiques sont nécessaires pour enlever certaines ambiguïtés



*Figure 4.10 : Carte de quelques zones d'intérêt probables pour l'exploration des ressources en fer dans la région d'étude.*

## CONCLUSION

Au terme de ce travail, qui vise la mise en évidence de cibles potentiellement favorable à la recherche du fer dans la région de Tébessa-Souk Ahras en utilisant les données aéromagnétiques, nous avons pu localiser plusieurs zones susceptibles de contenir des minéralisations de fer associées principalement aux formations géologiques du Crétacé aux environs immédiats des diapirs triasiques.

Les travaux réalisés ainsi que les résultats obtenus, dans le cadre de cette étude, peuvent être résumés en ce qui suit :

- Recueil et synthèse des différents éléments litho-stratigraphiques et métallogéniques de la zone d'étude, notamment les formations géologiques du crétacé et diapirs du Trias leurs relation avec les minéralisations ferrifères.
- Un aperçu sur les propriétés du fer, ses minéralisations et sa gîtologie, ainsi qu'un état des lieux sur les ressources minérales en de l'Algérie en général et ses principales concentrations dans la région d'étude.
- Une introduction aux différentes techniques et étapes du traitement numérique des données magnétométriques et l'application des différents filtres numériques aux données prétraitées, pour la mise en évidence des anomalies magnétométriques.

L'interprétation qualitative et quantitative des carte filtrées éditées, nous a permis de localiser des zones susceptibles de contenir des minéralisations ferrifères et ce, par l'intégration de différents résultats, notamment la susceptibilité magnétique, le signal analytique et les données géologiques.

Il est à noter que ces zones d'intérêt sont spatialement concordantes avec les districts ferrifères connus (indices et gisements) et les formations géologiques contrôlant et encaissant les minéralisations de fer (diapirs triasiques et formations crétacées).

En conclusion, les résultats obtenus dans le cadre de cette étude, ainsi que la mise en évidence de zones potentiellement favorables à l'exploration du fer, viennent réconforter d'une part, l'apport de la technique aéromagnétique dans l'exploration du fer, vu la concordance spatiale des résultats obtenus avec les gisements et indices de fer connus et d'autre part par dans les perspectives de la recherche et de l'exploration des ressources ferrifères dans cette partie du Nord-Est Algérien.

On remarque que la ligne électrifiée du chemin de fer, desservant les localités et les mines de fer dans la région, se dégage parfaitement sur les différentes cartes éditées ce qui influe négativement sur l'interprétation des résultats surtout pour dégager les anomalies liées principalement aux occurrences ferrifères naturelles. Des travaux de terrains géophysiques et géologiques sont nécessaires pour enlever certaines ambiguïtés

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**AEROSERVICE Corporation, 1975.** Aero-magneto-spectrometric survey of Algeria, Final report, 3 volumes, Houston, Philadelphia.

**AOUDJEHANE M. (1989) :** Les concentrations à Ba, Sr, Zn, Pb dans le Trias, Crétacé et le Miocène de la région de Berrouaghia (Biban, Algérie): diapir "cap-rock" et minéralisation dans le sillon tellien subsident. Thèse Doct. (Métallogénie), Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 267 p.

**ANRH.2008.** Cartes hydrogéologique des wilayas de l'Est Algérien 1/200 000.

**ALLEK, K., 2005.** Traitement et interprétation des données aeromagnétiques acquises au dessus des régions de Tindouf et de l'Eglab (Sud-Ouest de l'Algérie) – Impact sur l'exploration du Diamant, Thèse de Magister USTHB – Alger, 175p.

**ASFIRANE F., 1994.** Traitement et interprétation des données aéromagnétiques acquises au dessus de l'Algérie du Nord, impact sur la géologie de la chaîne Atlasique. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud, école normale supérieure de Paris, 214 pages.

**BENLAMARI, A. 2015.** Etude géologique de la minéralisation ferrifère et cuprobarytique des massifs carbonates de Kef sid Marouf, Kef Derdja et Kef Boulehmane, commune de Sidi Maarouf (NE algérien).Mémoire de Magister, 91 p

**BOUTERFAS, A. 2015.**Inventaire des substances minérales métalliques ferreuses et non ferreuses et métaux précieux des monts de Tlemcen, 50 p

**BOUZENOUNE, A. 1993.** Minéralisation périadiapirique de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale).Thèse de Doctorat, Université de Paris IV, Paris, 206 p

**CAIRE A. (1951) :** Etude géologique de la région des Bibans.Pub. Serv. Carte Géol. Algérie, nouvelle série, Bull N°16,2 Vol, 818 p.

