



République Algérienne Démocratique et populaire  
Ministère de l'Enseignement supérieur et la Recherche Scientifique  
Université Larbi Tébessi. Tébessa  
Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la  
Nature et de la Vie  
Département : Sciences de la Terre et de l'Univers



**MEMOIRE DE MASTER**  
Domaine : Science de la Terre et l'Univers  
Filière : Géologie  
Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème :

**Impact des sites minières abandonnés sur  
l'environnement et proposition de projet de  
réhabilitation : cas de la mine de phosphates d'El-Kouif  
(N.E Algérie)**

Présenté par :

Saouane Hazem.  
Touati Iman.

Devant le jury :

<b>BENHAMADI Hocine</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Université de Tébessa</b>	<b>Président</b>
<b>BOUMEZBEUR Abderrahmane</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Tébessa</b>	<b>Examineur</b>
<b>FEHDI Chemseddine</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Tébessa</b>	<b>Rapporteur</b>

Date de soutenance : 23/06/2019

Note :

Mention :

## **Remerciements**

*Nous tenons à exprimer nos plus sincères reconnaissances et toute nos sympathies à notre promoteur, Monsieur FEHDI.CH, qui a dirigé ce travail. Il a su nous guider habilement dans un sujet riche tout en accordant sa confiance. Nous lui témoignons toute notre gratitude pour l'éclairage extérieur et plein d'intérêt, qu'il a apporté lors de nos discussions. Ses conseils avisés et la pertinence de ses analyses ont permis de faire avancer ce travail avec une grande efficacité ; son approche des questions scientifiques restera pour nous un exemple ; ses compétences et son enthousiasme scientifique ont été des sources permanentes de soutien et de motivation.*

*Et nous remercions Mr FEHDI.CH une autre fois pour tout ce qu'il nous a apporté lors de l'élaboration de notre mémoire. Son goût profond pour une science claire et rigoureuse et son dynamisme nous ont beaucoup marqué.*

*Nous présentons nos profonds remerciements aux membres de jury qui ont bien voulu accepter d'examiner et de juger notre travail de recherche.*

*Nous tenons également à remercier tous les enseignants et le personnel du département, ainsi que pour ceux qui nous ont aidé à la réalisation de ce mémoire.*

## *Dédicace*

*Je dédie mon travail à :*

*Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*Ma petite chère sœur,*

*Mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement, et leur soutien moral,*

*Toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible, Merci d'être toujours là pour moi.*

## ملخص

أنشطة التعدين أو التعدين لها تأثير كبير على البيئة ، وخاصة منذ عملية الاستغلال. بصرف النظر عن التأثير الجمالي السلبي، فإن المواقع المهجورة لم تعد تحتوي على تربة أو نباتات، بل إنها قابلة للتآكل بشكل عام وتلوث مساحة كبيرة حولها.

تجاويف وصلات عرض تحت الأرض في منطقة دراسة الكويف هي نتائج سنوات إستغلال منجم الفوسفات السابق في جبل الكويف والتي مرتبطة مباشرة بالنظم الهيدروجيولوجية المعقدة للغاية. يتم تثبيت شبكة كارستية خلال أكثر من 45 عامًا من إستغلال الفوسفات في المنطقة حيث تمثل خطراً كبيراً على الإنشاءات التي تتطور يوماً بعد يوم بالقرب من المنجم محل دراستنا ، تعاملنا مع خطر التخلي عن موقع المنجم هذا بعد 45 عامًا من الاستغلال للبيئة ، سواء من حيث الموارد المائية والتربة.

لهذا، كان البحث الميداني، من خلال أخذ عينات من الماء والتربة بمثابة أداة لنهجنا. من نتائج عملية أخذ العينات، يبدو أن تدهور البيئة ليس مقلقاً وغير موجود تقريباً.

بالوقاية، تمت مناقشة فصل حول إعادة تأهيل مواقع الأغم في حالة التدهور الحاد، بناءً على الحالات التي لوحظت في جميع أنحاء العالم أظهرت حالة منجم الكويف تأثيراً ضئيلاً في جميع سنوات التشغيل ، ولكن من المهم اعتبار برنامج إعادة التأهيل كإجراء وقائي ، دون إهمال المخاطر الجيوتقنية المقدمة في الدراسات السابقة بسبب وجود تجاويف.

**الكلمات المفتاحية:** الفوسفات ، المنجم ، التأثير البيئي ، إعادة التأهيل ، الكويف.

## Résumé

Les activités d'extraction ou d'exploitation au niveau des mines ont des répercussions notables sur l'environnement, surtout depuis la mécanisation de l'exploitation. En dehors de l'impact esthétique négatif, les sites laissés à l'abandon n'ont plus ni sol ni végétation, sont même généralement, fortement soumis à l'érosion et susceptibles de polluer une large zone alentour.

Les cavités et les galeries souterraines dans la région d'étude El-Kouif sont les résultats des années d'exploitation de l'ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif. Elles sont liées directement à des systèmes hydrogéologiques très complexes. Un réseau karstique est installé au cours plus de 45 ans d'exploitation des phosphates dans la région où il présente un important risque sur les constructions qui se développent jour après jour à proximité de la mine.

Dans notre étude, nous avons traité la problématique du risque que présente l'abandon de ce site minier après 45 années d'exploitation sur l'environnement, aussi bien pour ce qui est de la ressource en eau que le sol.

Pour cela, l'investigation de terrain, par le prélèvement d'échantillons des eaux et du sol a servi d'outil à notre démarche. A partir des résultats de l'opération de l'échantillonnage, il semble que la dégradation de l'environnement ne soit pas alarmante et même presque inexistante.

Par prévention, un chapitre a été abordé sur la réhabilitation des sites miniers en cas de forte dégradation, en se basant sur des cas observés dans le monde. Le cas de la mine d'El Kouif a montré un impact négligeable de toutes les années d'exploitation, mais il est important d'envisager un programme de réhabilitation par précaution, sans négliger le risque géotechnique présenté dans des études précédentes à cause de la présence de cavités.

**Mots Clés :** *Phosphate, mine, impact environnemental, réhabilitation, El Kouif*

## **Abstract**

Extraction or mining operations have significant environmental impacts, since the mechanics of the exploitation. The abandoned sites have neither soil no vegetation and are generally, strongly subject to erosion and likely to pollute a large area around.

The cavities and underground galleries in El-Kouif study area are the results of phosphate exploitation during years at the mine of Djebel El-Kouif (Mountain). They are directly related to very complex hydro-geological systems. A karstic network is installed during more than 45 years of exploitation of phosphates in the region where it presents a significant risk on the constructions which develop day by day near the mine.

In our study, we dealt with the risk of abandoning this mine site after 45 years of exploitation on the environment, both in terms of water resources and soil. For this, the field investigation, by the sampling of both water and soil was used as a tool to our approach. From the results of the sampling operation, it seems that the degradation of the environment is not alarming and almost non-existent.

By prevention, a chapter was discussed on the rehabilitation of mine sites in case of severe degradation, based on cases observed in the world. The case of El-Kouif mine showed a negligible impact of all years of operation, but it is important to consider a rehabilitation program as a precaution, without neglecting the geotechnical risk presented in previous studies because of the presence of cavities.

***Keywords :*** *Phosphate, mine, environmental impact, rehabilitation , El Kouif.*



## Liste de figures

### Introduction générale

01	Situation géographique de la région d'étude d'El-Kouif. ....	02
----	--	----

### CHAPITRE 1

#### Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation)

01	Situation géo-structurale d'El-Kouif. ....	04
02	Croquis géomorphologique de la région de Tébessa et ses environs. ....	04
03	Carte topographique par satellite de la plaine de Tébessa et ses régions.....	05
04	Massif Dyr. ....	09
05	Djebel El-Kouif. ....	10
06	Les collines et les vallées qui forment le relief de la région d'El-Kouif. ....	12
07	Croquis des terrasses alluviales de la région d'étude (Djeffali 2015). ....	13
08	Croquis de la structure des éboulis observés sur les versants de séries Dyr. ....	14
09	Carte des sols d'Algérie /La région de Tébessa (la région d'étude d'El-Kouif localisée). ....	16
10	Carte de la végétation de la zone d'étude. Source : HCDS-2005.....	21

### CHAPITRE 2

#### Géologie régionale et tectonique

01	La carte géologique de la région Tébessa d'après (les cartes géologiques de MORSOTT 1971, et de Tébessa 1956 à échelle 1/50.000).....	23
02	Coupe géologique dans les formations de la plaine de Tébessa d'après J,Richard (1973, modifiée). ....	24
03	Photos par satellite montrant la topographie de la région d'étude d'El-Kouif. ....	29
04	La carte géologique de la région d'El-Kouif d'après (les cartes géologiques de Morsott 1971, et de TEBESSA 1956 à échelle 1/50.000). ....	32
05	Croquis géologique du secteur de la région d'étude d'El-Kouif (Extrait de la feuille du Morsott N° / 151). ....	33
06	Croquis des accidents tectoniques dans les calcaires éocènes (séries Dyr ). ....	33
07	Colonne stratigraphique de la région d'El-Kouif d'après (Debourdieu, 1956, Cielensky, et Benchernine ,1987).(in par: B.Djaffali). ....	34
08	Croquis tectonique de la région d'étude d'El-Kouif extrait d'Esquisse tectonique des environs de Tébessa avec les contraintes maximales d'après (W.M. Kowalski et al, 2002).....	35
09	Croquis d'une carte des conditions aux limites de la région étudiée El-Kouif .....	37



## CHAPITRE 3

### Caractérisation minière d'El-Kouif.

01	Répartition des différents types de gisements de phosphates dans le monde.....	39
02	Les ensembles structuraux des mines algériennes en 1968 de la région d'ANNABA .....	41
03	L'usage des phosphates dans l'agriculture. ....	43
04	Modèle de formation des phosphates marins. ....	44
05	Mode de la formation des phosphates (la phosphatogenèse)/Model du Milankovich. ....	46
06	Model de la formation des phosphates marins /D'après (Milankovich et Prévôt 1993). . ....	47
07	Eres géologiques de formation des gisements de phosphates d'après (Cook et Elhinny, 1979). ....	48
08	Les mines Algériennes en 1968 .....	50
09	Situation géographique de la mine du Djebel Kouif (in Djeffali 2015).....	51
10	Evolution les gisements des phosphates Atlasiques – mine du Djebel Kouif-1894.....	53
11	Croquis d'une coupe géologique de la région d'exploitation –Kouif/ (Priem, 1907) .....	54
12	Croquis d'une coupe géologique du faisceau phosphaté de la mine/ (Priem, 1907) .....	55
13	Litho stratigraphie de la mine du Djebel Kouif (Priem, 1907).....	56
14	Vue générale de la mine du Djebel Kouif/1921.....	58
15	Les principaux infrastructures de la mine du Djebel Kouif / photos, en 1921.....	59
16	L'extraction et traitement des phosphates dans l'ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif .....	60

## CHAPITRE 4 :

### Partie spéciale

01	Image montrant le réseau des pistes tracé par la compagnie du Constantine des phosphates .....	74
02	Image, illustrant le stockage des phosphates à ciel ouvert. ....	75
03	Image illustrant la nature d'extraction de minerais de phosphates dans la mine du Djebel El-Kouif .....	76
04	Schéma des processus hydrologique et géochimique intervenant au niveau des rejets miniers (Blowes <i>et al.</i> 1994). ....	78

<b>05</b>	Image illustrant des différents points d'eau.....	<b>79</b>
<b>06</b>	Impacts de projets miniers sur la qualité de l'air.....	<b>81</b>
<b>07</b>	Image illustrant des différents point d'échantillonnage .....	<b>82</b>
<b>08</b>	Préparation des échantillons au laboratoire.....	<b>83</b>

# Liste des Tableaux

## CHAPITRE 1

### Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation).

<b>01</b>	Les précipitations moyennes mensuelles. ....	<b>17</b>
<b>02</b>	Distribution des températures moyennes mensuelles. ....	<b>18</b>
<b>03</b>	Humidité relative moyenne en % à la station de Tébessa. ....	<b>19</b>
<b>04</b>	Intensité du vent en m/s. ....	<b>19</b>
<b>05</b>	Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport.....	<b>20</b>

## CHAPITRE 4

<b>01</b>	Les paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés sur terrain.....	<b>80</b>
-----------	---	-----------

# Table Des Matières

<b>1</b>	Introduction générale .....	<b>01</b>
<b>2</b>	Contexte géographique.....	<b>02</b>
<b>CHAPITRE 1</b>		
<b>Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation)</b>		
<b>1</b>	Géomorphologie .....	<b>03</b>
<b>1.1</b>	Introduction .....	<b>03</b>
<b>1.2</b>	Le relief .....	<b>05</b>
<b>1.3</b>	Le plateau d'El-Kouif .....	<b>05</b>
<b>1.4</b>	L'aspect structuraux .....	<b>06</b>
<b>1.4.a</b>	Le subsidence .....	<b>06</b>
<b>1.4.b</b>	Les plissements .....	<b>06</b>
<b>1.4.c</b>	Le diapirisme .....	<b>07</b>
<b>1.4.d</b>	Fossés d'effondrements et leurs évolutions .....	<b>07</b>
<b>1.5</b>	Structures morphologiques de la région d'étude .....	<b>08</b>
<b>1.5.1</b>	Les massifs montagneux .....	<b>08</b>
<b>1.5.2</b>	Massif Dyr .....	<b>08</b>
<b>1.5.3</b>	Massif (Djebel) El-Kouif .....	<b>09</b>
<b>1.5.4</b>	Séries massives Zitouna-Tala-Chemla .....	<b>10</b>
<b>1.6</b>	Les glacis .....	<b>10</b>
<b>1.7</b>	Synthèse des formes et les formations liées aux ruissellements concentrent....	<b>11</b>
<b>1.7.1</b>	Les plaines .....	<b>11</b>
<b>1.7.2</b>	Les collines .....	<b>11</b>
<b>1.7.3</b>	Les cônes coalescents .....	<b>12</b>
<b>1.7.4</b>	Les terrasses .....	<b>12</b>
<b>1.7.5</b>	Les talwegs .....	<b>12</b>
<b>1.7.6</b>	Les éboulis .....	<b>13</b>
<b>1.8</b>	Le réseau hydrographique .....	<b>14</b>
<b>1.8.1</b>	Les oueds convergents .....	<b>14</b>

1.8.2	Les sources .....	15
1.8.3	Les formations alluvionnaires du Quaternaires .....	15
2	Climatologie.....	16
2.1	Les précipitations.....	17
2.2	Les températures.....	17
2.3	L'évapotranspiration.....	18
2.4	L'humidité.....	18
2.5	Les vents.....	19
2.6	Etude de l'évaporation.....	19
3	Végétation.....	20
4	Conclusion .....	21

## **CHAPITRE 2**

### **Géologie régionale et tectonique**

1	Introduction .....	22
2	Géologie Régionale. ....	22
2.1	Contexte stratigraphique et lithologique .....	22
2.1.1	Le Trias .....	24
2.1.2	Crétacé .....	24
2.1.2.a	Crétacé inférieur.....	25
2.1.2.b	Crétacé supérieur.....	25
2.1.3	Le Barrémien .....	25
2.1.4	L'Aptien .....	25
2.1.5	L'Albien .....	25
2.1.6	Le Vraconnien .....	25
2.1.7	Le Cénomaniens .....	25
2.1.8	Le Turonien .....	25
2.1.9	Campanien-Santonien .....	26
2.1.10	Le Maestrichtien .....	26
2.1.11	Le Paléocène .....	26
2.1.12	L'Eocène. ....	26
2.1.13	Le Miocène. ....	26

2.1.14	Quaternaire.....	26
2.1.14.	Les formations anciennes et le Plio-Quaternaire (Villafranchien). ....	26
A		
2.1.14.	Le Plio-Quaternaire (Villafranchien) .....	26
A.a		
2.1.14.	Alluvions anciennes. ....	27
A.b		
2.1.14.	Alluvions anciennes de piedmont. ....	27
A.c		
2.1.14.	Matériel d'épandage ancien (les éboulis et cônes de déjections).....	27
A.d		
2.2	Les formations actuelles et récentes. ....	27
2.2.a	Les éboulis actuels. ....	27
2.2.b	Les dépôts de sources (les travertins) . ....	27
2.2.c	Les alluvions actuelles. ....	27
2.2.d	Limons récents. ....	27
2.2.e	Les croutes calcareuses. ....	27
3	Tectonique de la région d'étude. ....	28
3.1	Les phases de l'orogénèse. ....	28
4	Géologie locale. ....	28
4.1	Litho-stratigraphie d'El-Kouif. ....	29
4.2	Les dépôts marneux du Paléocène. ....	29
4.2.a	Le Danien. ....	29
4.2.a.1	Danien Inferieur- e <sup>1</sup> . ....	29
4.2.a.2	Danien Supérieur- e <sup>2</sup> . ....	30
4.3	Paléocène Supérieur et de l'Eocène-Miocène. ....	30
4.3.a	Thanétien- e <sup>4</sup> . ....	30
4.3.a.1	Thanétien Inferieur. ....	30
4.3.a.2	Thanétien Supérieur. ....	30
4.4	L'Eocène : Représenté par l'Yprésien, l'inferieur et le supérieur.....	30
4.4.a	Yprésien inferieur. ....	30
4.4.b	Yprésien supérieur. ....	30
4.5	Lutétien. ....	30

4.5.a	Lutétien Inferieur. ....	30
4.5.b	Lutétien Supérieur. ....	30
4.6	Le Miocène. ....	30
4.6.a	Miocène Inferieur. ....	30
4.6.b	Miocène Moyen. ....	31
4.6.c	Miocène Supérieur. ....	31
4.7	Quaternaire.....	31
5	Les formations anciennes et le Plio-Quaternaire.....	31
5.1	Le Villafranchien. ....	31
6	Les formations actuelles et récentes. ....	31
7	L'aspect tectonique local. ....	34
7.1	Synthèse tectonique d'El-Kouif. ....	35
8	Quelques éléments hydrogéologiques de la région d'El-Kouif. ....	36
8.1	Carte des conditions aux limites. ....	36
9	Conclusion générale. ....	37

### **CHAPITRE 3**

#### **Caractérisation minière d'El-Kouif.**

1	Introduction. ....	38
2	Généralité sur les phosphates. ....	38
2.1	La potentialité économique des gisements de phosphates dans le monde. ....	38
2.2	L'histoire des phosphates en Algérie.....	39
2.3	Usage des phosphates. ....	41
2.4	La genèse de la formation phosphatière. ....	43
2.5	Modes de formation de l'apatite la phosphatogenèse. ....	44
2.6	Minéralogie des phosphates. ....	47
2.7	Chimie des phosphates. ....	48
2.7.1	Eléments majeurs. ....	48
2.7.2	Eléments en traces. ....	48
2.7.3	L'Uranium (U) dans les phosphates. ....	48
2.8	Nomenclature des phosphates. ....	49

3	Les gisements de phosphates en Algérie. ....	49
4	Mine de phosphates du Djebel El-Kouif. ....	50
4.1	Situation géographique de la mine du Djebel El-Kouif. ....	50
4.2	L’histoire de la découverte de la mine du Djebel EL-Kouif. ....	51
4.3	L’histoire géologique de la mine du Djebel El-Kouif.....	51
4.3.1	Caractérisation géo-structurale de la mine du Djebel El-Kouif.....	52
4.3.1.a	Les mines Atlasiques. ....	52
4.3.2	Lithologie du facies de la mine du Djebel El-Kouif. ....	53
4.3.3	Synthèse litho-stratigraphie de la mine du Djebel El-Kouif. ....	53
4.3.4	Synthèse géologique et géomorphologique de la mine du Djebel El-Kouif.....	54
4.3.5	Synthèse morpho-géologique et pétrographique du faisceau phosphaté de la mine.....	54
4.3.5.a	La couche sommitale .....	54
4.3.5.b	La couche principale.....	55
4.3.5.c	La couche basale. ....	55
4.3.6	Synthèse minéralogique et pétrographique du phosphate de la région.....	57
5	Historique de traitement du phosphate de la mine du djebel El-kouif. ....	57
5.1.1	Synthèse d’extraction de minerai. ....	61
5.1.2	La préparation mécanique. ....	61
5.1.2.a	Concassage .....	61
5.1.2.b	Broyage .....	61
5.1.2.c	Criblage .....	61
5.1.3	Traitement par voie humide. ....	61
5.1.4	Traitement par voix sèche – dépoussiérage. ....	61
6	Histoire de la production des phosphates de la mine du Djebel El-Kouif .....	62
7	Conclusion .....	62

## **CHAPITRE 4**

### **Partie spéciale.**

1	Généralités sur les impacts environnementales de l’ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif .....	64
2	Méthodologie de l’évaluation de l’impact environnemental (EIE).....	64
2.1	Détermination des critères de l’étude d’impact .....	65
2.2	Cas de l’industrie minière.....	65



2.3	Les phases de la vie d'une mine .....	66
2.4	L'évaluations de l'impact .....	36
2.5	Méthodes d'étude de l'état initial.....	67
2.5.a	Le milieu naturel .....	67
2.5.b	La couverture végétale .....	67
2.5.c	L'hydrologie et l'hydrographie .....	67
2.5.d	Les sols .....	68
2.5.e	La géologie .....	68
2.5.f	L'aspect hydrogéologique .....	68
3	Généralités sur les exploitations minières de phosphates.....	68
3.1	Les gisements de phosphates dans le monde. ....	68
3.2	Les tendances futures de la production dans le monde.....	69
4	Mines et environnement : La recherche d'un équilibre. ....	69
4.1	Quelques cas d'impact dans le monde .....	70
4.1.a	Mine à ciel ouvert en Allemagne : (Par : Équipe Solidaire, le 21 septembre 2012 dans Ecologie) .....	70
4.1.b	En Amérique : (Michel Deshaies, Idées d'Amériques, automne 2016).....	71
4.1.c	Cas du Maroc. ....	71
4.1.d	Cas de la Tunisie : (27 mars 2015, par Clément Barraud). ....	71
4.1.e	Cas de la mine de Moanda (Gabon) .....	72
4.2	Quelques cas d'impact en Algérie. ....	73
4.2.a	Cas de la mine d'El Ouenza. ....	73
5	Les phases d'un projet minier. ....	73
5.1	L'exploitation. ....	73
5.2	Développement. ....	74
5.3	Pendant l'exploitation minière (l'activation de la mine). ....	74
5.3.a	Exploitation des Placers. ....	74
5.3.b	Exploitation souterraine. ....	74
5.4	Evacuation des morts terrains et des déchets de roche. ....	75
5.5	Extraction du minerai. ....	76
5.6	Enrichissement. ....	76

<b>6</b>	Evaluation d'Impacts environnementaux et sociaux de l'exploitation minière.....	<b>77</b>
<b>6.1</b>	Les impacts négatifs. ....	<b>77</b>
<b>6.2</b>	Impacts sur les ressources en eau. ....	<b>77</b>
<b>6.3</b>	Types de pollution de l'eau causée par l'extraction minière. ....	<b>78</b>
<b>6.3.1</b>	Drainage minier acide. ....	<b>78</b>
<b>6.3.2</b>	Contamination par le métal et filtration. ....	<b>78</b>
<b>6.3.3</b>	Cas de la mine d'El-Kouif. ....	<b>79</b>
<b>6.3.4</b>	Pollution par les produits chimiques. ....	<b>80</b>
<b>6.3.5</b>	L'érosion et la sédimentation. ....	<b>80</b>
<b>6.4</b>	Impacts de projets miniers sur la qualité de l'air. ....	<b>80</b>
<b>6.5</b>	Impacts de l'exploitation minière sur la faune. ....	<b>81</b>
<b>6.6</b>	Impacts de l'exploitation minière sur la qualité du sol. ....	<b>81</b>
<b>6.7</b>	Bruits et vibrations. ....	<b>83</b>
<b>7</b>	Impacts de la mine des phosphates du Djebel El-Kouif sur les valeurs sociales. ....	<b>83</b>
<b>8</b>	Plan du Réhabilitation et la fermeture de la mine. ....	<b>83</b>
<b>8.1</b>	Conséquences de l'exploitation. ....	<b>84</b>
<b>8.2</b>	Quelques cas de réhabilitation dans le monde.....	<b>84</b>
	Conclusion générale.....	<b>86</b>
	Références bibliographies. ....	<b>87</b>

## Introduction générale

---

### 1.Introduction générale

Les mines comptent pour une part importante dans la richesse et le produit intérieur brut (PIB) d'un grand nombre de pays en développement et constituent même souvent l'essentiel des exportations et des investissements dans ces pays. Les activités minières ont des répercussions importantes sur l'économie, l'environnement, l'emploi et la vie sociale, et en particulier, elles peuvent avoir sur l'environnement des effets considérables et de longue durée. Il existe de nombreux exemples de bonnes et de mauvaises pratiques d'exploitation et de réhabilitation de sites miniers. Les atteintes à l'environnement liées à l'extraction ont un impact croissant sur les écosystèmes et la santé publique. Cet impact peut être considéré en deux phases, la phase durant l'exploitation et la phase après l'arrêt et l'abandon du site minier.

Dans cet axe-là, nous nous sommes intéressés au cas de l'ancienne mine des phosphates de la localité d'El-Kouif qui a débuté son activité depuis la période coloniale (45 ans) et actuellement à l'arrêt. Des travaux antérieurs ont été effectués dans l'étude de la structure de ce site (prospection et géophysique) qui ont montré la présence d'un karst anthropique. Ces cavités mises en évidence ont une importance dans l'impact sur la ressource en eau souterraine.

L'intérêt de notre travail est de présenter à la fin d'un diagnostic de l'état de l'environnement de la région sur la base d'un travail d'échantillonnage et de mesure à la périphérie du site. Dans notre cas, l'évaluation de l'impact porte sur deux milieux, il s'agit de la ressource en eau et du sol, deux éléments importants dans l'activité socio-économique de la localité. Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone du projet constituent peut-être l'impact le plus important d'un projet d'exploitation minière. La question clé est de savoir si les fournitures en eaux souterraines resteront appropriées à la consommation humaine. Pour ce qui est du sol, l'exploitation minière peut contaminer les sols sur de vastes zones. Les activités agricoles proches de l'exploitation minière peuvent être particulièrement touchées, d'où Les risques sur la santé humaine et sur l'environnement provenant des sols contaminés.

En dernière phase, après l'évaluation de l'importance de l'impact (diagnostique), nous présentons une approche modeste sur la démarche pour une éventuelle réhabilitation et protection du site, dans un premier temps et définir un périmètre a risque pour la construction en raison de la présence des cavités dans un deuxième temps.

## Introduction générale

### 2.Contexte géographique

El-Kouif est une commune de la wilaya de Tébessa en Algérie située à l'est des Aurès., ville frontalière avec la Tunisie, située à l'extrême Nord-est algérien. Elle est assise à trente-quatre kilomètres au Nord de la wilaya de Tébessa, ses coordonnées géographiques :

35° 29' 54" Nord et

08° 19' 19" Est.

El-Kouif fait partie des régions semi-arides, dont cette commune s'étend sur une superficie environ 257km<sup>2</sup> avec une altitude atteint les 1089m. Son climat est caractérisé par une alternance d'une saison froide et une saison sèche ; le pluviomètre de cette région indique une précipitation annuelle entre 400 et 450 mm. La température moyenne annuelle qui règne cette région est de (+ 15° c), avec un minimum de (- 5° c), en période froide, et d'une valeur maximale allant jusqu'à (+ 38° c). La région est limitée au Sud par le secteur de Biskra, à l'Ouest par celui de Constantine et à l'Est par la frontière Algero-Tunisienne. (**Figure 01**).

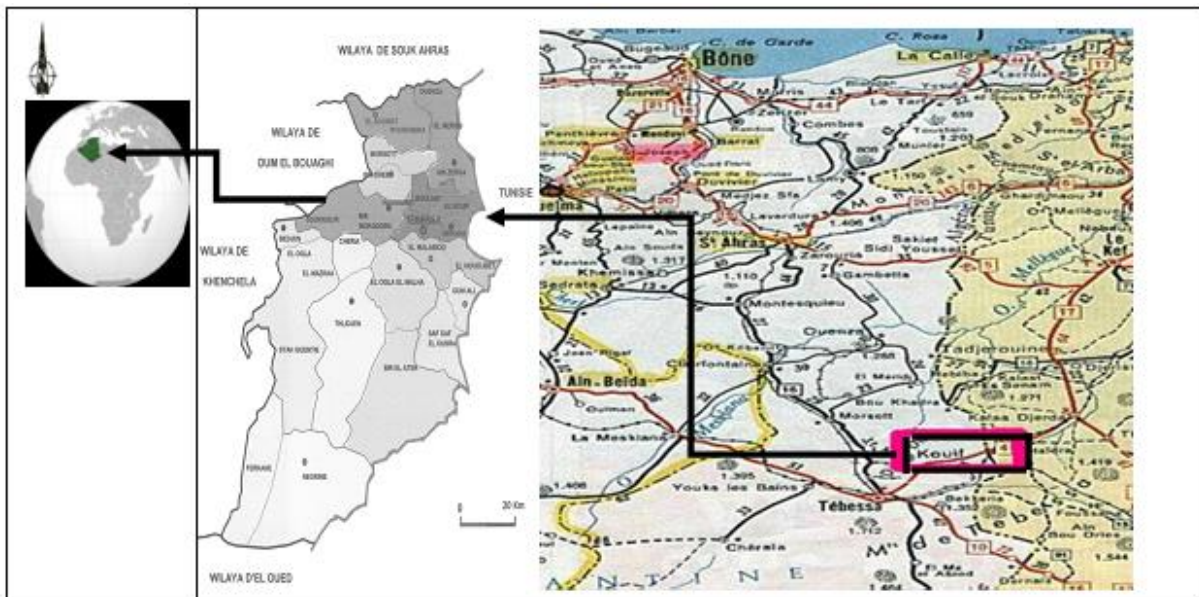


Figure 01 : situation géographique de la région d'étude d'El-Kouif.

# **CHAPITRE 1**

## **Cadre physique**

**(Géomorphologie, climatologie et  
végétation)**

### 1. Géomorphologie

#### 1.1 Introduction

Lorsqu'on parle de la morphologie, on vise précisément, à la géomorphologie, qui s'intéresse à des études scientifiques, de relief qui est l'ensemble des processus géologiques agissants sur la croûte terrestre. C'est alors le contact entre la lithologie et l'atmosphère, sous l'intervention des facteurs morphogéniques par leurs différents modes. Parmi le principal facteur morphogénique qui entre en jeu, le climat, dont son action sur le relief apparaît très complexe, d'où le rôle de ce dernier est relatif avec le matériel rocheux, vis-à-vis à l'érosion. Donc la géomorphologie est une discipline de synthèse qui décrit et explique le relief terrestre, dont le relief est une armature physique des paysages.

Le relief joue plusieurs fonctions en relation aux activités humaines contraintes physique, risque naturel et ressource naturelle. Il n'est pas statique, mais un ensemble dynamique en évolution.

Il est le témoin d'une histoire géologique et géomorphologique : l'histoire des roches, l'histoire de déformations et l'histoire des formes.

Sous l'effet des grands accidents tectoniques, la région d'étude a été physionomie par sa forme actuelle. Géométriquement, elle caractérise un plateau entouré de part et d'autres par deux grands ensembles d'affleurements calcaires, séparés par des dépressions, le premier celui de Djebel Dyr à l'ouest et le second vers l'Est les monts de Kasserine (gouvernorat Tunisien) et vers le Sud Djebel Djebissa qui appartient à la structure morphologique Tunisienne. D'une manière générale la structure de la région d'El-Kouif est délimitée par la mole Constantinoise au NW, la plateforme saharienne au Sud et la structure du Biskra à l'Ouest ; et vers l'Est, la structure d'El-Kouif entre en vigueur dans l'Atlas Tunisien. (**figure 01, figure 02**).

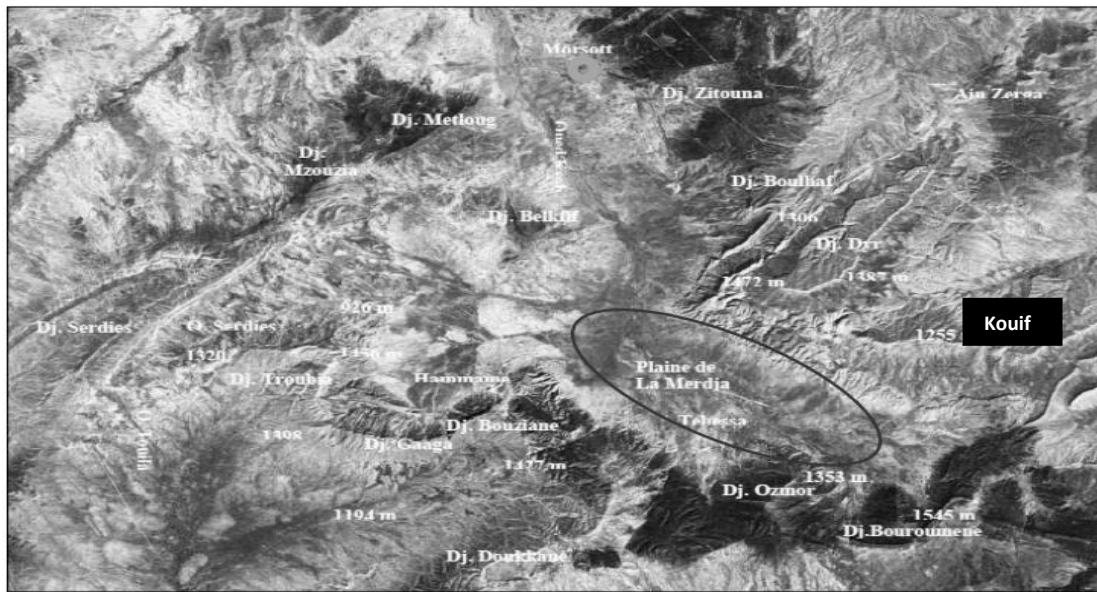


Figure 01 : situation géo-structurale d'El-Kouif

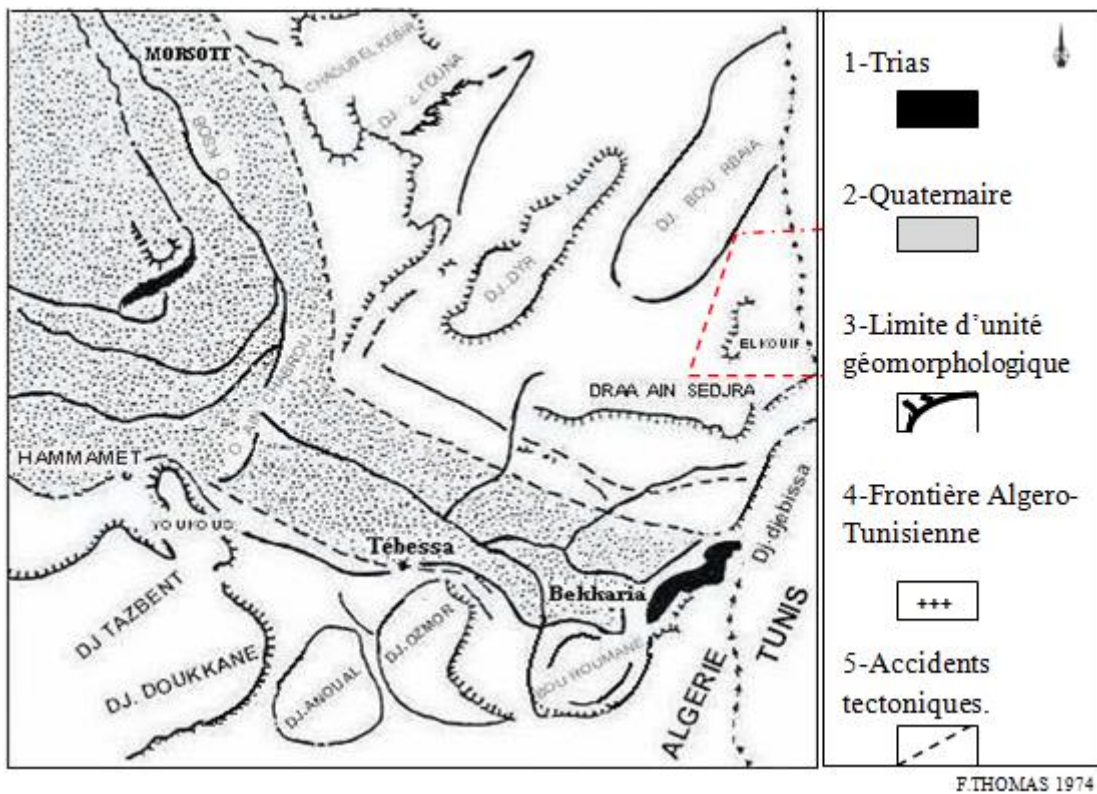


Figure 02 : Croquis géomorphologique de la région de Tébessa et ses environs

### 1.2 Le relief

Le relief joue plusieurs fonctions en relation à l'activité humaine : contrainte physique, risque naturel et ressource naturelle. Il n'est pas statique, mais il caractérise un ensemble dynamique en évolution, dont il est le témoin d'une histoire géologique et géomorphologique : l'histoire des roches, l'histoire de déformations et l'histoire des formes.

Donc Le relief est un ensemble des formes créés par des processus morphogénèses, dont il illustre aussi par un ensemble des processus et mécanismes qui mettent en place et modifient ce dernier, d'où sa formation est liée à l'intervention des facteurs endogènes (pétrogenèse et tectonique). Les facteurs destructifs du relief sont des facteurs exogènes tels que climat, gravité et l'érosion.

Les données hypsométriques et les éléments du relief, de la plaine de Tébessa avec ses régions, notamment la région concernée Daïra El-Kouif ont montré que l'ensemble du fossé d'effondrement de Tébessa avec ses dernières a été touché par une grande dénivellation probable, dont cette dénivellation a produit, des fracturations imprimées dans les affleurements les plus importants des calcaires éocènes tels que Djebel Dyr.

Le plateau d'El-Kouif est caractérisé par un type de relief peu particulier, caractérisant les structures synclinales et anticlinales à la fois, une partie comprend les revers monoclinaux formant la bordure Sud-est avec celui du relief Tunisien et le Sud-ouest, par exemple les revers de ce de Ain Bey et la seconde partie limitée par des anticlinales qui bordent le Nord et le Nord-Ouest du plateau, tels que, l'anticlinaux, Dyr. Djebel Kouif (**F.Thomas 1974, Kazi-Tani, 1986**). (**Figure 04**)



### 1.3 Le plateau d'El-Kouif

Le plateau de la région d'étude caractérise une autre figure du relief et de la sédimentation, sur le plan géo-structural les plateaux continentaux sont généralement recouverts de sédiments terrigènes, qui proviennent de l'érosion des continents. Cependant, peu de ces sédiments ont été apportés par les cours d'eau. Dans notre cas d'étude la zone



d'El-Kouif l'aspect géomorphologique de ce dernier, illustre bien les caractéristiques structurales du relief pour les plateaux sédimentaires.

