

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université de Ferhat Abbas- Sétif
Institut d'Architecture et Sciences de la Terre
Département des Sciences de la Terre



جامعة فرحات عباس سطيف
معهد الهندسة المعمارية و علوم الأرض
قسم علوم الأرض

**Mémoire pour l'obtention du diplôme de
Magister en Géologie**

Option :
Géologie Appliquée et Ressources Minérales

Thème :

*Contexte Géologique, Hydrogéologique
et Métallogénique du gisement de Zinc
de Chaâbet-El-Hamra
à Aïn Azel - Wilaya de Sétif,
Nord Oriental Algérien*

Présenté par:
❖Kada Houria

Soutenu le: 03 /06/ 2014 devant le jury composé de:

❖Dr. Chabou Mouley Charaf
❖Dr. Demdoun Abdeslam
❖Dr. Bouima Tayeb
❖Dr. Chabour Nabil

MCA Université de Sétif
MCA Université de Sétif
MCA Université de Sétif
MCA Université de Constantine

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

***Mémoire pour l'obtention du diplôme de
Magister en Géologie***

***Option :
Géologie Appliquée et Ressources Minérales***

Thème :

***Contexte Géologique, Hydrogéologique
et Métallogénique du gisement de Zinc
de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel
Wilaya de Sétif,
Nord Oriental Algérien***

***Présenté, réalisé et soutenu par:
❖ Kada Houria***

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللهم صل على محمد
أفضل صلاة
وسلم عليه أزكى تسليم

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم:
”من سلك طريقاً يلتمس به علماً سهل الله له به طريقاً إلى الجنة فإن
الملائكة لتضع أجنحتها رضا لطالب العلم. وإن طالب العلم يستغفر له
من في السموات والأرض حتى الحيتان في الماء. وإن فضل العالم على
العابد كفضل القمر على سائر الكواكب. إن العلماء ورثة الأنبياء. إن
الأنبياء لم يورثوا دیناراً ولا درهماً وإنما ورثوا العلم فمن أخذه أخذ بحظ
وافر.”

رواه الترمذي و الدارمي و أبو داود.

و يقول الإمام علي رضي الله عنه:
”من أراد الدنيا فعليه بالعلم،
و من أراد الآخرة فعليه بالعلم،
ومن أرادهما معا فعليه بالعلم،
و العلم إذا أعطيتك كلك أعطاك بعضه ”

من حكم الإمام علي

Dédicace:

Pour l'instant,
rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur
que je dédie du fond du mon cœur
au
premier enseignant des biens de notre Aummah,
le dernier messenger du Dieu,
au prophète Mohamed

Qu'ALLAH répande ses bénédictions sur lui,
sur sa famille
et sur ses compagnons
et qui leur accorde le salut.

*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

Table des matières



*Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie
Géologie appliquée et ressources minérales
Université de Sétif*



Table des matières

Listes des figurés.

Listes des photos.

Listes des tableaux.

Introduction générale ----- 01

Partie I: Contexte géologique.

I.1. Introduction-----	02
I.2. Situation géographique-----	02
I.3. Bref aperçu sur la wilaya de Sétif -----	04
I.3.1. Situation de la wilaya de Sétif-----	04
I.3.2. Le relief -----	04
I.3.2.1. Édifices montagneux de l'atlas tellien (Partie nord) -----	04
I.3.2.2. Hautes plaines Sétifiennes (Partie centrale) -----	04
I. 3.2.3. Édifice montagneux du Hodna et leur chaînons orientaux (Partie sud) -----	04
I.3.3. Climat et végétation -----	05
I.3.4. Réseau hydrographique -----	05
 I.4. Résumé sur la géologie de la chaîne alpine, le nord algérien	
I.4.1. Le domaine interne -----	05
I.4.2. Le domaine des flyschs -----	05
I.4.3. Le domaine externe -----	05
 I.5. Géologie de la région de Sétif -----	07
I.5.1. Le domaine des flyschs -----	07
I.5.1.1. La nappe numidienne-----	07
I.5.1.2. La nappe des flyschs mauritaniens-----	07
I.5.1.3. La nappe des flyschs massyliens-----	07
I.5.2. Le domaine Tellien-----	07
I.5.2.1. La nappe de type Barbacha-----	07
I.5.2.2. La nappe de type Draa el Arba-----	08
I.5.2.3. La nappe de type Béni Abdellah-----	08
I.5.2.4. L'unité supérieure à matériel Éocène-----	08
I.5.2.5. La nappe Bibanique -----	08
I.5.2.6. La nappe de Djemila -----	08
I.5.2.7. La nappe Pénitellienne-----	09
I.5.3. Le domaine néritique de la plate- forme Sétifiennes -----	09
I.5.3.1. La nappe néritique Constantinoise-----	09
I.5.3.2. L'ensemble allochtone sud -Sétifien-----	09
I.5.4. Parautochtone et autochtone Hodnéen -----	09