**CHAUVEL, J.J. 1968.** Contribution à l'étude des gisements de fer de l'Ordovicien inférieur de Bretagne .Thèse de Doctorat és.sci. Nat .Université de Rennes, 243 p

**CHEVENINE A., Popov J.J. (1989) :** Rapport sur les résultats des travaux de recherches systématiques au 1:50.000 réalisés en 1978-88 sur les feuilles 124, 125, 150, 151.Rapport E.RE.M., Inédit.

**CHEVENINE A., Popov J.J., Douha J.(1990) :** Minéraux utiles de l'Algérie du NE et régularité de leur répartition (rapport de recherches systématiques réalisées en 1987-89 sur les feuilles 77, 78, 100, 101, 124, 125, 150, 151).Rapport E.RE.M., Inédit.

**CHEVENINE A., Popov J.J., Douha J., Benzeroual M. (1989) :** Rapports sur les résultats de l'étude géologique complémentaire des feuilles 124, 125, 150, 151 pour la préparation et l'édition des cartes au 1:50.000.Rapport E.RE.M., Inédit.

**CHIKHAOUI, M. ET DOUZEAU, M. 1949-1955.** Rapport sur les travaux de reconnaissance réalisées en 1976 dans les régions de KERZAZ-BECHAR-TABALBALA, 120 p

**DAVID L. (1956) :** Etude géologique des Monts de la Haute Médjerda. Pub. Serv. Carte Géol. Algérie., Bull N°11, Alger.

**DIAB, H. 2020.** Les indices de fer de Djebel Had et M'taguinarou (sud de Tébessa): géologie, géochimie, minéralogie et contexte structural. Thèse de Doctorat, 112 p

**DUBOURDIEUR G. (1956) :** Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiers). Pub. Serv. Carte Géol. Algérie., Bull N°10, Alger.

**GÉVIN, P. 1958.** Carte géologique de Tindouf-Eglab à l'échelle 1/500 000

**GEOSOFT, 1998.** Paterson, Grant & Watson. Microleveling Procedure for Oasis Montaj™.

**GUERRAK, S. 1991.** Paleozoic patterns of oolitic sedimentation in the Sahara. Journal of African Earth sciences, 12, pp. 31-39

**GUERRAK, S. 1987.** Métallogénèse of cratonic oolitic ironstone deposits in the Bled el Mas, Azzel Matti, Ahnet and Mouydir, Sahara Central, Algérie. Geologische Rundschau, 76, p. 903-922.

**HARBI, L., BOUGUEMRA, M. ET BENAÏMED, H. 1994-1997.** Prospection régionale de fer dans le Nord-Ouest algérien, 131 p

**JACQUES, J., LARDEUX, H. ET GUERREK, S. 1985.** Le minerai de fer du Sahara algérien, pp. 249-259.

**LE MOUËL, J. L., 1969.** Sur la distribution des éléments magnétiques de France. Thèse de Doctorat, Paris VII, 154p.

**MACLEOD, I.N., Jones, K., & Dai, T.F., 1993.** 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data in low magnetic latitudes. Exploration Geophysics, 24, 679-688.

**MASSE P. Et Chikhi-Aouimeur F. (1982) :** La plate-forme carbonatée de l'Ouenza (Sud constantinois, Algérie). Organisation et dynamique durant l'Aptien supérieur. Géol. Méditer. Marseille, Vol IV, N°3, pp. 259-267.

**MAURING, E., & Kihle, O., 2005.** Leveling aerogeophysical data using a moving differential median filter. Geophysics 71, L5-L11.

**MIMOUNI, DJ. 2014.** Etude géologique de l'indice de minéralisation: "Djbel Deglen" (partie sud des monts de Ghar Roubane, Tlemcen, Algérie), 200 p.

**NAUDY, H. & Dreyer, H. 1968.** Essai de filtrage non-linéaire appliqué aux profils aéromagnétiques. Geophysical Prospecting, v. 16, 171-178.