La zone d'étude est assise sur un plateau sédimentaire formé au cours du Miocène, pendant la grande dépression tectonique de Mio-Plio-Quaternaire, dont le substratum de ce dernier est rocheux, caractérisé par des dépôts marneux, et des calcaires marneux qui appartiennent au Crétacé. Ce plateau est couvert par des sédiments de calcaires qui sont recouverts par les alluvions Quaternaires composés de graviers, de sables et des limons, ainsi des argiles.....

D'autres caractéristiques que les plateaux sédimentaires dotés, c'est la formation des gouffres et des cavités souterraines avec le temps. (Durozoy, 1948 ; Flandrin, 1959).

### ***1.4 L'aspects structuraux***

L'aspect structural actuel de la région des confins Algero-Tunisiens est le résultat d'une série de mouvements tectoniques attribués à travers des temps géologiques. Ces mouvements s'illustrent par la subsidence, le diapirisme, le plissement et la mise en place des fossés d'effondrement (plaines de Tébessa et Morsott).

#### **a).La subsidence**

En géologie est un lent affaissement, progressif, régulier ou saccadé, de l'écorce terrestre. Elle est le résultat de mouvements tectoniques tels que les failles, les étirements, ou par une accumulation d'épaisses séries sédimentaires des bassins. Dans notre région d'étude El-Kouif, et d'après l'investigation stratigraphique réalisée par, plusieurs géologues et en particulier par (G.Dubourdieu 1956, J.M.Vila 1980), et des travaux récents (W.M.Kowalski) sur les confins Algero-Tunisien ; cette investigation a révélé qu'une puissance d'accumulation des dépôts Méso-cénozoïque a lieu.

Selon (G.Dubourdieu 1956, J.M.Vila 1980), cette accumulation atteint environ 4000 à 5000m, mais elle est variée et perturbée aux moins dès l'Aptien par un cycle de reprise produisant ainsi des structures géomorphologiques telles que des fonds et des hauts, sur lesquels s'est accumulée une sédimentation carbonatée.

Par contre d'autres investigations, et d'hypothèses de ceux (Masse et Chikhi, 1982), qui mentionnent que ces formes géomorphologiques (les hauts, les fonds) sont les responsables de jeu des accidents du socle.

#### **b).Les plissements**

Sur les grands rayons de courbure de direction atlasique NE-SW les anticlinaux qui caractérisent l'élément constructif du relief de la région d'étude El-Kouif sont les plus souvent affectés dans leurs charnières par les percements du Trias diapirique. Le mouvement tectonique de plissement est souvent présent dans les terminaisons périclinales qui sont généralement relayés entre eux par de vastes formes synclinales, dont elles sont perturbées par des accidents orthogonaux qui bordent les fossés d'effondrements ceux de Tébessa et Morsott.

La manifestation tectonique que les anticlinaux de la zone d'étude ont subie est déroulée en première partie pendant la phase des compressions Néogène.

C'est, pendant la crise étant comprise entre l'Eocène et le Miocène que les plissements ont été manifestés au niveau l'anticlinaux de la région d'étude (G.Dubourdieu 1956, J.M.Vila 1980).

Suivant l'interprétation stratigraphique des (Chihi, 1984, Chihi et al, 1991) l'origine de la formation des anticlinaux de la région est probablement entre l'Eocène et le Miocène, pendant la distension réplique du Miocène inférieur et moyen, et la compression lors des serrages du Miocène supérieur et du Quaternaire ancien.

Selon l'investigation structurale de nombreux auteurs, en particulier (Laffitte, 1939), (Burollet, 1973), (Perthuisot, 1978), (Vila, 1980), (Aissaoui, 1984) et (Kazi-Tani, 1970), le domaine atlasique oriental est touché par de différentes ceintures de mouvements de chevauchements traduisant le phénomène de plissement des directions variantes NS-SW, E-W, NS-SW à E-W et ENE-WSW à E-W dont :

-Les plis de direction NS-SW, qui sont été relievés pendant le raccourcissement d'âge fini-Éocène (ces mouvements correspondaient la phase majeure d'inversion tectonique dans les grabens triasiques).

-Les plis de direction ENE-WSW à E-W touchant les séries Villafranchiennes et traduisant la phase Post-Pliocène, dont ils illustrent dans les monts de Nememcha.

-Les plis de direction NS-SW à E-W traduits le phénomène de décrochement formant ainsi des figure Sigmoides.

### c).Le diapirisme

Le diapirisme est défini comme un mécanisme traduisant le phénomène tectonique par lequel des roches profondes s'élèvent, souvent jusqu'à la surface du sol, à travers celles qui les recouvraient.

Suivant une direction NE-SW de nombreux pointements de forme, de formations Triasiques qui affleurent sur une bande d'environ 80 km, observés dans la région d'étude d'El-Kouif. Les formations diapiriques qui disloquent des formations subjacentes sont des pointements triasiques qui affleurent dans cette région ont depuis toujours fait l'objet d'une attention particulière, en raison de leur importance pour l'exploration des champs miniers.

Selon (Trushein, 1960), le soulèvement de ces pointements diapiriques est dû à cause d'une poussée d'Archimède, qui a établi un mouvement ascensionnel de ces formations triasiques, dont elles sont actives jusqu'à nos jours. Selon l'aperçue synthétique de nombreux auteurs, en particulier (Burollet, 1973) et (Perthuisot, 1978), les formations diapiriques dans l'ensemble de région d'étude El-Kouif I appartiennent au trias évaporitique, de calcaires dolomitiques, de grés, avec la présence de grains de pyrite et de cristaux de quartz bipyramides sans sel. Selon les mêmes auteurs ces pointements diapiriques sont caractérisés par deux principales propriétés physiques, une haute plasticité et une densité maigre permettant leur ascension (poussée) à travers les séries sédimentaires sous-jacentes les plus denses.

### d).Fossés d'effondrements

Les plaines alluviales, représentent des éléments majeurs de la structure de l'Atlas saharien oriental, d'où ces éléments sont les résultats des accidents qui les délimitent, produisant ainsi une tectonique antérieure ayant creusé ces plaines.

L'investigation morpho-structurale de (Kazi-Tani, 1970), sur la plaine concernée (Tébessa), dont ils ont présenté et décrit la plaine, comme un grand fossé d'effondrement, cette investigation a montré que cette dernière est bordée par deux importants accidents Atlasiques, le premier accident celui de Nord-ouest atlasique et le second celui de Sud-est atlasique. C'est entre ces deux accidents atlasiques la plaine de la région a été évaluée, pour donner un grand fossé d'effondrement qui se manifeste jusqu'à nos jours. Ce fossé prend la forme d'un couloir étroit. Le fossé d'effondrement du Morsott vers le NNW-SSE s'est formé après le stade compressif de la phase Pliocène inférieur, dont il raconte l'histoire géomorphologique du plateau de la région étudiée El-Kouif. La jonction entre la fosse de Morsott et le fossé de Foussana a été établie au cours du Villafranchien inférieur par la formation de la fosse de Tébessa. Les sédiments du Pliocène supérieur (Villafranchien inférieur) appartenant au

premier stade d'effondrement de la fosse de Tébessa ont été en grande partie érodés en liaison avec le deuxième stade d'effondrement affectant presque toute la surface de la fosse au Villafranchien supérieur (Pléistocène inférieur).

### 1.5 Structures morphologiques de la région d'étude

#### 1.5.1 Les massifs montagneux

Les massifs montagneux construits sur le plan géomorphologique, les structures tectoniques résultantes par des accidents tectoniques, d'une région.

Pour notre cas, la région d'étude les massifs montagneux sont caractérisés par une alternance de calcaire et de marne, d'où l'épaisseur est variée et qui forment les revers monoclinaux sur les surfaces structurales, tandis que sur les versants, les structures tectoniques construits des corniches composées par des calcaires massifs du Turonien et de l'Eocène.

Les principaux massifs montagneux qui engendrent la structure tectonique atlasique de la région d'El-Kouif sont identifiés par deux entités physiques naturelles dont :

- a) La première entité située dans le Sud de la commune d'El-Kouif qui caractérise les monts du fossé d'effondrement de Tébessa formant une zone intermédiaire reliant les monts de Nememcha à l'Ouest et la dorsale Tunisienne (Nord-ouest de Kasserine) à l'Est.
- b) La deuxième entité illustrée dans le Nord de la région d'étude El-Kouif, qui constitue la limite Sud-est des hautes plaines constantinoises.

Les principaux massifs montagneux qui engendrent la structure tectonique atlasique de la région d'El-Kouif sont :

#### 1.5.2 Le Massif Dyr

Qui présente un élément morfo-structural culminant caractérisé par une forme asymétrique, il est installé au Nord-ouest et Sud-ouest de la région d'étude El-Kouif, avec une altitude d'environ 1450 mètres, et sa direction géographique est Nord 40° Est. Du point de vue géologique, le massif Dyr construit un synclinal appartient à l'éocène, d'où l'intensité de phénomène d'érosion rend l'axe structural de ce massif dissymétrique. L'érosion affecte ce massif isolé, dont la roche du calcaire se délite (vents, ruissellements) créant de nombreux abris. De nombreux oueds le traversent, ce sont les O. Erk el, Gastle et Bousmane.

L'excursion scientifique organisée par le Centre Universitaire de Tébessa (colloque International des Géosciences) en novembre 2006 a permis de reconnaître de nombreux sites distribués sur le pied de ce massif remontant à l'Épipaléolithique (peut-être même au Paléolithique, puis s'étendant au Néolithique et à l'époque protohistorique). On sait que l'occupation du massif s'est prolongée jusqu'aux périodes antiques. (**Figure 04**).



Figure 04 : Massif Dyr

### **1.5.3 Massif (Djebel) El-Kouif**

Djebel El-Kouif est un massif caractérisant un synclinal perché. Ce dernier est très net sur la carte, Il est dirigé vers le NE-SW en s'abaissant au Nord-est vers Oued sammaa-Haïdra jusqu'à d'environ 800m. Il est composé de deux parties séparées par une vaste vallée dans laquelle se trouve la partie centrale de la ville d'El-Kouif et par des collines dans laquelle se trouve Ras el-Ayoune dans la seconde partie. Sur une grande partie de son tracé, l'Éocène a complètement disparu à cause du phénomène de l'érosion et les couches Sénoniennes ont été fortement érodées ; comme, la pente est très faible et peu irrégulière. Sur les deux extrémités, le pli est bien visible. L'Oued Haïdra qui a creusé son lit, au point où ce dernier débouche dans le plateau, dont il passe entre deux collines Sénoniennes (B l a y a c), d'où la septentrionale est encore surmontée d'une table nummulitique fortement disloquée, qui a jonché les pentes de ses débris. Celle-ci est nue, sans végétation, comme l'indique son nom ; Kalaat el Djerda.

En dessous règne une couche phosphatée assez riche, mais très cassée. Sur l'autre colline, l'Éocène a disparu, à l'exception du Kef Souilir, bien que tout à fait isolé est situé sur l'autre rive, qui appartienne au versant Sud du synclinal. Une faille ayant coupé les couches en biseau séparant la Kalaat el Djerda du Kef Sif. Plus loin, vers le N-E, les alluvions de l'Oued Sarrath font perdre la trace de ce synclinal.

Au S-E, le synclinal est des plus nets, quoique très déprimé, ou il renferme l'affleurement Eocène qui a donné lieu à l'exploitation de ce Djebel dans le passé. (B l a y a c ; F.Thomas 1974). **(Figure 05)**



Figure 05 : Djebel El-Kouif

### **1.5.4 Les séries massives Zitouna-Tala-Chemla**

Ces séries de massives des Djebels forment, d'une manière générale des structures anticlinales de direction Nord –ouest et le Sud-ouest.

Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs qui forment une limite entre les influences sahariennes du Sud et celles de la continentalité caractérisant les hautes plaines. En plus ces séries montagneuses appartiennent à une grande partie aux effondrements des fossés, notamment l'effondrement du bassin de Morsott, dont la compression de ces massifs à un impact tectonique sur le phénomène de soulèvement de la région d'étude El-Kouif.

Cette série constitue, sur le plan structuro-morphologique, et du point de vue tectonique ces massifs atlasiques qui caractérisent cette commune, dont elles sont illustrées généralement par une alternance de calcaires et de marnes, d'une importance épaisseur repartie sur le CénoManien, et l'Emscherien, mais sur les versants de l'ensemble la stratigraphie est presque représentée par des calcaires massifs du Turonien et de l'Eocène (Benabas-2006). La limite occidentale de cette série massive est débutée à partir le piedmont du massif de Chemla, sous forme des corniches linéaires et continues d'une direction Nord-Sud, traduisant ainsi les accidents tectoniques qui ont été signalés dans le Nord-est de la plaine de Tébessa.

### **1.6 Les glacis**

Les glacis sont liés à une longue période d'évolution de climat, dont ce dernier a subi une grande dégradation, notamment dans la région d'étude El-Kouif. Le climat est de type semi-aride, ce qui traduit que la commune d'El-Kouif a subi une période intense de glace, dont le manque de la couverture végétale et la disparition de quelques types de plantes, généralement sur les grands massifs montagneux qui bordent la région, et qui témoignent d'un passage long d'un climat glacié sur cette zone, durant le pliocène-Quaternaire.

L'illustration des glacis dans le plateau est sous forme d'épandage et d'accumulation, dont les principaux sont ceux qui se développent au débouché des talwegs des oueds tels qu'Oued sammaa-Haïdra et Oued Sarrath qui défoncent le front de la cuesta et coulent vers le plateau.

### *1.7 Synthèse des formes et les formations liées aux ruissellements concentrent*

Sous l'effet du phénomène d'érosion, des formes et des formations géologiques et géométriques ont été produites, engendrant un modelé d'accumulation, traduisant ainsi l'évolution morphologique qui a conduit, à un façonnement du relief, d'où ces diverses formes morphologiques illustrent typiquement le terrain sédimentaire.

#### 1.7.1 Les plaines

Ce sont de vastes étendues planes, illustrées entre les montagnes, dont leur envergure est d'une dizaine de kilomètres. Géométriquement elles sont présentées sous forme de grands fossés, dont leur allongement prend une orientation Nord-ouest le Sud l'Atlas Constantinois, et le Sud-ouest vers le fossé d'effondrement de Morsott ou encore, vers le Sud-est de la région de Ain Zarqa et le relief Tunisien Thala.

Les plaines qui enveloppent la région, et d'une manière générale sont de vastes planes, d'envergure et d'allongement, dont deux genres de plaines se présentent, qui ont été identifiées par leurs activités sédimentaires, le premier genre de plaines constituent les plaines d'érosion telles la plaine qui délimite la partie centrale de la ville d'El-Kouif installée sur un puissant dépôt de marnes d'Emschérien et qui entre en vigueur avec le second genre de plaines d'accumulations, telles que la plaine de Ras el-Ayoune.

D'une façon générale la région d'étude El-Kouif est qui s'inscrit sur le plan géomorphologique, comme une région montagneuse, accidentée et plus élevée par rapport au fossé d'effondrement de la grande plaine de Tébessa, elle est classée comme un plateau érosif.

#### 1.7.2 Les collines

Les collines forment un aspect de relief très particulier, elles se présentent sous forme de horsts, de petites îles ou de restes de bassin versant, ayant subi une activité tectonique très dense. Leur importance se fait beaucoup plus sentir dans l'éventuelle alimentation de l'aquifère.

Sur le plan structural les collines construite des formes modérées et relativement peu étendu qui s'élèvent au-dessus d'une plaine ou d'un plateau, elles se forment soit par le retrait des glaciers il y a plusieurs milliers d'années ou par une montée de magma dans la croûte terrestre.

Ce ne sont donc que de petits renflements du relief qui, contrairement aux montagnes, ne sont pas dues aux plissements de la croûte terrestre. Et sur le contexte hydrogéologiques les collines s'illustrent par un double rôle, soit elles jouent le rôle d'une source d'alimentation secondaire de la nappe principale, dans le cas contraire, elles présentent un caractère qui peut leur être conféré par leurs aptitudes perméables, s'il pourrait s'agir de calcaires fissurés-karstifiés, ou soit elles peuvent jouer le rôle de pièges d'eaux souterraines, une fois qu'elles sont constituées de formations imperméables telles que les argiles, marnes, calcaires compacts.....

D'une façon générale les collines de la région d'étude El-Kouif sont présentées entre les formations du miocène, qui caractérise l'aquifère principal du plateau. **(Figure 06).**



Photos : B.Djaffali

Figure 06 : Les collines et les vallées qui forment le relief de la région d'El-Kouif.

### **1.7.3 Les cônes coalescents**

Les cônes coalescents dans le plateau de la région d'El-Kouif caractérisent les oueds qui tranchent le plateau. Les cônes les plus importantes sont les importants oueds illustrés sur le relief de la région tels qu'Oued Haïdra, et Oued Ain El-Bey, les cônes les plus puissante se distinguent au Sud vers le versant du Djebel Ain El-Bey, d'où ces dernières se présentent sous forme des cônes emboîtées qui caractérisent généralement les piedmonts des versants.

### **1.7.4 Les terrasses**

Dans le plateau de la région d'étude, et vers les limites des bordures Ouest avec les petites séries massives de Dyr, des terrasses de structure lenticulaire sont bien distinguées, répartis sur les limites du fossé de la région de Morsott, sous forme des barres étagées ou emboîtées.

La sédimentation des terrasses alluviales prene une stratification peut particulière dont la stratification lenticulaire, entrecroisée, et litée par des matériaux émoussés, des galets roulés et polis, dont les dimensions vont de 1 à 50cm, d'où ces dépôts prennent un certain classement du point vue géotechnique.

Comme l'indique le relief de la région étudiée qui est doté d'un aspect accidenté, presque toutes les formes de terrasses alluviales sont présentes repartis sur la bordure de la région. (Figure 07).

### **1.7.5 Les talwegs**

Les talwegs sont en grande majorité modelés par l'érosion fluviale et fréquemment occupés par le réseau hydrographique. Dans notre plateau de la région d'étude ,on trouve qu'elles sont été structurer par trois types de talwegs ,le premier type de talwegs comprend, les oueds tels que Oued Haïdra, Oued Ain El-Bey qui prennent naissance dans le front de la cuesta (la limite du plateau d'El-Kouif) ,dont ils recourent les calcaires sus-jacents en coulant vers la plaine de Tebessa vers le Sud et le Sud-est; le deuxieme type de tlwegs comprend aussi des oueds qui drainent les revers de la cuesta formant ainsi un réseau hydrographique hiérarchisé reparté sur le plateau de la région. Le troisieme type de talwegs est celui de réseau hydrographique qui represente le plateau constitué par des petits oueds entaillés profondément

,dont ils ont des effets importants sur le phénomène de la kartsification ,vers le Nord-ouest-est de la région d'étude. (Figure 07).

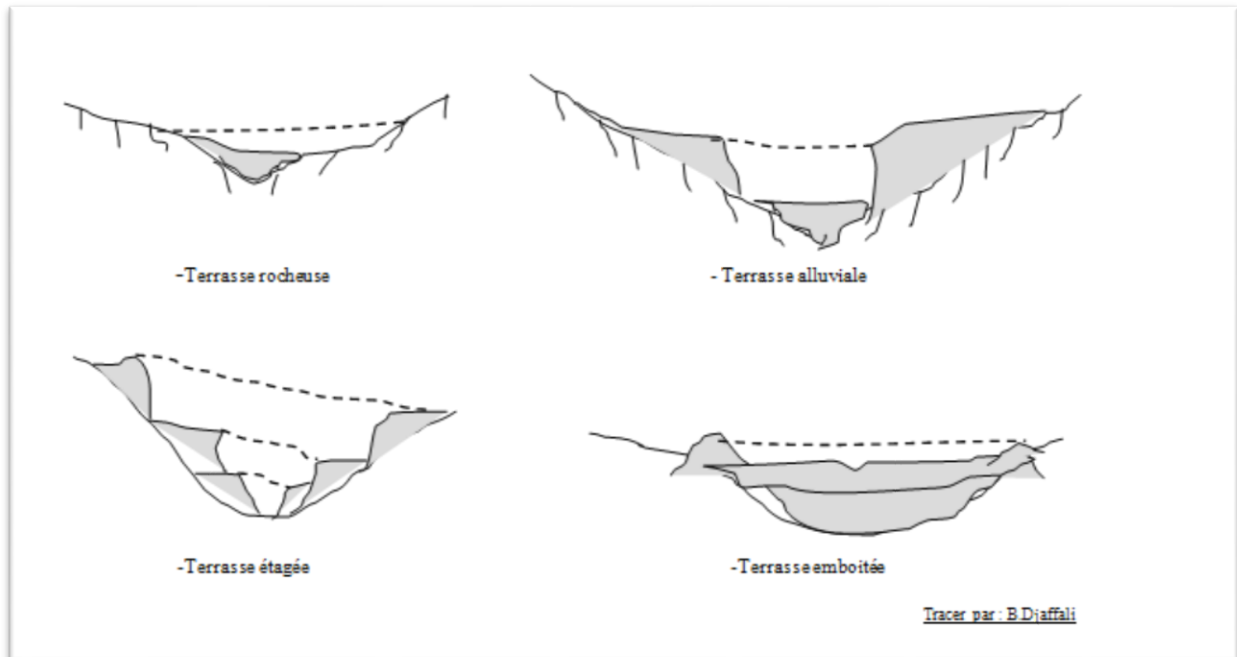


Figure 07 : Croquis des terrasses alluviales de la région d'étude (Djeffali 2015)

### 1.7.6 Les éboulis

Les éboulis, ce sont des formes d'entraînement par chute, des blocs rocheux tombés un à un et rassemblés en même endroit, dont les plus petits éléments stagnent, et les plus gros éléments continus son entrainement, par son propre poids, jusqu'ils finissent leurs parcours en stabilisant au pied de versant, d'où la pente naturelle devienne de plus en plus faible non agissante.

Les chutes de composants isolés pouvant mesurer jusqu'à plusieurs mètres cubes sont caractéristiques des chutes de pierres et de blocs. Le mouvement s'effectue par chute, rebond et roulement. Selon la déclivité et la rugosité du terrain, les pierres et les blocs de rochers en mouvement se déplacent en direction de la vallée en tombant, en roulant, en sautant ou en glissant. La vitesse peut atteindre 30 m/s.

Des études effectuées sur ce type de mouvement ont montré que la causalité de cet entrainement est due à l'alternance du gel et du dégel, pierres et rochers se disloquent et se mettent en mouvement sous l'effet de vibrations ou de leur propre poids. Dans notre plateau d'étude on cite quelques éboulis qui possèdent une importance hydrogéologique et qui ont marqué leurs empreintes sur le relief de la région de Tébessa, par exemple ; les éboulis accumulés aux pieds des anticlinaux de la commune de Boulhaf Edyr, tel que djebel Kissa situé au Nord de la région d'étude El-Kouif et Djebel Chemla qui forment des épendages détritiques qui sont caractérisés généralement par les calcaires du confin Crétacé-Miocène. (figure 08).





Figure 08 : Croquis de la structure des éboulis observés sur les versants de séries Dyr

### ***1.8 Le réseau hydrographique***

Dans le registre littéraire de la géomorphologie, le réseau hydrographique désigne, l'ensemble hiérarchisé et structuré des chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire, d'un bassin versant ou d'une région donnée.

Un réseau hydrographique se structure dans la nature, en fonction, du climat le plus humide caractérisant, les pluies les plus abondantes, et les pentes les plus fortes, ainsi la nature minéralogique des formations superficielles.

Au cours de la création d'un réseau hydrographique quelques facteurs interviennent parmi ces derniers, dont leurs influences sont grandes dans l'arrangement des éléments du réseau, on trouve, la structure, la géologie et le relief qui contrôlent la variation du dessin qui en résulte à une importante influence sur la propagation et la composition de l'onde de crue.

Quand une rivière reçoit plusieurs affluents, eux-mêmes alimentés par leurs propres tributaires, le réseau devient un réseau de type arborescent (dendritique), quand les branches convergent vers un même point, c'est ainsi, le réseau prend un aspect digité.

D'une manière générale un réseau hydrographique est caractérisé par un ensemble des branches formant avec son axe un angle aigu ouvert vers l'amont.

Le réseau hydrographique de la région d'étude d'El-Kouif est lié au caractère à la nature lithologique du substratum qui constitue un paramètre révélateur de la structure géologique du plateau de la région d'étude. Ce réseau est assez bien caractérisé par une densité remarquable vue sa structuration des formes des creux et des ravins étroits d'une part, d'autre part l'intensité de grands oueds tels qu'Oued Haïdra, Oued Ain El-Bey.

D'une façon générale le réseau hydrographique de zone d'étude d'El-Kouif est formé généralement sous l'effet d'un parcours tectonique accompagné par une dynamique interne et externe que le plateau a subi (Kazi-Tani, 1970), (G.Durozoy, 1956).

#### **1.8.1 Les oueds convergents**

Les principaux oueds convergents de la vallée principale de la région sont été installés au Nord et le Sud de la région. Ces oueds convergents caractérisent le tracé de la vallée principale dont :

-Au Sud de la zone d'étude d'El-Kouif, ils convergent vers le Nord-ouest et l'Est les fossés de Morsott et Tebessa, en étalant vers le territoire Tunisien.

### 1.8.2 Les sources

Les sources sont des éléments majeurs qui entrent dans la formation de réseau hydrographique de chaque région, notamment dans la région d'étude d'El-Kouif, où on trouve les principales sources d'eau qui ont été localisées et soumises à des études plus profondes.

Du point de vue hydrogéologique, deux principales sources d'eau du plateau d'El-Kouif jouent le rôle de système de drainage d'eaux de l'aquifère des calcaires Éocènes de la région : la source de l'Ain de Ben-Debech située au Nord du plateau et la seconde celle de la source de Ain El-Bey, située au Sud de Djebel El-Kouif.

### 1.8.3 Les formations alluvionnaires du Quaternaire

Les formations alluvionnaires qui illustrent dans les niveaux bas de relief du plateau d'El-Kouif sont couvertes par les dépôts Quaternaires, dont (Debourdieu, 1956) a signalé que les dépôts Quaternaires sont d'origine continentale, installés avec une puissance variée entre 10 et 30 mètres, par deux dépôts Quaternaires différents ; un dépôt de base caractérisant les formations anciennes appartenant au Plio-Quaternaire, et des formations récentes proprement Quaternaires, dont :

- Les formations anciennes et le Plio-Quaternaire (Villafranchien) qui ont été attribués au :
  - Plio-Quaternaire (Villafranchien) illustré au niveau des contre-forts de Djebel Djebissa (Nord-Ouest du plateau de la zone d'étude) par une formation hétérogène qui caractérise un pendage aux fractures récentes de l'effondrement ; cette formation est composée principalement par des argiles, d'une couleur rouge, et des conglomérats.
  - Alluvions anciennes illustrées précisément dans les parties basses des terrasses des oueds, dont elles se marient avec des formations anciennes qui occupent principalement les grandes zones des amonts d'oueds tel que l'amont Oued Ain El-Bey., dont leur appartenance stratigraphique est différente.
  - Alluvions anciennes de piedmont (Debourdieu, 1956), dans son descriptif géologique, il a mentionné que les alluvions anciennes de piedmont qui occupent presque la totalité de surface de bordure du plateau sont caractérisées par une hétérogénéité stratigraphique, elles sont composées des argiles ou cailloux. Dans le premier type d'alluvions anciennes illustrées à l'W, et au NE de la bordure, elles sont caractérisées par des marnes de Sénonien, et de Dano-Montien au NW du fossé d'effondrement de Morsott, et des marnes de Cénomaniens vers SE de la bordure. Le second type d'alluvions anciennes de piedmont elles sont caractérisées par les calcaires Maestrichtiens à l'W et au NE ; les calcaires d'Eocène au Nord, et les calcaires Turoniens à l'Est avec la bordure Tunisienne.

Les formations actuelles et récentes qui constituent principalement par :

- Les éboulis actuels sont installés généralement au pied des structures anticlinales, mais parfois ils se confondent avec les éboulis anciens.
- Les dépôts de sources (les travertins) illustrés dans le Sud de la plaine, notamment au niveau de source de Tenoukla, et le Sud –est du plateau. Là où il s'est déposé des formations composées principalement par des carbonates de chaux.
- Alluvions actuelles se distinguent rarement sur les bordures du plateau, à cause de la manifestation des oueds pendant les torrents.
- Limons récents sont rependus presque dans la vallée principale de l'oued Elkbir de la région, ils constituent des dépôts de gypses alluvionnaires.
- Les croutes calcaires ce sont des petits affleurements de calcaires d'un ordre faible, formant des dépôts superficiels, en poussant surtout les alluvions anciennes. (**Figure 09**).

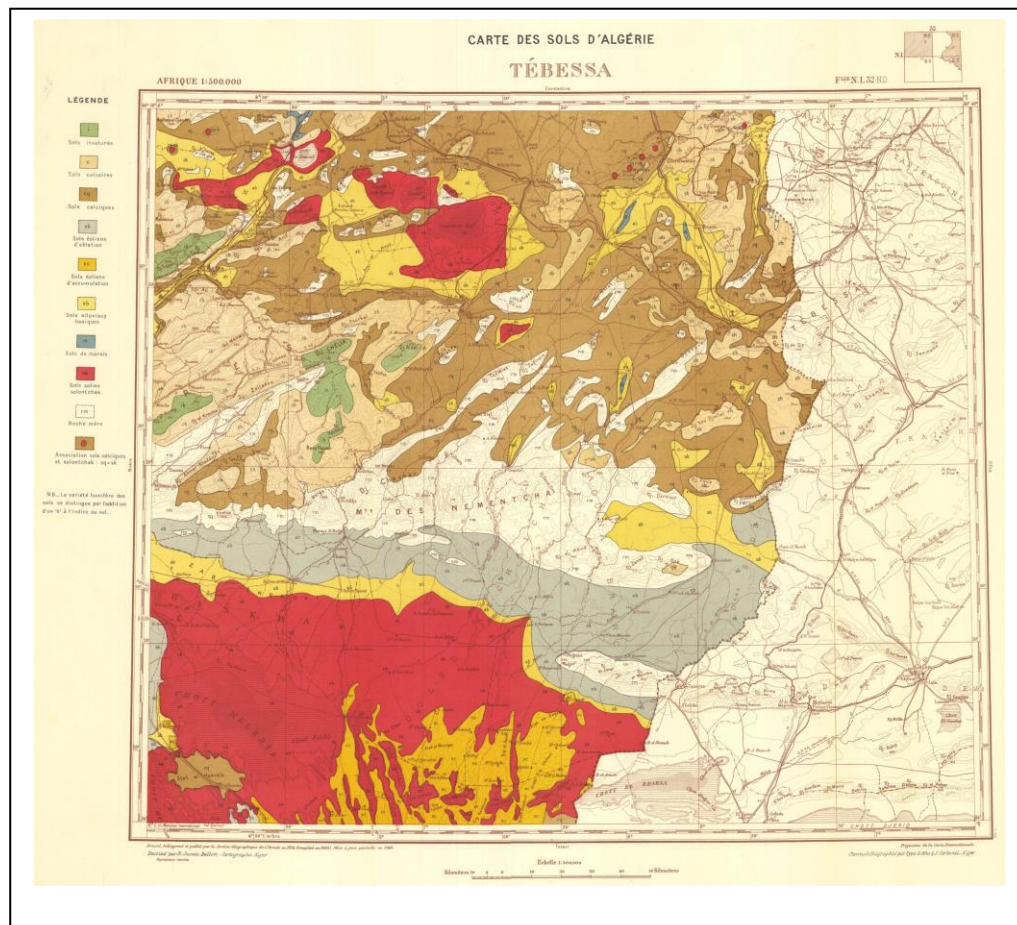


Figure 09 : Carte des sols d'Algérie /La région de Tébessa (la région d'étude d'El-Kouif localisée)  
(Dressée, héliogravée et publiée par le service géographique de l'armée en 1924, mise à jour en 1948 /Dessinée par R.Jaseix-Bellon)

En fonction de la dynamique morphologique des formes d'érosion qui s'illustrent sous forme des accumulations sédimentaires et qui sont contrôlées par des facteurs climatiques tels que la température, les précipitations, l'alternance du froid et la sécheresse, végétation.....et par des éléments structuraux, sans oublier l'intervention de l'homme qui est lui aussi considéré comme un important facteur géomorphologique.

### 2.Climatologie

Le climat est un phénomène très important qui influe sur les différents facteurs du relief pour modification sur les propriétés physico-chimiques des roches et des sols.

L'étude climatique d'une région est conditionnée par l'identification de ses différents paramètres. Les principaux éléments qui entrent dans la caractérisation du climat, sont les précipitations, la température et l'évapotranspiration et dans un deuxième degré le vent, l'humidité, l'ensoleillement .... etc. Tous ces éléments entrent dans l'évaluation du bilan hydrologique. Du fait que la région de Tébessa, avec la localité d'El Kouif incluse, appartient à l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride, Celui-ci est caractérisé par un maximum pluvieux principal en automne et un autre, moins important, au printemps. L'été est une

## Chapitre 01 : Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation)

---

longue période sèche et chaude avec des orages parfois violents. Cette région souffre alors d'un important déficit en eau, car de par sa situation géo-climatique se conjuguent l'intensité de l'évaporation et l'augmentation des besoins de la population et de l'agriculture.

### 2.1 Etude des facteurs climatiques

#### a) Les précipitations

Les Précipitations sont la chute de l'eau depuis l'atmosphère jusqu'à la surface de la terre, Quoiqu'elles sont la plus facile à mesurer elles constituent la principale donnée, qui ne peut être mise de côté dans n'importe quelle étude hydrologique. Les précipitations sont le facteur utile et indispensable des régimes hydrologiques et hydrogéologiques. Elles sont caractérisées par une grande variabilité spatiotemporelle. Cette variabilité spatiotemporelle est beaucoup plus prononcée dans les régions arides et semi-arides.

L'évaporation des océans est la source principale de l'humidité atmosphérique pour la précipitation.

La région de Tébessa est contrôlée par plus d'une douzaine de stations parmi celles qui existent, La station de Tébessa sise à l'aéroport demeure la station la plus importante d'où la plus part des études y faisaient référence surtout en ce qui concerne la disponibilité des données climatiques.

En raison de la faiblesse de données de la station au niveau de notre site d'étude, nous avons associé à notre approche climatique les résultats d'observation de la station de Tébessa.

Les précipitations moyennes mensuelles pour la station d'observation de Tébessa allant de 2013 à 2018 :

Tableau 01 : Les précipitations moyennes mensuelles.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
2013	20.1	8.6	25.0	33.4	8.8	0.7	14.8	26.5	46.8	38.7	39.7	28.4
2014	38.7	48.4	27.9	2.3	199.0	29.0	22.5	8.7	49.9	7.1	43.2	49.5
2015	30.4	66.7	42.7	1.3	20.7	66.0	38.4	72.4	45.8	30.3	55.9	0.0
2016	13.4	4.3	32.3	18.1	37.7	2.7	0.8	13.6	30.0	49.3	18.7	65.8
2017	23.4	8.7	10.5	46.7	32.8	17.6	14.3	10.0	41.2	49.0	23.8	8.6
2018	0.7	29.6	20.3	26.8	95.5	12.8	3.4	72.1	25.2	91.2	8.8	13.0
Moy	21.1	27.7	26.4	21.4	65.7	21.4	15.7	33.8	39.8	44.2	31.6	27.5

#### b) Les températures

La température est un élément très important qui effet directement sur le climat et joue un rôle important sur bilan hydrique, elle conditionne le phénomène de l'évapotranspiration et déficit d'écoulement d'eau.

## Chapitre 01 : Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation)

Tableau 02 : Distribution des températures moyennes mensuelles

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
2013	12.8	1.1	19.7	23.7	26.5	31.4	35.6	33.6	29.8	29.0	16.1	12.8
2014	14.0	15.4	14.6	23.3	27.2	31.5	36.3	37.0	32.4	26.8	20.6	12.5
2015	11.9	10.6	16.0	23.3	29.0	31.1	36.0	34.5	28.9	24.7	17.5	15.9
2016	16.1	16.9	17.4	25.0	27.3	31.9	35.4	33.5	28.3	26.7	18.4	13.2
2017	9.7	16.3	19.3	20.7	29.5	34.0	36.6	36.9	29.6	22.3	16.6	11.9
2018	15.9	12.7	18.9	23.9	25.2	30.7	39.1	31.5	30.7	21.9	17.7	14.9
Moy	13.4	12.1	17.65	23.3	22.9	31.7	35.2	34.5	29.9	25.2	17.8	13.5

### *c) L'évapotranspiration*

L'évapotranspiration est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre). Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal.

L'évapotranspiration en milieu semi-aride représente une composante majoritaire du cycle hydrologique.

### *d) L'humidité*

C'est un état du climat correspondant à la quantité de vapeur d'eau dans l'air et elle peut accélérer le phénomène d'altération chimique à la surface, comme d'oxydation.

**L'humidité atmosphérique** : elle est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique. Source de toutes les précipitations, elle conditionne outre pour une large partie les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale, on distingue deux variantes d'humidité :

**L'humidité absolue** : c'est la masse de la vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. Elle est exprimée en gramme par mètre cube.

**L'humidité relative** : c'est l'état plus au moins proche de la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Elle est exprimée en pourcentage. L'humidité relative est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau à l'air humide et la pression de saturation à la même température d'humidité relative en %.

Le tableau ci-dessous montre les valeurs d'humidité relative moyenne à la station de Tébessa aéroport entre 2013 et 2018.

## Chapitre 01 : Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation)

Tableau 03 : Humidité relative moyenne en % à la station de Tébessa.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
2013	76.6	70.3	61.3	54.6	61.1	26.8	50.0	52.9	67.2	55.2	74.3	82.3
2014	69.5	69.9	74.8	55.1	55.6	51.3	44.4	46.0	56.0	58.4	37.9	75.0
2015	74.0	72.2	70.2	52.9	50.0	51.1	48.8	55.6	63.2	68.0	74.9	73.6
2016	35.9	63.4	63.5	55.6	53.1	46.2	44.6	51.3	63.2	60.2	68.5	83.2
2017	77.8	63.3	55.2	59.0	44.9	40.7	33.8	33.6	47.0	65.8	68.3	74.2
2018	61.1	68.5	55.6	53.6	62.3	47.4	30.2	60.1	58.4	71.1	66.6	68.4
Moy	65.8	67.9	63.4	55.1	54.5	43.9	41.9	49.9	59.1	63.1	53.6	76.1

On remarque dans le tableau que l'humidité relative est presque moyenne peu variable durant toute l'année, le minimum est observé au mois de juillet avec une valeur de 41.90 %, alors que le maximum est de l'ordre de 76.10 % observé au mois de décembre.