I.6. La stratigraphie des Monts du Hodna-----	11
I.6.1. Le Trias -----	11
I.6.2. Le Jurassique -----	11
I.6.3. Le Crétacé inférieur -----	11
I.6.4. Le Crétacé supérieur -----	11
I.6.5. L'Éocène-----	13
I.6.6. Le Miocène -----	13
I.6.7. Le Pliocène -----	13
I.6.8. Le Quaternaire -----	13
I.7. Le contexte structural global-----	13
I.7.1. Les plis -----	13
I.7.2. Les cassures -----	13
I.7.3. Le diapirisme du Trias-----	13
I.7.4. Les phases tectoniques -----	15
I.7.4.1. La phase atlasique -----	15
I.7.4.2. La phase Mio- Pliocène -----	15
I.8. La paléogéographie -----	15
I.8.1. La période triasique-----	15
I.8.2. La période post-triasique -----	15
I.9. La stratigraphie du gisement -----	17
I.9.1. Valangénien (V) -----	17
I.9.2. Hauterivien (H) -----	17
I.9.2.1. Hauterivien inférieur (H1)-----	17
I.9.2.2. Hauterivien supérieur (H2)-----	17
I.9.3. Barrémien (B) -----	20
I.9.3.1. Barrémien inférieur (B1) -----	20
I.9.3.2. Barrémien supérieur (B2) -----	20
I.9.4. Aptien (A) -----	20
I.9.5. Miocène (m) -----	20
I.9.6. Quaternaire (Q) -----	20
I.10. Traitement des images satellitaires avec l'ENVI 4,5 -----	23
I.10.1. Présentation du logiciel -----	23
I.10.1.1. Un affichage en niveau de gris -----	23
I.10.1.2. Un affichage en fausses couleurs: composition colorée -----	23
I.10.1.3. Un affichage en utilisant les rapports des bandes: bandes ratios ---	23
I.10.2. Traitement des images satellitaires -----	25
I.10.2.1. Discrimination lithologique -----	25
I.11. Structure et tectonique du gisement -----	28
I.11.1. le Bloc Est -----	28
I.11.2. Le Bloc Central -----	28
I.11.3. Le bloc Ouest -----	28
I.12. Diagramme de rosace -----	29
I.13. Conclusion -----	29

Partie II: Contexte hydrogéologique.

II.1. Étude morphométrique du bassin versant -----	30
II.1.1. Introduction -----	30
II.1.2. Notion d'un bassin versant -----	30
II.1.3. Le bassin versant de la zone d'étude -----	30
II.1.4. Les caractéristiques morphométriques -----	30
II.1.4.1. Indice de compacité ou coefficient de Gravelius -----	30
II.1.4.2. Recherche d'un modèle de représentation -----	32
II.1.4.3. Caractéristiques des altitudes -----	34
II.1.4.4. Altitude médiane -----	35
II.1.4.5. Dénivelée simple -----	35
II.1.4.6. Indice de pente de relief -----	35
II.1.5. Caractéristique du réseau hydrographique -----	35
II.1.6. Récapitulation des caractéristiques morphométriques -----	37
II.1.7. Conclusion -----	37
 II.1. III.2. L'étude hydroclimatique -----	 38
II.2.1. Introduction -----	38
II.2.2. Collecte des données -----	38
II.2.3. Données de l'ONM -----	38
II.2.4. Carte des précipitations moyennes (ANRH, 2002) -----	38
II.2.5. Analyse des données -----	40
II.2.6. Étude des précipitations de la station de Ain Azel -----	40
II.2.7. Variation des précipitations dans le temps -----	40
II.2.7.1. Précipitations moyennes mensuelles -----	40
II.2.7.2. Précipitations moyennes annuelles -----	41
II.2.8. Variation des précipitations dans l'espace -----	41
II.2.8.1. Méthode de Thiessen -----	41
II.2.8.2. Méthode de la moyenne arithmétique -----	41
II.2.9. Température de l'air -----	42
II.2.9.1. Variation de la T° de l'air dans le temps -----	42
II.2.9.2. Courbe ombrothermique -----	43
II.2.10. L'indice climatique -----	44
II.2.11. Le bilan hydrique -----	44
II.2.11.1. L'évapotranspiration -----	44
II.2.11.2. Évaluation de l'ETR -----	44
II.2.11.2.1. Formule de L. Turc -----	44
II.2.11.2.2. Formule de Coutagne -----	45
II.2.11.2.3. Avec l'abaque de Wundt -----	45
II.2.11.2.4. Méthode de P. Verdeil -----	47
II.2.11.2.5. Évaluation de l'ETR par le bilan de Thornthwaite -----	47
II.2.12. Discussion des résultats de l'ETR -----	50
II.2.13. Estimation du ruissellement annuel -----	51
II.2.14. Discussion du bilan hydrique -----	51
II.2.15. Conclusion -----	51