**ONIG. 1987.** Carte des gîtes minéraux de l'Algérie au 1/500 000, Constantine Nord.

**ORGM. 2016.**Liste des sites perspectifs pour l'exploitation du fer en Algérie.

**OTMANINE A. (1987) :** Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn, et Fe sidéritique autour du fossé de Tébessa-Morsott. Relations entre paléogéographie albo-aptienne, diapirisme, structure et métallogénie.Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. P et M Curie, Paris VI, 220 p.

**PERTHUISOT V. (1978) :** Dynamique et pétrogénèse des extrusions triasiques en Tunisie septentrionale.Trav. Labo. Géol. ENS, Paris, N°9, 312 p.

**PERTHUISOT V., Rouvier H. (1992) :** Les diapirs du Maghreb central et oriental: des appareils variés, résultats d'une évolution structurale et pétrogénétique complexe.Bull. Soc. Géol. France, t.163, N°6. Pp. 751-760.

**PETRUK, C. 1977.** Mineralogical characteristics of an oolitic iron deposit in the peace River District ,Alberta. The Canadian , 15, p. 3-13.

**POPOY, A. 1976.** Les gisements de fer en Algérie. In : H.W. Walther and A. Zitzmann (Eds) : the iron ore deposits of Europe and adjacent areas, vol. 1, p. 83-89.

**ROEST, W. R., Verhoef, J., & Pilkigton, M., 1992.** Magnetic interpretation using the 3-D signal analytic. Geophysics, 57:116-125.

**ROUVIER H. (1977) :** Géologie de l'extrême Nord tunsien: tectoniques et paléogéographie superposées à l'extrémité orientale de la chaîne Nord maghrébine.Thèse d'Etat, Lab. Géol. Appl. Univ. P. et M. Curie, Paris VI,703 p.

**ROUVIER H. (1990) :** Les concentrations polymétalliques liées aux diapirs évaporitiques des confins algéro-tunisiens.Rapport interne E.RE.M, Boumerdes, Algérie.71 p.

**ROUVIER H., Perthuisot V., Mansouri A. (1985) :**Pb-Zn deposit and salt-bearing diapirs in southern Europe and north Africa.Economic geology. Vol. 80, pp. 666-678.

**SCHIFFMACHER, L. 1910.** Les richesses minières du département de Constantine, 80 p.  
Smith, W.H.F., & Wessel, P., 1990. Gridding with continuous curvature splines in tension. Geophysics 55 (3), 293–305.

**SONAREM. 1977.** Carte géologique et géologique du Hoggar 1/1000 000.

**TCHOUDOT, M.-N.ET APALIKHINE, V. 1975.** Rapport de recherches et perspectives de minerais de fer exécutés en 1974-1975 dans la Petite Kabylie, 300 p.

**THIBIEROz J, Madre M. (1976):** Le gisement de sidérite du Djebel Ouenza (Algérie) est contrôlé par un golfe de la mer aptienne.Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, Alger, t. 67. Fasc. 3-4. Pp 126-150.

**VILA J.M. (1993) :** Comportement des terrains triasiques des confins algéro-tunisiens ou "le Trias dans ses états".Livret guide du Colloque "Trias'93', Algérie", 38 p. Inédit.Document SONATRACH-CRD, Boumerdes, Algérie.

**VILA J.M. (1995) :** Première étude de surface d'un grand "glacier de sel" sous-marin: l'est de la structure Ouenza-Ladbel-Méridéf (confins algéro-tunisiens). Proposition d'un scénario de mise en place et comparaisons. Bull. Soc. Géol. France. T. 166, N°2. Pp. 149-167.

**VILA J.M., Charrière A. (1993) :** Découverte d'Albien calcaire et de Trias resédimenté au Djebel Bou Jaber (Partie Ouest-Algérie); corrélation avec les forages et conséquences sur l'organisation du Crétacé inférieur des confins algéro-tunisiens.C.R.Acad.Sci. Paris. 8 p.

**WYDRINE W. (1972) :** Géologie et régularité de la répartition des gîtes des métaux non-ferreux en Algérie du Nord.Tome II. SONAREM., Algérie.

**ZITZMANN, A. ET NEUMANN-REDLIN, C, 1977.**The iron ore deposits of Europe and adjacent areas. Hannover , Leipzig (Germany) Federal Institute for Geosciences and Natural Research, 386 p.