### e). Les vents

D'après la station météorologique de Tébessa, la distribution du champ de direction de vent est saisonnière hiver-été avec des vents prédominants :

Les vents de direction Ouest-Nord-Ouest « W-N-W » du mois de novembre au mois d'avril, qui sont responsables des précipitations.

Les vents de direction sud, du mois de mai au mois de juillet se sont *le siroco*, engendrant une forte évaporation (évapotranspiration) et une sécheresse abaissant le taux d'humidité.

L'intensité moyenne mensuelle des vents exprimés en mètre par seconde, à la station de Tébessa est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Intensité du vent en m/s.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
2013	4.5	5.0	5.1	4.5	4.5	4.3	3.2	3.8	2.6	2.5	4.0	2.3
2014	3.5	3.5	4.9	4.2	4.2	3.5	3.7	2.8	2.7	2.8	3.1	4.0
2015	4.1	4.7	4.5	2.1	3.5	3.1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	0.9
2016	2.1	3.2	4.1	3.8	3.4	3.7	3.0	2.6	2.5	2.3	2.3	2.5
2017	3.9	3.9	3.8	3.4	2.8	2.9	3.2	2.9	3.2	2.7	3.4	3.4
2018	3.7	3.9	4.4	3.7	3.5	3.5	3.2	2.6	2.7	3.2	2.9	2.6
Moy	3.6	4.0	4.4	3.6	3.6	3.5	3.1	2.8	2.6	2.5	3.0	2.6

### f). Etude de l'évaporation

L'évaporation est le phénomène par lequel un liquide est transformé en vapeur ou en gaz. Ce phénomène est étudié par plusieurs expérimentateurs pour déterminer les différents facteurs régissant l'évaporation de l'eau, cette dernière dépend de :

- La production de chaleur.
- Le vent.
- La chaleur emmagasinée.

## Chapitre 01 : Cadre physique (Géomorphologie, climatologie et végétation)

---

- La qualité de l'eau.
- La pression barométrique.

Au niveau de la station météorologique de Tébessa, l'évaporation est mesurée à l'aide d'un bassin d'évaporation de type « Colorado ».

Les moyennes mensuelles pour la même période d'observation, sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 05 : Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
ETR	88.8	105.9	133.5	175.0	224.6	280.3	367.9	332.9	221.1	161.4	109.1	93.6
ETP	3.8	4.6	5.8	7.6	9.7	12.2	16.0	14.5	9.6	7.0	4.7	4.0

D'après l'analyse de ces données, nous pouvons dire que :

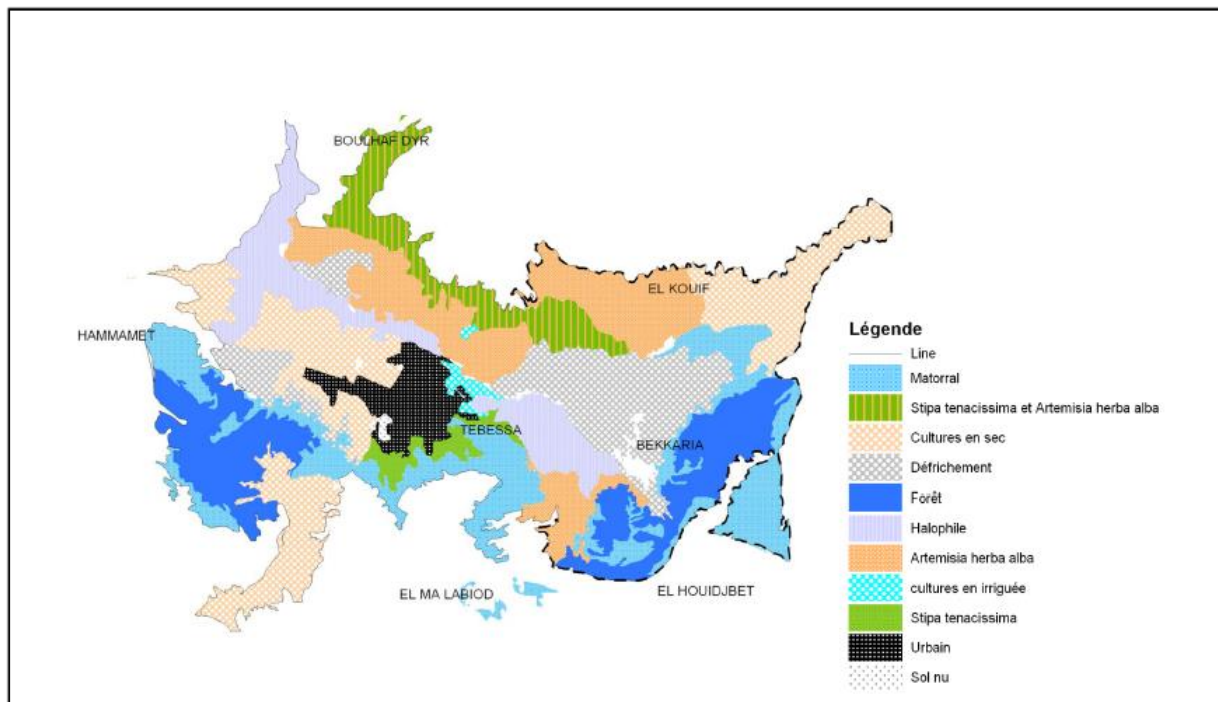
Le mois de juillet est le mois où l'évaporation atteint son maximum avec une moyenne mensuelle égale à 16.0 mm.

Le mois de janvier est le mois où l'évaporation est minimale avec une moyenne mensuelle de 3.8 mm.

### 3. Végétation

La plaine d'El Kouif appartient au bassin versant de Medjerda caractérisée par une couverture claire, caractéristique de l'étage bioclimatique dont elle appartient, les montagnes et les piedmonts en bordure de la plaine sont occupés par la ceinture verte, suivi par des terres de parcours dans les zones caillouteuses ; à l'intérieur dans les terres plates et accessibles pour les machines agricoles c'est la céréaliculture qui domine.

La faible pluviométrie explique la pauvreté de la végétation sur les versants des collines pousse un rare forêt ; ou l'on distingue des pinèdes ; des buissons de genièvre ; des plantations d'oliviers et à proximité des sources on peut voir des vergers.



### 4. Conclusion

La présentation de la morphologie de la région d'étude caractérise principalement les systèmes morphogénétiques, dont le relief illustre ces systèmes, il est défini comme une armature physique des paysages naturels et culturels se situant à l'interface des différentes sphères.

Les Processus et les mécanismes qui portent à la création et l'évolution des formes géomorphologie sont appelées les phénomènes dynamiques qui s'illustrent par la durée, l'intensité et l'extension enveloppant ainsi plusieurs phases de la morphogenèse, d'où la principale phase morphogenèse est l'érosion. Le climat est typiquement semi-aride caractérisé par un hiver froid et rude et un été chaud et sec. La végétation reflète la nature de climat et le faible apport en précipitation.



# **CHAPITRE 2**

## **Géologie régionale et tectonique**

### 1.Introduction

La région d'El-Kouif fait partie de l'atlas saharien, composée d'une série montagneuses linéaires, qui s'étend d'Ouest en Est, jusqu'au-delà de la frontière de l'Atlas tunisien, d'après les anciens travaux d'auteurs tels que (Durozoy, 1956 ; Blés, 1969 ; Fleury, 1970 ; Vila, 1974 ; Kowalski et al. 1995, 1996, 1997). Les formations sont en majorité sédimentaires, dont l'âge va du crétacé inférieur (barrémien), au Miocène, surmontées par des dépôts quaternaires, généralement présent dans le plateau d'El-Kouif (carte géologique de Tébessa (206) à l'échelle 1/50.000). Cette série sédimentaire est traversée par des intrusions d'âge triasiques qui ont entraîné des modifications d'ordre structurales sur la série (plissement, épaisseur et effondrement).

### 2.Géologie Régionale

D'un point de vue géomorphologique, et en partie en ce qui concerne le relief, il joue plusieurs fonctions en relation avec l'activité humaine : contrainte physique, risque naturel et ressource naturelle. Il n'est pas statique, mais il caractérise un ensemble dynamique en évolution, dont il est le témoin d'une histoire géologique et géomorphologique. Donc Le relief est un ensemble des formes créées par des processus morphogénèses, il illustre aussi un ensemble des processus et mécanismes qui mettent en place et modifient ce dernier, d'où sa formation est liée à l'intervention des facteurs endogènes (pétrogenèse et tectonique), et les facteurs destructifs, facteurs exogènes tels que climat, gravité et l'érosion.

Le plateau d'El-Kouif est caractérisé par un type de relief peu particulier, caractérisant les structures synclinales et anticlinales à la fois, une partie comprend les revers monoclinaux formant la bordure Sud-est avec celui du relief Tunisien et le Sud-ouest, par exemple les revers de ce de Ain Bey et la seconde partie limitée par des anticlinales qui bordent le Nord et le Nord-Ouest du plateau, tels que, l'anticlinal, Dyr. Djebel El-Kouif (F.Thomas 1974, Kazi-Tani, 1986).

Les Processus et les mécanismes à l'origine de la création et l'évolution des formes géomorphologiques sont du type dynamique marqué par la durée, l'intensité et l'extension enveloppant ainsi plusieurs phases de la morphogénèse, dont la principale est l'érosion. Elle est active à la présence d'importants agents qui contrôlent cette phase (l'érosion) telle la gravité, l'eau, la glace et le vent.

#### 2.1 Contexte stratigraphique et lithologique

L'investigation stratigraphique réalisée par, plusieurs géologues, tel que G.Dubourdiou (1956), et J.M.Vila (1980), et des travaux plus récents (W.M.Kowalski), sur les confins Algero-Tunisiens ont révélé une colonne litho stratigraphique de la région Tébessa, qui débute par le Trias et se termine par le quaternaire. Cette colonne litho stratigraphique a montré deux grandes séries structurales :

- Les affleurements aux bordures de la plaine d'âge Crétacé, représentant la première série structurale.
- Des formations d'âge Miocène et quaternaire, qui s'allongent sur toutes les superficies des plaines.

La plaine de Tébessa est composée de formations sédimentaires suivantes :

Les formations diapiriques d'âge triasique (Dj. Djebissa)

Une formation carbonatée à dominance calcaire, et marneuses, d'âge crétacé. Cette formation est bien visible au niveau des bordures du plateau.

-Un dépôt alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quaternaire, sur toute la surface des fossés d'effondrements tel celui de Tébessa, de Morsott, et le plateau de la région d'étude.

**(Figure 01 , Figure 02)**

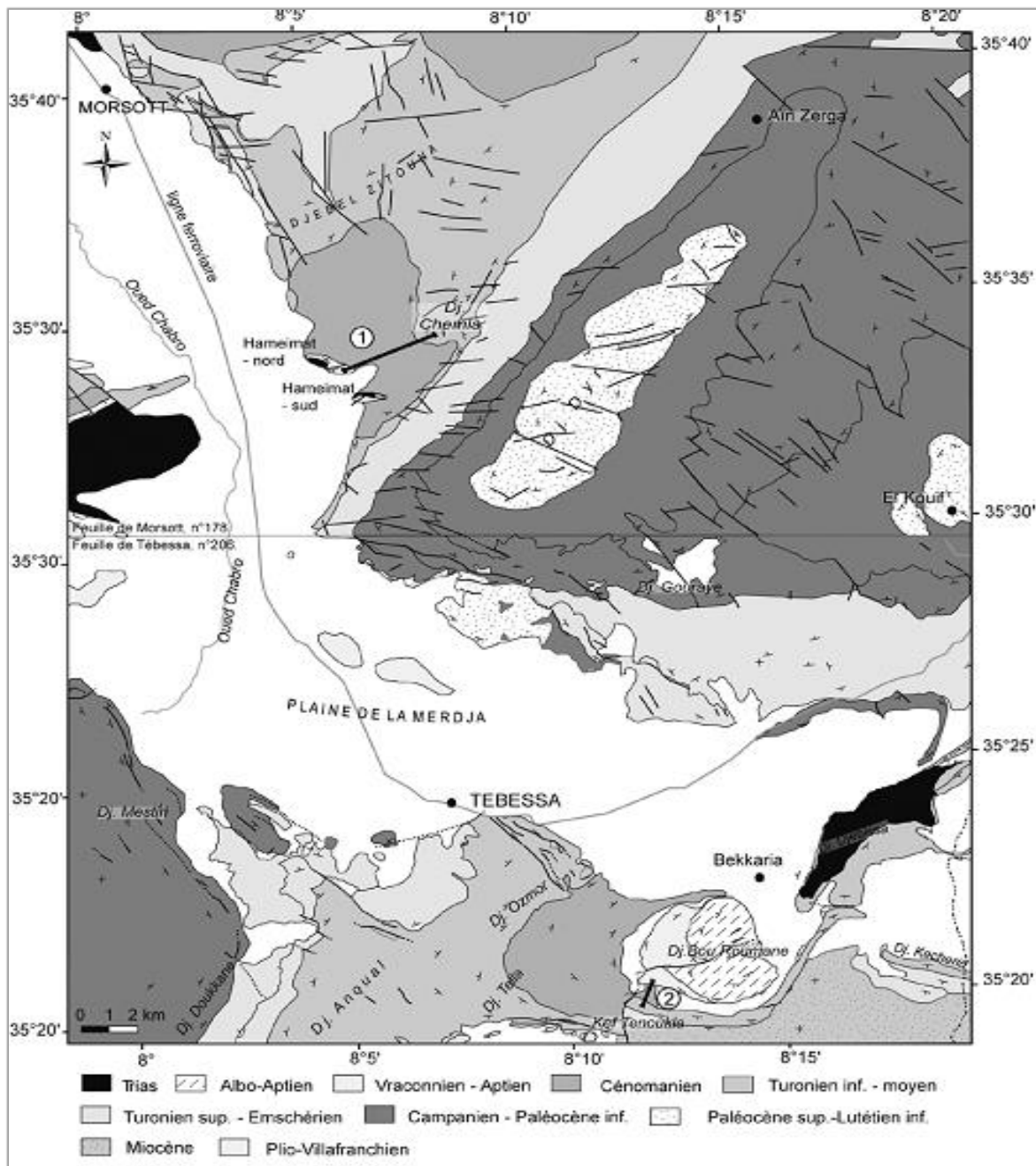


Figure 01 : la carte géologique de la région Tebessa d'après (les cartes géologiques de MORSOTT 1971, et de Tebessa 1956 à échelle 1/50.000).

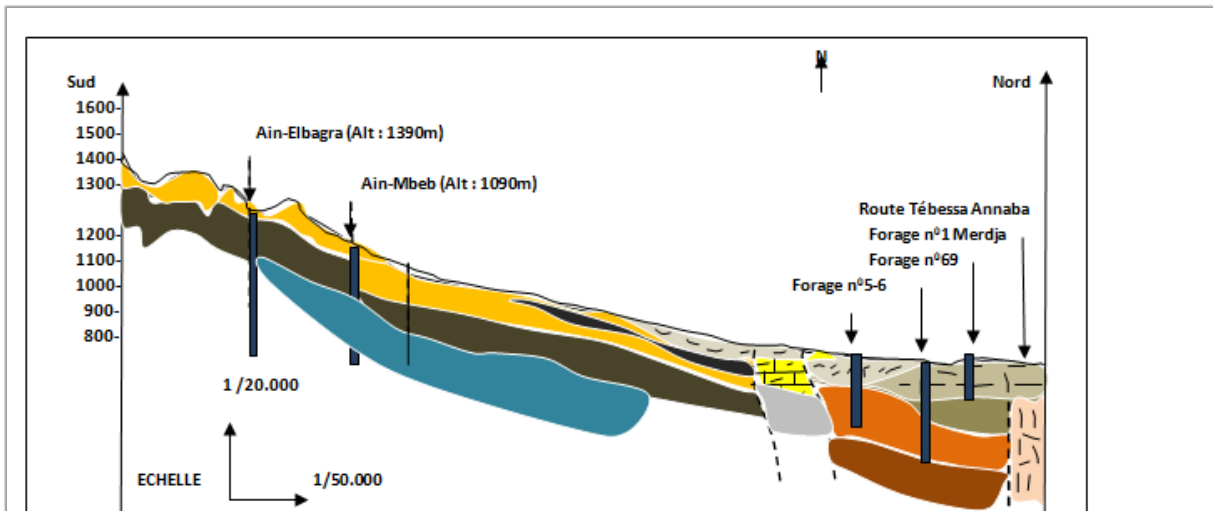
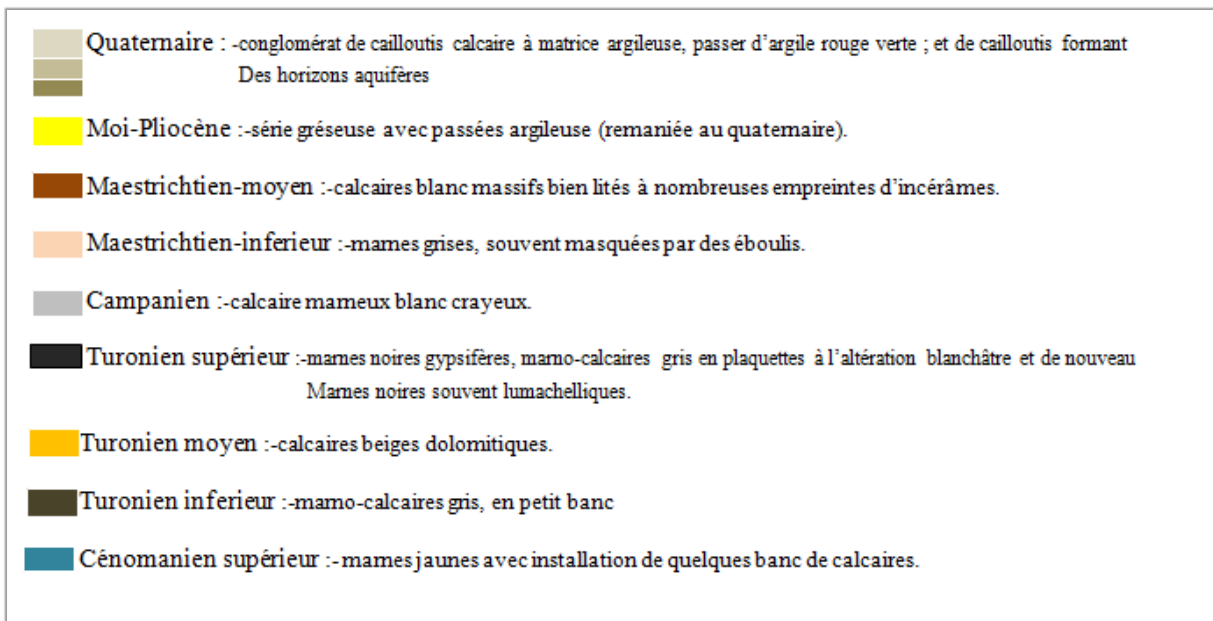


Figure 02 : Coupe géologique dans les formations de la plaine de Tébessa d'après J. Richard (1973, modifiée)



### 2.1.1 Le Trias

Pendant la phase triasique, il s'est déposé une importante série de formations évaporitiques et argilo-gypsifères, telles que les marnes bariolées à gypse, de dolomies, et des calcaires dolomitiques, avec la présence des grès (Chevenine et al, 1989). L'affleurement du trias dans la région de Tébessa prend une forme d'extrusions, qui déchire les structures anticlinales.

### 2.1.2 Crétacé

En dehors des zones de diapirs, le Crétacé est subdivisé par deux dépôts attribués à ce système ; un Crétacé supérieur suivit par un Crétacé inférieur :

### **a / Crétacé inférieur**

Les dépôts et les formations du Crétacé inférieur sont bien identifiés dans les dépressions et les parties centrales de quelques structures anticlinales qui bordent la région d'étude. Dans la partie Nord-Ouest de la zone d'étude le Crétacé inférieur est percé par quelques pointements diapiriques du Trias.

### **b/Crétacé supérieur**

Répartit lui aussi dans les parties centrales de la région. C'est par sa couleur que cet étage a été attribué au Crétacé supérieur.

#### **2.1.3 Le Barrémien**

Les dépôts composant le Barrémien sont des marnes d'une couleur grises et jaunes parfois, intercalées par des feuilles minces d'argiles tachées par des pyrites, avec la présence de mini strates de calcaires gris clair dont l'épaisseur est d'environ 200 m (Debourdieu, 1956).

Les affleurements les plus signalés qui se rapportent au Barrémien, ceux des massifs anticlinaux de Sidi Embarka au NE du massif Ouenza et le massif de Mesloul.

#### **2.1.4 L'Aptien**

Les formations de l'aptien sont distinguées dans la zone de diapirs de la plaine de Tébessa, notamment au niveau de Djebel Bouroumane (Debourdieu, 1956), il est présenté par des gros bancs massifs et épais de calcaires à ciment dolomitique.

#### **2.1.5 L'Albien**

D'après (Debourdieu, 1956) le dépôt Albien est subdivisé en deux niveaux, un inférieur caractérisé par une formation carbonatée récifale composée de marnes et marno-calcaires, avec la présence d'une faune benthique, le second, est un niveau supérieur caractérisé par une alternance de bancs de calcaires bruns peu épais intercalés par des marnes noires avec des argiles.

#### **2.1.6 Le Vraconnien**

La formation Vraconnienne est composée par des marnes noires et des marnes à argiles d'un gris foncé, intercalée par des calcaires argileux. Son épaisseur est variée entre 500 à 600 m.

#### **2.1.7 Le Cénomaniien**

Le cénomaniien apparait à l'Est de djebel Djebissa, il est caractérisé par une abondance de la microfaune, (Debourdieu, 1956) a signalé, environ 200 à 250 m, dont le bas de cette âge on trouve des marnes grises, mais sans intercalions de calcaire ; ce système est dominé par les marnes.

#### **2.1.8 Le Turonien**

Le Turonien est caractérisé par sa dominance, presque sur les flancs des grandes structures anticlinales et synclinales qui bordent la région de Tébessa. Il se présente par deux niveaux, Turonien inférieur formé par une accumulation d'une assise marneuse, le second, Turonien supérieur signalé dans le massif d'Essouabaa, d'une épaisseur environ 160 à 200 m, composé d'une série d'alternance de marnes, de calcaire marneux et de calcaires gris.

### **2.1.9 Campanien-Santonien**

Le Campanien et le Santonien regroupés dans un seul étage, dont la formation qui compose le Campanien sont des calcaires gris intercalés avec des marnes claires, d'une épaisseur estimée entre 50 à 60 m (Debourdieu ,1956).

### **2.1.10 Le Maestrichtien**

La description stratigraphique cet étage a montré que le Maestrichtien est formé par le même régime sédimentaire que le Campanien et le Santonien, dans les mêmes conditions de pression. La formation Maestrichtienne est constituée également par une prédominance de calcaires crayeux à la base, d'une d'environ 60 mètres d'épaisseur, recouverte par une très forte accumulation de marnes argileuses grises à noirâtres, d'environ 150 mètres Globogérinidés et d'inocérâmes, témoignent de cet étage.

### **2.1.11 Le Paléocène**

Le Paléocène est caractérisé par trois niveaux, le Paléocène inférieur constitué par des calcaires argileux et des marnes intercalées par des strates phosphatées grisâtres, dont la puissance attient d'environ 70 à 100 m.

Le deuxième niveau, Paléocène moyen caractérisé généralement par des marnes grisâtres, presque homogènes, dont le sommet est marqué par une intercalation de bancs calcaires de faible de puissance. Le Paléocène supérieur est constitué par un dépôt de marno-calcaires gris, intercalé avec des niveaux phosphatés.

### **2.1.12 L'Eocène**

L'Eocène, en deux sous étages, Yprésien et le Lutétien inférieur, caractérisé par des bancs de calcaires massifs à silex, dont sa puissance atteint les 200 mètres.

### **2.1.13 Le Miocène**

Le Miocène aussi est en deux niveaux, le Miocène inférieur et le niveau supérieur, ils sont déposés sur les formations anciennes de l'Albien-Cénomaniens et même sur le Trias. Le Miocène est caractérisé par une puissante accumulation de marnes et de grès d'une épaisseur atteignant les 1000 mètres (le Nord-ouest de l'Ouenza).

### **2.1.14 Le Quaternaire**

Les plaines et les vallées actuelles qui illustrent les niveaux bas de relief de la plaine sont couvertes par les dépôts Quaternaires, ces dépôts sont d'origine continentale, installés avec une puissance qui varie entre 10 et 30 mètres. Il peut être subdivisé en deux étages, le plio-quaternaire (base) et le Quaternaire proprement.

## **A/. Les formations anciennes et le Plio-Quaternaire (Villafranchien)**

### **a). Le Plio-Quaternaire (Villafranchien)**

Illustré au niveau des contre forts de Djebel Djebissa par une formation hétérogène qui caractérise un pendage aux fractures récentes de l'effondrement ; cette formation est composée principalement par des argiles, d'une couleur rouge, et des conglomérats distingués, notamment dans les régions Oglat-Rabaib, Oglat-Naguess, près de Tébessa.

### **b). Alluvions anciennes**

Observées précisément dans les parties basses des terrasses des oueds, dont elles se mariées avec des formations anciennes différentes qui occupent principalement les grandes zones des amonts d'oueds tel qu'amont oued Oglat Rabaib, dont leur appartenance stratigraphique est différente.

### **c). Alluvions anciennes de piedmont**

(Debourdieu, 1956), dans son descriptif géologique, il a mentionné que les alluvions anciennes de piedmont qui occupent presque la totalité de surface de bordure de la plaine sont caractérisées par une hétérogénéité stratigraphique, elles sont composées des argiles ou cailloux.

Dans le premier type d'alluvions anciennes illustrées à l'w, et au NE de la bordure, elles sont caractérisées par des marnes de Sénonien, et de Dano-Montien au NW de la plaine, et des marnes de Cénomaniens vers SE de la bordure. Dans le second type d'alluvions anciennes de piedmont elles sont caractérisées par les calcaires Maestrichtiens à l'W et au NE ; les calcaires d'Eocène au N, et les calcaires Turoniens à l'Est de la bordure de la région.

### **d). Matériel d'épandage ancien (les éboulis, et cônes de déjections)**

Les éboulis et les cônes de déjections sont ravinés par les oueds actuels, dont les éboulis caractérisent des amas de calcaires Maestrichtiens variés de dimension, ils sont notamment localisés aux pieds des structures anticlinales telles que Djebel Mestiri, Chabat el mara, Ksar Tbinet ; Les éboulis construits aussi des pendages visibles vers les amonts.

## ***2.2 Les formations actuelles et récentes***

### **a). Les éboulis actuels**

Sont installés généralement au pied des structures anticlinales, mais parfois ils se confondent avec les éboulis anciens.

### **b). Les dépôts de sources (les travertins)**

Déposés dans le Sud et le Nord-Est de la plaine, notamment au niveau de source de Tenoukla le Sud-est de la région d'étude d'El-Kouif et aussi peu de ces dépôts (les travertins) sur la périphérie de la source d'Ain-El Bey de la zone concernée El-Kouif, là où il s'est déposé des formations composées principalement par des carbonates de chaux.

### **c). Alluvions actuelles**

Rarement sont distinguées sur les bordures de la plaine, à cause de la manifestation des oueds pendant les torrents (l'effet de ruissellement).

### **d). Limons récents**

Sont rependus presque dans la vallée principale de l'oued Elkbir dont il atteint la plaine du Morsott et le plateau d'El-Kouif. Ces dépôts constituent généralement des dépôts de gypses alluvionnaires.

### **e). Les croutes calcaires**

Ce sont des petits affleurements de calcaires d'un ordre faible, formant des dépôts superficiels, en poussant surtout les alluvions anciennes.

### 3. Tectonique de la région d'étude

La tectonique a pour but, d'analyser l'ensemble des accidents et des dislocations continues ou par plissement, d'une part d'autre part, toutes les déformations qui se déclenchent qui se traduisent par la formation de flexure, de plis de diverses sortes et même de retournement des couches anciennement horizontales, et les dislocations discontinues ou de rupture.

Les bouleversements tectoniques peuvent être résumés par une succession de phases qu'a subi la région.

#### 3.1 Les phases de l'orogénèse

Caractérise la chronologie de la sédimentation, du plissement, du diapirisme et de la fracturation ainsi que, localement, les stades successifs d'effondrement.

- La phase compressive fini-Lutétienne
- La phase distensive du Miocène Inférieur
- La phase compressive du Miocène Supérieur
- La phase compressive du Pliocène inférieur
- La phase compressive du Pliocène Supérieur

### 4. Géologie locale

La région d'étude d'El-Kouif présente un relief accidenté et parfois difficilement accessible. La structure géomorphologique qui caractérise cette région est le Djebel Kouif une structure culminante dans la zone d'étude.

Cette région est dotée depuis longtemps par sa célèbre mine de phosphate, dont elle a enregistré son nom dans le registre mondial de la production du minerai de phosphates, d'une part, d'autre part l'objectif de cette thèse qui est intitulée l'étude géophysique par la tomographie (2D) de l'ancienne mine de phosphates du secteur étudié d'El-Kouif.

De ce fait il est important d'établir un contexte géologique de cette commune, (**Figure 03**).





Figure 03 : photos par satellite montrant la topographie de la région d'étude d'El-Kouif

### **4.1 Litho-stratigraphie d'El-Kouif**

La géologie du site, peut être présentée comme suit :

D'un point de vue litho-stratigraphique, la région d'El-Kouif a montré que le plateau est doté d'importantes formations géologiques d'âge cénozoïque, du Maestrichtien jusqu'aux formations actuelles du Quaternaire, dont les principaux dépôts sont localisés lors de l'activité de la mine de la région d'El-Kouif. Il s'agit de :

### **4.2 Les dépôts marneux du Paléocène :**

**a). Le Danien** : subdivisé en deux sous étages : inférieur et supérieur.

**1/. Le Danien inférieur (e<sup>1</sup>)** est représenté par des argiles marneuses et schisteuses, de couleur grise foncée au brun vert, intercalé par des marnes dures et irrégulières. L'ensemble est traversé par des filons de gypse. L'épaisseur du Danien inférieur est de 30 à 40 m. (Blés, 1969).

**2/. Le Danién supérieur (e<sup>2</sup>)**, formé par des marnes grises, très fins souvent à cassures conchoïdales, intercalées de marnes, argileuses et schisteuses. L'épaisseur varie entre 150 jusqu'à 200 m, intercalé par des minces niveaux phosphatés.

### **4.3 Paléocène supérieur et de l'Eocène**

**a). Thanétien e<sup>4</sup>**: Où la minéralisation de minerai de phosphate a débuté, (le Sud l'Atlas Constantinois), dont il est subdivisé en deux sous étages :

**1/. L'inferieur** : est caractérisé par des minces strates phosphatées, avec des conglomérats, vers le haut une puissance importante de phosphate s'installe environ 2 mètres d'épaisseur.

**2/. Le supérieur** : est caractérisé par la formation mère de phosphate, dont elle débute par un dépôt dolomitique riche en gastéropode surmonté par une couche phosphatée d'environ 30 mètres intercalée par des feuilletées de marnes noires.

### **4.4 L'Eocène : Représenté par l'Yprésien, l'inferieur et le supérieur.**

#### **a). Yprésien inferieur :**

Constitué par des dolomies à la base, surmontées par des bancs de calcaire dolomitique ,intercalés par des strates phosphatées très dolomitiques avec des debris de silex noirs.

#### **b). Yprésien superieur :**

L'Yprésien superieur est le deuxième niveau qui surmonte l'Yprésien inferieur avec une puissance d'alternance de calcaire et de calcaire dolomitiques ,intercalés par des passages de phosphate ,et parfois des debris de silex noirs a gris.

### **4.5 Le Lutétien**

Le Lutétien est formé par deux dépôts, d'une puissance d'environ 270 à 300 mètres d'épaisseur subdivisé en deux niveaux :

**a). Le Lutétien inferieur** qui forme la base , il est composé de bancs massifs de calcaire dolomitique surmonté directement par des marnes grises claires. La puissance de ce niveau est d'environ 60 à 80 mètres d'épaisseur.

**b). Le Lutétien superieur**, sa base de est formée de bancs de calcaires d'une épaisseur entre 10 et 15 mètres surmontés par des argiles très phosphatées de couleur vertes, le sommet s'installe des argiles vertes intercalées par des bancs minces de gypse ,dont l'épaisseur atteint les 70 mètres.

### **4.6 Le Miocène**

Il est généralement constitué par des conglomérats ,des argiles, et des sables dont ils forment un puissant dépôt d'environ 600 mètres ,en trois niveaux :

#### **a). Miocène inferieur :**

La puissance de ce niveau est environ 200 mètres, il est caractérisé par des argiles, des argiles schisteuses et des conglomérats,d'une couleur grise blanchâtre ,avec la presence des minces strates de sables.

### **b). Miocène moyen :**

Dominé par des argiles et parfois des argiles schisteuses ,la teinte est marron claire ,avec une simple intercalation des sables fins et moyens.

### **c). Miocène supérieur :**

Le Miocène supérieur est caractérisé par une puissance de série sablo-argilo-conglomératique qui atteint parfois 200 mètres d'épaisseur.(Brives, 1920), (C.Arambourg, 1952).

### ***4.7 Quaternaire***

Le Quaternaire de la région est composé principalement par des dépôts alluvionnaires et éluvionnaires d'origines détritiques (processus d'érosion éolienne). Les petites plaines et les vallées actuelles qui illustrent les niveaux bas de reliefs de la région d'étude d'El-Kouif

## **5.Les formations anciennes du Plio-Quaternaire**

### ***5.1. Le Villafranchien***

Illustré au niveau des contres forts tels que Dyr, par une formation hétérogène qui caractérise un pendage aux fractures récentes de l'effondrement (l'effondrement du fossé de Morsott) ; cette formation est composée principalement par des argiles, d'une couleur rouge, et des conglomérats.

Les alluvions anciennes, qui occupent les parties basses des terrasses des oueds, dont elles s'associent avec des formations anciennes différentes qui occupent principalement les grandes zones des amonts d'oueds.

Les alluvions de piedmont, les alluvions anciennes de piedmont qui occupent presque la totalité de surface de bordure du plateau sont caractérisées par une hétérogénéité stratigraphique, elles sont composées des argiles sableuses fines et moyennes.

Les éboulis et les cônes de déjections sont ravinés par les oueds actuels, dont les éboulis caractérisent des amas de calcaires Maestrichtiens de dimension variable, ils sont notamment localisés aux pieds des structures anticlinales telles que Djebel Dyr.

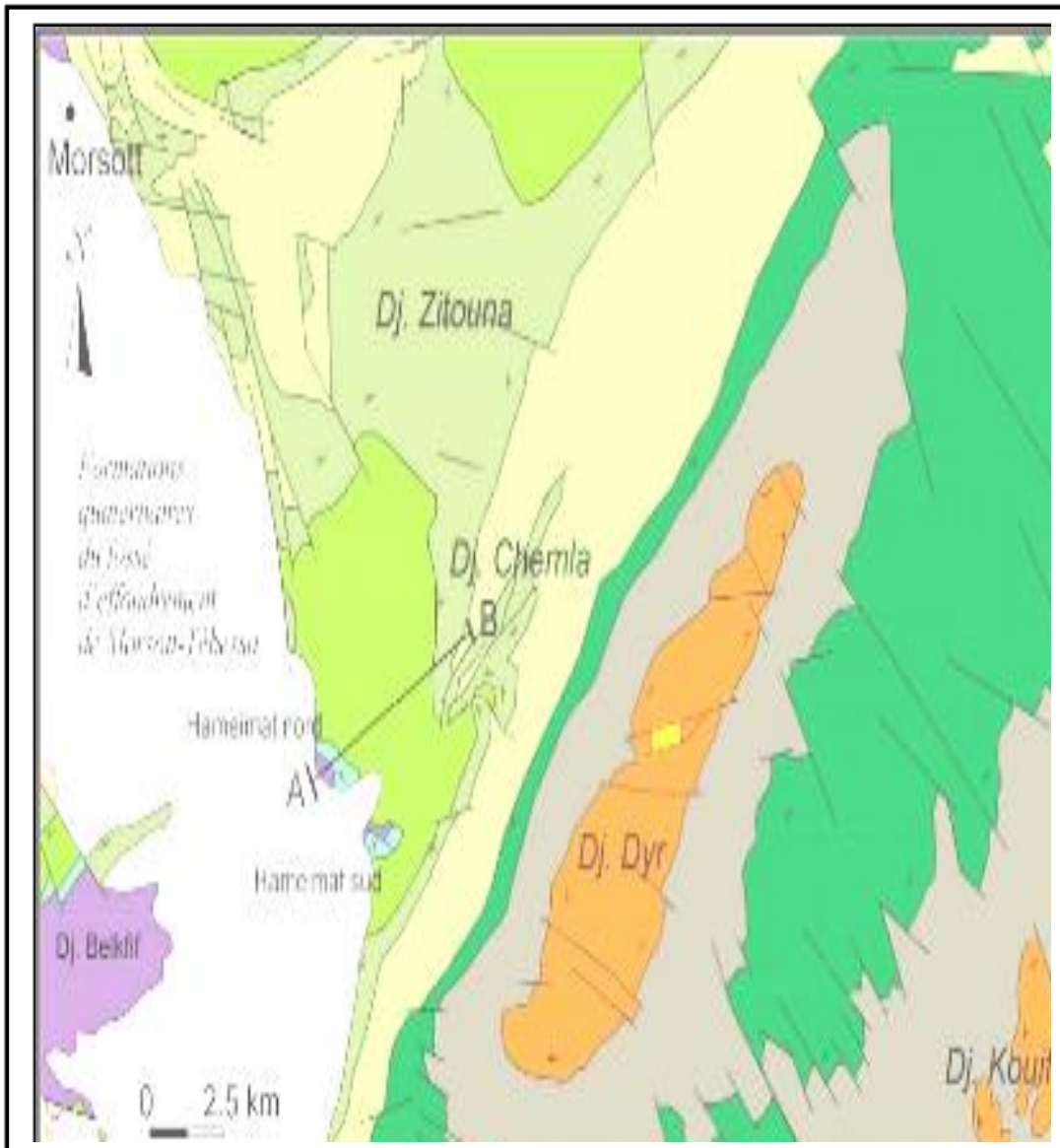
## **6.Les formations actuelles et récentes**

Les éboulis actuels, sont installés généralement au pied des structures anticlinales

Alluvions actuelles , elles se distinguent rarement sur les bordures du plateau.

Les limons récents, sont rependus presque dans la totalité de la région d'étude d'El-Kouif formant des dépôts alluvionnaires.