II.3. Le contexte hydrogéologique du gisement-----	52
II.3.1. Introduction -----	52
II.3.2. Brève aperçue sur l'hydrogéologie de la région de Sétif -----	52
II.3.3. L'hydrogéologie du gisement -----	52
II.3.4. Caractéristiques géométriques -----	54
II.3.4.1. La coupe dans la partie centrale -----	54
II.3.4.2. La coupe passant par la descenderie et le puits de la mine -----	56
II.3.5. La carte piézométrique du gisement de Chaâbet-El-Hamra -----	56
II.3.6. Essai de pompage et calcul hydrodynamique -----	59
II.3.6.1. Rappels et définitions -----	59
II.3.6.2. Inventaire des points d'eau: le champ de captage de CEH -----	59
II.3.6.3. Description technique du champ de captage de CEH -----	61
II.3.6.4. Interprétation graphique des essais de pompage -----	64
II.3.6.5. Le traitement des données -----	64
II.3.7. Volume extrait -----	68
II.3.8. Rabattement enregistré -----	68
II.3.9. Délais de rabattement -----	69
II.3.9.1. Prévision des délais de rabattement à partir des courbes de descentes lors l'essai de pompage de 30 jours -----	69
II.3.10. La position du corps minéralisé par rapport à la nappe hauterivienne -----	69
II.3.10.1. Après un mois de pompage-----	69
II.3.10.2. Au mois de Septembre 2013 -----	70
II.3.11. Relation Débit- Rabattement -----	71
II.3.11. Conclusion -----	71
 II.4. L'hydrochimie du gisement-----	 72
II.4.1. Introduction -----	72
II.4.2. Étude des paramètres physico-chimiques -----	72
II.4.2.1. Étude des paramètres physiques -----	72
II.4.2.1.1. Température (T°) -----	72
II.4.2.1.2. Potentiel Hydrogène (pH) -----	72
II.4.2.1.3. Conductivité (σ) -----	73
II.4.2.1.4. Les résidus secs à 105 °C (R.s) -----	74
II.4.3. Étude des paramètres chimiques -----	74
II.4.3.1. Cations -----	74
II.4.3.2. Anions -----	76
II.4.4. Classification des eaux -----	79
II.4.4.1. Faciès des eaux: Diagramme de Piper -----	79
II.4.4.2. Faciès des eaux: Diagramme de Schoeller- Berkaloff-----	81
II.4.5. Métaux lourds -----	81
II.4.6. Potabilité des eaux de la mine de Zinc de Chaâbet-El-Hamra (Norme et qualité)-----	83
II.4.7. Conclusion -----	84

Partie III: Contexte métallogénique.

III.1. Introduction	85
III.2. Aperçu historique	85
III.3. Répartition des gites Hodnéen	86
III.4. Historique des travaux miniers de Chaâbet-El-Hamra	89
III.5. Localisation et morphologie des corps minéralisés	89
IV.5.1. Corps du minerai N°1 (supérieur)	89
IV.5.2. Corps du minerai N°2 (inférieur)	92
III.6. Étude pétrographique	94
III.6.1. Étude de l'encaissant	96
III.6.1.1. Observations macroscopiques	96
III.6.1.1.1. Hauterivien	96
III.6.1.1.2. Barrémien	96
III.6.1.2. Étude microscopique	99
III.6.1.2.1. Hauterivien	99
III.6.1.2.2. Barrémien	104
III.6.1.3. Relation encaissant –minéralisation	106
III.7. Étude minéralogique	106
III.7.1. Minéraux de la gangue	106
III.7.2. La minéralisation	108
III.8. La succession paragénétique	108
III.8.1. Phase diagénétique (syngénétique)	108
III.8.2. Phase épigénétique (hydrothermale)	108
III.9. Le type du gisement de Chaâbet-El-Hamra	110
III.9.1. Composition minéralogique	112
III.9.2. Lithologie de l'encaissant	112
III.9.3. L'environnement géodynamique	112
III.9.4. Formation des altérations	112
III.10. Modèle génétique du gisement de Chaâbet-El-Hamra	112
III.11. Conclusion	113

Conclusion générale	114
----------------------------	-----

Liste des références bibliographiques.

Annexe

Liste des figures.

Fig. I.1. Localisation du gisement de zinc de Chaâbet-El-Hamra -----	2
Fig. I.2. Carte hypsométrique (en haut) et MNT du gisement de Chaâbet-El-Hamra (en bas) -----	3
Fig. I.3. Les différents unités géologiques des Maghrébides Delga, 1969)----	6
Fig. I.4. Les différents unités géologiques des Maghrébides en coupe (Delga, 1969)-----	6
Fig. I.5. Schéma structural de la région de Sétif -----	10
Fig. I.6. Coupe interprétative montrant les nappes et les écailles chevauchantes du domaine Sétifien (J.M. Vila, 1977) -----	10
Fig. I.7. Les principaux massifs du Hodna -----	12
Fig. I.8. Colonnes lithostratigraphiques synthétiques comparatifs des Monts du Hodna (Compilation à partir des travaux de Glaçon, 1967; Guiraud, 1973; Vila, 1980 & Boutaleb, 2001)-----	14
Fig. I.9. La carte géologique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra (EREM, 1990), -----	18
Fig. I.10. La légende de la carte géologique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra (EREM, 1990)-----	19
Fig. I.11. La colonne lithostratigraphique du gisement de Chaâbet-El-Hamra (EREM, 1990), -----	21
Fig. I.12. Localisation du gisement de Chaâbet-El-Hamra dans son environnement géologique sur un extrait de la carte géologique , échelle 1/200.000 -----	26
Fig. I.13. Discrimination lithologique en composition colorée 321 -----	26
Fig. I.14. Discrimination lithologique en composition colorée 453 -----	27
Fig. I.15. Discrimination lithologique en composition colorée 731-----	27
Fig. I.16. Image obtenue avec les bandes générées en rapport 7/3, 5/2, 4/7 ----	27
Fig. I.17. Image obtenue avec les bandes générées en rapport 5/3, 3/1, 7/5 ----	27
Fig. I.18. Rosace qualitative faite à partir de la carte géologique du gisement de Chaâbet-El-Hamra -----	29
Fig. II.1.1. Carte des bassins versants d'Algérie (ANRH, 2002)-----	31
Fig. II.1.2. Le sous bassin versant des Hauts plateaux Constantinois-----	31
Fig. II.1.3. Le sous-bassin versant 07-01-----	33
Fig. II.1.4. L'orographie du sous-bassin versant de la zone d'étude -----	33
Fig. II.1.5. La courbe hypsométrique -----	34
Fig. II.1.6. Le réseau hydrographique du sous-bassin versant de la zone d'étude -----	36
Fig. II.2.1. La carte des précipitations (ANRH, 2002)-----	39
Fig. II.2.2.. La carte de M. Chaumont & C. Paquin éditée en 1971 de la série ancienne 1913-1963, modifiée -----	39
Fig. II.2.3. Histogramme des précipitations moyenne mensuelle (Station de Ain Azel, période de 1984- 2011)-----	40