Les croutes calcaireuses, ce sont des petits affleurements de calcaires d'un ordre faible, formant des dépôts superficiels, en poussant surtout les alluvions anciennes. (**Figure 04, Figure 05**).



**Légende**

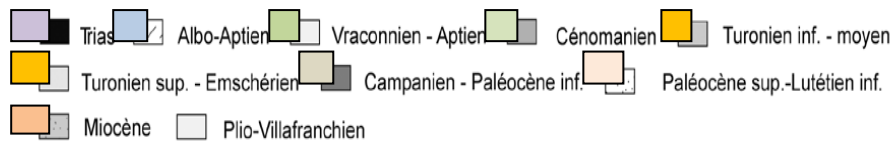


Figure 04 : la carte géologique de la région d'El-Kouif d'après (les cartes géologiques de MORSOTT 1971, et de TEBESSA 1956 à échelle 1/50.000).

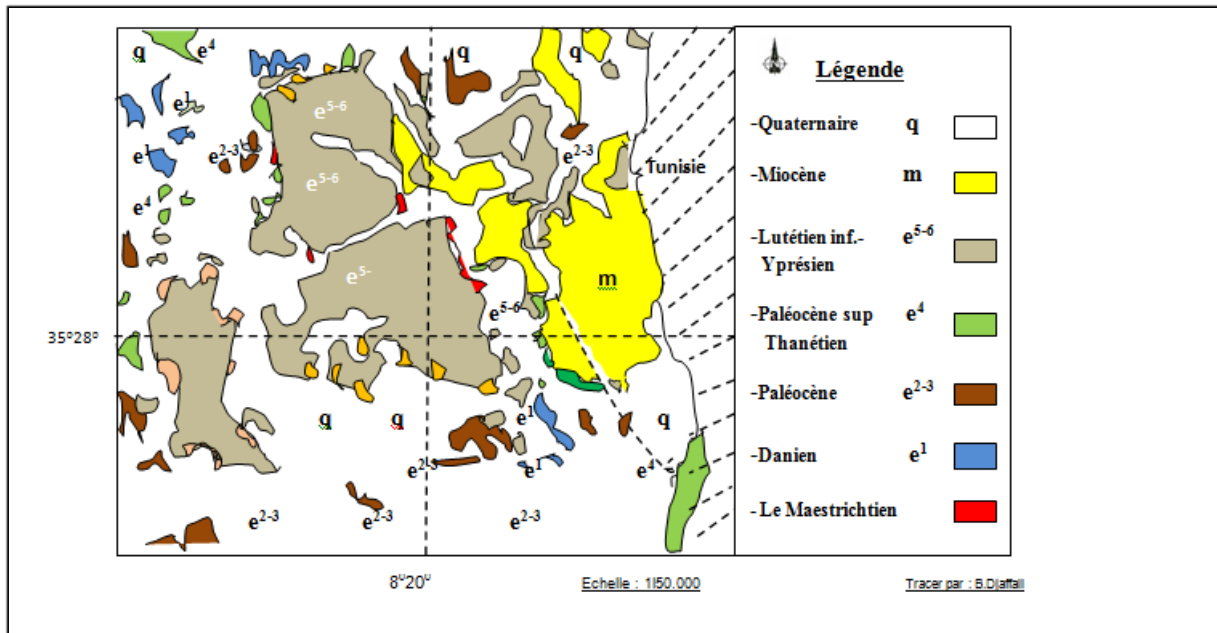


Figure 05 : Croquis géologique du secteur de la région d'étude d'El-Kouif (Extrait de la feuille du Morsott N° / 151)

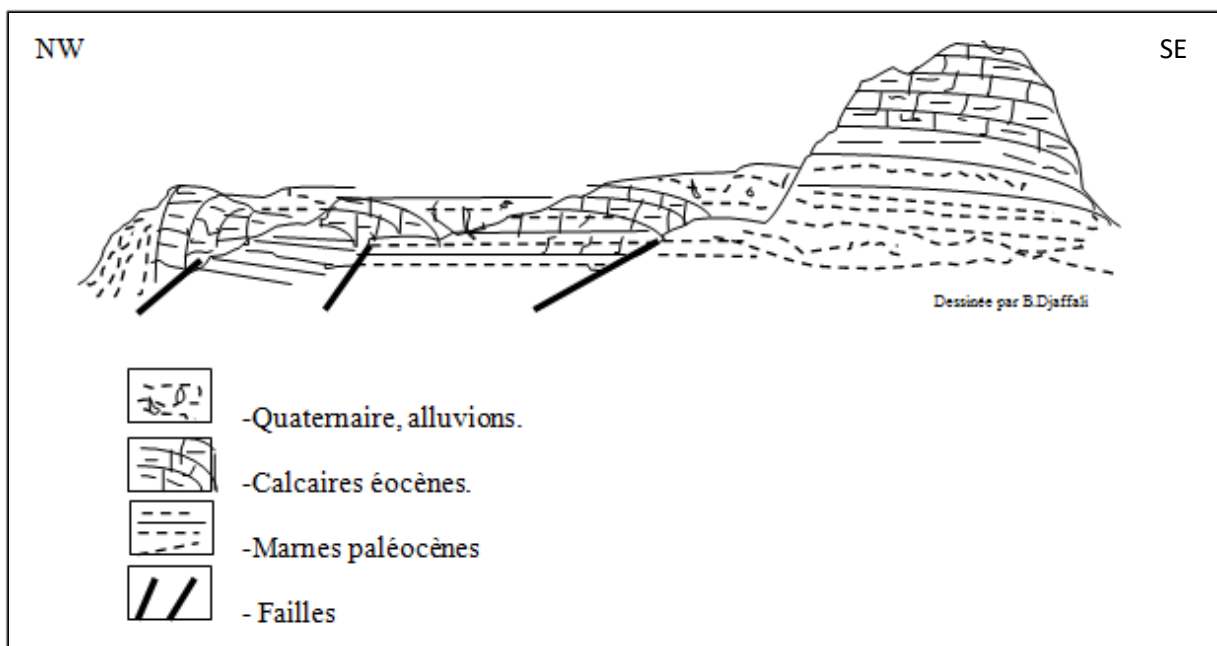


Figure 06 : Croquis des accidents tectoniques dans les calcaires éocènes (séries Dyr) (Source BENABAS Ch.2006)

Étage	coupe	Description lithologique
Quaternaire		Eboulis et formations alluvionnaires et éluvionnaires.
Miocène	Sup 	Sable, grés à grains grossiers et moyens.
	moye 	Argiles, et argiles schisteuses intercalées par des sables blancs La couleur dominée est le marron vers le bronze.
	Inf. 	Sables fins, intercalés par des strates de grés et d'argiles, la Couleur de ce dépôt est blanche jaunâtre.
Lutétien	sup 	Gypses intercalés par des marnes évaporitiques.
	Inf. 	Calcaires dolomitiques intercalés par des géodes de quartz.
Yprésien	sup 	Calcaires et calcaires dolomitiques plus de silex.
	Inf. 	Calcaires lentilles de silex, et des calcaires phosphatés.
Thanétien	sup 	Phosphates pseudo lithiques et cuprolithiques d'une couleur noire/gris
	Inf. 	Marnes foncées intercalées par les schistes.
Danien	sup 	Calcaires et marno-calcaires.
	Inf. 	Argiles fibreuses par les gypses, noire de couleur.
Maestrichtien		Calcaires blancs, et des calcaires noduleux

Figure 07 : Colonne stratigraphique de la région d'El-Kouif d'après (Debourdieu, 1956, Cielensky, et Benchernine ,1987). (in par: B.Djaffali)

### 7.L'aspect tectonique local

Les structures des terrains géologiques déformés postérieurement sont les résultats de ces mouvements tectoniques. Dans leurs synthèses tectoniques de ceux (Kowalski et al. 2002) qui ont établi un aperçu tectonique sur la région complète de Tébessa (avec ses environs). Cette intervention strato-tectonique qui est caractérisée par de mettre en évidence la chronologie de la sédimentation, du plissement, du diapirisme et de la fracturation ainsi que, localement, les stades successifs d'effondrement de la fosse de Morsott-Tebessa (dont ces stades ont touché tout le Nord-est de la plaine en traversant la frontière Tunisienne), notamment la zone d'étude d'El-Kouif qui a été touché par la même chronologie sédimentaire

de celle du grand fossé du Tébessa, dont 5 principaux événements tectoniques qui sont été signaler (figure 19)

- La phase compressive fini-lutétienne
- La phase distensive du Miocène Inférieur
- La phase compressive du Miocène Supérieur
- La phase compressive du Pliocène Inférieur
- La phase compressive du Pliocène Supérieur

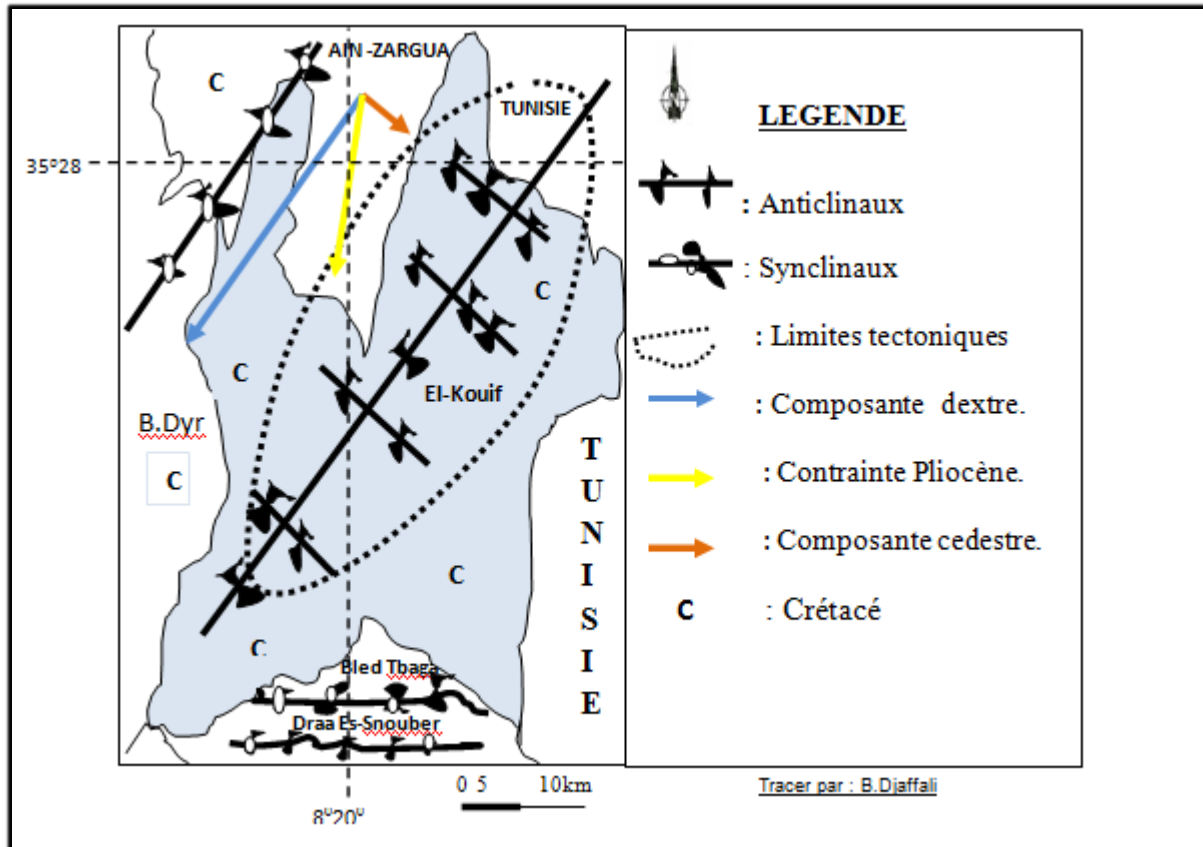


Figure 08 : Croquis tectonique de la région d'étude d'El-Kouif extrait d'Esquisse tectonique des environs de Tébessa avec les contraintes maximales d'après (W.M. Kowalski et al, 2002).

### 7.1 Synthèse tectonique d'El-Kouif

(Blés, 1969) a indiqué dans son rapport tectonique sur la totalité du fossé d'effondrement de la plaine de Tébessa, les principales contraintes tectoniques qui s'orientent vers le Nord-est-Ouest de la région mère de Tébessa, dont elles ont laissé des effets tectoniques sur le plateau étudié d'El-Kouif, vu sa potentialité de minerais de phosphates à l'époque que des plis orientaux de direction N 160-170 E avec une contrainte N 80 E ont été localisés, dont ces plis sont de type dextre, responsable de l'effondrement du fossé de Tébessa.

(Blés, 1969) a ajouté que ces plis caractérisent un renversement d'un système du Pliocène (renversement de la partie Pliocène inférieure sur le Pliocène supérieur).

Ce soulèvement diapirique (renversement de la partie inférieure du Pliocène sur la partie supérieure) à provoquer une déformation géomorphologique de la fosse du Morsott accompagnée d'un soulèvement actif 'jusqu'à nos jours du mont du Djebissa.

(Blés, 1969) a indiqué aussi que la zone de jonction des fosses de Morsott orienté NNW-SSE et de Tebessa orienté WNW-ESE constitue une sorte de décrochement, d'où l'activité septentrionale de la fosse de Tebessa déborde cette zone de jonction en modifiant l'aspect structural du synclinal de Draa-Snouber (Pliocène inférieur) à l'Ouest du Djebel Belkif. Par contre les plis de Villafranchien inférieur, parallèles à la fosse du Morsott sont conservés.

D'une part, d'autre part la composante senestre de la contrainte maximale du Plio-Villafranchien est responsable de la formation de la fosse de Hammamet, dont un basculement des horsts et les grabens de cette fosse est débuté d'une orientation SW-NE.

### **8. Quelques éléments hydrogéologiques de la région d'étude d'El-Kouif**

L'hydrogéologie constitue un moyen de base pour la connaissance des éléments hydrogéologiques permettant d'établir les caractéristiques d'une nappe, dont la carte des conditions aux limites caractérise un élément primordial dans une investigation hydrogéologique. L'interprétation de cette dernière nous permet la détermination du sens de l'écoulement des eaux ainsi définir les relations existantes entre les différents systèmes.

#### **8.1 Carte des conditions aux limites**

La carte des conditions aux limites est constituée, le moteur de recherche pour connaître l'origine d'alimentation d'écoulement des eaux souterraines, elle nous permet de localiser plus ou moins le sens de l'écoulement, et les limites géologiques qui interrompent ce dernier.

Les études géophysiques sur la région d'étude d'El-Kouif sont maigres. Pour apprécier une synthèse sur les conditions aux limites de la zone d'étude nous avons fait appel aux données hydrogéologiques de la région voisine du Morsott.

De ce fait une combinaison faite entre les données piézométriques avec la géologie locale nous ont permis de dire que l'alimentation de la nappe se fait par les bordures Nord-ouest et le Sud-ouest du Morsott et par le Sud du Ain Zargua, avec une alimentation partielle des calcaires Maestrichtiens.



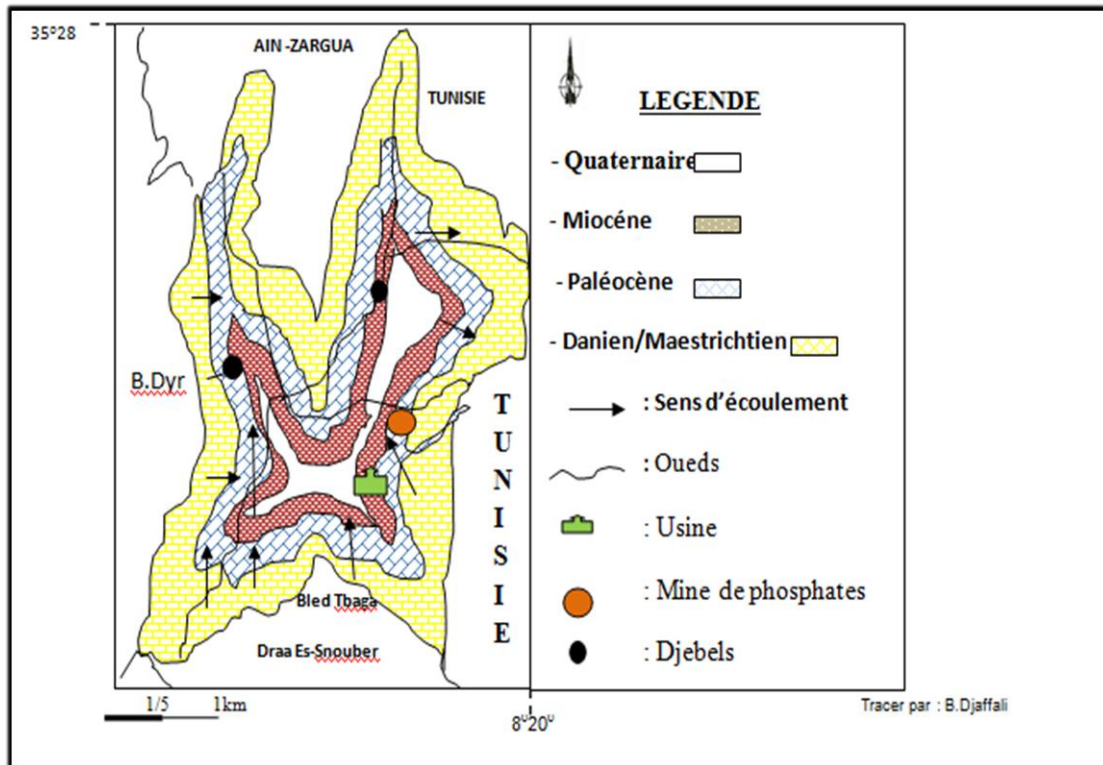


Figure 09 : Croquis d'une carte des conditions aux limites de la région étudiée El-Kouif

### 9. Conclusion générale

D'une manière générale, et suivant la description géomorphologique et géologique de la région d'étude d'El-Kouif, on peut conclure de dire que le secteur d'étude est caractérisé par un type de relief peu particulier, il est accidenté caractérisant les structures synclinales et anticlinales à la fois, une partie comprend les revers monoclinaux formant la bordure Nord-ouest et le Sud-ouest, par exemple les revers de ceux de Boulhaf-Dyr, Djebissa.... Et une seconde partie limitée par des anticlinales qui bordent l'Est du plateau d'El-Kouif tels que séries de Thala, Kalaat-Sennane ... (la Tunisie) et le Sud par les revers de Draa Es-Snouber, Bled Tbage .....

Sur le plan stratigraphique la région d'El-Kouif montre que ce plateau est doté d'importantes formations géologiques d'âge cénozoïque, de Maestrichtien jusqu'au les formations actuelles du Quaternaire, dont les principaux dépôts qui sont localisés lors de l'activité de la mine de la région d'El-Kouif sont :

- Dépôt marneux du Paléocène
- Dépôt de calcaires du Paléocène supérieur et de l'Eocène, Miocène
- Dépôts anciens et le Plio-Quaternaire (Villafranchien).

**CHAPITRE 3**  
**Caractérisation minière**  
**d'El-Kouif**

### 1.Introduction

L'activité minière consiste traditionnellement à exploiter de manière commerciale les ressources minérales ou énergétiques contenues dans les sols et plus récemment au fond des océans. Il s'agit d'une activité ancienne, elle remonte à plus de 3500 ans. L'activité minière en Algérie a débuté pendant la période coloniale.

Sur le plan économique la mine de minerais correspondait à un minerai qui est une roche contenant des matériaux dont les propriétés intéressent les industriels. S'ils sont présents dans des quantités satisfaisantes d'un point de vue économique, ils seront extraits et traités pour être livrés aux industriels qui les utiliseront, dont la majorité des minerais métallifères rencontrés sur notre planète sont les suivants : des oxydes (bauxite pour l'aluminium), des sulfures (galène pour le plomb, sphalérite pour le zinc), des carbonates (malachite pour le cuivre, sidérite pour le fer), des silicates (garniérite pour le nickel et le magnésium), des phosphates (phosphore.....), d'où ces matériaux extraits des milieux naturels sont issus de quatre types de mines :

Les placers, les mines de surface, les mines souterraines, les sites en mer.

La formation des gisements de phosphates de l'Afrique du Nord correspond à un épisode particulier de l'histoire des mers épicontinentales de cette région, au cours duquel un certain nombre de conditions océanographiques et biologiques très spéciales se sont trouvées simultanément réalisées en quelques points privilégiés.

A la suite de la découverte primordiale par Ph. Thomas, en 1873, des gisements Algero-Tunisiens, dont cet épisode de la mer des phosphates parut étroitement localisé au Paléocène. C'est par la contribution du François Thomas, en 1875 qui a établi un classement géomorphologique des mines Algériennes. Le premier type sont les mines Telliennes et le second sont les mines Atlasiques, dont lequel l'ancienne mine de phosphates de la région d'El-Kouif fait partie des mines Atlasiques.

Cette ancienne mine de phosphates de la région d'El-Kouif été la principale ressource minérale exploitée en Algérie à l'époque, elle contribué à l'Algérie un taux de 10 % de la production phosphatière dans le Nord-Africaine.

### 2.Generalité sur les phosphates

#### 2.1 La potentialité économique des gisements de phosphates dans le monde

Les gisements sédimentaires ont fourni environ 80 à 90 % de la production mondiale de phosphates. Ils se trouvent dans des formations d'âge géologique très différent. C'est grâce à la plus grande richesse du sous-sol Algero-tunisien qui est incontestablement constituée par les ressources en phosphates, Plus de 50 % de la valeur totale d'exportation, dont les importants gisements qui ont participé avec un taux important de l'importation de phosphates tels que l'ancienne mine d'El-Kouif, les gites du Gafsa (Tunisie).....montrent une gamme très large de compositions chimiques et de formes physiques, se trouvent souvent en couches épaisses relativement horizontales, et peuvent être à la base de terrains de recouvrement peu profonds. Dans la littérature minière les phosphates caractérisent généralement les assemblages de minéraux naturels contenant une concentration élevée de minéraux phosphatés.

Les gisements qui représentent la majeure partie de la production mondiale de phosphates sont au Maroc et dans d'autres pays africains, aux Etats-Unis, au Proche Orient et en Chine. La plupart des gisements sédimentaires contiennent de la fluoro-apatite carbonatée appelée francolite, d'après (McConnell, 1938), les francolites ayant une importante substitution carbonate sur le phosphate sont les plus fortement réactives et sont les plus appropriées pour l'application directe comme engrais ou amendement. Ces gisements

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

contiennent généralement des variétés de fluoro-apatite qui sont relativement peu réactives et donc moins appropriées pour l'application directe. Les produits de lessivage des apatites ignées et sédimentaires (minerais de phosphate de fer et d'aluminium) ne sont généralement pas utiles pour l'application directe en agriculture dans leur état naturel.

Les gisements ignés ont fourni environ 10 à 20 pour cent de la production mondiale des dix dernières années. Ils sont exploités dans la Fédération de Russie, au Canada, en Afrique du Sud, au Brésil, en Finlande et au Zimbabwe mais se trouvent également en Ouganda, au Malawi, au Sri Lanka et en plusieurs autres endroits.

D'une manière générale le phosphate est le composant des roches ayant un intérêt agronomique. Plus le contenu en phosphate ( $P_2O_5$ ) sous forme d'apatite est élevé, plus le potentiel économique du minerai est grand. Les facteurs qui sont importants dans la conversion chimique des phosphates en engrais (carbonates libres, fer (Fe), aluminium (Al), magnésium (Mg) et chlorure) ne sont souvent pas importants quand la roche doit être employée en application directe (Gremillions et McClellan, 1975 ; McClellan et Grémillon, 1980 ; Van Kauwenbergh et Hellums, 1995), (**Figure 01**).

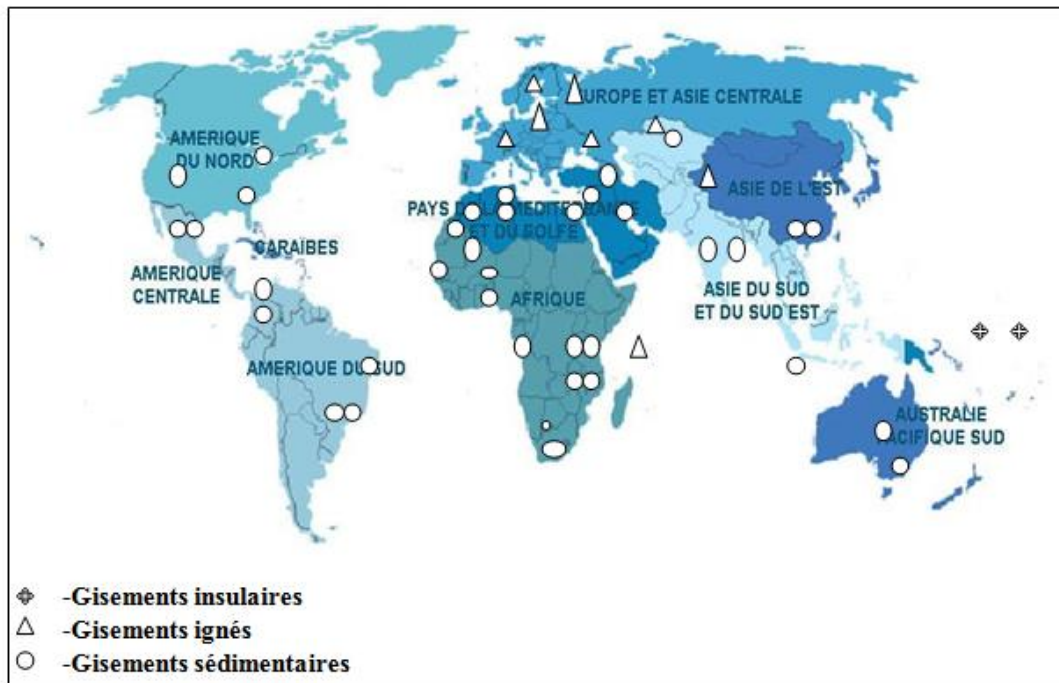


Figure 01 : Répartition des différents types de gisements de phosphates dans le monde

### 2.2 L'histoire des phosphates en Algérie

Pendant longtemps, à la suite de la découverte primordiale par Ph.Thomas, en 1873 des gisements Algero-Tunisiens formant une plage des phosphates distingués au Paléocène. Cette découverte des gisements de phosphates Nord-Africains par Ph.Thomas dès 1873, en reconnaissait la présence au Sud de Bougharie et douze ans plus tard, il découvrait les gisements de la région de Gafsa, dans le Sud-Tunisien. Les prospections suscitées par cette découverte, en même temps que le développement des études stratigraphiques des géologues Nord-Africains, amenèrent progressivement à la reconnaissance d'un grand nombre de bassins phosphatés depuis la bordure saharienne du Sud-Tunisien jusqu'au voisinage des plateaux Sétifiens.

### Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

---

Parmi les principales découvertes de celui de Ph.Thomas dans le Nord-Africain, la dernière en date est celle de l'important gisement du Djebel Onk, dans le Sud-Constantinois, due au L.Joleaud en 1905.

C'est grâce aux études stratigraphiques approfondies de ceux de (Laffitte, 1939 ; Cayeux, 1939-1941-1950 ; Flandrin, 1948) qui ont poussé à une initiative d'exploitation de phosphates, d'une première action par la compagnie des phosphates de Constantine concédée comme le principal producteur en Algérie. Cette compagnie a débuté le chantier productif de phosphates dans la région d'étude d'El-Kouif, ou elle a fondé la première mine de phosphates en Algérie, la mine de Djebel Kouif (c'est en 1970 l'arrêt de la production du phosphates)

Après l'indépendance et avec la progression des études stratigraphiques le projet d'exploitation des phosphates devienne prioritaire, l'état Algérienne inscrit les gisements de phosphates comme matériaux stratégiques. Ceci est justifié par l'importance de cette matière première pour l'agriculture, l'industrie chimique et les ressources considérables atteignant les 2 milliards de tonnes dont dispose l'Algérie. Ces ressources se concentrent au niveau du bassin minier de Djebel Onk – Tébessa (Nord Est algérien). Ce bassin renferme plusieurs gisements (Kef Es Sennoun ; Djem Djema ; Djebel Onk Nord ; Oued Betita et Bled El Hadba), dont la Société des Mines de Phosphates SOMIPHOS – Filiale FERPHOS Group, Est propriétaire de ces gisements.

Dans les perspectives d'augmenter la production des phosphates à plus de 20 millions de tonnes par an à l'horizon de 2020, SOMIPHOS-FERPHOS prévoit la mise en production d'autres gisements dans le bassin minier de Djebel Onk tel que le gisement de Djebel Onk Nord et de Bled El Hadba.

D'autres gisements miniers exploités ou sur le point de l'être en Algérie du Nord montre en effet que le nombre augmente d'Ouest en Est : quatre seulement en Oranie en y comprenant la carrière de Kieselghur d'Ouillis ; quatre également en Algérois dont les deux petites mines de barytine de Keddara et de Bou Mahni ; dix en revanche dans l'Est dont sept dans la seule wilaya d'Annaba. D'ailleurs encore l'ouverture d'autres gisements s'accroît dont quatre mines ouvertes ou sur le point de l'être, deux sont situées dans la région d'Annaba Kef Oum Teboul (cuivre, zinc et plomb) djebel Debagh (kaolin), les deux autres se trouvant près d'Azzaba (mercure d'Ismaïl) et de Sétif (plomb et zinc de Kherzet Youssef). **(Figure 02).**

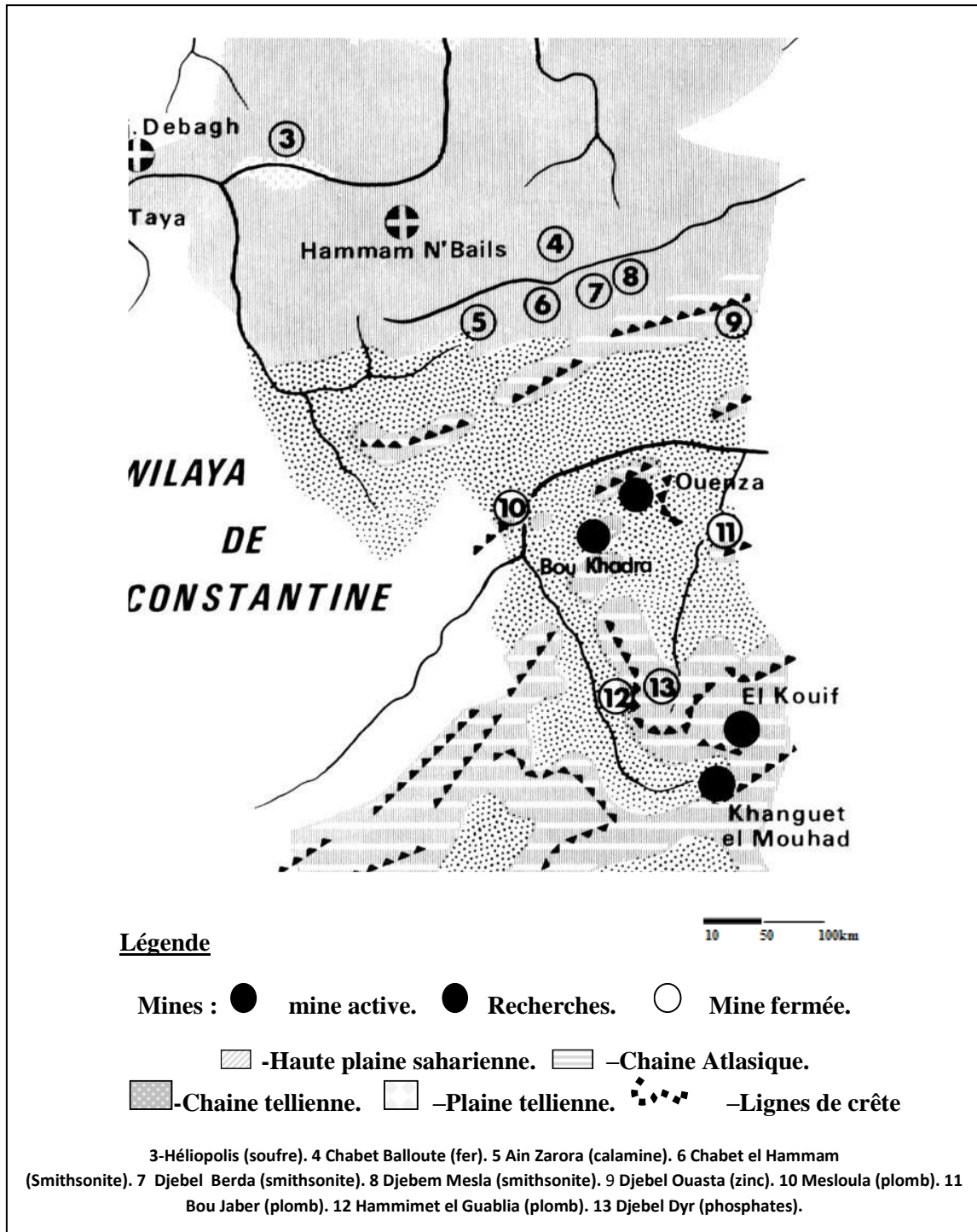


Figure 02 : Les ensembles structuraux des mines algériennes en 1968 de la région d'ANNABA

### 2.3 Usage des phosphates

Les caractéristiques minéralogiques, chimiques et de texture des minerais phosphatés et des concentrés déterminent :

- leur adéquation à différents types de processus d'enrichissement pour améliorer les minerais et pour enlever des impuretés,
- leur adaptabilité au produit chimique traitant par divers itinéraires et leur adéquation à l'usage en tant que phosphate naturel pour une application directe.

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

---

Les facteurs les plus importants dans l'évaluation pour une application directe sont : - la richesse, -l'adaptation à l'enrichissement, et la réactivité de l'apatite. Une matrice complète de caractérisation basée sur l'intégration de toutes les données obtenues par diverses méthodes analytiques met en évidence le potentiel d'enrichissement et les meilleures utilisations probables pour les phosphates naturels soit dans la production d'engrais soluble, soit comme engrais en application directe.

Le phosphate naturel désigne le produit issu de l'exploitation et du traitement métallurgique ultérieur des minerais contenant du phosphore. En plus du minéral principal contenant du phosphore, les gisements de phosphates naturels contiennent également des minéraux accessoires ou des impuretés de gangue. Bien que des quantités considérables de minéraux accessoires et d'impuretés soient enlevées pendant l'enrichissement, le minerai enrichi contient toujours une certaine quantité des impuretés d'origine. Ces impuretés incluent la silice, les minéraux argileux, la calcite, la dolomie, et les oxydes hydratés de fer (Fe) et d'aluminium (Al) dans diverses combinaisons et concentrations.

Afin de fournir des directives judicieuses pour les phosphates naturels purifiés, il est essentiel de prévoir leur efficacité agronomique, les augmentations de rendement des cultures et leur rentabilité.

Plusieurs facteurs affectent la dissolution des phosphates naturels dans le sol dans un ensemble de conditions spécifiques, donc l'emploi des phosphates naturels purifiés comme engrais phosphatés est un problème plus complexe qui implique de considérer un certain nombre de facteurs et leurs interactions, d'une part, d'autre part les phosphates naturels peuvent être utilisés soit en tant que matières premières pour la fabrication industrielle des engrais phosphatés solubles, soit comme sources de phosphore pour l'application directe en agriculture.

De plus l'industrie des engrais consomme environ 90 pour cent de la production mondiale de phosphates naturels, dont l'acide sulfurique et le phosphate naturel sont les matières premières utilisées dans la production du superphosphate simple et de l'acide phosphorique, d'où l'acide phosphorique est un produit intermédiaire important employé pour préparer le superphosphate triple et les phosphates d'ammonium.

Cette l'industrie mondiale des phosphates est basée sur l'exploitation commerciale de certains gisements de phosphate naturel. Malgré leur composition extrêmement variable, ces produits sont la source commerciale de phosphore utilisée comme matière première pour la fabrication des engrais phosphatés et de certains autres produits chimiques. A la différence d'autres produits essentiels, tels que le fer, le cuivre (Cu) et le soufre (S), il y a peu de chance de trouver une forme de substitution ou de recyclage. Le phosphate est au second rang (charbon et hydrocarbures exceptés) en termes de tonnage et de volume bruts dans le commerce international.

Les spécialistes de l'industrie des engrais prévoient l'emploi les phosphates naturels sédimentaires qui sont composés principalement d'apatites, dont ces apatites montrent une substitution isomorphe étendue dans le réseau cristallin, ainsi, elles présentent une grande variation dans leur composition chimique et montrent en conséquence un large éventail de propriétés. Dans les dépôts sédimentaires, les principaux minéraux phosphatés sont des francolites (fluoro-apatites microcristallines carbonatées), qui sont en association avec une grande variété de minéraux accessoires et d'impuretés.

Certains auteurs (Khasawneh et Doll, 1978 ; Chien, 1992 ; Chien et Friesen, 1992 ; Chien et Van Kauwenbergh, 1992 ; Chien et Menon, 1995 ; B. Rajan et al. 1996; Zapata, 2003) ont signalé que les phosphates naturels conviennent pour une application directe au sol dans certaines conditions, on s'argumentant par des indices enregistrés lors des essais sur le terrain, que l'origine sédimentaire des phosphates naturels conviennent pour l'emploi direct, parce qu'ils se composent d'agrégats assez ouverts et peu consolidés de microcristaux avec une surface spécifique relativement grande, de plus ils présentent une proportion considérable

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

de substitution isomorphe dans le réseau cristallin contenant des minéraux accessoires et des impuretés en quantités et proportions variables.

Notamment notre cas d'étude l'ancienne mine de phosphates d'El-Kouif pendant son activité minière depuis des années passées, elle a été la première mine de phosphate découverte en Algérie, en couvrant environ 10 % de produit phosphater de la consommation mondiale à l'époque. Cette place entre des grands pays producteurs du phosphate naturel dans le monde que l'ancienne mine d'El-Kouif à la sauvegardée durant les années productives, c'est grâce à l'originalité sédimentaire, dont son phosphate par la bonne qualité et l'impureté convient pour une application directe au sol.

(Figure 03).



Figure 03 : L'usage des phosphates dans l'agriculture

### 2.4 La genèse de la formation phosphatière

La science qui étudie la décomposition est généralement désignée comme la taphonomie. Elle caractérise le processus de décomposition de substances complexes de grande taille d'origine organique ou minérale. Ces substances sont découpées en composés plus petits et de forme plus simple, en général par une action microbienne. C'est un processus très important dans les sols pour la libération des éléments nutritifs de la forme organique vers une forme minérale assimilable par les racines. Par exemple, la minéralisation de la matière organique du sol pour apporter de l'ammonium suivi par le nitrate, du sulfate et d'autres éléments nutritifs sous une forme minérale qui s'oppose à l'immobilisation les ions.

En biologie, la décomposition qualifie la dégradation métabolique de la matière organique en composés simples organiques tel que l'azote, par exemple, et inorganiques avec libération d'énergie. Car cette La décomposition est le processus par lequel les substances organiques sont décomposées sous des formes plus simples de matière. Ce processus est essentiel pour le recyclage de la matière finie qui occupe un espace physique dans le biome.

Les corps des organismes vivants commencent à se décomposer peu de temps après la mort. Bien qu'il n'existe pas deux organismes se décomposant de la même façon, ils subissent tous les mêmes étapes séquentielles de décomposition. Sur le plan chimique l'élément chimique qui entre en vigueur dans cette déformation moléculaire, c'est le Nitrate dont la formule chimique est  $\text{NO}_3$ , et avec la présence du sel de l'acide nitrique, et les bactéries du genre *Nitrobacter*, par exemple qui reprennent l'acide nitreux et les nitrites pour les oxyder en acide nitrique qui forme, avec les bases qu'il rencontre, des nitrates de Sodium, de Potassium, de Calcium. Cette seconde étape d'oxydation biochimique de l'acide nitreux en acide nitrique constitue la nitratisation.

Plusieurs hypothèses récentes sur la formation des gisements de phosphates qui sont opposées à l'ancienne théorie qui indique que l'origine des phosphates n'est pas organique, mais ils sont le résultat de la précipitation des composés phosphatés directement de l'eau de mer.

D'après ces récentes théories les phosphates se formes à partir à des précipitations des organismes est indispensable pour la formation des phosphates. L'hypothèse la plus adaptée est celle de Kazakov, 1930, elle est basée sur les résultats de la campagne océanographique,



## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

dont ces travaux ont montré que la teneur en  $P_2O_5$  de l'eau de mer augmente avec la profondeur, et le minimum se trouve dans la zone de photosynthèse où le phosphore est consommé, tandis que le maximum se trouve vers des profondeurs de l'ordre de 500 m.

Cette sédimentation moléculaire illustre une forte précipitation chimique des éléments majeurs de phosphate (phosphore) sur les bords du plateau continental après y avoir été amené par des courants froids ascendants. Avec l'échauffement des eaux, il y a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en  $CO_2$ , dont cette réduction amène à la précipitation du  $CaCO_3$ , puis les phosphates, c'est la sédimentation chimique des phosphates qui ne peut se produire dans les régions profondes, là où la pression du  $CO_2$  est trop élevée, ni dans la zone de photosynthèse, où le phosphore est consommé. C'est donc entre 50 et 500 m environ que précipitera le phosphate. Cette théorie a été amendée par Visse (1952). Selon lui, le milieu de genèse semble distinct du milieu d'accumulation, on peut rencontrer deux types de gisements :

- Des gisements de plateforme continentale dont le minerai est caractérisé par une couleur claire, une structure noduleuse ou pseudo-oolithique, une fréquente association avec la glauconie et de nombreux éléments détritiques quartzeux, dont ce type de gisement semble lié aux transgressions.

- Des gisements de bordure de géosynclinal. Ils fournissent des minerais de couleur sombre, à structure pseudo-oolithique, avec une exo-gangue généralement argileuse et formations siliceuses importantes. La caractéristique principale de ces gisements est la régression. (**Figure 04**).

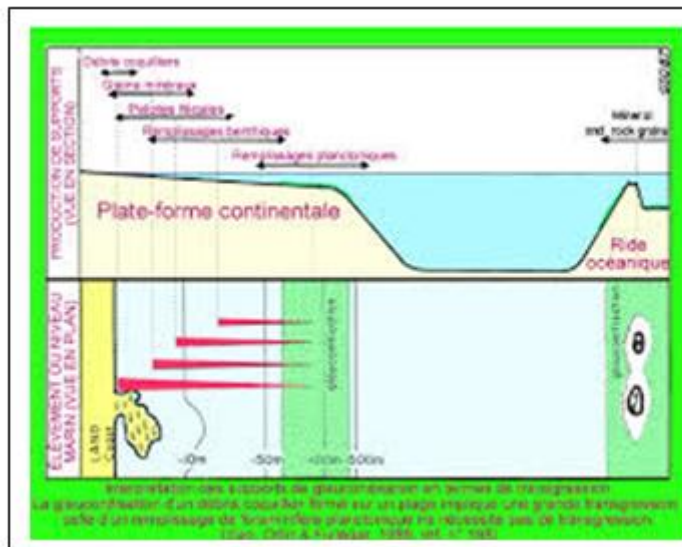


Figure 04 : Modèle de formation des phosphates marins

### 2.5 Modes de formation de l'apatite la phosphatogénèse

Plusieurs géochimistes et des spécialistes en paléo-environnement ont tenté de retrouver les anciennes conditions de dépôt ainsi que les différentes étapes de phosphatogénèse, qui présentent au plan planétaire, une certaine unicité. Ils constatent que les dépôts se sont faits dans des faciès calcaires peu profonds en bordure de l'océan indien et pouvant s'étendre jusque dans un arrière-pays aride (pas d'apport de végétaux supérieurs mais quelques apports détritiques continentaux).

Depuis l'hypothèse de (Kazakov 193), upwelling et phosphorite ont souvent été associés ce modèle propose qu'en bordure de ces bassins, un intense upwelling induise une forte productivité primaire des eaux océaniques, dont une partie envahirait des lagunes côtières et

### Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

bassins, dont la matière organique planctonique resterait piégée grâce à des conditions hydrodynamiques favorables, avec apport à marée haute, tempête. D'où la matière organique bactérienne contient 0,1 % de  $P_2O_5$  chaque  $m^3$  séquestré en condition anaérobie pourrait, plusieurs kg d'apatite à 20 % de  $P_2O_5$ , d'énormes accumulations auront donc été nécessaires pour aboutir aux gisements actuels, par l'intermédiaire de matras cyano-bactériennes stockant ces matières organiques, au sein de structures organisées en strates anoxiques.

Sans oublier l'étape de la fermeture de soulèvement tectonique, qui permettrait de remanier le phosphore organique et de le minéraliser par oxydation, jusqu'à atteindre le point de saturation de l'apatite.

Plusieurs étapes de réouverture sur l'océan, avec l'apport de matières organiques exogènes et ré-concentrations pourraient intervenir, avec pour conséquence un enrichissement du dépôt initial en  $P_2O_5$  ou en éléments de substitution. Ce modèle de phosphatogenèse rend compte de l'empreinte marine atténuée qu'évoquent les substituant de la matière phosphatière, mais l'étape de piégeage du phytoplancton issu de l'upwelling côtier et son accumulation en grande épaisseur, reste assez difficile à concevoir quantitativement et qualitativement.

De plus, l'aridité du climat, consécutive à la présence d'un upwelling, conduit inévitablement des lagunes ouvertes sur l'océan, à avoir un fort taux d'évaporation sur-salure, et donc à fonctionner comme des marais salants : on obtient des évaporites salées, pauvres en matières et donc peu de phosphore séquestré

Il est évident que la relation entre les zones d'upwelling et les phosphates sous-marins est en revanche incontestable le long des talus continentaux des côtes du Chili, Pérou, Maroc, Mauritanie, Namibie... Ces phosphorites marines sont de faible épaisseur de quelques cm et sont localisées vers des profondeurs importantes, là où les eaux marines sont peu oxygénées, suboxiques ( $O_2 < 0,5 \text{ ml/l}$ ), voire anoxiques.

Cette déficience en oxygène dissous est une conséquence inéluctable de la forte productivité marine des eaux superficielles dopées par l'apport de nutriments upwellés. La fraction détritique du plancton formée en zone éclairée s'enfonce et s'accumule sur la pente, sa dégradation par les bactéries s'accompagnant d'une forte consommation en oxygène dissous, ainsi se forment les couches subsuperficielles à minimum d'oxygène de l'océan mondial. Ces conditions d'accumulation organique détritique et donc de suboxie favorisent la séquestration de l'ion phosphate et sa précipitation ultime sous forme d'une formation insoluble, du fait de leur faible épaisseur et de leur profondeur ces gisements ne sont pas exploitables : Ils ont cependant l'énorme mérite de révéler les caractéristiques génériques et les contraintes d'une phosphatogenèse actuelle, étroitement limitées aux zones enrichies par upwelling côtier.

Ainsi, chaque cycle de transgression/régression marine, qui d'après le modèle astronomique de Milankovich aurait une période de l'ordre de 120.000 ans, correspondrait à la formation d'une couche de fluor-apatite insoluble. Chaque  $m^3$  de kopara dégradé pouvant fournir 5 kg d'apatite à 20 % de  $P_2O_5$ , un lagon de 100  $km^2$  pourrait ainsi fournir plus d'un million de tonnes d'apatite par cycle. Les lagons d'atolls pouvant atteindre 1.000  $km^2$ . On conçoit que des gisements dépassant des dizaines ou centaines de millions de tonnes d'apatite (atoll Christmas, océan Indien) aient pu se former en plusieurs millions d'années.

Ce raisonnement est évidemment applicable aux bassins et lagunes continentales, dont on peut en définitive proposer un modèle de phosphatogenèse liant les différents processus. **(Figure 05).**

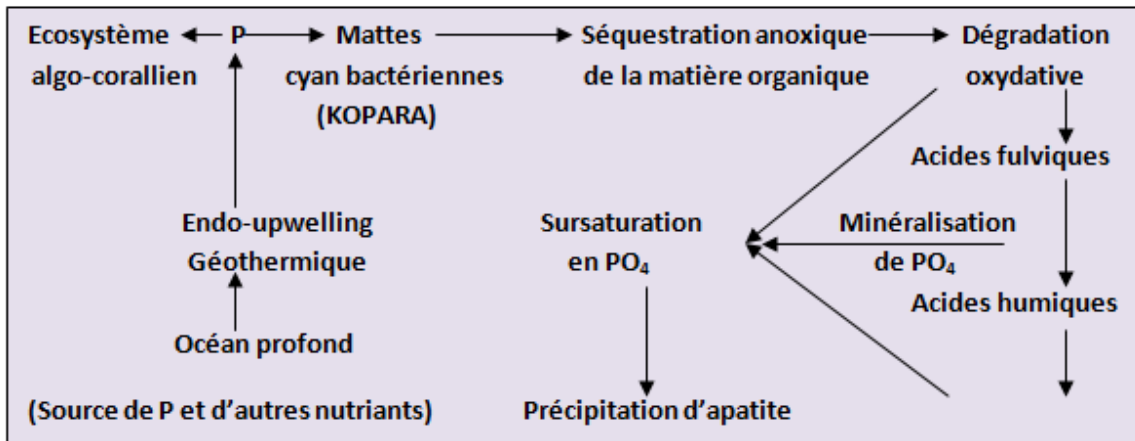


Figure 05 : Mode de la formation des phosphates (**la phosphatogénèse**) /Model du Milankovich

En fin, pour bien illustrer le mécanisme de la phosphatogénèse c'est celui de model du Milankovich, dont il explique les divers processus qui intervient de manière plus ou moins successive et complémentaire dans l'accumulation des phosphates. Ce spécialiste en paléo-environnement décrit les principaux passages de la concentration du phosphate dans le sédiment dont :

- Une intense productivité planctonique, d'où les diatomées et les dinoflagellés caractérisent les importants composants qui seront soit cristallisées sous l'effet des phénomènes d'eaux rouges, ou consommées par des organismes supérieurs, par exemple les poissons...qui vont finir à la formation d'un dépôt de phosphate sur le fond marin.

- Dans ce milieu sédimentaire où la teneur est très supérieure à celle des eaux marines sus-jacentes, le phosphore qui d'origine planctonique va subir une forte précipitation par oxydation de la matière organique qui se trouve en dessous des zones superficielles riches en oxygène.

- Cette étape de la phosphatogénèse est caractérisée par l'épigénéation du calcaire par du phosphate, là où déclenche le phénomène du remplacement des carbonates par les éléments chimiques du phosphate, c'est une altération proprement chimique, en eau douce et en eau marine, dont cette altération dépendait de l'activité bactérienne et avec la saturation du milieu sédimentaire par les acides aminés.

- Cette étape constitue la phase fine de la formation des phosphates concentrés, dont ils vont subir une altération mécanique illustrée par l'action mécanique des courants et les tempêtes (avec amenement des fragments fossilifères tels que des dents de poisson, grains bioclastiques...). (**Figure 06**).

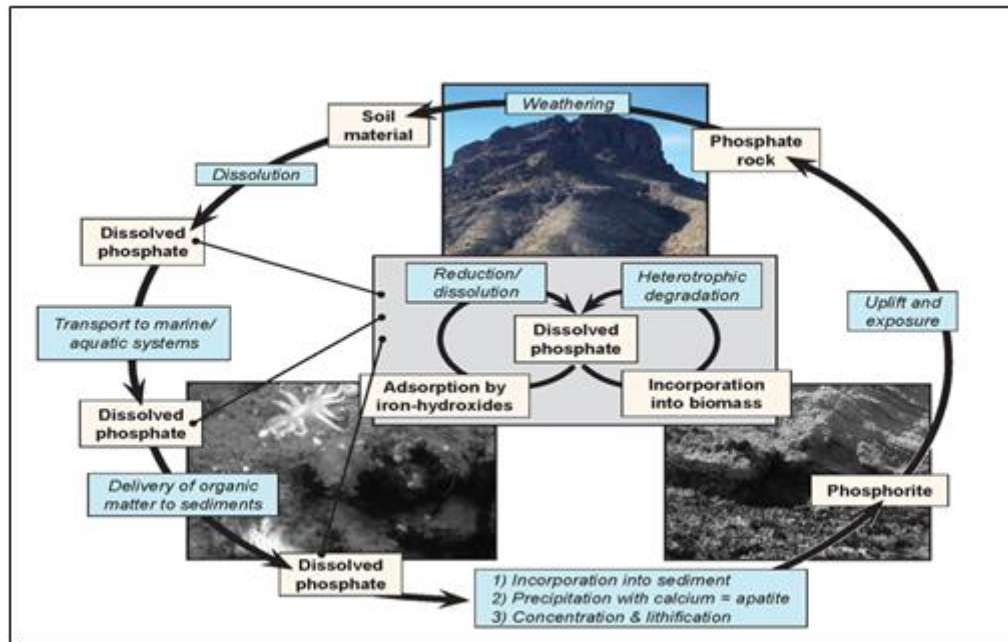


Figure 06 : Model de la formation des phosphates marins /D'après (Milankovich et Prévôt 1993)

## 2.6 Minéralogie des phosphates

Les gisements sédimentaires les plus abondants appartiennent à la famille de l'apatite (Raguin, 1961)

Le minéral du phosphate dans un milieu primaire peut se trouver sous plusieurs formes contiennent des variétés de fluoro-apatite carbonatée qui sont regroupées sous le nom collectif de francolite (McConnell, 1938).

En établissant une série de relations systématiques entre les francolites, divers auteurs (McClellan et Lehr, 1969 ; McClellan, 1980 ; McClellan et Van Kauwenbergh, 1990) ont employé la diffraction des rayons X accompagné et par l'analyse chimique illustré, en employant les méthodes statistiques pour montrer que les teneurs en calcium (Ca), sodium (Na), magnésium (Mg), phosphore (P), anhydride carbonique  $\text{CO}_2$  et fluor F peuvent décrire de manière adéquate dans la plupart des francolites.

Lorsque le carbonate remplace le phosphate dans un rapport bien déterminé, la quantité maximale de substitution atteint les 6 à 7 % de  $\text{CO}_2$  en poids.

(Straaten, 2002 ; Abu-Eishah et al. 1991) ont pu identifier les principaux minéraux de phosphate naturel dans un milieu primaire ou ils ont subi plusieurs d'impacts des systèmes et d'ères géologiques :

- **Fluor-apatite** ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ) : Principalement dans les roches ignées et les environnements métamorphiques, par exemple, les carbonatites et mica-proxénètes ;
- **Hydroxy-apatite** ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ), se trouve également dans les roches ignées et métamorphique et les dépôts biogéniques
- **Hydroxy-apatite carbonaté** ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6(\text{OH})_2$ ): Se trouve principalement dans les îles et les cavernes
- Francolite ( $\text{Ca}_{10-x-y}\text{Na}_x\text{Mg}_y(\text{PO}_4)_{6-z}(\text{CO}_3)_z \text{F}_{0.4z}\text{F}_2$ ): Ce complexe carbonate-apatite substitué se trouve seulement dans les environnement marins.
- Dahllite ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaCO}_3$ ) : Cette structure de phosphate est formée dans les sédiments marins.
- Collophane ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{nCa}(\text{CO}_3, \text{F}_2, \text{O})_x\text{H}_2\text{O}$ ): C'est le minéral typique sédiments de phosphate marin.

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

D'autres minéraux phosphatés peuvent être rencontrés dans les dépôts sédimentaires (Fisher, 1973). Par exemple : la monazite, que l'on trouve notamment dans l'Ordovicien de Bretagne (In Slansky, 1980) et l'autunite ou le méta-autunite qui sont des minéraux secondaires de certains gisements de phosphates riches en uranium. (**Figure 07**)

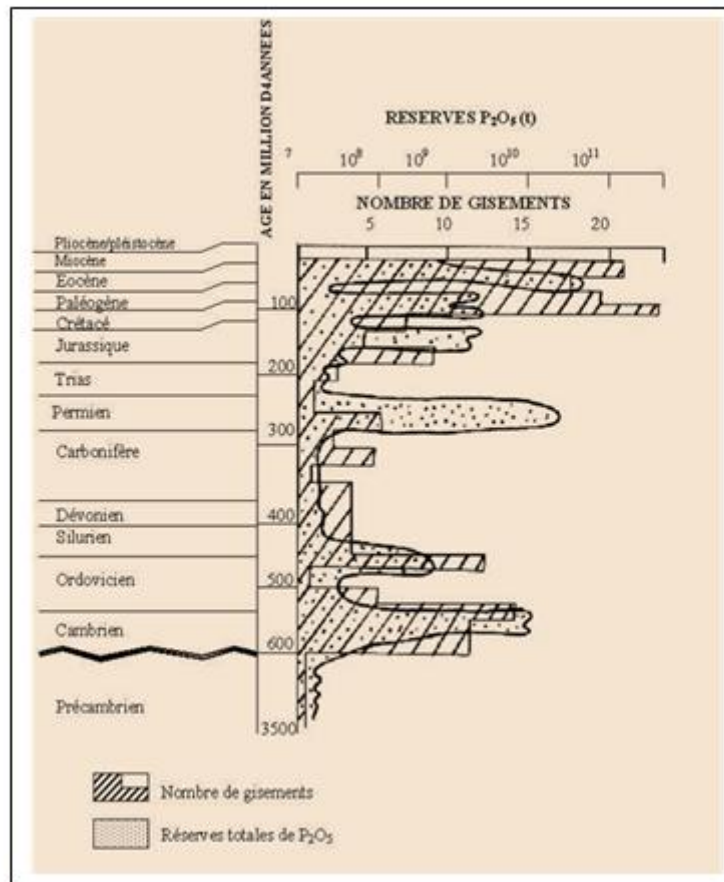


Figure 07 : Eres géologiques de formation des gisements de phosphates d'après (Cook et Elhinny, 1979).

### 2.7 Chimie des phosphates

L'analyse chimique des phosphates sédimentaires a révélé l'existence de plusieurs types d'éléments chimiques en proportions différents dont :

#### 2.7.1 Eléments majeurs

Les éléments majeurs caractérisent la plus grande concentration d'éléments chimiques qui forment le réseau du phosphate, tels que P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, F, Cl et H<sub>2</sub>O. (Slansky, 1980).

#### 2.7.2 Eléments en traces

D'après Guibrandsen (1966) d'autres éléments chimiques qui se trouvent dans les phosphates, mais avec une proportion faible. Ils sont étés localiser soit dans la matière organique tels que Ag, As, Mo, Ni, V, Zn, Cr, Cu, Sb, Se, et Cd soit dans les édifices de l'apatite tels que Sr, U, Th et des terres.

#### 2.7.3 l'Uranium (U) dans les phosphates

Guibrandsen (1966) dans son rapport chimique sur l'évaluation de l'uranium (U) dans les gisements de phosphates de nature sédimentaire, que la teneur de cet élément dans les dépôts phosphatés est souvent inférieure à 100 ppm et ne dépasse qu'assez rarement les 200

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

ppm (soutenu par Slansky, 1980). (Gony, 1971) a indiqué lui aussi que quelques gisements de phosphate d'une nature sédimentaire sont hétérogènes présentent des teneurs élevées en Uranium, tels que le gisement de Bakouma (République Centre-Africain) dont les teneurs variaient 1660 à 5600 ppm pour des teneurs en  $P_2O_5$  de 20,37 % en moyenne, gisement de Mussourie en ESA (en moyenne 408 ppm), Sibérie (100 à 4000 ppm).

En Algérie, l'uranium a été découvert dans les phosphates de Djebel Onk en 1934 (Cielensky et Benchernine, 1987). Le dosage de l'uranium dans les phosphates a été fait en 1985-1987 par l'EREM. L'estimation géostatistique de quantité en uranium (U) dans le gisement de Kef Es Sennoun a été faite par Mezghache (2002) et Bouderies (2008).

### 2.8 Nomenclature des phosphates

C'est en 1974 qu'une, nomination Américaine des phosphates a été attribuer par l'institut Américain de la géologie, dont (Slansky, 1980) a présenté les significations des termes « phosphorite » et « Phosphatite » pour une utilisation internationale, d'où :

#### -Phosphatite

C'est une roche sédimentaire composée en majorité des minéraux de la série de l'apatite

#### -Phosphorite

C'est une roche sédimentaire composée en majorité, de minéraux phosphatés pouvant être indifféremment des phosphates de Ca, Al et de Fe.

Cette classification de celui de (Slansky, 1980) est basée sur le taux des minéraux phosphatés dans les roches sédimentaires, d'où une limite entre les roches considérées comme minerai de phosphate ou de roche stérile a été indiquer, environ 18% (Slansky, 1980), les minéraux phosphatés ne peuvent pas être utilisés que dans les roches dont la teneur en  $P_2O_5$  est égale ou supérieur à 18%. Si la teneur est inférieure à 18%, l'utilisation de la nomenclature de la fraction non phosphatée est prise en considération.

## 3. Les gisements de phosphates en Algérie

Les phosphates Algériens, sans être aussi riches que ceux du Maroc et les USA, ont néanmoins la même valeur que ceux de la Tunisie. L'essor de l'exploitation des phosphates algériens a été d'autant plus remarquable que ses débuts ne remontent pas à quarante ans.

La production, de 6.000 tonnes en 1893, dépassait 100.000 deux ans plus tard, 200.000 quatre ans après ; elle atteignait et même dépassait, avant la guerre, 400.000 tonnes, à l'heure actuelle, la moyenne est supérieure à 800.000 tonnes.

C'est dans le département de Constantine que se rencontrent les gisements phosphatiers algériens.

Un premier groupe est situé au Sud des Hauts-Plateaux, près de la frontière tunisienne, à proximité de Tébessa : ce sont les gisements du Djebel-Kouif (le cas d'étude), du Djebel Onk et du Djebel Dyr. Un second groupe se trouve au Nord des Hauts-Plateaux, de Bordj bou Arréridj, à l'Ouest, à Souk-Ahras, à l'Est, en passant par Sétif : Tocqueville, Bordj-R'dir, M'Zaïta, Djebel-Dekna. Quatre seulement de ces gisements sont en exploitation. Celui du Djebel-Dekna, qui fut le premier exploité, fut vite abandonné, car la teneur du phosphate en acide phosphorique était trop faible ; ceux du Djebel Dyr ont cessé leur exploitation depuis 1912. (Figure 08).

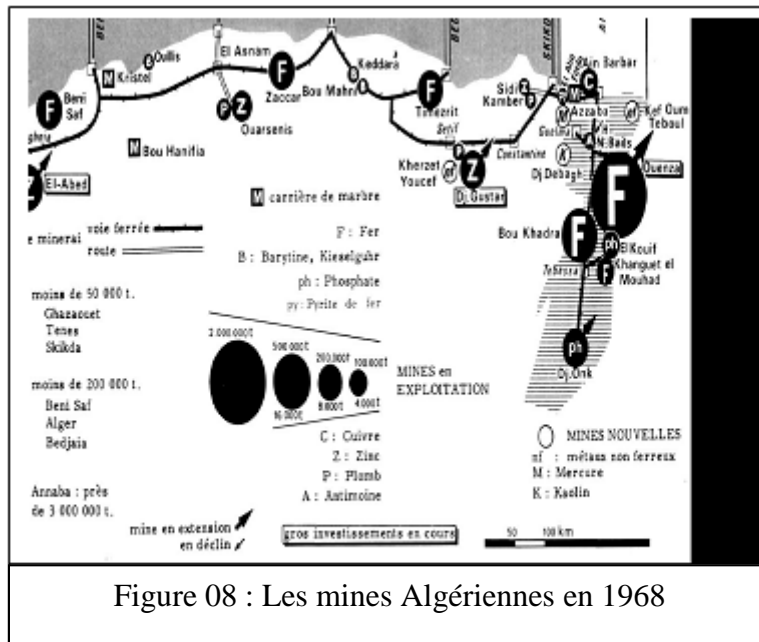


Figure 08 : Les mines Algériennes en 1968

### 4. Mine de phosphates du djebel El-Kouif

#### 4.1 Situation géographique de la mine du Djebel El-Kouif

L'ancienne mine de phosphates de Djebel Kouif, l'objet de la présente étude, située en Algérie, à 25 km au Nord- Est de Tébessa et 6 km de la frontière Algero-Tunisienne. Cette région constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. La région d'El-Kouif s'étend à la fois à l'Est du département de Constantine et sur le territoire Tunisien.

Cette ancienne mine de phosphate de la région étudiée et par son passé fleurissant de la production du phosphate, contient des richesses minières, métallurgiques et phosphatière de l'Afrique du Nord orientale. Le Kouif est la première localité où s'exploitent les gisements de phosphates appartenant à la Société de Saint-Gobain en Algérie, tels que gisement de Mokta El Hadid, gisements de fer et de cuivre de l'Ouenza, dont l'exploitation est contribué à la Société des phosphates de Constantine à l'époque.

C'est dans le département de Constantine que se rencontrent les gisements phosphatière Algériens, l'important groupe se situé au Sud des Hauts-Plateaux, près de la frontière Tunisienne, à proximité de Tébessa : ce sont les gisements du Djebel-Kouif, du Djebel Onk et du Djebel Dyr

Le climat est sub aride, caractérisé par un régime continental avec deux saisons très nettes ; un hiver froid, rigoureux et un été où les températures peuvent dépasser 40°C. Les précipitations sont moyennes avec une moyenne de 400-450 mm/an (climat semi-aride). Le réseau hydrographique d'El-Kouif est composé de 3 principaux sous bassins versants, celui de Ras Layoune au Nord-Ouest de la commune, et ceux d'Ain El Bey et de Draa Es-Snouber au Sud de la région.

Géo-morphologiquement la zone d'étude, la mine du Djebel Kouif est assise sur un plateau sédimentaire formé au cours du Miocène, pendant la grande depression tectonique de Mio-Plio-Quaternaire, dont le substratum de ce dernier est rocheux, caractérisé par de dépôts marneux, et des calcaires marneux qui appartiens au Crétacé. Ce plateau est couvert par des sédiments de calcaires qui sont recouvert par les alluvions Quaternaires composés de graviers, de sables et des limons, ainsi des argiles.....

Sur le plan stratigraphique les principaux dépôts qui sont localisés lors de l'activité de la mine de la région d'El-Kouif sont :

- Dépôt marneux du Paléocène.
  - Dépôt de calcaires du Paléocène supérieur et de l'Eocène, Miocène
  - Dépôts anciens et le Plio-Quaternaire (Villafranchien).
- (Figure 09)

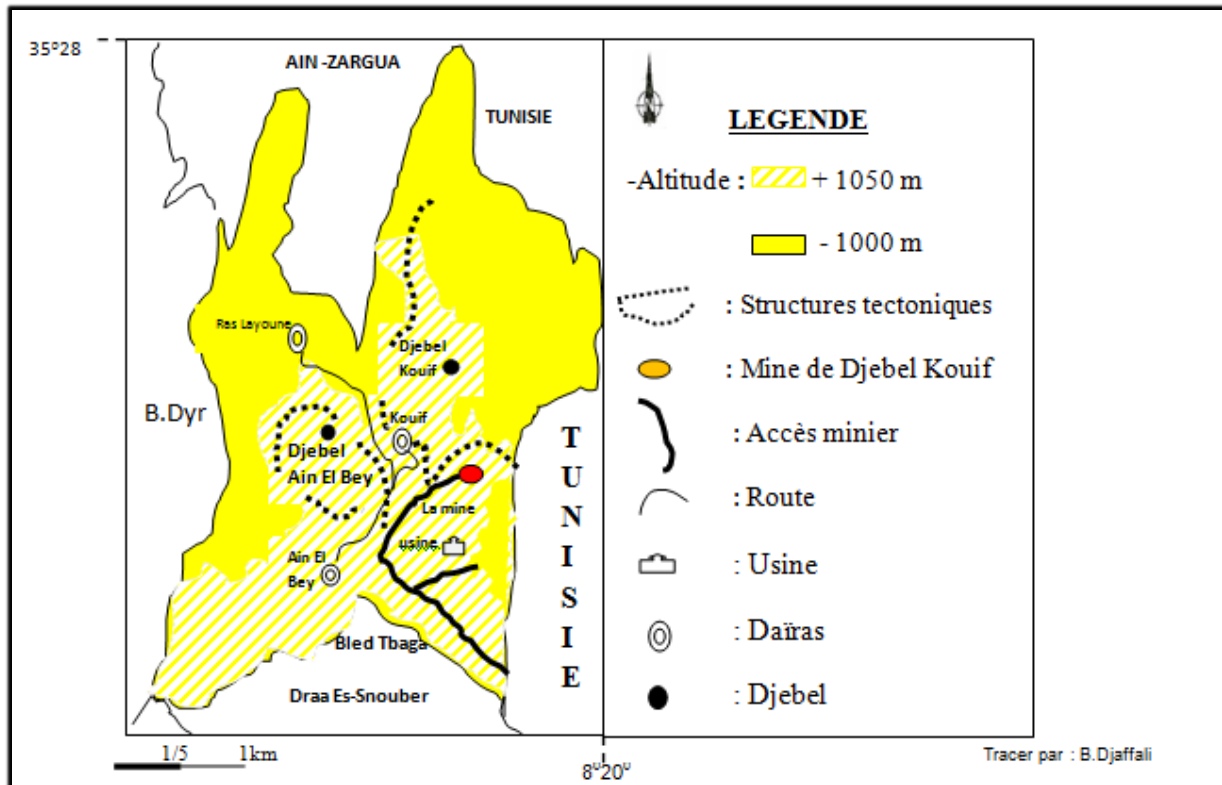


Figure 09 : Situation géographique de la mine du Djebel Kouif (in Djaffali 2015)

### 4.2 L'histoire de la découverte de la mine du Djebel EL Kouif

Dans la période 1885 et 1913, Ph. Thomas découvre le grand gisement de Djebel Kouif avec la mise en évidence de deux couches phosphatées. En 1912, Dussert a présenté les premières informations sur les gisements phosphatés Algériens, notamment le plus puissant celui de la région d'El-Kouif, dont les auteurs cités font une caractérisation de gisement de ce dernier par la nomination mine du Djebel Kouif vu la puissance de gisement de phosphates découvert dans cette région.

La prospection systématique a débuté par « la Campagne des Phosphates de Constantine » en 1920. Cette Campagne a confirmé l'existence des réserves considérables, ce qui a amené à la création de la mine du Djebel Kouif (M.D.K),

### 4.3 L'histoire géologique de la mine du Djebel El-Kouif

Plusieurs travaux stratigraphiques et paléontologiques faites sur les régions Algero-Tunisiennes, par divers auteurs, en particuliers Ph. Thomas de 1885 à 1913, Pervinquier en 1902 et 1903, Svornin de 1914 à 1920, Solignac en 1931, Visse de 1948 à 1950. Ces études ont fait connaître la structure géologique des bassins phosphatés dans l'ensemble des confins Algero-Tunisiens.

La mine de phosphates du Djebel El-Kouif est fondée sur un dépôt de phosphates qui s'est effectué dans un étroit bras de mer Sud Tyrrhénien, s'élargissant vers le Sud et vers l'Ouest. C'est ainsi que la mine de Phosphate du Djebel El-Kouif y s'est installée, dont cette zone est



## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

---

caractérisée par une dominance des formations néritiques à Nummulites qui renferment des niveaux importants de phosphates calcaires durs.

Ces divers niveaux sédimentaires ont été repris, postérieurement à leur formation, dans les plissements Atlasiques, ceux du Nord (en traversant Ain Zargua), qui ont été soumis à une érosion intense, qui ne subsistent plus qu'à l'état de lambeaux isolés, discontinus, le plus souvent à l'état de fonds de synclinaux à relief inversé, notamment l'assise de la mine du Djebel El-Kouif.

### **4.3.1 Caractérisation géo-structurale de la mine du Djebel Kouif**

Une importante classification attribuée au célèbre explorateur le géologue Ph.Thomas de 1885 à 1913, sur les sources minières, gisements de phosphates dans les limites Algero-Tunisiennes. Ph.Thomas de 1885 à 1913 a classé les gisements de phosphates de ces régions frontalières, en deux classes, gisements Telliens et gisements Atlasiques, d'où la mine du Djebel El-Kouif fait partie de ce dernier.

Le domaine atlasique où, malgré une morphogénie complexe, foisonnement les formes structurales simples. Elles apparaissent d'ailleurs ici d'autant plus magnifiques qu'une évolution plus poussée y a multiplié les formes en inversion de relief.

#### **a) Les mines Atlasiques**

C'est à partir de 1885 que l'on a signalé la présence de plusieurs bancs phosphatés dans les marnes et les calcaires marneux de l'Eocène inférieur, dans les plus considérables des Monts de Tébessa. Les gisements de type atlasique dominent ces monts qui jalonnent les vastes étendues, et les hautes plaines, telles que djebel Ouasta, du Bou Djabeur et du djebel Djebissa, plomb de l'Hamimat el Guablia, du Bou Jaber et de Mesloula. Dans ces derniers, l'exploitation commença, de 1893 à 1895, successivement au djebel Dyr, au Kouif et dans les pentes plus proches de Tébessa d'Ain Kissa et d'Ain Diba. Les difficultés d'extraction et l'abaissement de la teneur en phosphate entraînèrent cependant l'abandon des gisements du Dyr (1908) et d'Ain Kissa- Ain Diba (1912), laissant à la mine du Djebel El-Kouif le soin de fournir jusqu'en 1966 l'essentiel de la production algérienne.

Dans le rapport diagnostique de celui de Visse de 1948 à 1950, sur la région d'étude d'El-Kouif, que les couches d'Eocènes sont aussi été plissées, mais de moins d'énergie, dont les grands axes sont aux Sud-ouest/Nord-est. (**Figure 10**).

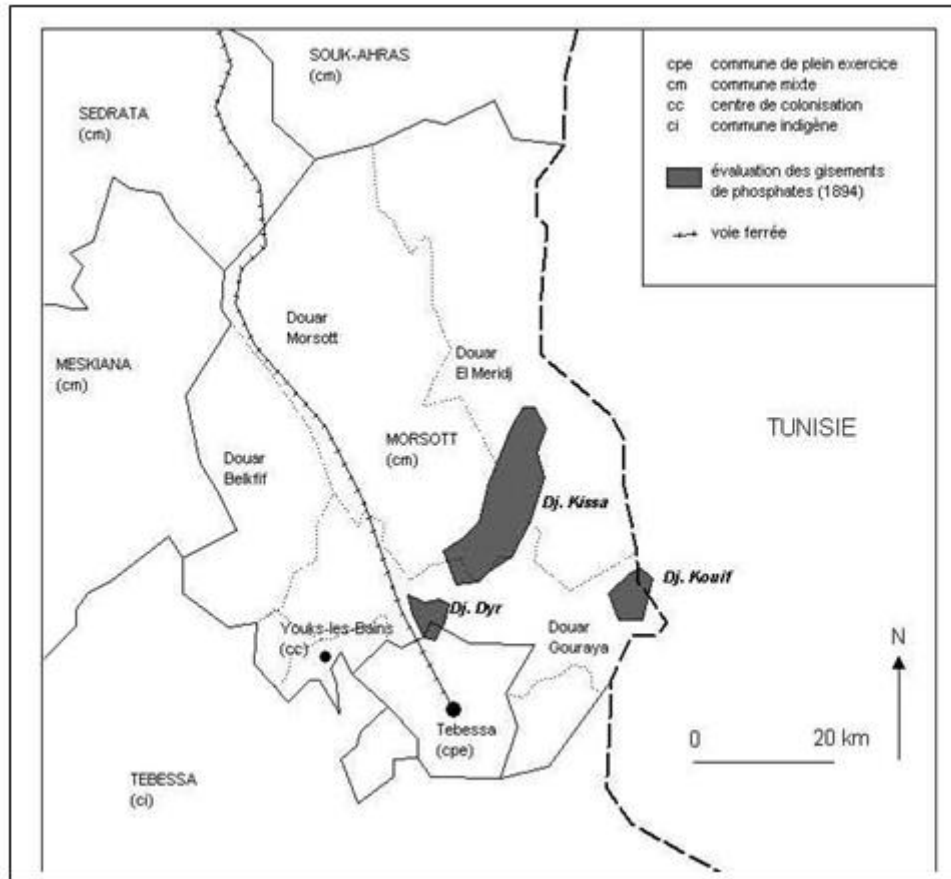


Figure 10 : Evolution les gisements des phosphates Atlasiques – mine du Djebel Kouif-1894

### **4.3.2 Lithologie du facies de la mine du Djebel Kouif**

La mine du Djebel El-Kouif comprend deux lambeaux synclinaux à large rayon, formant les deux principaux facies phosphatés de la mine, dont :

- Un facies de base, formant une assise de marne pour le dépôt de phosphates. Cette assise caractérise le facies du Paléo-Eocène, dont elle est riche de silex qui forme des lits ondulés.
- Un facies de sommet, il constitue une assise de calcaire qui domine ce facies. Le calcaire qui engendre ce dernier est intercalé par la présence de silex abondant dans les couches inférieures. Des traces de fossiles sont été distingués dans ce facies tels que les Nummulites, les thersités .....

D'une manière générale la sédimentation qui constitue les couches des deux facies de la mine du Djebel El-Kouif, offre un aspect, d'un conglomérat à petits éléments clairs dans un ciment plus foncé, soit dans les Couches qui composent le facies de base ou le facies de sommet. Les grés qui règnent ces derniers ont la couleur généralement grise ou jaune, souvent imprégnés de matières bitumineuses généralement phosphatés.