Fig.II.2.4. Histogramme des précipitations moyennes annuelles (Station de Ain Azel, période de 1984-2011) -----	41
Fig. II.2.5. Les températures moyennes mensuelles (Station de Sétif, période de 2000- 2011) -----	42
Fig. II.2.6. Courbe ombrothermique -----	43
Fig.II.2.7. Abaque donnant le déficit d'écoulement moyen annuel d'après Wundt (modifié par Coutagne) -----	46
Fig. II.2.8. Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (D'après P. Verdeil, 1988) -----	48
Fig.II.3.1. Les deux corps minéralisés et leur situation sous le niveau statique-----	53
Fig.II.3.2. Carte schématique descriptive des principales nappes aquifères existantes à travers la wilaya de Sétif (DREWS, 2011) -----	53
Fig. II.3.3. La colonne lithostratigraphique du gisement en fonction de la perméabilité -----	55
Fig.II.3.4. Localité des deux (02) coupes hydrogéologiques réalisées sur la carte géologique du gisement (centrale en bleu et en rouge passant par la descenderie) -----	54
Fig. II.3.5. La coupe hydrogéologique dans la partie centrale du gisement (EREM, 1991) -----	54
Fig. II.3.6. La coupe hydrogéologique passant par la descenderie et le puits de la mine (EREM, 1991) -----	56
Fig. II.3.7. La carte piézométrique du gisement à la base de 24 sondages -----	58
Fig. II.3.8. La localité du champ de captage sur la carte géologique du gisement(échelle: 1/2000) et selon l'image satellitaire de Google -----	60
Fig. II.3.9. La description technique des forages du champ de captage de Chaâbet-El-Hamra-----	62
Fig.II.3.10. Les graphes du rabattement (R-m) en fonction du temps (T-s) des différents ouvrages hydrauliques du champ de captage -----	67
Fig.II.3.11.Un graphe illustrant le rabattement après un mois de pompage – -----	69
Fig. II.3.12.Un graphe illustrant le rabattement jusqu'au mois de septembre 2013 -----	70
Fig.II.3.13. Un graphe illustrant la relation entre le rabattement et le débit de pompage au cours du temps (Décembre 2010- Septembre 2013), -----	71
Fig.II.4.1. Variation temporelle des teneurs en Ca^{++} dans les eaux des différents forages-----	75
Fig.II.4.2. Variation temporelle des teneurs en Mg^{++} dans les différents forages -----	75
Fig.II.4.3. Variation temporelle des teneurs en Na^{+} et K^{+} dans les eaux des différents forages -----	76
Fig. II.4.4. Variation temporelle des teneurs en HCO_3^{-} dans les eaux des différents forages -----	77
Fig. II.4.5. Variation temporelle des teneurs en SO_4^{-} dans les eaux des différents forages -----	77
Fig. II.4.6. Variation temporelle des teneurs en Cl^{-} dans les eaux des différents forages -----	78

Fig. II.4.7. Variation temporelle des teneurs en NO ₃ - des différents forages –	79
Fig. II.4.8. Classification des eaux selon Piper (Octobre 2010) -----	80
Fig. II.4.9. Classification des eaux selon Piper (Février 2010) -----	80
Fig. II.4.10. Classification des eaux selon Piper (Novembre 2010) -----	80
Fig. II.4.11. Classification des eaux selon Piper (Avril 2012) -----	80
Fig. II.4.12. La classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff (Octobre 2010) -----	82
Fig. II.4.13. La classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff (Novembre 2010) -----	82
Fig. II.4.14. La classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff (Février 2010) -----	82
Fig. II.4.15. La classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff (Avril 2010) -	82
Fig. III. 1. Carte des gites minéraux de la partie orientale des Monts du Hodna (D'après ONG, 1987; modifiée) -----	87
Fig. III.2. Le horst anticlinal de Rahbet (EREM, 1992), -----	90
Fig. III. 3. La légende du horst anticlinal de Rahbet (EREM, 1992) -----	91
Fig. III.4. Coupe schématique du gisement de Chaâbet-El-Hamra avec la disposition des six lentilles composant les deux corps minéralisés (ENOF) --	92
Fig. III.5. Coupe longitudinale du gisement de Chaâbet-El-Hamra (E.R.E.M, 1992, modifiée) -----	93
Fig. III.6. Image satellitaire montrant la position de la descenderie (l'endroit de l'échantillonnage) de la mine de Chaâbet-El-Hamra (Source: Google Earth -2013-) -----	95
Fig. III.7. Schéma de circulation hydraulique envisagé pour la genèse des gisements MVT -PELISSONNIER (1959- 1967) -----	113

Liste des photos.