### **4.3.3 Synthèse litho-stratigraphie de la mine du Djebel El-Kouif**

La mine du Djebel El-Kouif comprend deux lambeaux synclinaux, formant deux niveaux, dont l'important niveau, celui (niveau de la mine) est le suivant :

A – Substratum de calcaires jaunes, durs à Incérâmes. Le Campanien probable.

B – Série épaisse de marnes argileuses noires-verdâtres, avec petits bancs calcaires intercalés. Dans la partie Nord-est, vers le tiers inférieur (dans le secteur Tunisien), un petit lit de grés tendre, très glauconieux, contient des traces de fossiles telles que les *Ostrea-eversas*, ce qui semblerait indiquer le système Montien.

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

C – Série phosphatée comprenant quatre couches de phosphate exploitable d'une épaisseur totale de 4 mètres, cette série contient un lot du faune variable telle que Seyliorhinus Beauget, L. obliqua.....c'est l'Yprésien.

D – Une dalle de calcaire siliceux à faune variée telle que Thersitea ponderosa, Nummulites...cette dalle correspond au Lutétien.

L'épaisseur totale depuis le Campanien jusqu'à la dalle dépasse 100 m, d'après (Priem, 1907). (Figure 11)

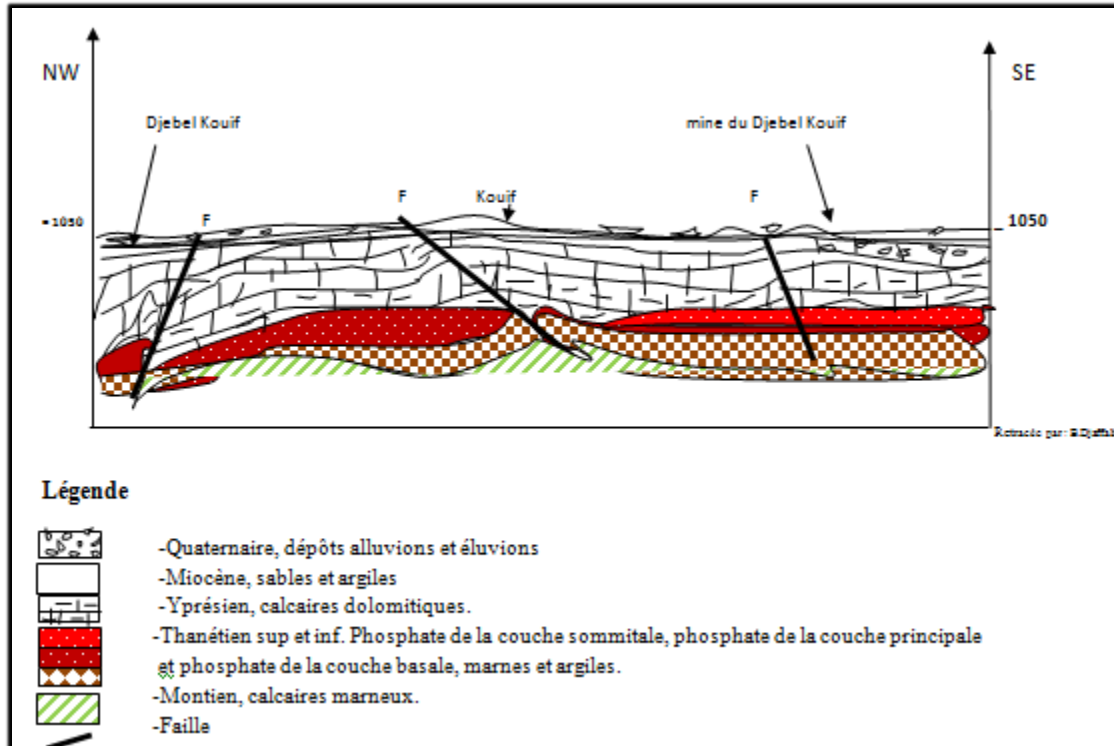


Figure 11 : Croquis d'une coupe géologique de la région d'exploitation –Kouif/ (Priem, 1907),

### 4.3.4 Synthèse géologique et géomorphologique de la mine du Djebel El-Kouif

L' investigation stratigraphique des faciés de la région d'El-Kouif réalisée par nombreux géologues, en particulier (Laffitte, 1939 ; Cayeux ,1939-1950 ; Flandrin, 1951), (Visse ,1951) qui ont établi une description stratigraphique de la région, notamment le faciés de Thanétien supérieur et inférieur qui renferme les dépôts de minerai de phosphate. En couplage avec les investigations des géologues cités, en particulier (Dussert et Cayeux ,1939) qui ont indiqué la répartition de quatre couches de phosphate dans la totalité de la région qui sont caractérisées par leurs appartenances au Thanétien (supérieur et inférieur).

### 4.3.5 Synthèse morpho-géologique et pétrographique du faisceau phosphaté de la mine

La formation phosphatée qui caractérise le faisceau phosphaté de la mine du Djebel El-Kouif est constituée par quatre sous couches, dont trois été exploitée durant l'activité de la mine qui sont : la couche sommitale, principale et basale dont la variation de chaque sous couche est estimée selon (Priem, 1907), de 4 mètres. (Figure 12)

#### a).la couche sommitale

Cette sous couche qui a été dominante dans la partie supérieure de la formation (faisceau) phosphatée de la mine, elle présente presque les mêmes caractéristiques physiques

### Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

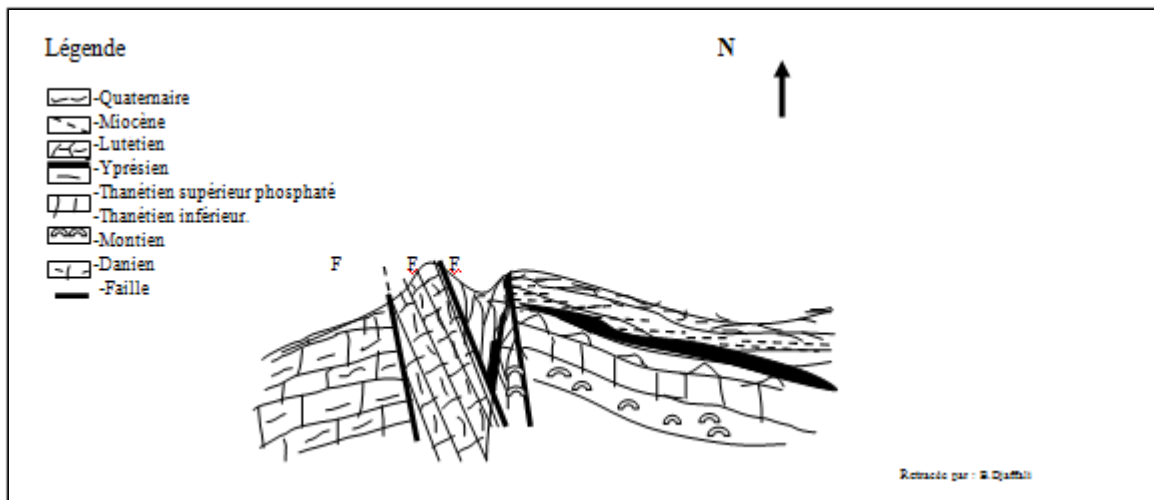
dans l'ensemble du faisceau phosphaté en termes de direction, pendage et prolongement. L'épaisseur de cette sous couche se diminue en s'orientant vers la partie Ouest et Sud.

#### **b). La couche principale**

Cette sous couche a représenté un grand intérêt dans le faisceau phosphaté de la mine pendant son exploitation, elle prolonge vers le Nord, avec le même pendage et la même direction de celle de la couche sommitale.

#### **c). La couche basale**

Cette sous couche est caractérisée par son faible d'épaisseur enregistrée presque dans les différents points de la mine (Priem, 1907), (dans le Nord-est et le Sud-est) du secteur de l'exploitation. Cette sous couche assure le même pendage et la même direction du faisceau phosphaté de la région. **(Figure 12)**




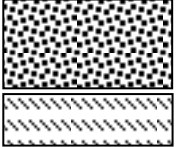
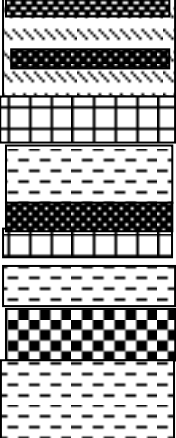




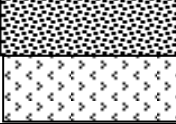



Quaternaire			Dépôts alluvionnaire et Eluvionnaire
Miocène			Argiles sableuses sombres et des brèches phosphatées
Yprésien			Alternance de dolomies dolomitiques blanchâtres et des niveaux phosphatés.
<b>Thanétien</b>	<b>Thanétien supérieur</b>		Lumachelle phosphatée
			Phospharénites bruns clairs, dolomitiques
			Lumachelle phosphatée
			Phospharénites bruns foncés, peu dolomitiques.
			Phospharénites dolomitiques.
			Marnes et argiles phosphatées.
	<b>Thanétien inf.</b>		Marnes et argiles sombre.
	Montien		Calcaires et marnes.

Figure 13: Litho stratigraphie de la mine du Djebel Kouif (Priem, 1907).

### 4.3.6 Synthèse minéralogique et pétrographique du phosphate de la région

D'une manière générale les minerais de phosphates de la mine du Djebel Kouif sont des grains pseudo lithiques et pellets avec des supports organiques tels que les radiolaires, les diatomées....

Lors des essais granulométriques effectuées sur des échantillons phosphatés par certains géologues qui ont consacré leurs recherches dans les limites Algero-Tunisiennes, en particuliers (Laffitte, 1939 ; Cayeux ,1939-1950 ; Flandrin, 1951), (Visse ,1951) ont montré que les grains de phosphates de gisements de ces régions, notamment la mine du Djebel El-Kouif, appartiennent à la classe des arénites, d'où les grains sont inférieurs à 2 mm, formant ainsi les bio-phospharénorudites.

D'où la formation phosphatée de la mine présente des facies plus moins homogènes à grains fins (200 à 300  $\mu\text{m}$ ) et des facies hétérogènes (les grains fins et grossiers) (2 et 3 mm).

Les calciques ou les dolomitiques et les argiles assurent une cimentation (une cohésion) entre les grains phosphatés, dont la couleur de ces grains qui forme les couches de phosphate est le noir, beige, vers le brun, et la matière phosphatée est formée de fluor apatite carbonaté  $(\text{P}_{0.88}\text{C}_{0.12}\text{O}_4)_6\text{Ca}_{10}\text{F}_2$  et le sulfocarbonate fluoré à alcalino-terreux parfois hydraté  $(\text{S,C,O}_4)_6(\text{K, Na,Ca,Mg})\text{F}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

La sédimentation phosphatée a été précédée par une formation marneuse et argilo-marneuse, elle s'étale tout à tour de gisements de Gafsa (la Tunisie). Cette sédimentation a été interrompue par un dépôt lacuneux qui a produit une formation phosphatée sous-jacente.

À la fin de la période sédimentaire du phosphate primaire (principale) de Thanétien supérieur, un remaniement de phosphate à lieu, ce qui témoigne les variations d'épaisseurs, ainsi que l'homogénéité de dépôts des couches phosphatées, lors des premières exploitations de la mine dans le début des années 20. (Priem, 1907).

## 5. Historique de traitement du phosphate de la mine du djebel El-Kouif

Les informations sur les procédés et les méthodes qui sont été employé, pour traiter les phosphates extraits de l'ancienne mine du Djebel El-Kouif sont maigres.

Généralement les phosphates doivent subir des traitements avant d'être utilisés. Les traitements sont physiques (broyage, calcination, lavage, séchage) et chimiques (attaque du minerai par l'acide sulfurique). Les données récoltées sur le traitement employé par la mine illustrent que les moyens mécaniques utilisés sont traditionnels (la compagnie des phosphates de Constantine).

D'une manière générale, la méthode d'exploitation consiste à la réalisation d'une succession des travaux miniers, Le minerai de phosphate de la mine du Djebel El-Kouif passe en trois étapes, l'extraction du minerai, dont les moyens utilisés sont précaires et risques ; après cette étape, vient l'étape d'enrichissement pour l'obtention des produits concentrés (voie humide et voie sèche). Pour subir des traitements par les deux voies, le minerai tout venant des galeries souterraines doit passer par la préparation mécanique, qui alimente les deux voies de traitement. **(Figure 14), (Figure 15)**

On peut distinguer :

- L'extraction de minerai.
- Un simple séchage de minerai riche
- L'enrichissement par voie sèche
- L'enrichissement par voie humide
- L'enrichissement par flottation

- L'enrichissement par calcination.



Figure 14 : Vue générale de la mine du Djebel El-Kouif/1921

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

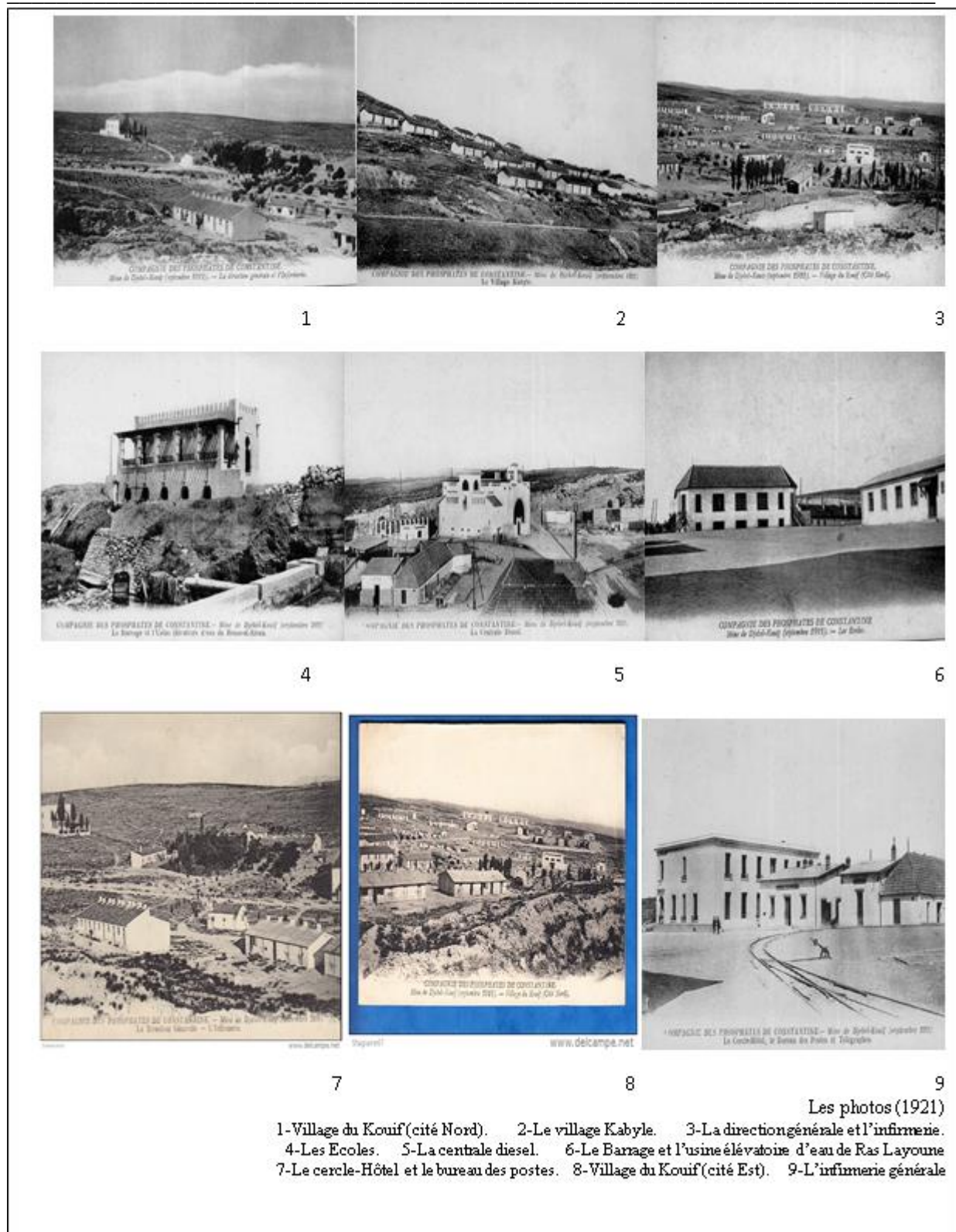


Figure 15 : Les principaux infrastructures de la mine du Djebel El-Kouif / photos, en 1921



## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

### 5.1 Synthèse du traitement des phosphates dans l'ancienne mine du Djebel Kouif (figure 16).

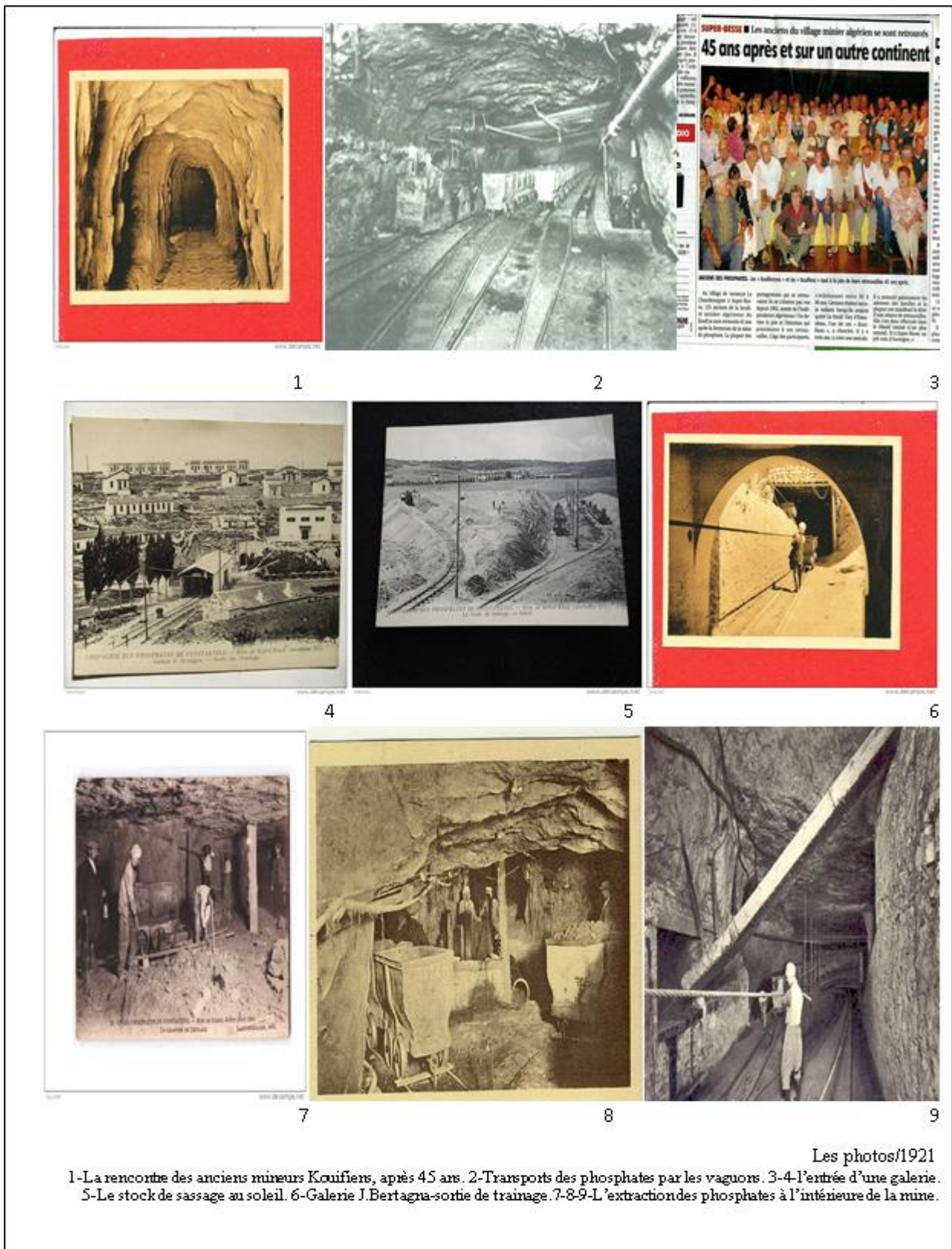


Figure 16 : L'extraction et traitement des phosphates dans l'ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

---

### 5.1.1 Synthèse d'extraction de minerai

L'extraction du minerai de phosphates est la première phase dans chaque exploitation minière. Notamment dans la célèbre mine du Djebel El-Kouif. Il occupe 3.000 ouvriers Algériens et, pour les loger, dans la région désertique où il est situé, tout le personnel qu'il emploie, la compagnie de phosphates du Constantine a dû édifier une véritable ville, avec magasins, écoles, etc. ...L'extraction du phosphate dans les années 20 a débuté par l'extraction manuelle du minerai, évacué ensuite par des vagonnets vers les zones de traitements.

### 5.1.2 La préparation mécanique

La préparation mécanique a pour but de réduire les dimensions des blocs des minerais, pour libérer les composants utiles de leurs gangues. Il comporte les trois opérations suivantes :

Concassage, broyage et le criblage dont :

**a). Concassage** : une opération a pour but de réduction des blocs du tout-venant alimentant l'usine de traitement d'une dimension d'un mètre jusqu'à une grosseur.

**b). Broyage** : cette opération consiste à réduire le produit concassé jusqu'à une dimension de 20 mm.

**c). Criblage** : dans cette phase consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieure à 15 mm à l'aide des cribles ayant une granulométrie inférieure à 15 mm pour alimenter les voies pour l'obtention, le produit marchand.

### 5.1.3 Traitement par voie humide

La chaîne de traitement par voie humide, généralement est composé par deux lignes représentent l'atelier de débouillage. Dans la première chaîne, après avoir concassé, broyé et criblé le produit à de dimension 0 – 15 mm, ce dernier passe par un malaxeur, puis, par des grilles de dimension 1mm. Le passant est dirigé vers les hydro cyclones. le refus va à nouveau être tamisé par un tamis vibrant de contrôle (1 – 0,5 mm), et le passant se passe vers les hydro cyclones, tandis que, le refus se dirige vers trémie. La seconde chaîne constitue l'atelier débouillage au niveau du complexe minier d'El-Kouif (l'usine).

Cette chaîne est comme la chaîne précédente, elle reçoit le produit criblé de dimension 0 – 15 mm, dont ce dernier passe par un malaxeur et par des grilles respectivement alignées.

A ce stade, le passant se dirige vers un système, classificateur. Ce dernier élimine directement les fines (< 80 µm), et les éléments (> 80 mm) se versent en hydro cyclones, où le refus des grilles est tamisé par un tamis vibrant (0,5 mm), le passant de ce tamis se verse directement en hydro cyclones, tandis que, le refus global se dirige vers trémie. Au niveau des hydro cyclones, les fines (< 80 µm) vont passées vers épaisseur, alors que, le produit débouillé va terminer par un filtre à bande avant qu'il soit un produit marchand.

### 5.1.4 Traitement par voie sèche – dépolvissage

Le dépolvissage est un procédé physico-mécanique d'enrichissement du minerai phosphate. Cette opération s'effectue dans les ateliers de dépolvissage (les différents rayons de l'usine de la mine).

### 6. Histoire de la production des phosphates de la mine du djebel El-Kouif

Les phosphates intéressent de très près les économies agricoles d'une large majorité de pays. Ce sont des produits vitaux pour l'agriculture. Les concentrés marchands produits dans le monde sont essentiellement des phosphates de calcium, c'est-à-dire des phosphatites. La teneur des minerais ou des concentrés est évaluée en  $P_2O_5$  % ou en équivalent en phosphate tricalcique  $Ca_3(PO_4)_2$  (TCP) et que l'on appelle aussi TPL (Triphosphate of lime) ou BPL.

Les phosphates constituant la principale ressource minérale exploitée en Algérie, notamment la région d'El-Kouif pendant l'époque coloniale. L'exploitation de la mine du Djebel Kouif est passée par trois phases de production dans l'histoire de la mine (indiquée dans le registre productif de la mine). La première phase a débuté par l'ouverture de l'exploitation en 1912 jusqu'au 1919, avec une production varie entre 180.000 et 360.000 tonnes. Elle atteignait 920.000 tonnes dans la deuxième phase en 1926. Pour les années 1931 et 1939 l'exploitation se stabiliser entre 500.000 et 800.000 tonnes jusqu'au l'année 1951.

A cette période de la troisième phase de la production phosphatière, l'Algérie a contribué pour les 10% d'environ à la production phosphatière Nord-Africaine, c'est grâce aux deux sièges seulement restant en exploitation, celui du Djebel El-Kouif, le plus important (900.000 tonnes en 1951) et celui de M'Zaïta (90.000 tonnes).

Jusqu'après l'indépendance en 1963 la mine du Djebel Kouif a devenu 100%100 Algérienne, dont la gérance et la gestion de cette dernière sont attribuées au SONAREM, une société proprement Algérienne des gisements de minerais. Depuis ce temps la mine restait exploitable jusqu'au 1979, l'année d'arrêt de l'exploitation des phosphates dans cette dernière.

### 7. Conclusion

C'est en 1873, des gisements de phosphates Algero-Tunisiens formant une plage des phosphates distingués au Paléocène, découverts par Ph. Thomas. . En 1912, Dussert a présenté les premières informations sur les gisements phosphatés Algériens, notamment le plus puissant celui de la région d'El-Kouif. Il a contribué une caractérisation du gisement de ce dernier par la nomination mine du Djebel El-Kouif vue la puissance de gisement de phosphates découvert dans cette région.

Sur le plan géomorphologique la mine des phosphates du Djebel Kouif est assise sur un plateau sédimentaire formé au cours du Miocène, pendant la grande depression tectonique de Mio-Plio-Quaternaire ,dont le substratum de ce dernier est rocheux , caractérisé par de dépôts marneux ,et des calcaires marneux qui appartiens au Crétacé. Ce plateau est couvert par des sédiments de calcaires qui sont recouvert par les alluvions Quaternaires composés de graviers ,de sables et des limons ,ainsi des argiles.....

Sur le plan stratigraphique la mine du Djebel Kouif comprend deux lambeaux synclinaux, formant deux niveaux, dont l'important niveau, celui (niveau de la mine) est le suivant :

– Substratum de calcaires jaunes, durs à Incérâmes. Le Campanien probable. – Série épaisse de marnes argileuses noires-verdâtres, avec petits bancs calcaires intercalés. Dans la partie Nord-est, vers le tiers inférieur (dans le secteur Tunisien), un petit lit de grés tendre, très glauconieux, contient des traces de fossiles telles que les *Ostrea-eversas*, ce qui semblerait indiquer le système Montien. – Série phosphatée comprenant quatre couches de phosphate explatable d'une épaisseur totale de 4 mètres, cette série contient un lot du faune variable telle que *Seyliorhinus Beauget*, *L. obliqua*.....c'est l'Yprésien. – Une dalle de calcaire siliceux à faune variée telle que *Thersitea ponderosa*, *Nummulites*...cette dalle correspond au Lutétien. En général les principaux dépôts qui sont été localisés lors de l'activité de la mine de la région d'El-Kouif sont :

## Chapitre 03 : Caractérisation minière d'El-Kouif

---

- Dépôt marneux du Paléocène p.p
- Dépôt de calcaires du Paléocène supérieur et de l'Eocène, Miocène
- Dépôts anciens et le Plio-Quaternaire (Villafranchien)

Sur le plan structural la classification attribuée au célèbre explorateur le géologue Ph.Thomas de 1885 à 1913, sur les sources minières, gisements de phosphates dans les limites Algero-Tunisiennes. Ph.Thomas de 1885 à 1913 à classé les gisements de phosphates de ces régions frontalières, en deux classes, gisements Telliens et gisements Atlasiques, d'où la mine du Djebel El-Kouif fait partie de ce dernier.

Sur le plan lithologique la mine du Djebel El-Kouif comprend deux lambeaux synclinaux à large rayon, formant les deux principaux facies phosphatés de la mine, dont :

- Un facies de base, formant une assise de marne pour le dépôt de phosphates. Cette assise caractérise le facies du Paléo-Eocène, dont elle est riche de silex qui forme des lits ondulés.
- Un facies de sommet, il constitue une assise de calcaire qui domine ce facies. Le calcaire qui engendre ce dernier est intercalé par la présence de silex abondant dans les couches inférieures. Des traces de fossiles sont été distingués dans ce facies tels que les Nummulites, les thersités.....

Sur le plan minier, le mouvement d'urbanisation a donné naissance à l'agglomération d'El Kouif, dont l'appellation coloniale était Djebel El-Kouif, a commencé au lendemain de la découverte du phosphate dans la région, d'abord au niveau du Dyr, localité attenante à Morsott, actuellement commune de la wilaya de Tébessa, plus tard à El-Kouif. C'est à partir de 1893 que le minerai d'El-Kouif a été exploité et acheminé vers le port d'Annaba, par chemin de fer à vapeur dont les lignes Annaba- Souk Ahras et Souk Ahras.

El-Kouif furent définitivement électrifiées, respectivement en 1932 et en 1951. La production a connu une courbe croissante.

La Compagnie des phosphates de Constantine va s'atteler au développement des conditions d'exploitation du phosphate et de vie au village. Ainsi, le creusement de galeries est complété par la mise en place d'un réseau ferré reliant le fond de la mine aux usines de tri, de traitement et de conditionnement du phosphate et l'ouverture de celles-ci, la construction d'une centrale thermique et d'une usine à oxygène pour la préparation des explosifs, de même qu'un laboratoire d'analyse du minerai et un bâtiment de compresseurs pour alimenter en air les galeries de la mine et divers ateliers tels que mécanographie, menuiserie, forge, mécanique,... Parallèlement, pour accueillir les cadres, agents de maîtrise et ouvriers français, il est édifié un cercle-hôtel avec salles de lecture, de correspondance et de jeux, un café-restaurant, puis un salon de coiffure, un bureau de tabac, un bureau de poste et une grande salle de fêtes, qui servirent pour les loisirs. Dans le même moment, commencera le mouvement d'urbanisation du village. **Le recrutement de la main-d'œuvre abondante et bon marché étant recherché, la mine a été obligée d'élargir la zone de mobilisation jusqu'à englober tout l'Est algérien et la Kabylie, voire des communes plus éloignées. Ces maisons furent attribuées respectivement aux Espagnols et autres habitants européens, aux Algériens issus de la Kabylie, et de l'Est, Constantine, Jijel et Skikda, qui se sont regroupés par affinité familiale, régionale ou même ethnique.**

D'une manière générale la production phosphatière de la mine du Djebel El-Kouif a enregistré son nom dans le registre mondial de la production des phosphates parmi les grands puissants producteurs de ce minerai. Puis après l'indépendance, elle déclinera avec l'épuisement des réserves pour s'arrêter définitivement en 1978.

# **CHAPITRE 4**

## **Partie spéciale**

### 1. Généralités sur les impacts environnementaux de l'ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif

Généralement les projets miniers varient en fonction des types de métaux ou de matériaux à extraire de la terre. L'exploitation des minerais qui sont souvent extraits en utilisant les méthodes d'exploitation minière par décapage direct des couches incluant l'aluminium (bauxite), le phosphate et l'uranium.... Comme le cas de notre étude l'ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif. C'est à partir de 1893 que le minerai du El-Kouif a été exploité et acheminé vers le port d'Annaba, par chemin de fer à vapeur dont les lignes Annaba- Souk Ahras et Souk Ahras. La Compagnie des phosphates de Constantine va s'atteler au développement des conditions d'exploitation du phosphate et de vie au village. Ainsi, le creusement de galeries est complété par la mise en place d'un réseau ferré reliant le fond de la mine aux usines de tri, de traitement et de conditionnement du phosphate et l'ouverture de celles-ci, la construction d'une centrale thermique et d'une usine à oxygène pour la préparation des explosifs, de même qu'un laboratoire d'analyse du minerai et un bâtiment de compresseurs pour alimenter en air les galeries de la mine et divers ateliers tels que mécanographie, menuiserie, forge, mécanique, .....

Lorsqu'il y a trop de phosphates dans le sol, par exemple à cause de l'excès d'engrais ou du rejet d'eaux usées par le biais de fosses septiques, ils peuvent être emportés par les eaux de ruissellement ou d'infiltration. En effet, les particules de phosphates ne parviennent pas toutes à se lier aux particules du sol. En conséquence, les phosphates peuvent polluer les eaux de surface et souterraines. De plus, d'importantes quantités de phosphates sont directement libérées dans les eaux de surface suite aux rejets d'eaux usées non traitées. Les opérations d'extraction pendant les années d'activité de la mine ont résulté des risques pour l'environnement restent bien présent. Des impacts négatifs sont causés par plusieurs causes comme la sédimentation à cause de routes mal construites et contamination de l'eau durant la construction d'une mine. La pollution de l'eau causée par l'exploitation minière peut prendre des décennies même des siècles avant de se dépolluer après la fermeture de la mine. Ces impacts dépendent d'une variété de facteurs comme la sensibilité du terrain, la composition des minéraux extraits, le type de technologie employé, les habiletés, la connaissance et l'engagement environnemental de la communauté et la capacité de gérer et contrôler les règlements environnementaux.

A partir de ce contexte, nous avons décidé de mener une enquête d'impact d'environnement, de l'ancienne mine de phosphates du Djebel El-Kouif, dans le but est de vulgariser les différentes méthodes employées par l'ancienne compagnie du Constantine des phosphates, pendant le début de l'exploitation de la mine. Cette vulgarisation menée sur les étapes qui sont été appliquées par cette firme (compagnie du Constantine des phosphates) a pour objet établir une évaluation des impacts environnementaux de l'ancienne mine du Djebel El-Kouif. Cette évaluation est caractérisée par une présentation, au minimum les perturbations et les effets multiples des différents impacts sur l'homme et l'environnement. Pour essayer, au moins proposer quelques mesures d'atténuation et de compensation.

### 2. Méthodologie de l'évaluation de l'impact environnemental (EIE):

Un processus officiel en vue de vérifier :

-les impacts probables des activités ou des projets sur l'ENVIRONNEMENT, ainsi que sur la santé et le bien-être de l'humanité. D'une façon générale, l'environnement est perçu sur les plans physique, biologique et social.

-les moyens et les interventions permettant de contrôler et de limiter ces impacts.

### 2.1 Détermination des critères de l'étude d'impact :

Les études d'impacts s'appuient sur une multitude de critères à fin orienté les choix et la prise de décision, les critères sont les suivants :

- L'étendue de l'impact : changement de mesure d'une variable de l'environnement tout au niveau espace qu'au niveau Temps Ex : représentation des superficies d'un foret inondé par un barrage.
- Intensité des modifications : degré de perturbation du milieu.
- La durés de l'impact : l'aspect temporel.
- La fréquence de l'impact : occurrence de l'impact.
- Le niveau d'incertitude : degré de probabilité de l'occurrence de l'impact.

A cause des besoins croissants en ressources des sociétés humaines, les impacts négatifs de leur exploitation et, des activités humaines sur l'environnement, sont de plus en plus importants. En effet, la plupart des activités humaines modifient plus ou moins profondément le fonctionnement des écosystèmes.

Depuis les années 1970, la prise de conscience du caractère vulnérable de l'environnement a connu des avancées notables. Cette prise de conscience a incité la mise en place d'un nouveau paradigme environnemental. Le rapport Brundtland (CMED, 1987) sur le développement durable, proposait la prise en compte de l'environnement au même titre que le développement économique et recommandait formellement la conduite d'une évaluation des impacts environnementaux pour tous les projets. Ainsi, la réalisation d'Études d'Impact Environnemental (EIE) pour tout type de projet de grande envergure est devenue obligatoire dans presque tous les pays du monde. Plus concrètement, le but des **EIE** est :

- D'identifier le plus précisément possible toutes les conséquences environnementales et sociales que les diverses activités d'un projet peuvent avoir sur les éléments du milieu d'implantation.
- De définir et appliquer des mesures d'atténuation pour la plupart des impacts négatifs.
- De permettre l'approbation du projet à l'étude par les divers acteurs impliqués.

### 2.2 Cas de l'industrie minière

Dans le cas de l'industrie minière, elle constitue un secteur essentiel pour le développement économique des pays. Comme exemple, l'Afrique constitue un continent à forte " vocation minière" avec **30%** des réserves mondiales de minerais stratégiques pour l'économie mondiale. Malheureusement, Or l'exploitation minière, comme la majorité des grands sites industriels, s'accompagne généralement de nombreux impacts environnementaux. L'industrie minière est considérée comme une source majeure de pollution de l'environnement (Audry et al, 2006 ; Ghose, 2007). Pour cette raison, les projets miniers sont de plus en plus dénoncés par les organismes de protection de l'environnement et les populations locales.

L'enjeu aujourd'hui dans le secteur minier est de trouver un équilibre entre la préservation de la qualité de l'environnement et le besoin de produire.

La résolution de cette équation passe évidemment par l'évaluation des impacts environnementaux (EIE).

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

---

- Comme méthodologie, les questions posées deviennent :
- Comment évaluer ces impacts ? Avec quel (s) outil (s) faut-il évaluer les impacts environnementaux de l'exploitation minière ?

L'EIE reste limitée comme méthode, car les procédures actuelles d'EIE n'intègrent ni l'impact de la consommation d'énergie ni celui de l'utilisation des terres (Land use) dans les évaluations d'impacts. De plus, les impacts considérés se limitent à ceux produits directement sur le périmètre étudié. Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre (se traduisant par un changement climatique) ne sont guère abordées dans les EIE. Cette démarche doit être complétée aussi par les impacts indirects, ceux produits par les actions nécessaires à l'activité de la mine, ceux qui auront lieu dans d'autres endroits, et ceci tout au long des phases de vie de la mine, incluant les phases d'exploration et d'après-mine.

L'objectif principal est donc de développer une méthodologie permettant une meilleure évaluation des impacts environnementaux de l'industrie extractive.

### 2.3 Les phases de la vie d'une mine

L'exploitation minière est une activité qui se déroule en plusieurs phases (Durucan et *al.* 2006) : l'exploration, construction/développement, l'exploitation à proprement parler et l'après mine.

- Dans la phase exploration, elle correspond à la phase de collecte des informations sur la localisation et la valeur du dépôt de minerai. Cette phase comprend les enquêtes et de la prospection de terrain.
- La construction et le développement correspondent à la deuxième phase, cette étape dépend des résultats de la première phase, Elle correspond à l'aménagement du site devant accueillir la mine et ses infrastructures.
- L'exploitation et le traitement, troisième phase, qui comprend toutes les activités réalisées dans le but d'extraire et de traiter une substance valorisable du sol et/ou du sous-sol. Les méthodes d'extraction sont largement fonction du type de dépôt et de la profondeur (Durucan ; 2006) de même que de la taille et la teneur du gisement (Norgate et Haque, 2010).
- La fermeture et l'après-mine, La fermeture d'une mine correspond à la dernière étape du cycle de mise en valeur des minéraux. Les mines ferment pour différentes raisons, mais les deux raisons les plus communes sont l'épuisement des réserves de minerai, et la diminution de la rentabilité de la mine. À ce stade de la vie d'une mine, les opérations réalisées consistent essentielles au démantèlement et à la récupération des équipements, la purge (nettoyage) des équipements mobiles et immobiliers.