Photo. I. 1. Les grès zonés du Barrémien -----	22
Photo. I.2. Les dolomies de l'Hauterivien inférieur-----	22
Photo. I.3. Les dolomies de l'Hauterivien supérieur -----	22
Photo. I. 4. Les grès et les argiles de l'Hauterivien inférieur -----	22
Photo. I.5. Les argilites du Valangénien -----	22
Photo.II.3. 1. Le F01 en 2004 -----	63
Photo. II.3.2. Le F02 et F03 en 2008 -----	63
Photo. II.3.3. Le F05 en 2008 -----	63
Photo. II.3.4. Le réservoir, F01, F02, F03 en 2013 -----	63
Photo. II.3.5. Le F04 en 2013 -----	63
Photo. II.3.6. Le F02 en 2013 -----	63
Photo. II.3.7. Le niveau asséché -----	70
Photo. III.1. Morceau d'une lentille de l'un des corps minéralisé-----	92
Photo. III.2. La galerie d' accès de la mine de Chaâbet- El-Hamra -----	94
Photo. III. 3. Les grès verts de l'Hauterivien -----	97
Photo. III.4. Les calcaires de l'Hauterivien-----	97
Photo. III.5. Les dolomies –l'encaissant de la baryte- de l'Hauterivien -----	97
Photo. III.6. Les dolomies grises de l'Hauterivien -----	97
Photo. III.7. Les dolomies –l'encaissant du minerai de zinc- de l'Hauterivien-----	97
Photo. III.8. La sphalérite dans les dolomies de l'Hauterivien -----	97
Photo. III.9. Les dolomies massives du barrémien -----	98
Photo. III.10. Les dolomies oxydées du barrémien -----	98
Photo. III.11. Les calcaires gris du Barrémien -----	98
Photo. III.12. Calcaire marneux du Barrémien -----	98
Photo. III.13. les grès zoné en surface -----	98
Photo. III.14. Les grès du Barrémien -----	98
Photo. III.15. Lame montrant les grains du quartz, les minéraux opaques, la matrice dolomitiques et les veinules du sphalérite dans les grès verts de l'Hauterivien-----	100
Photo. III.16. Lame montrant les cristaux primaires du calcite où le clivage est notable -----	100
Photo. III.17. Lame montrant le remplissage en minéraux secondaires (les zones de recristallisation) -----	100
Photo. III.18. Lame montrant les grains de pyrite automorphe et sub-automorphe en L.N (à gauche) et en L.P (à droite) -----	101
Photo. III.19. Lame montrant le filonnets du quartz en L.N (à gauche) et en L.P (à droite) -----	101

Photo. III.20. Lame montrant l'apport des oxydes en L.N (à droite) et en L.P (à gauche) -----	101
Photo. III.21. Lame montrant les inclusions de la minéralisation en L.N (à gauche) et en L.P (à droite) -----	102
Photo. III.22. Lame montrant la zone de la recristallisation en L.N (à gauche) et en L.P (à droite) -----	102
Photo. III.23. Lame montrant l' en L.P (à gauche) et la chloritisation en L.N (à droite) -----	102
 Photo. III.24. Lame montrant la silicification avec l'inclusion des oxydes et de la minéralisation en L.N (à gauche) et en L.P (à droite) -----	103
Photo. III.25. Lame montrant les fragments d'ostracodes, orbitoïdes (à gauche) et orbitolines (à droite) en L.N -----	103
Photo. III.26. Lame montrant un fragment du lamellibranche (à gauche) et une section de foraminifère (à droite) en L.N dans un liant micritique -----	103
Photo. III.27. Lame montrant l'ostracode (à gauche) et les minéraux opaques dans le faciès des calcaires (à droite) en L.N -----	104
Photo. III.28. Lame montrant les cristaux du quartz en L.P (à gauche) et en L.N (à droite) -----	105
Photo. III.29. Lame montrant la minéralisation en L.P (à gauche) et en L.N (à droite) -----	105
Photo. III.30. Lame montrant la calcite et la dolomite en L.P (à gauche) et en L.N (à droite) -----	105
Photo. III.31. Lames montrant les différents types de dolomite -----	107
Photo. III.32. La barytine au sein des dolomies grises -----	109
Photo. III.33. Hématite veinulée dans une dolomie (à gauche) et une Hématite associée à la pyrite et barytine (à droite) -----	109
Photo. III. 34. La calcite -----	109
Photo. III. 35. La Pyrite -----	109
Photo. A.B. C. et F. La dolomitisation dans des dolomies hauteriviennes -----	110
Photo. D. La pyritisation dans les dolomies hauteriviennes -----	111
Photo. E. L'oxydation des dolomies hauteriviennes -----	111

Liste des tableaux.