Ainsi l'après-mine peut se définir comme étant la période après la fermeture complète de la mine qui peut être suivie d'une opération de réhabilitation à une nouvelle destination après le départ de l'exploitant minier.



### 2.4 L'évaluations de l'impact

Au cours des dernières décennies de nombreuses approches et outils d'évaluation d'impacts environnemental ont été développées afin d'aider la prise de décision.

Les EIE sont des procédures obligatoires pour l'exploitant qui doit prouver a travers ces études, la prise en compte des dimensions environnementales et sociales dans son projet d'exploitation et proposer un plan de gestion environnementale. Une Etude d'impact environnementale est réalisée en amont des opérations d'extraction. Elle est initiée lorsque les résultats des études de faisabilité sont concluants.

Dans les études d'impacts, l'accent est plutôt mis sur les effets négatifs de l'activité minière sur l'environnement.

La démarche dans le cadre de l'évaluation s'intéresse à différents aspect en utilisant différents outils. Dans le domaine des mines les questions hydrogéologiques sont peu traitées. Les coûts élevés des essais de pompages des eaux souterraines pourraient expliquer ce manque d'informations sur les eaux souterraines dans les EIE. Afin d'améliorer ces pratiques, (Kuma *et al.* 2002) ont montré que diverses données sur la géologie, la pédologie, la physiographie (occupation du sol, végétation, relief et drainage de la zone), la météorologie (pluie, température et humidité) et l'hydrochimie collectées a l'étape de prospection et d'étude de faisabilité peuvent aider à bien intégrer et discuter la question des eaux souterraines dans les EIE.

Cette approche permet de caractériser le devenir d'une substance (transport, dégradation, transformation) dans les milieux récepteurs que sont l'eau, l'air et les sols et de son effet c'est-à-dire sa contribution à l'impact considère.

### 2.5 Méthodes d'étude de l'état initial

La démarche consiste à aborder différents aspects de l'état de la zone d'étude par l'identification et la détermination des différentes caractéristiques de cette zone.

#### a).Le milieu naturel

Les milieux physiques sont importants à inclure dans les études d'évaluation de l'impact, parmi ces milieux :

- Le climat : Le climat est considéré comme l'un des paramètres les plus importants car il conditionne la pluviométrie, facteur important dans les écoulements de surface et souterrains. D'autres facteurs ont aussi un rôle a jouer dans le phénomène d'impact, tel que le vent et la température...Etc.

#### b).La couverture végétale

Elle joue un rôle important dans la régulation climatique et l'érosion

#### c).L'hydrologie et l'hydrographie

Les écoulements de surface et le réseau de drainage constitue un agent de transport dans l phénomène de pollution. En parallèle a cela, l'aspect topographique (relief) peut être aussi abordé en raison de son influence sur les écoulements et l'érosion.

### d).Les sols

Les sols résultent de l'altération des roches de surface sous l'influence du climat et de la végétation. La nature du sol joue un rôle important dans le processus d'infiltration des eaux superficielles.

### e).La géologie

Basée sur le travail de la cartographie et de la prospection de terrain pour une meilleure identification des formations présentes ainsi que la structure, ce travail peut être complété par l'outil géophysique. Cet aspect peut aussi être abordé pendant la phase d'exploration.

### f).L'aspect hydrogéologique

Dans ce cas-là, on procède à l'identification des différentes formations ou niveaux aquifères, leur type ainsi leur relation avec le site de l'exploitation. La profondeur des niveaux statiques et le sens des écoulements. Des analyses hydrochimiques sont aussi effectuées pour identifier le type et la qualité des eaux des aquifères présents dans le secteur.

Toutes ces opérations concernent les milieux dits récepteurs (air, sol et eau), à travers des méthodes de mesure, de prélèvement et d'analyse. Le but est de délimiter une zone qui peut présenter une vulnérabilité, donc à fort risque d'impact.

Le risque de pollution des milieux récepteurs, outre la vulnérabilité, de la présence sur le site d'une source de pollution et surtout de la probabilité que le « danger » qu'elle comporte se transforme en un phénomène plus grave.

La démarche consiste aussi à analyser le système étudié (l'exploitation minière) pour en identifier les activités sources potentielles d'impacts et/ou sources potentielles de dangers auxquels est exposé l'environnement dans sa globalité et l'impact potentiel qui peut en résulter puis à en estimer le niveau ou l'importance suivant la composante impactée.

En conclusion, le but est la connaissance du milieu naturel. Par conséquent, dans une perspective d'évaluation des impacts environnementaux, les eaux souterraines et de surface, les sols, la biodiversité, l'air et l'homme sont les cibles à considérer.

## **3.Généralités sur les exploitations minières de phosphates**

### **3.1 Les gisements de phosphates dans le monde**

« Phosphate naturel » (PN) est un terme général qui décrit les assemblages minéraux naturels contenant une concentration élevée de minéraux phosphatés. Le terme se rapporte aussi bien aux minerais phosphatés non enrichis qu'aux produits concentrés. Les gisements sédimentaires ont fourni environ 80 à 90 pour cent de la production mondiale des dix dernières années. Ils se trouvent dans des formations d'âge géologique très différent, montrent une gamme très large de compositions chimiques et de formes physiques, se trouvent souvent en couches épaisses relativement horizontales, et peuvent être à la base de terrains de recouvrement peu profonds. Les gisements qui représentent la majeure partie de la production mondiale de PN sont au Maroc et dans d'autres pays africains, aux Etats-Unis, au Proche Orient et en Chine.

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

---

Le phosphate est le composant de ces roches ayant un intérêt agronomique. Plus le contenu en phosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sous forme d'apatite est élevé, plus le potentiel économique du minerai est grand.

- La production mondiale de PN en 1999, année la plus récente pour laquelle des données sûres sont disponibles. Les quatre principaux producteurs de PN (États-Unis, Chine, Maroc et Sahara occidental, et Fédération de Russie) produisent environ **72** pour cent du total mondial. Les 12 principaux producteurs représentent plus de **93** pour cent du total mondial. Vingt autres pays produisent les 7 pour cent restants, pour ce qui est de notre pays l'Algérie, le taux s'élève à **0.8** %.
- En termes de réserves ou de ressources, Les réserves estimées peuvent être décrites comme les quantités totales de PN exploitables dans le gisement ou comme quantité de produit récupérable. Beaucoup d'auteurs ne distinguent pas les réserves et les ressources non économiques quand ils indiquent la taille des gisements. Ainsi, des différences substantielles dans les réserves et/ou les ressources estimées peuvent exister entre les diverses sources.

### 3.2 Les tendances futures de la production dans le monde

Parmi les quatre principaux pays producteurs actuels de PN, le Maroc est dans la position la plus avantageuse et pourrait posséder plus de la moitié des réserves mondiales de phosphates. Pendant les 12 dernières années, la Chine a approximativement doublé sa production, et la Tunisie a augmenté la sienne d'environ 2 millions de tonnes. En 1999, deux nouvelles mines de phosphates se sont ouvertes au Canada et en Australie. Une future augmentation de production pourrait également venir d'Australie, de Jordanie, d'Irak et d'Afrique du Sud.

Il y a également des possibilités de découvrir de nouveaux gisements. Au cours des 100 dernières années, les découvertes de phosphates ont été supérieures aux augmentations de consommation (Sheldon, 1987).

### 4. Mines et environnement : La recherche d'un équilibre.

La principale atteinte à l'environnement causée par les opérations de prospection est la perturbation du relief imputable à la construction de routes, l'excavation du terrain et l'utilisation de produits chimiques qui peuvent affecter les ressources hydrauliques, le sol et le couvert végétal, l'habitat naturel, la faune et parfois les sites archéologiques d'intérêt culturel.

Parmi les impacts prévisibles associés à l'exploitation d'une mine, qu'elle soit à ciel ouvert ou par carrière, on retiendra les perturbations et les déséquilibres qui sont susceptibles d'affecter non seulement l'écosystème air-eau-sol, mais également l'environnement humain et socioculturel.

Avec l'exploitation minière, des centaines de tranchés et de puits sont souvent abandonnés, et exposent ainsi le sol au ravinement et à des processus d'érosion intensive, aboutissant à une destruction totale du couvert végétal. Ce déséquilibre provoque, en plus, un sur-alluvionnement des vallées et leur asphyxie plus ou moins profonde. Ces processus sont quasiment irréversibles et peuvent devenir catastrophiques à l'échelle de quelques générations.

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

---

Dans le cadre du suivi environnemental, la réalisation d'un ouvrage collectif d'assainissement composé d'une décharge d'ordures ménagères. Pendant la durée de la mine, plusieurs hectares seront reboisés pour la préservation du milieu.

En termes de suivi de la qualité de l'eau, un échantillonnage des eaux de surface et des eaux souterraines est à effectuer. Une station de traitement des eaux usées sera installée sur le site. Pour la gestion des déchets toxiques, la technique de l'incinération est préférable. Les déchets domestiques seront gérés au mieux afin d'être utilisés comme compost dans le maraîchage et le reboisement. Des mesures sont prises pour minimiser les pollutions sonores.

Dans le plan de fermeture et de sécurisation pour gérer l'après-mine. Il concerne le démantèlement des structures amovibles, le nettoyage du site, la sécurisation des sites miniers, la régénération du couvert végétal et la restitution à l'environnement naturel en collaboration avec les parties prenantes (Etat, collectivités, populations riveraines). Le décapage des terres arables sera mis en lieu sûr pour être réutilisé au fur et à mesure. Les carrières seront réhabilitées pendant la vie de la mine.

La prise en compte de la composante environnementale doit être analysée dès le stade de la définition du projet et à toutes les phases de l'exploitation. Des paramètres indicateurs de l'état environnemental du site doivent être disponibles pour permettre de suivre l'évolution des sites et corriger les changements intervenus par rapport à l'état initial. Il s'agit de concilier la nécessité d'une production minière, génératrice de revenus et d'emplois pour l'économie nationale, et le désir légitime de maintenir un environnement sain.

### 4.1 Quelques cas d'impact dans le monde

L'exploitation minière est une activité humaine qui peut nuire considérablement à l'environnement. La réhabilitation des dommages causés par les mines prend plusieurs décennies. C'est pour cette raison que les autorités compétentes demandent toujours une étude sur l'impact environnemental du projet minier avant de donner leur aval.

Les risques de pollution sont plus importants lors d'une exploitation traditionnelle.

#### *a). Mine à ciel ouvert en Allemagne : (Par : Équipe Solidaire, le 21 septembre 2012 dans Ecologie)*

Origine de la pollution environnementale liée aux mines

L'exploitation minière se déroule en plusieurs phases. Mais avant le démarrage, il faut passer par la prospection. Même si l'adoption de certaines techniques telles que les levés géochimiques ou géophysique n'a pas d'impact important sur l'environnement, d'autres méthodes sont quand même plus ou moins polluantes. Il s'agit entre autres de la création des routes d'accès, de l'établissement des camps de prospection, des tranchées et des forages.

Durant l'exploitation minière proprement dite, on assiste souvent à la destruction de l'habitat naturel des plantes et des animaux et la perturbation de l'écosystème air, sol et eau. À cause du déracinement important d'arbres, l'érosion, l'affaissement et le glissement de terrain sont inévitables. Il y a aussi la pollution atmosphérique afférente aux explosifs, aux poussières de roche et à l'émission de dioxyde de soufre.

Lors du drainage rocheux acide ou DRA, les déchets dégagés à l'extérieur des mines produisent des acides sulfuriques au contact de l'eau et de l'air. Lors des saisons de pluie, ces

## **Chapitre 04 : Partie spéciale.**

derniers se déplaceront, s'infiltreront dans le sol et atteindront les nappes phréatiques et les cours d'eau.

### **b).En Amérique : (Michel Deshaies, Idées d'Amériques, automne 2016)**

La richesse minière des Amériques a joué un rôle essentiel dans la diffusion du peuplement dans les régions les plus hostiles du continent. L'exploitation des nombreux gisements métallifères découverts depuis le XVI<sup>e</sup> siècle a revêtu longtemps un caractère prédateur et dévastateur pour l'environnement. Ces nouvelles mines ont un impact paysager sans précédent à l'origine d'une montée des oppositions et d'une augmentation des conflits avec les communautés locales craignant des conséquences environnementales négatives.

Plus de quatre siècles d'exploitation prédatrice ont laissé de nombreuses traces dans les paysages et l'environnement qui, jusqu'aux années soixante-dix, n'étaient pas pris en considération.

L'exploitation minière est ainsi à l'origine de pollutions des eaux (figure 1) parfois très sévères sur près de 20 000 km de cours d'eau de l'Ouest américain (Deshaies M., 2007).

Ces pollutions ont pu se produire pendant l'exploitation, par rejet parfois accidentel des solutions très acides. Ces rejets « accidentels » sont aussi souvent dus à l'insouciance, voire à l'absence de scrupules des exploitants miniers

### **c).Cas du Maroc**

En raison de sa structure géologique très variée, le sous-sol marocain renferme de nombreux gisements miniers qui font l'objet d'exploitation et de valorisation (phosphates, et métaux de base).

Cependant, l'exploitation de ces richesses n'est pas sans effet sur l'environnement et la santé des populations vivant dès les environs de ces sites. En effet, l'activité minière a déséquilibré les milieux naturels de plusieurs manières : par la transformation des paysages, le dépôt de déchets solides et le rejet d'effluents liquides et atmosphériques. Ce qui a inévitablement porté préjudice à l'environnement et au cadre de vie des populations avoisinantes.

C'est dans ce cadre que le Département de l'Environnement a réalisé une étude pour l'évaluation des impacts environnementaux et sanitaires des exploitations minières.

Les évaluations environnementales et sanitaires détaillées menées dans le cadre de cette étude ont concerné 3 sites miniers pilotes et ont abouti à l'élaboration de plans d'action pour l'amélioration de la gestion environnementale au niveau des 3 sites et dont la mise en œuvre a été assurée par les exploitants miniers.

### **d).Cas de la Tunisie : (27 mars 2015, par Clément Barraud)**

Située sur la côte est du pays, Gabès subit depuis trente ans une pollution rampante au phosphate. Oasis asséchée, mer polluée, développement de maladies... En cause, l'activité industrielle du Groupe Chimique Tunisien (GCT), qui produit de l'acide phosphorique.

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

En 1972 exactement, lorsque l'Etat, crée le Groupe Chimique Tunisien (GCT). L'entreprise est chargée d'exploiter le phosphate, la principale ressource naturelle du pays. Le bassin minier se trouve autour de Gafsa (au nord-ouest de Gabès), où est récolté le minerai.

Autrefois verdoyant, l'oasis de Gabès n'est plus que l'ombre de lui-même. La faute à l'accaparement de l'eau par l'usine chimique, « *Le groupe chimique pompe une très grande partie de l'eau présente dans les nappes, sans la renouveler. Sur la zone voisine de Ras el Oued, on comptait auparavant 400 sources naturelles. Aujourd'hui, on est obligé de pomper l'eau... À cause de cela, l'activité agricole n'est plus rentable* ». En manque d'eau, le territoire souffre également d'une pollution considérable due à l'activité industrielle.

La production d'acide phosphorique génère un déchet, nommé phosphogypse, composé notamment d'uranium, de plomb, de polonium et de radium. Pour une tonne d'acide phosphorique, 5,1 tonnes de phosphogypse sont rejetées dans le golfe par un canal à ciel ouvert. Mélangé à de l'eau de mer, il forme des « boues gypseuses ».

**e).Cas de la mine de Moanda (Gabon)** « *Impacts de l'exploitation minière sur l'environnement et les collectivités locales dans la province du Haut-Ogooué : cas de la COMILOG a Moanda (Gabon)* ». Mémoire de master : 2010/2011. Spécialité : Gestion durable des mines-Fondation.2iE

Le Haut-Ogooué est une région au développement fulgurant depuis la mise en exploitation des gisements de manganèse et d'uranium. Cette région a subi au cours du temps une transformation sociale notable, des villes industrielles sont nées telle que le Moanda. Bien que génératrice de retombées économiques importantes, l'empreinte de l'exploitation minière sur l'environnement et les populations locales est forte comme en témoignent la situation à Moanda au Gabon. En effet, les aspects évoqués ne poussent pas à l'optimisme et les problèmes soulevés se ramènent presque tous à la non prise en compte des questions de Responsabilité Sociale et Environnementale des Entreprises extractives en Afrique. L'exploitation d'une mine génère une production massive de déchets : résidus minéraux, poussières et boues, souvent contaminées par des produits toxiques. En fonction du cadre législatif du pays d'accueil, ces déchets sont déversés dans les cours d'eau avoisinants ou dans l'océan, voire simplement empilés ou stockés derrière un barrage. Avec le temps et en séchant, ils peuvent disperser des poussières toxiques sur de grandes distances, qui contaminent l'air, les sols et les cultures. Ces poussières provoquent l'asphyxie des plantes et des arbres. Des émanations de gaz et de vapeurs toxiques contaminent l'air autour de la mine. De plus, certains minerais sulfuriques, au contact de l'air ou de l'eau, forment des coulées acides qui peuvent être perpétrées pendant des centaines voire des milliers d'années par réactions chimiques successives. Pourtant, la question d'environnement, santé et développement durable quel que soit le milieu considéré, et particulièrement le milieu urbain, est une donnée fondamentale qui doit guider les programmes et politiques de développement. Certains comportements des citoyens (pollution des eaux...) sont liés à l'incapacité des pouvoirs publics d'asseoir un véritable rôle de partenariat sur les sociétés extractives. Ils aggravent ainsi le défaut d'infrastructures socio-collectives. Une gestion saine de l'environnement devrait être perçue comme un moyen de préserver le développement des villes et la santé des hommes. À ce titre, l'implication de chaque individu dans la sauvegarde de l'environnement est indispensable pour offrir aux futures générations un patrimoine sain et prospère. Eu égard à tous les résultats obtenus selon la couverture de la zone d'étude et en fonction du temps qui nous a été imparti, il serait intéressant de poursuivre l'étude principalement sur les effets de la Comilog sur la santé des populations qui a été réalisé sur un nombre réduit de ménages en vue de prendre en compte tous les niveaux de vie sociale et

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

aussi de faire une étude (analyse physicochimique et bactériologique) plus approfondie des eaux de surfaces, de sorte à réellement établir un lien entre la qualité des eaux de surface et les activités de la mine.

### 4.2 Quelques cas d'impact en Algérie

#### a). Cas de la mine d'El Ouenza

« Contribution à l'étude d'impact de l'exploitation du gisement ferrifère de la mine de l'Ouenza sur l'environnement ». Mémoire de Magistère. Par Souad Narsis 2012. »

Le gisement ferrifère de la mine de l'Ouenza est situé à 120 km au Sud Est de Annaba et à 80 km au nord de Tébessa. La mine est l'une des plus importantes unités de production de fer dans tout le territoire Algérien.

En termes d'impact, le minerai provoque une expansion de poussières qui envahissent presque tous les quartiers de la ville. Cette poussière est non seulement la source d'une dégradation de l'environnement, mais aussi de la qualité des eaux de surface, en plus elle a un impact sur la végétation. Cette expansion de poussières est aussi la cause principale des maladies pulmonaires dont la silicose qui se propage dans ce milieu urbain. Cette étude expérimentale s'est intéressée à l'évaluation de l'impact de l'exploitation du gisement ferrifère de l'Ouenza et sur l'environnement.

Les résultats analytiques obtenus indiquent qu'au niveau du sol l'ensemble des caractéristiques sont en équilibre avec les conditions du milieu et traduisent une évolution naturelle des sols qu'est en équilibre avec le milieu semi-aride, il est de même pour les qualités des eaux qui ne semblent pas être affectées par l'activité minière de la région.

La réponse de la végétation à cette perturbation se manifeste particulièrement au niveau de l'assimilation chlorophyllienne. Les poussières les plus fines sont transportées plus loin et ont une action plus forte que les grosses particules déposées sur la surface foliaire.

Quant à l'évaluation de la concentration en métaux lourds dans les sols et les eaux des oueds ainsi qu'au niveau des végétaux ne semblent pas être affectés.

### 5. Les phases d'un projet minier

Chaque phase d'exploitation minière est associée à différents groupes d'impacts environnementaux et différentes phases dans un projet minier.

#### 5.1 L'exploitation

La compagnie du Constantine des phosphates a commencé son activité minière seulement, après avoir acquis un socle solide sur l'extension et la valeur du dépôt de minerai de phosphate. Dont ce socle est fondé sur les informations de la valeur du dépôt de minerai qui sont été récoltées durant la phase de prospection, d'où elle comprend les enquêtes, les études de terrain, les essais de sondage et d'autres excavations exploratoires. La phase de prospection peut entraîner le nettoyage de vastes aires de végétation pour faciliter la circulation de véhicules lourds transportant les installations de forages.

### 5.2 Développement

Lorsque la phase d'exploration prouve l'existence d'un dépôt de minerai assez important et d'une teneur suffisante, le promoteur qui est intitulé et présenté par la compagnie du Constantine des phosphates peut alors commencer de planifier le développement de la future mine. Cette phase du projet minier comprend plusieurs éléments distincts.

#### a). Construction de routes d'accès

La construction de routes d'accès, soit pour amener les équipements lourds et les approvisionnements au site minier ou bien pour expédier les métaux et minerais traités, peut engendrer des impacts environnementaux substantiels spécialement dont ces routes (pistes) d'accès sont construites à travers des zones écologiquement sensibles ou près de communautés précédemment isolées. **(Figure 01).**

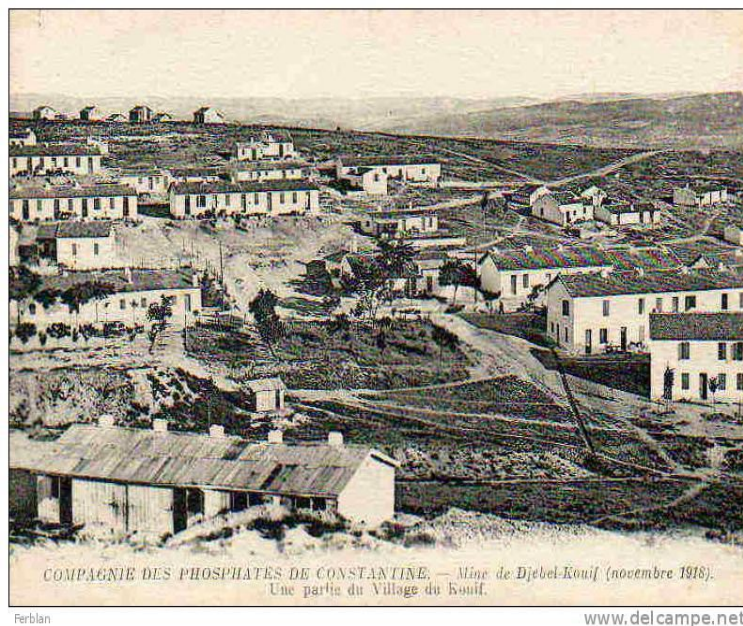


Figure 01 : Image montrant le réseau des pistes tracé par la compagnie du Constantine des phosphates

#### b). Préparation et déblaiement du site

La mine du phosphate du Djebel EL-Kouif se situe dans une zone sous-développée (uniquement des gourbis) et difficile d'accès, le promoteur (la compagnie du Constantine des phosphates) du projet peut avoir besoin de commencer le déblaiement des terrains pour la construction des zones de campement pour héberger le personnel, les mineurs et stocker les équipements. Même avant de procéder à une quelconque opération de minage de terrains, les activités associées à la préparation et au déblaiement du site peuvent avoir des impacts environnementaux significatifs, surtout si elles se trouvent dans le voisinage des zones écologiquement sensibles.

### 5.3 Pendant l'exploitation minière (l'activation de la mine)

Dès qu'une compagnie minière construit, tranche des routes d'accès et prépare les zones de campement pour héberger le personnel et stocker les équipements, comme le cas de la compagnie du Constantine des phosphates, les travaux miniers peuvent commencer. Dont l'ensemble des types de travaux miniers partagent un aspect commun : l'extraction et la concentration (ou enrichissement) d'un minerai en provenance du sol. Généralement les minerais de phosphates sont emprisonnés sous une couche de sol ou de roche ordinaire



## Chapitre 04 : Partie spéciale.

appelée les morts terrains ou débris de roche qui doivent être déplacés ou excavés pour permettre l'accès au dépôt de minerai. Cette phase du projet minier comprend plusieurs éléments distincts, parmi les principaux éléments :

### a). Exploitation des Placers

La compagnie du Constantine des phosphates a procédé à ce type d'exploitation des placers dans le but de stocker, sécher les minerais extraits de la mine, en l'exposant sous le soleil. Donc c'est un type d'exploitation minière destructif pour l'environnement, parce qu'il libère de grandes quantités de sédiments fins qui peuvent avoir des impacts sur les eaux souterraines, par l'infiltration des ruissellements pendant les périodes des crues. (Figure 02).

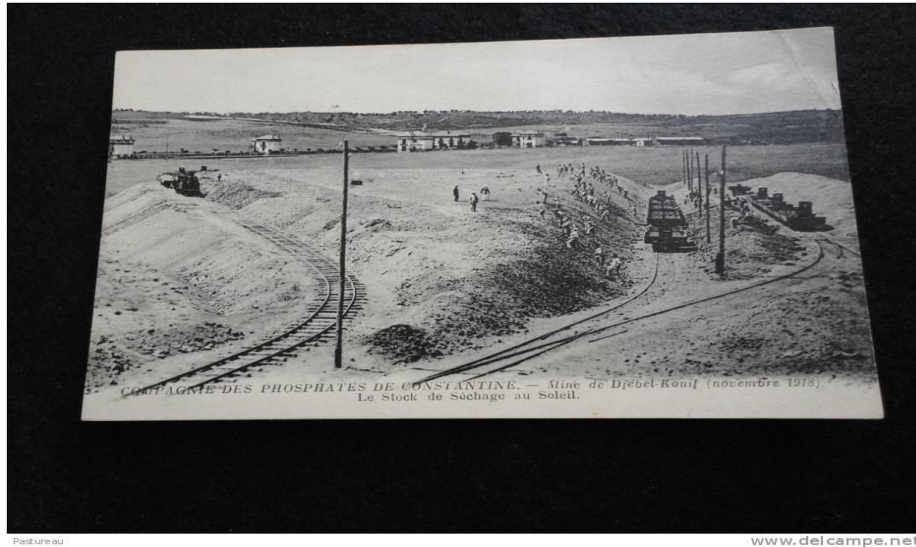


Figure 02 : Image, illustrant le stockage des phosphates à ciel ouvert.

### b). Exploitation souterraine

Dans l'exploitation souterraine, une quantité minimale de morts terrains est enlevée pour accéder au dépôt de minerai. L'accès à ce gisement de minerai se fait au moyen de tunnels ou de galeries. Dont ces structures conduisent à un réseau plus horizontal de tunnels souterrains qui accèdent directement au minerai. Cette méthode d'exploitation souterraine dénommée l'exploitation par paliers ou méthode d'exploitation par blocs foudroyés, des sections ou des blocs de roche sont supprimés en bandes verticales, ce qui laisse des cavités souterraines (des vides), ce qui favorisent à l'apparition du phénomène de fracturation. L'exploitation minière souterraine peut avoir des impacts sur le plan sécuritaire. La compagnie du Constantine des phosphates a procédé à cette méthode qui est moins destructive de l'environnement d'après son avis pour accéder à un gisement de minerai. Mais aujourd'hui cette méthode d'extraction comporte des risques de sécurité plus élevés.

## 5.4 Evacuation des morts terrains et des déchets de roche

Généralement, les minerais de phosphates sont enfouis sous une couche de sol ordinaire ou de roches appelée morts terrains ou déchets de roche qui doit être déplacée ou creusée pour permettre l'accès au dépôt de minerai de phosphates. Pour la plupart des projets miniers, la quantité de morts terrains générée par l'exploitation minière est énorme. Le rapport entre la quantité de morts terrains à la quantité de minerais appelé taux de découverte est généralement supérieur à un et peut être beaucoup plus élevé. Par exemple le cas de la mine du Djebel Kouif. Ces déchets volumineux, contenant parfois des niveaux significatifs de substances toxiques, sont généralement déposés sur place, soit en tas sur la surface ou comme remblai dans les plaines, notamment le relief de la région d'étude le Kouif témoigne à ce fait

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

(la formation des dépôts superficiels localisés sur les bordures du plateau. De ce constat on peut dire que la compagnie du Constantine des phosphates n'a pas bien évalué avec soigneusement les options de gestion et les impacts associés à l'entreposage des morts-terrains.

### 5.5 Extraction du minerai

Sur ce plan, et après avoir déplacé les morts terrains, l'extraction du minerai de phosphates commence à l'aide d'équipements lourds et d'une machinerie spécialisés, tels que les chargeurs, les wagons de mine et les camions-benne, qui transportent le minerai vers les installations de traitement (l'usine), à travers des routes de transport des matériaux. Cette activité crée un groupe particulier d'impacts environnementaux, tels que les émissions de poussière fugitive des routes de transport des matériaux, dont au qu'une étude d'impact pour la mine du Djebel El-Kouif dans ce contexte n'a été établie. (Les images prises lors d'activité de la mine illustrent l'absence d'une évaluation d'impact dans ce plan de la part de la compagnie du Constantine des phosphates) (**Figure 03**).

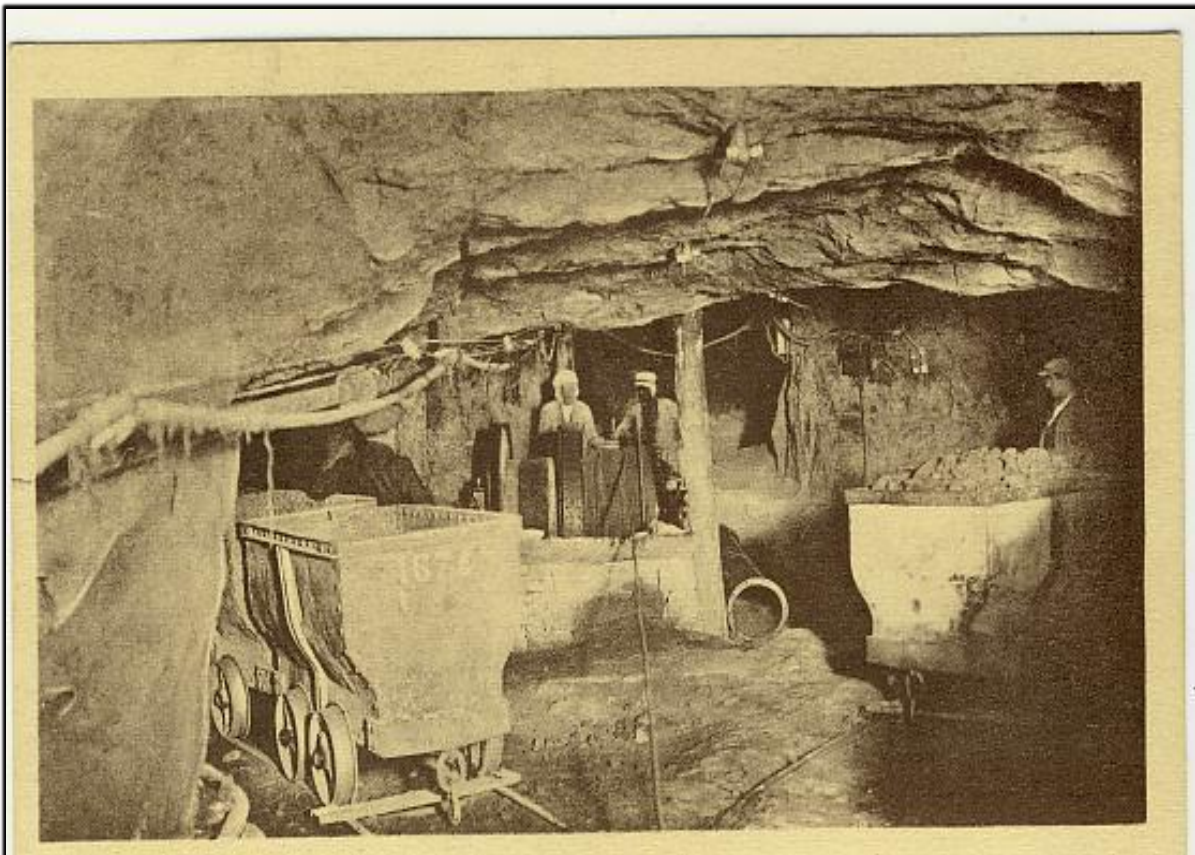


Figure 03 : Image illustrant la nature d'extraction de minerais de phosphates dans la mine du Djebel El-Kouif

### 5.6 Enrichissement

La préparation mécanique a pour but de réduire les dimensions des blocs des minerais, pour libérer les composants utiles de leurs gangues. Il comporte les trois opérations suivantes :

Concassage, broyage et le criblage. D'une manière générale dans ce contexte qui caractérise l'une des étapes mécaniques la plus affectant l'environnement, c'est le broyage est l'une des étapes les plus coûteuses de l'enrichissement et produit comme résultat de très fines particules qui facilitent une meilleure extraction du minerai de phosphate. Toutefois, le broyage permet

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

---

également un dégagement plus complet des contaminants lorsque ces particules deviennent des résidus, ce qui reste après le broyage du minerai en de fines particules, qui se terminent dans des dépôts stockés dans les bordures de la mine.

### 6. Evaluation d'Impacts environnementaux et sociaux de l'exploitation minière

#### 6.1 Les impacts négatifs

Les impacts négatifs sont causés par plusieurs causes comme la sédimentation à cause de routes mal construites et contamination de l'eau durant la construction d'une mine. La pollution de l'eau causée par l'exploitation minière peut prendre des décennies même des siècles avant de se dépolluer après la fermeture de la mine. Ces impacts dépendent d'une variété de facteurs comme la sensibilité du terrain, la composition des minéraux extraits, le type de technologie employé, les habiletés, la connaissance et l'engagement environnemental de la communauté et la capacité de gérer et contrôler les règlements environnementaux. Un des problèmes de l'exploitation minière est que la technologie grandissante permet aux mines d'extraire des minéraux plus que jamais.

#### 6.2 Impacts sur les ressources en eau

L'eau est essentielle à la vie sur notre planète. Un préalable de développement durable doit s'assurer que les cours d'eaux ne soient pas contaminés. L'exploitation minière affecte les bassins d'eau douce par l'utilisation d'eau pour le traitement du minerai et par la pollution faite lors des décharges d'effluent des mines. De plus en plus de mines menacent les sources d'eau sur laquelle nous dépendons tous. Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone du projet constituent peut-être l'impact le plus important d'un projet d'exploitation minière. Les questions clés sont de savoir si les fournitures en eau de surface et en eaux souterraines resteront appropriées à la consommation humaine, et si la qualité des eaux de surface dans la zone du projet restera adéquate pour supporter la vie.

L'eau est considérée comme un élément majeur et sensible dans la vie, il est impératif de présenter l'aspect de la contamination de ce précieux élément. La composition des eaux souterraines évolue géo chimiquement par le biais de phénomènes d'ordre hydrodynamique, qui contrôlent la circulation des eaux souterraines dans divers environnements. Plusieurs phénomènes hydro chimiques interviennent, notamment d'ordre minéralogique : dissolution des minéraux et libération d'éléments chimiques dans les eaux, précipitation de minéraux secondaires et remobilisation d'éléments à partir de la solution. Dans le cas d'un site d'entreposage de rejets miniers, les processus responsables de l'évolution hydrogéochimique suivent généralement le profil suivant. En surface les rejets miniers sont exposés aux facteurs météoriques, la zone vadose, l'infiltration des eaux et d'oxygène provoque une oxydation des sulfures et donc une génération d'acidité suivie d'un dégagement des sulfates. Les eaux des pores sont caractérisées par un pH bas, ainsi qu'une concentration élevée en métaux dissous, métalloïdes et en sulfates. Au niveau de la frange capillaire, se produit la neutralisation d'acidité ainsi que la précipitation des minéraux secondaires et une accumulation en métaux. (Figure 04).

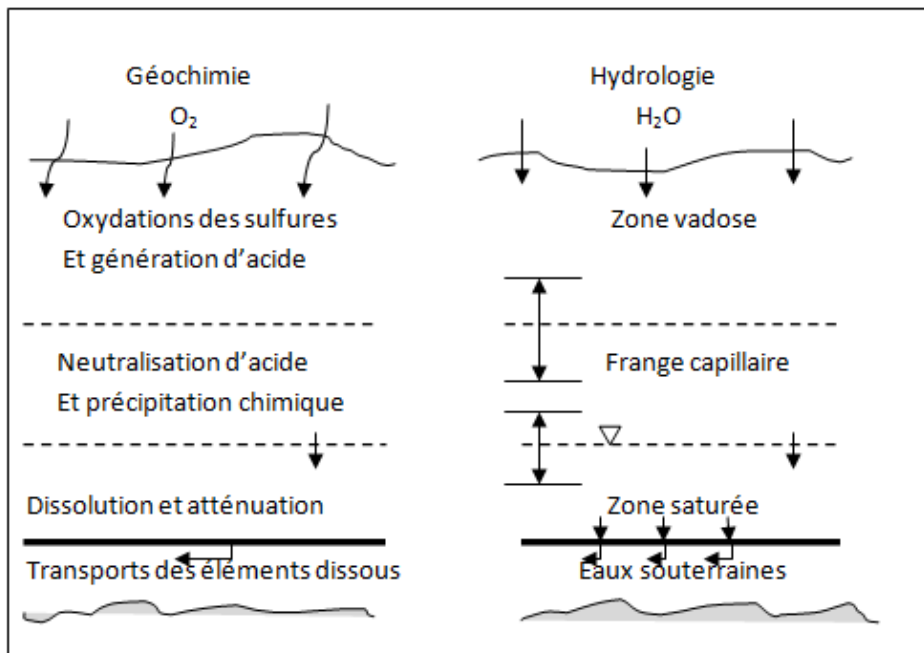


Figure 04 : Schéma des processus hydrologique et géochimique intervenant au niveau des rejets miniers (Blowes *et al.* 1994).

### 6.3 Types de pollution de l'eau causée par l'extraction minière

D'après des spécialités de l'environnement 4 types d'impacts provenant de l'exploitation minière qui affecte la qualité de l'eau.