Tableau .I.1. Exemple des combinaisons et les rapports des bandes utilisées dans le traitement des images satellitaires-----	24
Tableau. I.2. Résumé des caractéristiques des images satellitaires (en RVB) de différentes couleurs dans l'environnement de l'aire d'étude -----	25
Tableau. II.1.1. L'indice de compacité de Gravelius Kc du sous-bassin de la région d'étude -----	32
Tableau. II.1.2. Les dimension du rectangle équivalent du sous-bassin versant de sebkhet-El-Hamiet -----	32
Tableau. II.1.3. La répartition des surfaces par tranche d'altitude -----	32
Tableau. II.1.4. L'indice de pente globale Ig -----	35
Tableau. II.1.5. Récapitulation des caractéristiques du sous-bassin versant de la zone d'étude -----	37
Tableau. II.2.1. Coordonnées Lambert des stations -----	38
Tableau.II.2.2. Précipitations moyennes mensuelles (Station de Ain Azel, période de 1984- 2011) -----	40
Tableau.II.2.3. Récapitulation du calcul -----	42
Tableau.II.2.4. Températures moyennes mensuelles (Station de Sétif, période 2000-2011)-----	42
Tableau.II.2.5. Températures et précipitations moyennes mensuelles (Température: Station de Sétif, Période 2000-2011, Précipitation: station Azel, période 2000-2011) -----	43
Tableau.II.2.6. Calcul de l'ETR annuelle selon la formule de L.Turc -----	45
Tableau. II.2.7. Vérification de la condition -----	45
Tableau. II.2.8. Les valeurs calculées de l'indice thermique mensuel i -----	47
Tableau. II.2.9. L'indice thermique annuel I-----	47
Tableau. II.2.10. Les valeurs calculées de l'évapotranspiration potentiel mensuelle non-corrigée ETP -----	49
Tableau.II.2.11. Les valeurs calculées de l'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée ETP -----	49
Tableau. II.2.12. Estimation du bilan hydrologique selon Thornthwaite pour la station de Ain Azel -----	50
Tableau. II.2.13. Les valeurs de l'ETR selon les différentes méthodes -----	50
Tableau. II.2.14. L'estimation du ruissellement annuel -----	51
Tableau.II.3.1. Le niveau piézométrique des différents sondages -----	57
Tableau.II.3.2. Les coordonnées Lambert des forages implantés pour le dénoyage de la mine -----	59
Tableau.II.3.3. Description technique des forages du champ de captage de Chaâbet-El-Hamra-----	61

Tableau.II.3.4. Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère Hauterivien du gisement de Chaâbet-El-Hamra -----	68
Tableau.II.3.5. Le volume d'eau extrait après un mois de pompage (ENOF, Décembre 2010) -----	68
Tableau.II.3.6. Le rabattement enregistré après un mois de pompage (ENOF, 2010) -----	68
Tableau.II.3.7. Les délais de rabattement -----	69
Tableau.II.4.1. Les valeurs du pH des différents forages dans la zone d'étude -----	73
Tableau. II.4.2. Les valeurs de la conductivité des différents forages dans la zone d'étude -----	74
Tableau.II.4.3. Les valeurs des résidus secs des différents forages dans la zone d'étude -----	81
Tableau.II.4.4. Classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff -----	83
Tableau.II.4.5. Les teneurs des métaux lourds dans les forages du champ de captage -----	84
Tableau. II.4.6. Comparaison des eaux du gisement de Chaâbet-El-Hamra avec la norme Algérienne NA(6360) et la norme de l'organisme mondiale de la santé (OMS, 2008)-----	
Tableau. III.1. Caractéristiques des gites Hodnéens -----	86
Tableau III. 2. Tableau montrant la succession paragenétique -----	108

Remerciements:

Tout d'abord et avant tout, je tiens à remercier, *Allah, mon Dieu* le Clément et le Miséricordieux de m'avoir donné la force, le courage et la patience d'accomplir mon travail dans les meilleures conditions et les plus courts délais.

Je remercie profondément mon rapporteur, Dr. *Demdoun Abdeslam*, maître de conférences à l'université de Sétif pour l'intérêt constant qu'il a porté à ce travail en acceptant de diriger cette étude, pour sa disponibilité, ses orientations, ses encouragements et ses remarques fructueuses. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

Je remercie vivement Dr. *Chabou Moulley Charaf*, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.

Je suis sensible à l'honneur que m'ont fait Dr. *Bouïma Tayeb*, maître de conférence à l'université de Sétif et Dr. *Chabour Nabil*, maître de conférence à l'université de Constantine, pour m'avoir honoré de leur présence en acceptant de juger ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur *Ouzouaz Saïd*, Directeur de l'ENOF, pour m'avoir accepté dans son entreprise, pour son aide et ses suggestions.

Je tiens aussi à exprimer mes reconnaissances à Monsieur *Djamel Eddine Aïssa*, Professeur à l'U.S.T.H.B et à Monsieur *Rabah Laaouar*, professeur à l'université BADJI MOKHTAR Annaba pour leurs réponses argumentées et judicieuses à questionnements divers et pour m'avoir ouvert de nouveaux horizons scientifiques en métallogénie.