#### 6.3.1 Drainage minier acide

Le Drainage Rocheux Acide (DRA) est un processus naturel où l'acide sulfurique est produit lorsque le sulfure dans les roches est exposé à l'air et l'eau. Le Drainage Minier Acide (DMA) est pratiquement le même processus mais amplifié. Quand de grande quantité de roche contenant du sulfure sont creusée dans des fosses ouvertes, les roches réagissent avec l'eau et l'oxygène ce qui crée l'acide sulfurique. Lorsque l'eau atteint un certain niveau d'acidité un type naturel de bactérie *Thiobacillus ferroxi* dans peut aider le processus d'oxydation et d'acidification filtrant plus de métaux dans les déchets. L'acide filtrera tant que la roche sera exposée à l'air et l'eau jusqu'à temps que le sulfure soit entièrement filtré dans la roche. Ce processus peut durer des centaines même des milliers d'années. L'acide se déplace hors des sites des mines grâce à l'eau de pluie ou le drainage et s'infiltrer dans cours d'eaux, oueds et eau souterraine.

#### 6.3.2 Contamination par le métal et filtration

La contamination par les métaux est causée par l'arsenic, le cobalt, le cuivre, le cadmium, le plomb, l'argent et le zinc contenu dans la roche exposée dans des mines souterraines lorsqu'elles sont en contact avec l'eau. Les métaux sont filtrés et l'eau qui se déplace pendant les ruissellements nettoie le dessus des roches. Les métaux peuvent devenir stables lorsque le taux de pH est neutre. Par contre, le processus de filtration est accéléré lorsque le taux de pH est bas comme lors du drainage minier acide.

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

### 6.3.3 Cas de la mine d'El-Kouif

Nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage des eaux souterraines dans la région d'étude et aux alentours de la mine pendant le mois de Mars 2019, en totalité 4 échantillons ont été prélevés de différents points d'eau (**Figure 05**) .

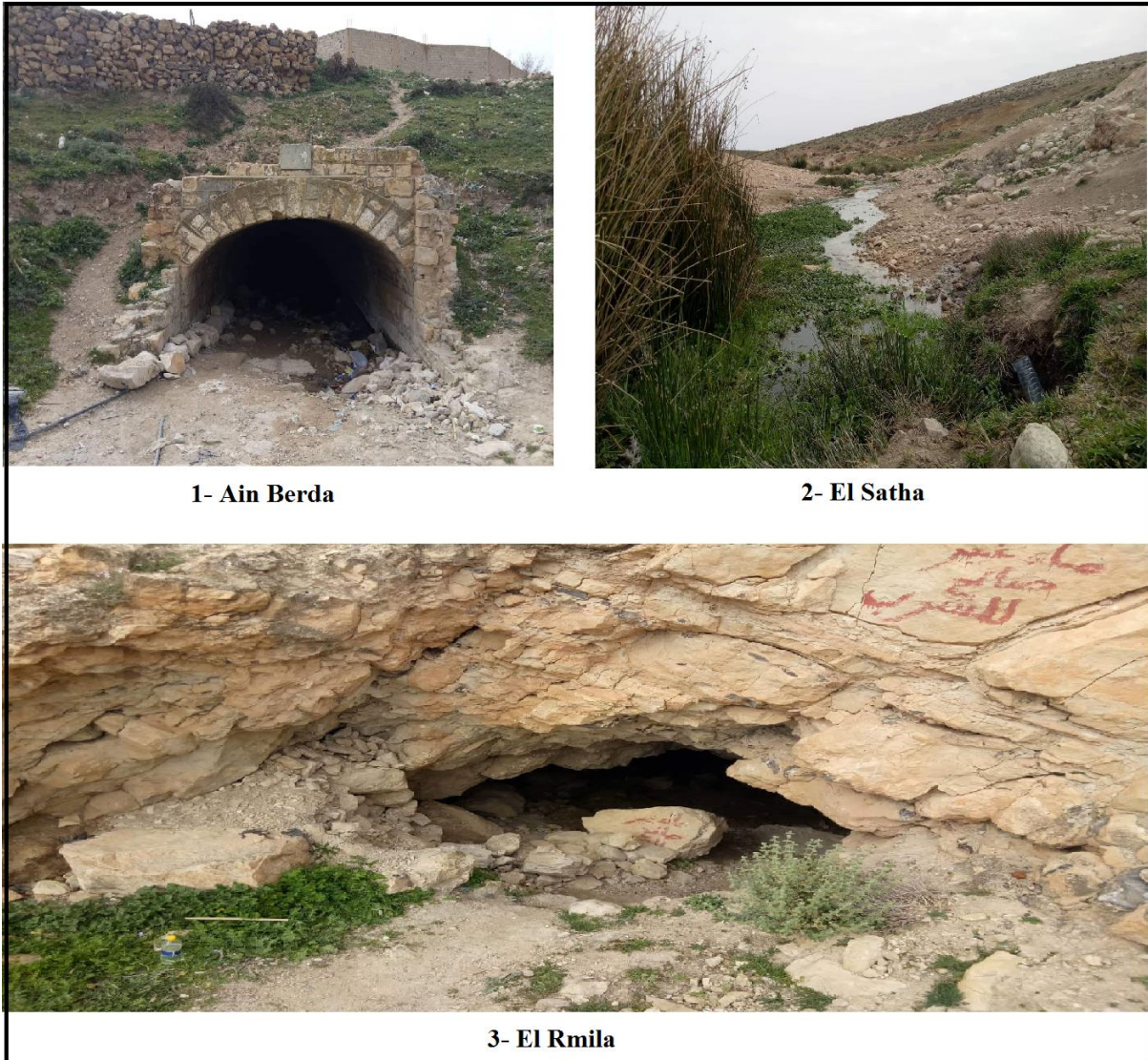


Figure 05 : Les différents points d'eau

Les analyses chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de l'ADE (Algérienne des Eaux, antenne de Tébessa). Nous avons ciblé les concentrations en  $PO_4$  dans les eaux souterraines, où la méthode d'analyse était spectrale, alors que les paramètres physiques (TDS, Ph,  $T^\circ$  et salinité) ont été effectués au niveau du laboratoire du département des Sciences de la Terre à l'université de Tébessa. Les résultats d'analyse sont dans le tableau ci-dessous (**Tableau 03**)

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

Tableau 03 : Les paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés sur terrain.

Numéro	Echantillon d'eau	Température (C°)	PH	Salinité (S%)	TDS Mg/l	Conductivité Electrique (µs/cm)	PO <sub>4</sub> (mg/l)
01	Ain Berda	22,3	7,77	0,7	797	1600	0,09
02	El Rmila	22,3	7,85	0,4	591	1186	0,02
03	El Sateha	25	7,75	0,5	653	1314	0,03
04	Eau pluviale	25	7,81	6,5	6500	10360	0,08

Les résultats ont montré des valeurs en dessous des normes de potabilité algériennes par rapport aux PO<sub>4</sub> qui est de l'ordre de 0.5 mg/l. Ces faibles concentrations sont dues au pouvoir épurateur du sol dans la région d'étude et aussi la dilution par les eaux de précipitations, puisque la campagne d'échantillonnage était réalisée durant la saison de pluie, pour cela nous proposons une étude exhaustive sur l'impact de la mine sur la ressource en eau souterraine à l'aide d'un suivi continu dans le temps et pendant toutes les périodes de l'année (humide et sèche).

### 6.3.4 Pollution par les produits chimiques

Ce type de pollution arrive quand les agents chimiques comme l'acide sulfurique sont utilisés pour séparer le minéral du minerai, se déversent ou se filtre dans des étendues d'eau voisine. Ces produits chimiques peuvent être très toxiques pour la nappe d'eau.

### 6.3.5 L'érosion et la sédimentation

Le développement minéral dérange la roche et le sol au cours de la construction et le maintien des routes, des fosses ouvertes et dans les déchets miniers. Sans prévention adéquate et stratégie de contrôle, l'érosion de la terre peut entraîner un déversement dans les cours d'eau, les oueds. Le déversement excessif de sédiment peut bloquer des ravins et des ravineaux, étouffer la végétation, détruire la faune.

## 6.4 Impacts de projets miniers sur la qualité de l'air

Les émissions atmosphériques se produisent à chaque étape du cycle de la mine, mais surtout pendant l'exploration, le développement, la construction et les activités opérationnelles. Les opérations minières mobilisent de grandes quantités de matières, et des déchets de piles contenant des particules de petite taille sont facilement dispersés par le vent. Les plus importantes sources de pollution atmosphérique dans les opérations minières sont :

- Les particules de matières transportées par le vent, à la suite de fouilles d'abattages par explosion, de transport de matériaux, de l'érosion par le vent (plus fréquente dans les mines, des poussières fugitives provenant des installations de résidus, des stations de culbutage, des décharges de résidus et des routes de pénétration. Les émissions de gaz d'échappement provenant de sources mobiles voitures, camions, équipements lourds augmentent ces niveaux de particules.

-Les émissions de gaz provenant de la combustion de carburants dans des sources fixes et mobiles, explosions et traitement des minéraux.

Les grandes exploitations minières ont le potentiel de contribuer de manière significative à la pollution atmosphérique, en particulier dans la phase d'opération. Toutes les activités pendant l'extraction de minerai, le traitement, la manutention et le transport dépendent des équipements, des générateurs, des processus et des matériels qui génèrent des dangereux polluants atmosphériques tels que les matières sous forme de particules, les métaux lourds, le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote. (**Figure 06**).

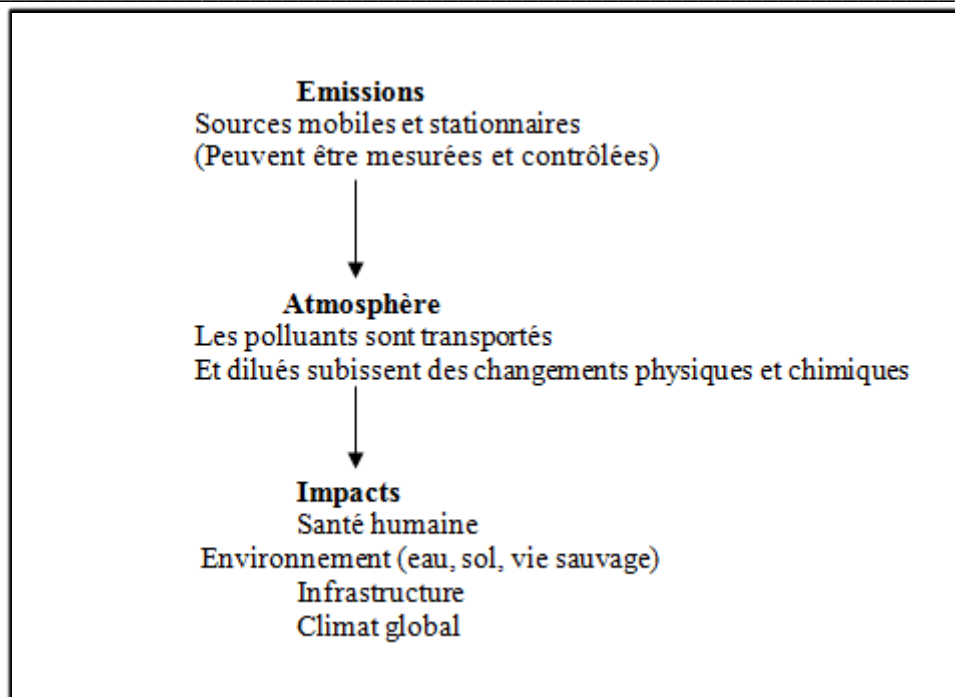


Figure 06 : Impacts de projets miniers sur la qualité de l'air

### 6.5 Impacts de l'exploitation minière sur la faune

La faune est un terme général qui fait référence à toutes les plantes et tous les animaux ou d'autres organismes qui ne sont pas domestiqués. L'exploitation minière a une incidence sur l'environnement et les biotes associés par le biais de la suppression de la végétation ainsi que le sol de couverture, le déplacement de la faune, le dégagement de polluants et la génération de bruit.

D'une manière générale, l'effet le plus direct sur la faune est la destruction ou le déplacement des espèces dans les zones d'excavation et d'accumulation des déchets miniers. Les espèces mobiles de la faune, comme, les oiseaux et les prédateurs, quittent ces zones. Les animaux plus sédentaires, comme les invertébrés, de nombreux reptiles, les rongeurs fouisseurs et les petits mammifères, peuvent être plus sévèrement affectés.

### 6.6 Impacts de l'exploitation minière sur la qualité du sol

L'exploitation minière peut contaminer les sols sur de vastes zones. Les activités agricoles proches d'un projet d'exploitation minière peuvent être particulièrement touchées. Dont ces opérations minières modifient régulièrement le paysage environnant en exposant des sols qui étaient précédemment intacts. L'érosion des sols exposés, les minerais extraits, les terrils et les matériaux fins dans les tas de déchets de roches peuvent entraîner des charges substantielles de sédiments dans les eaux de surface et les voies de drainage des eaux. En outre, les déversements et fuites de matières dangereuses et les dépôts de poussières contaminées fouettées par le vent peuvent conduire à la contamination du sol.

Dans cette étude, nous avons essayé de réaliser un diagnostic de l'état de la qualité du sol à travers une campagne d'échantillonnage qui a ciblé le sol dans la mine abandonnée et à son voisinage (**Figure 07**).

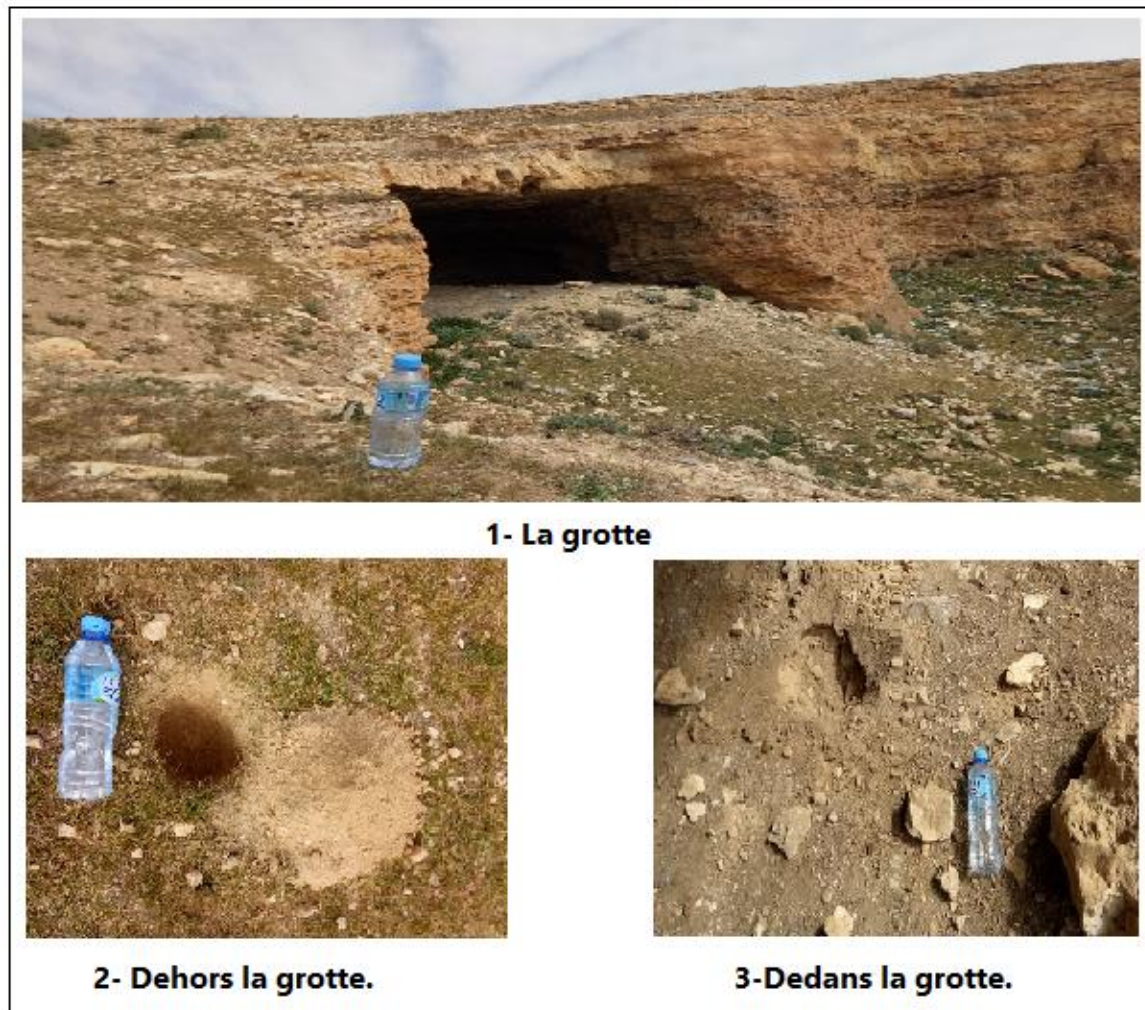


Figure 07 : Image illustrant des différents point d'échantillonnage

La préparation des échantillons a été réalisée au niveau de notre laboratoire à l'université de Tébessa par lixiviation où les deux échantillons ont été traité par un procédé simple qui a consistait à les diluer par de l'eau distillée pendant 48h, puis les filtrer par un papier filtre spécial puis le lixiviat obtenu a été analysé par la méthode spectrale préalablement décrite et identique à celle de l'analyse des eaux souterraines (**Figure 08**).





Figure 08 : Préparation des échantillons au laboratoire.

Les résultats des analyses n'ont malheureusement pas donné de valeurs significatives où les concentrations en  $PO_4$  étaient presque nuls.

### 6.7 Bruits et vibrations

Le bruit associé à l'exploitation minière peut inclure les bruits en provenance des moteurs de véhicules, le chargement et le déchargement de roches dans des tombereaux en acier, les toboggans, la production électrique, et d'autres sources. Les impacts cumulatifs des pelles mécaniques, du forage, de l'abattage par explosion, du transport, du concassage, du broyage et du stockage en grandes quantités peuvent affecter de manière significative la faune et les proches résidents. Les vibrations sont associées à de nombreux types d'équipements utilisés dans l'exploitation minière, mais l'abattage par explosion est considéré comme la source la plus importante. Dont les chocs et les vibrations, à la suite d'abattages en relation avec l'exploitation minière peuvent entraîner du bruit, de la poussière et conduire à la destruction des structures dans les zones environnantes non-habitées. La vie animale, dont la population locale peut dépendre, pourrait également être perturbée.

Puisque le site de la mine d'El-Kouif, objet de la présente étude et à l'arrêt, nous n'avons signalé aucun impact du aux bruits et aux vibrations.

### 7.Impacts de la mine des phosphates du Djebel El-Kouif sur les valeurs sociales

Les impacts sociaux des grands projets miniers sont controversés et complexes. Le développement des minéraux peut créer des richesses, mais il peut également provoquer des perturbations considérables. Les projets miniers peuvent créer des emplois, des routes, des écoles et augmenter la demande de biens et de services dans les régions éloignées et pauvres, mais les avantages et les conséquences peuvent être inégalement partagées. Si les communautés estiment qu'elles sont injustement traitées ou insuffisamment compensées, les projets miniers peuvent conduire à des tensions sociales et à des conflits violents.

Actuellement, le site de la mine à l'abondant constitue un réel problème pour la sécurité des habitants de la région d'El-Kouif et surtout pour les enfants en l'absence de toute mesure de gardiennage ou de protection, on a enregistré plusieurs cas de décès d'enfants par noyade dans les excavations remplies d'eau durant la saison chaude d'où il est nécessaire de prendre cet impact au sérieux et proposer en urgence un projet de réhabilitation du ce site minier.

### 8.Plan du Réhabilitation et la fermeture de la mine

Lorsque l'exploitation minière active cesse, les installations minières et le site sont réhabilités et fermés. L'objectif du plan de réhabilitation et de fermeture d'un site minier doit toujours viser à retourner le site à une condition qui ressemble le plus possible à la condition

## **Chapitre 04 : Partie spéciale.**

---

d'avant exploitation. Les mines qui sont célèbres, notamment le cas de notre mémoire, la mine de phosphates du Djebel El-Kouif, pour leurs immenses impacts sur l'environnement ont le plus souvent produit ces impacts uniquement durant la phase de fermeture, lorsque les opérations minières avaient cessé, ces impacts peuvent persister pendant des décennies et même des siècles. Par conséquent, l'étude d'impact pour chaque projet minier, et généralement proposé doit inclure une discussion détaillée du plan de réhabilitation et de fermeture, offert par le promoteur du projet d'exploitation minière, dont et malheureusement les Plans de réhabilitation et de fermeture des mines doivent décrire avec suffisamment de détails et comment la compagnie minière restaurera le site d'une manière qui ressemble le plus possible à la condition environnementale d'avant exploitation, comment elle empêchera la libération des contaminants toxiques provenant de diverses installations minières comme des puits à ciel ouvert abandonnés et des bassins de décantation des résidus miniers....sont absents.

Pour attirer l'investissement, nombre de pays développent activement leur secteur minier. Les dommages environnementaux qui en résultent peuvent être importants. Les compagnies minières sont en compétition pour l'accès aux différents sites d'exploration et d'exploitation. Or l'affichage d'une attitude responsable vis-à-vis de l'environnement est un moyen pour les compagnies d'être crédibles et compétitives. La prise de conscience de la nécessité de la réhabilitation minière est toutefois récente. Beaucoup de sites sont encore abandonnés après l'exploitation. Pourtant, certaines compagnies, d'envergure internationale le plus souvent, adoptent de hauts standards environnementaux, financent des études d'impact, des recherches sur la réhabilitation et la restauration écologique.

### **8.1 Conséquences de l'exploitation**

Un site minier subit des stress importants sur le plan physique, chimique et biologique. Les activités extractives ont des répercussions notables sur l'environnement, surtout depuis la mécanisation de l'exploitation. En dehors de l'impact esthétique négatif, les sites laissés à l'abandon n'ont plus ni sol ni végétation, sont même généralement abiotiques, fortement soumis à l'érosion et susceptibles de polluer une large zone alentour.

### **8.2 Quelques cas de réhabilitation dans le monde**

On peut distinguer plusieurs niveaux d'intervention sur ces sites dégradés, la réhabilitation étant le processus de réparation des effets de l'exploitation sur l'environnement. Elle peut ne consister qu'en une stabilisation et une mise en sûreté de la zone, ou bien en un simple reverdissement, mais elle peut aller jusqu'à la restauration écologique. C'est le niveau d'intervention le plus abouti, l'intégralité de l'écosystème original devant être restaurée. Dans ce cas, le rôle de la revégétalisation sera d'accélérer la succession naturelle des espèces.

Face à l'impact des mines et des carrières, la plupart des pays ont mis en place une législation, celle-ci étant plus ou moins précise et exigeante. En France, il y a obligation de garanties financières afin d'assurer la remise en état du site après l'exploitation d'une carrière.

A titre d'exemple, Aux États-Unis, la loi SMCRA (Surface Mining Control and Reclamation Act) demande le rétablissement d'un paysage stabilisé où le ruissellement et l'érosion sont contrôlés, mais aussi le rétablissement d'une couverture végétale permanente et diversifiée qui inclut pratiquement toutes les espèces d'origine (Barnhisel, Hower, 1997).

Certaines compagnies ont une attitude qui se veut, au contraire, responsable vis-à-vis de l'environnement. Elles adoptent les standards les plus performants possible malgré les différences législatives suivant les pays. Beaucoup de compagnies essaient de réduire au

## Chapitre 04 : Partie spéciale.

---

minimum l'impact sur l'environnement, de réparer tout effet négatif, de reconstruire un écosystème original ou de s'approcher le plus possible de l'état initial du site.

- En Allemagne, la densité de population a forcé les opérateurs de mines à ciel ouvert à remettre en culture les anciens sites miniers, et ce depuis le début du siècle à l'Ouest, mais beaucoup plus récemment à l'Est. La réhabilitation est parfois obligatoire, comme au Royaume-Uni, avec le redépôt du sol décapé, ou au Brésil, par le dépôt de 20 cm de sol de couverture.
- Au Canada, à Sudbury, la compagnie Inco (International Nickel Company) mène ses programmes de revégétalisation. Ses efforts ont été reconnus en 1992, pour l'excellence de son travail environnemental dans la transformation de deux mille hectares désertiques en un tapis herbacé et arboré, à partir de pins provenant de ses pépinières.
- Au Maroc, le Maroc compte plus de 200 mines abandonnées qui posent des problèmes environnementaux et de santé importants pour les communautés environnantes. Pour cela, les équipes de recherche ont élaboré une base de données exhaustive des sites miniers abandonnés, en analysant leur géochimie et en évaluant leurs répercussions environnementales. Cette base de données a permis de localiser des mines produisant des déchets acides ou non acides, et de cerner leurs problèmes en matière de confinement et de réhabilitation.

Le site minier de Kettara est une mine de pyrrhotite abandonnée qui est située à 30 km au nord-ouest de Marrakech. Il contient plus de 3 millions de tonnes de résidus miniers qui continuent de produire un drainage minier acide, et ce, trois décennies après sa fermeture.

Plusieurs essais ont confirmé l'efficacité de la conception visant à emmagasiner et à libérer l'eau, même durant les précipitations extrêmes. De plus, l'équipe a déployé les essais à grande échelle pour créer une couverture qui emmagasinera et libérera l'eau sur l'ensemble du site minier, faisant ainsi de Kettara le premier site minier abandonné ayant fait l'objet de mesures de confinement en Afrique du Nord et de l'Ouest.

De manière générale, Dans le cas d'une dégradation avancée, la persistance de stress physiques, chimiques et biologiques empêche la succession des processus forestiers naturels de s'opérer à un rythme compatible avec les besoins humains. Il faut donc penser, avant de commencer l'exploitation, au cycle entier de vie de la mine pour y incorporer la remise en valeur progressive et préserver le sol de surface. Parfois les zones exploitées sont réhabilitées au fur et à mesure de l'exploitation : préparation, extraction et remise en état sont intégrées à l'exploitation. Cette pratique réduit la quantité de matériaux déplacés et manipulés. Les étapes les plus courantes dans le cas de réhabilitation des sites miniers et de carrières, concernent le drainage de résidus par les retenus, la stabilisation des sols et la revégétalisation, la remise en place des sols de couverture ou l'utilisation d'espèces fixatrices d'azote, qui peuvent être mises en place directement sur le substrat brut, ainsi que La décompaction du substrat d'un réseau macroporeux facilitant les mouvements de l'eau, l'aération et l'extension du système racinaire.



## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

La majorité des projets miniers concerne l'extraction de minerais tels que le cuivre, l'argent, le phosphate...Etc. L'industrie minière constitue un secteur essentiel pour le développement économique de nos pays. Elle a joué un rôle important dans le développement de nombreux pays partout dans le monde. Or l'exploitation minière, comme la majorité des grands sites industriels, s'accompagne généralement de nombreux impacts environnementaux malgré les efforts faits en faveur de la préservation de l'environnement. L'industrie minière est considérée comme une source majeure de pollution de l'environnement.

A partir de cela, nous avons voulu dans notre travail étudier le cas de la mine de phosphates d'El-Kouif et de vérifier l'existence d'un éventuel impact et d'évaluer son importance. Pour cela, dans notre étude nous avons abordé différents aspects relatifs au site minier d'El-Kouif. A partir d'études précédentes, telle que la prospection et la géophysique qui ont montré la présence d'un karst anthropique. Ces cavités mises en évidence ont une importance dans l'impact sur la ressource en eau souterraine. L'étude de l'aspect géologique ainsi que géomorphologique du site a permis de donner une image sur la structure ainsi que la nature lithologique des différentes formations qui composent ce site. le secteur d'étude est caractérisé par un type de relief peu particulier, accidenté marqué par les structures synclinales et anticlinales à la fois. Sur le plan stratigraphique la région d'El-Kouif montre son plateau est doté d'importantes formations géologiques d'âge cénozoïque, Maestrichtien jusqu'aux formations actuelles du Quaternaire.

Du point de vue hydrogéologique, il faut signaler le déficit en informations dans ce domaine aussi bien du point de vue hydrologique que climatique, cela constitue une contrainte dans notre investigation, particulièrement dans l'étude de l'impact sur la qualité des eaux souterraines.

Parmi les impacts prévisibles associés à l'exploitation d'une mine, on retiendra les perturbations et les déséquilibres qui sont susceptibles d'affecter les milieux air-eau et sol. Dans notre cas, notre investigation a porté sur l'eau et le sol pour vérifier l'existence d'un impact. En termes de suivi de la qualité de l'eau, un échantillonnage des eaux souterraines a été effectué. Nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage des eaux souterraines dans la région d'étude et aux alentours de la mine pendant le mois de Mars 2019, en totalité 4 échantillons ont été prélevés de différents points d'eau. Les résultats ont montré des valeurs en dessous des normes de potabilité algériennes par rapport aux  $PO_4$  qui est de l'ordre de 0.5 mg/l. Ce faible impact sur les eaux peut s'expliquer par l'effet épurateur du sol. Ajouté à cela le rôle de dilution des précipitations en période de crue.

Pour ce qui est du sol, les échantillons pris n'ont pas donné des valeurs inquiétantes par rapport à la norme. On suggère une étude exhaustive sur la qualité du sol de la région d'étude à travers une campagne d'échantillonnage sur tout le territoire de la commune d'El-Kouif et à proximité de la mine.

Enfin une étude exhaustive avec une prospection plus importante permettra à notre avis de mieux se prononcer sur un impact réel de la mine. Ce modeste travail reste une approche en vue de vérifier l'état de l'environnement de la mine.

Enfin pour terminer, il nous a semblé utile d'aborder l'aspect de la réhabilitation des mines avec les grands axes à suivre et en présentant quelques exemples.

Pour clôturer, on peut dire que même si la mine d'El-Kouif ne présente pas un impact apparent au vu des résultats de notre investigation, il est cependant utile de lui appliquer à la région avoisinante un programme de réhabilitation par règle de précaution.

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

**Aissaoui, D. (1984)** : Les structures liées à l'accident sud – Atlasique entre Biskra et le Djebel Mannadra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. Thèse 3èmcycle, Strasbourg, 138 p.

**Blés J. L. (1969)** : Contribution à l'étude des déformations cassantes de la feuille de Morsott (SE Constantinois – Algérie). Les micros fracturations et leurs relations avec les failles et les plis. Publications du Service Géologique de l'Algérie, (Série N° 11), Bulletin N° 39, pp. 7-17.

**Bouzenoune A. (1993)** : Minéralisations périadiapiriques de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie Orientale). Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 209 p.

**Bellouche M.A. (2018)** : Les eaux des mines de la région d'Ain Azel (Sud sétifien). Caractéristiques hydrodynamiques, hydrochimiques et impact sur l'environnement. Thèse de doctorat. Université de Constantine.

**Bles J.L, Fleury J.J. (1970)** : Carte géologique de l'Algérie au 1/50000, feuille n°178, Morsott, avec notice explicative détaillée. Service de cartes Géologique et Sonatrach, Division d'hydrocarbure. Direction des explorations, Alger, Algérie.

**Bouamar B, Naimi M, Bouabdli A, Sonnet Ph, Garcia A.C, Bounakhla M, Inigo Inigo A.C. (2009)**: Evaluation de la contamination et évolution de la qualité des eaux au voisinage d'une mine abandonnée d'extraction de Plomb (Zaida-Haute-Moulouya-Maroc).12ème conférence inter-régional, Envio-water. Marrakech.

**Castany G. (1963)** : Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Edit. Paris, 641p.

**Castany G. (1968)** : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Ed. Dunod Paris France 683p.

**Djabri L, Ghorreïb L, Hani A, LamourouxCh, Mudry J, Sharour I. (2009)**: Contamination des eaux souterraines par les métaux lourds d'une mine de fer abandonnée : Cas de la région de Bekkaria (Tébessa). *Déchets sciences et techniques N°53*.

**Drever J.F. (1997)**: The geochemistry of natural waters. *3rd ed.* New York – Prentice-Hall INC. 1997; PP 379.

**Durozoy G. (1956)** : Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille 206, et ça notice explicative.

**Duchatelle, G. (1975)** : Minerai de phosphate de Djebel Onk, carrière de Djemi – Djema. Etude minéralogique. Rapp. Interne FERPHOS, 55p.

**Dussert, M. D. (1924)** : Les gisements Algériens de phosphate de chaux. Annales des mines, Dunod éd., Paris (12), 6, 290p.

**D. Dussert, (1910)**, Etude sur les gisements métallifères de l'Algérie (fer excepté). « Annales des Mines », Paris, pp. 24-84 et 91-203.

**D. Dussert, (1912)**, Etude sur les gisements de fer de l'Algérie. « Annales des Mines », Paris, pp. 69-133 et 135-256.

## References bibliographiques

---

**D. Dussert, (1924)**, Les gisements algériens de phosphates de chaux. « Annales des Mines », Paris, pp. 135-221, 229-325, 333-398, 407-451.

**Djaffali Boudjema , Draouzia Farouk (2015)** : L'étude géophysique par la tomographie électrique (2D), de l'ancienne mine de phosphate d'El-Kouif (NE) de Tébessa. Mémoire de Master. Université de Tébessa.

**Faucoult, A. et Raoult, J.F. (1995)** : Dictionnaire de Géologie. Edition Masson, 324p.

**Fehdi C. (2008)**: Apport hydrogéochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes d'acquisition de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-el Aouinet (N.E. Algérien). Thèse de doctorat. Université d'Annaba.

**Fehdi Ch, Boudoukha A, Rouabhia A.E.K, Salameh E. (2009)**: Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-El Aouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-est algérien). Afrique Science Journal, 05(2) 217-231.

**Fehdi Ch, Rouabhia A.E.K, Baali F. (2009)**: The Hydrogeochemical characterization of Morsott-El Aouinet aquifer, Northeastern Algeria. Environ Geol, 58:1611–1620.

**Faucoult, A. et Raoult, J.F. (1995)** : Dictionnaire de Géologie. Edition Masson, 324p.

**Flandrin, J. (1948)** : Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique Algérien. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2e série, n°19, 340p.

**Fourine, D. (1980)** : Phosphates et pétrole en Tunisie – In Géologie comparée des gisements de Phosphate et de pétrole, Mém. BRGM n°4, pp 30 – 34.

**Guerrad Ch, Fehdi Ch. (2018)**: Management and Arrangement of Water Resources in Semi-arid Region of Wadi Mellegue in Algeria. International Journal of Ecology & Development. Vol 33(3).

**G. E. Ake**, “Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua,” (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de Doctorat. Université de Cocody Abidjan. 260 p., 2010.

**H. Fournel, 1849**, La richesse minérale de l'Algérie. Paris, Imp. Nat., in 4°, 476 p.

**H. Jacob, 1895**, Notice sur les gisements de phosphate de chaux du plateau de Chéria. « Annales des Mines », Paris, pp. 237-248.

**J.P. Jourda, (2005)** Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissures d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : Cas des zones tests de la Côte d'Ivoire”, Thèse de doctorat es sciences, Université d'Abidjan, 429 p.

**J.P. Jourda, M.B. Saley, K. J. Kouame, B. H. Kouadio, J. Biemi et M. Razack (2005)**, “Gestion et protection des ressources en eaux souterraines : contribution d'un SIG à la réalisation de la carte de vulnérabilité à la pollution des aquifères fissures de Korhogo (Nord

## References bibliographies

---

de la Cote d'Ivoire) selon la méthode DRASTIC”, Acte de la Conférence Francophone SIG, Paris, 21p.,

**Jasinski, S.M. (2007):** Phosphate Rock. *USGS 120-121*.

**Jasinski, S.M. (2005):** Phosphate Rock. *Miner. Year book 56*, 1–10.

**Kanmani S, Gandhimathi R. (2013):** Investigation of physicochemical characteristics and heavy metal distribution profile in groundwater system around the open dump site. *Appl Water Sci*, Vol 3, 387–399.

**Kazakov, A. V. (1930):** The phosphate facies: origin of the phosphorites and the geologic factors of formation the deposits. *Proc. Sci. Inst. Fertilizers and insectofungicides*, 145 p.

**Kowalski W.M. et Hamimed M. (2000):** Diapirisme polyphasé ou glacier de sel albien? Dilemme du matériel triasique des confins Algero-tunisiens. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*. Vol.11, n°1 pp.29-60, 12 fig., 2000.

**Kouadio Assemien François Yao (2018).** Développement d'une méthodologie pour une meilleure évaluation des impacts environnementaux de l'industrie extractive. Thèse. L'université de Montpellier. 261 p.

**Laghlimi M, Baghdad B, Moussadak R, ElHadi H, Bouabdli A, Bouaziz S. (2015):** Characterization of soil Heavy Metal Contamination in the Abandoned mine of Zaida (High Moulouya, Morocco). *International Research Journal of Earth Sciences*, Vol. 3(3), 1-3.

**Lghoul M, Maqsoud A, Hakkou R, Kchikach A. (2013):** Hydrogeochemical behavior around the abandoned Kettara mine site, Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*. V 144, Part C, September 2014, pages 456-467.

**Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Vanclooster M. (2011):** Contribution à l'étude de l'impact d'un site minier abandonné dans la haute Moulouya sur la qualité de l'Oued Moulouya, Maroc. *Afrique Science* 07(3), 33-48.

**Mengue edoh afiyo (2011)** Impacts de l'exploitation minière sur l'environnement et les collectivités locales dans la province du haut-ogouou : cas de la comilog a moanda (gabon). » Mémoire de Master. Institut international des sciences de l'eau et de l'environnement.

**Liens :** - [https://agritrop.cirad.fr/489602/1/document\\_489602.pdf](https://agritrop.cirad.fr/489602/1/document_489602.pdf)

- [http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=376](http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=376)

**P. Vidalenche, 1930,** L'exploitation mécanique des minerais d'Ouenza. « *Revue de l'Ind. Miner.*, pp. 470-483.

**Prasad B, Mondal K.K. (2008):** The impact of filling an abandoned open cast mine with fly ash on groundwater quality: a case study. *Mine Water Environ*, 27 :40–45.

**Rodier J. (1996) :** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8e édition Dunod, Paris.



## References bibliographiques

---

**Sassi, S. (1974) :** La sédimentation phosphatée au Paléocène dans le Sud et le Centre Ouest de la Tunisie. Thèse Doctorat des sciences, Université Paris – Sud (Orsay).

**Vila J.M (1980):** La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat- es -sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI.

**Vila J. M. et Charrière A. (1993):** Découverte d'Albien calcaire et du Trias resédimenté au Dj. Boujaber (partie ouest Algérie); corrélation avec les forages et conséquences sur l'organisation du Crétacé inférieur des confins Algero-tunisiens. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t.316, Série II, pp. 243-249.

**Vila J. M. (1994):** Mise au point et données nouvelles sur les terrains triasiques des confins Algero-tunisiens: Trias allochtone « glacier de sel » sous-marins et vrais diapirs. Mémoire du Service Géologique de l'Algérie, N° 6, pp. 105-152.