Je remercie chaleureusement Melle *Maayouf Mériem*, l'ingénieur géologue de l'ENOF pour sa disponibilité et ses encouragements, ainsi que pour son aide en opération d'échantillonnage.

Monsieur *Hamzaoui*, maître assistant à l'université de Sétif, mérite un remerciement spécifique et spécial pour ses explications concernant l'étude des lames minces.

Je ne peux pas oublier Monsieur *Zaghouane*, Enseignant à l'université de Sétif pour avoir accepté de me lire et pour son soutien durant toute cette période.

Je présente mes sincères remerciements à:

- ❖ Monsieur *Benhalilou abderahmen* et Monsieur *Benechikh Azeddine* mes chefs service de mobilisation des eaux, à la Direction des Ressources en Eau de Sétif pour leurs compréhension et encouragements dès le premier jour de ma réussite au concours de Magister.
- ❖ Monsieur l'hydrogéologue *Abdellatif Mustepha*, mon chef de bureau de mobilisation des eaux souterraines à la DREWS pour sa compréhension aussi, ses suggestions, ses propositions à titre indicatif et pour m'avoir ouvert de nouveaux horizons scientifiques en hydrogéologie.
- ❖ Monsieur l'hydrogéologue *Reggued Zoheir*, le chef de bureau de mobilisation des eaux de surface à la DREWS pour son hospitalité et ses conseils scientifiques.
- ❖ Monsieur l'hydrogéologue *Hellal Saad Fouad* pour ses propositions, ses conseils pour le système informatique car sans sa dévotion pour ce dernier une partie très importante des travaux présentés ici n'aurait pas été possible.

❖ Monsieur *Khalid Souheil*, l'hydrogéologue de l'A.N.R.H de Constantine pour son hospitalité et ses conseils scientifiques.

❖ Madame *Mahdadi Hanane*, le géologue de la Direction des Ressources en Eau de Sétif pour ses suggestions , ses conseils et son aide en recherche bibliographique.

❖ Mes amies et mes collègues à la DREWS: *Kada Fatiha, Bourouina Sabah, Hadli Samia et Belhaouchet Zeineb* pour leurs encouragements.

❖ Mes amies et mes collègues à l'université de Sétif: *Belhadded Hanane, Bouragba Nadjat et Mr.Moustfaoui Lakhder* pour leurs encouragements.

Très nombreux sont ceux qui m'ont aidé et je ne peux tous les citer, je ne les oublie pas et leur transmets du fond du cœur mes plus vifs remerciements.

Enfin, je souhaite finir par une pensée pour les proches qui m' ont encouragé, soutenu, voire supporté toute cette période: mes parents, frères, sœurs, les adorables personnes, amies. Vous trouverez ici ce qui m' a occupé pendant tout ce temps.

Kada. H

*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

INTRODUCTION GÉNÉRALE

*Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie
Géologie appliquée et ressources minérales
Université de Sétif*



Introduction générale.

La région des monts du Hodna est restée curieusement en marge des préoccupations des géologues travaillant en Algérie, à titre d'exemple, Glaçon (1967) a essentiellement évoqué l'aspect minier de la région où ses travaux ont montré la richesse des Monts en Pb-Zn.

Après l'indépendance, et lors la prospection de la mine en sujet, des venues d'eau ont été constatées dans certaines parties du gisement.

Suite à l'exploitation d'une partie minéralisée après l'évaluation et le calcul des réserves, il a été constaté que le reste est immergé dans une grande nappe libre.

Pour éviter tout risque, et afin de continuer l'exploitation du minerai de zinc, la réalisation d'une batterie de forages était la solution.

Pour cela, et grosso modo, notre étude principale est basée sur la géologie, l'hydrogéologie et la métallogénie au niveau du gisement de Chaâbet-El-Hamra, sous un intitulé:

« Le contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra à Ain Azel, Wilaya de Sétif, nord oriental Algérien » .

Ce mémoire s'organise en trois (03) parties:

❖ La partie I: Le contexte géologique

Cette partie présente une synthèse des travaux antérieurs relatifs à la géologie du para-autochtone et autochtone Hodnéen ainsi que la stratigraphie au niveau du gisement;

❖ La partie II : Le contexte hydrogéologique

Elle est consacrée à la caractérisation hydrogéologique (la situation du corps minéralisé par rapport au niveau statique) et au fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère hauterivien de Chaâbet-El-Hamra après une étude hydrologique afin de confirmer la recharge ou non de la nappe à partir des eaux météoriques. Cette partie est terminée par une étude hydrochimique en raison de déterminer le faciès chimique des eaux de l'aquifère;

❖ La partie III: Le contexte métallogénique

Dans cette partie, et en ce qui concerne la métallogénie, nous mettons en évidence une étude pétrographique des roches carbonatées associées ou non à la minéralisation afin de décrire ensuite les différents styles de la minéralisation et aboutir à une synthèse dans laquelle est présentée un modèle génétique du gisement;

Finalement, l'ensemble des résultats est synthétisé dans une conclusion générale qui rappellera toutes les caractéristiques trouvées.



*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

1^{ère} partie

CONTEXTÉ GÉOLOGIQUE

Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie



Géologie appliquée et ressources minérales

Université de Sétif



I. Contexte géologique

I. 1. Introduction:

L'efficacité des études métallogéniques et même hydrogéologiques s'accroît considérablement avec le développement des investigations géologiques.

L'un des buts essentiels des études métallogéniques est l'identification du mode de formation des niveaux minéralisés, tandis que la découverte des aquifères est le fruit de n'importe quelle étude hydrogéologique.

Cette partie a pour but de mieux comprendre la géologie régionale et locale de l'aire étudiée, et notamment le contexte tectono-sédimentaire dans lequel s'est formé le gisement du Zinc de Chaâbet-El- Hamra dans le district métallogénique à Pb-Zn des monts de Hodna.

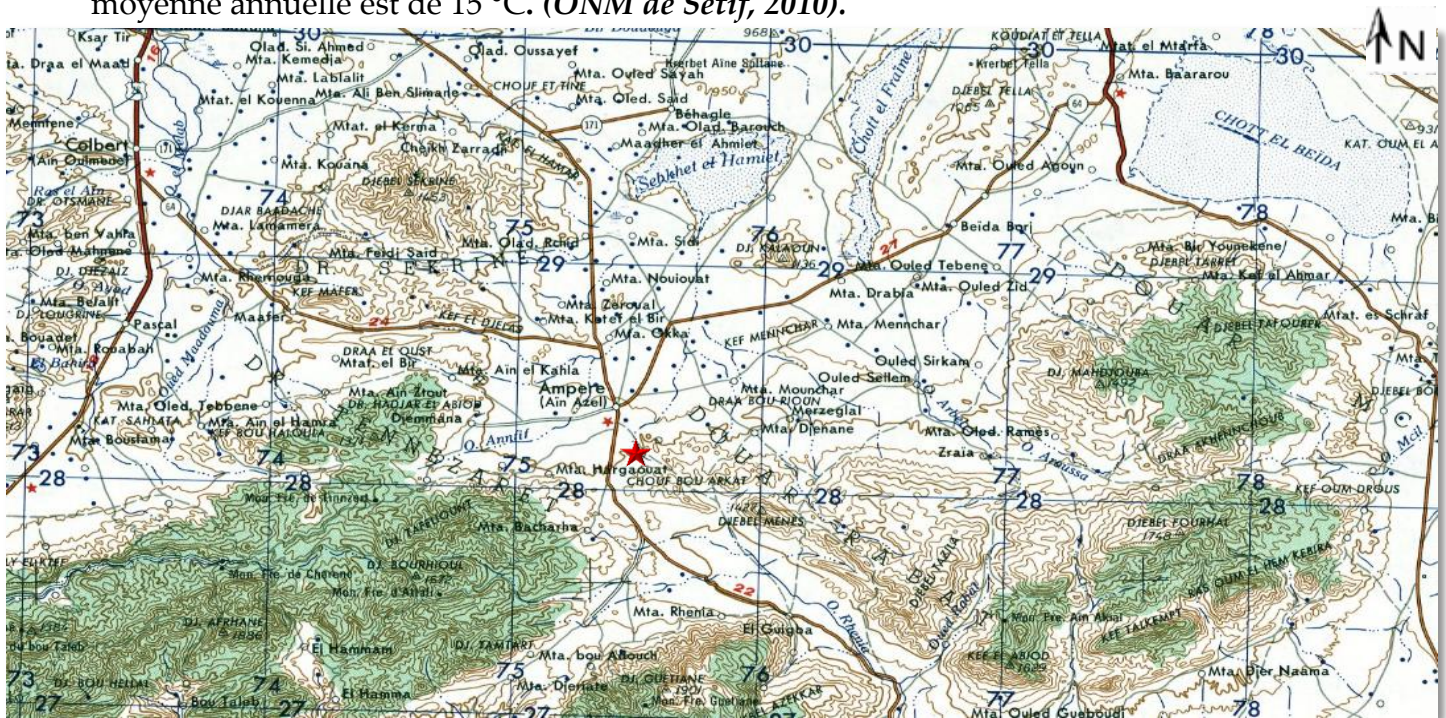
Notre étude a été réalisée sur la base des documents suivants:

- Cartes géologiques de Ain Azel, Ain Lahdjar, Sétif et du gisement,
- leurs notices respectives;
- Les logs stratigraphiques des sondages mécaniques effectués et trouvés.

I.2. Situation géographique:

Le gisement de Zinc de Chaâbet- El- Hamra est situé à vol d'oiseau, à environ 250 Km au Sud- Est d'Alger et à 50 km au Sud de Sétif dans la région de Chouf Bou Arket, à 3,5 km au Sud-est du village d'Ain Azel et à 7,5 km de la mine de Kherzet Youcef (actuellement abandonné suite à la catastrophe du 02 Juin 1990). (Fig. I. 1). Ses coordonnées géographiques approximatives sont : 35°45'N et 5°30'E. L'altitude du site varie de 950 à 1200 mètres (Fig. I. 2).

Le climat de la région est *semi-aride*, froid en hiver et chaud en été. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 300 mm . La température moyenne annuelle est de 15 °C. (ONM de Sétif, 2010).



★ Fig.1 La localisation du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra dans la région de Chouf Bou Arket à Ain Azel sur la carte topographique de BARIKA NI 31-4 (Échelle: 1/ 250.000)

I. Contexte géologique.

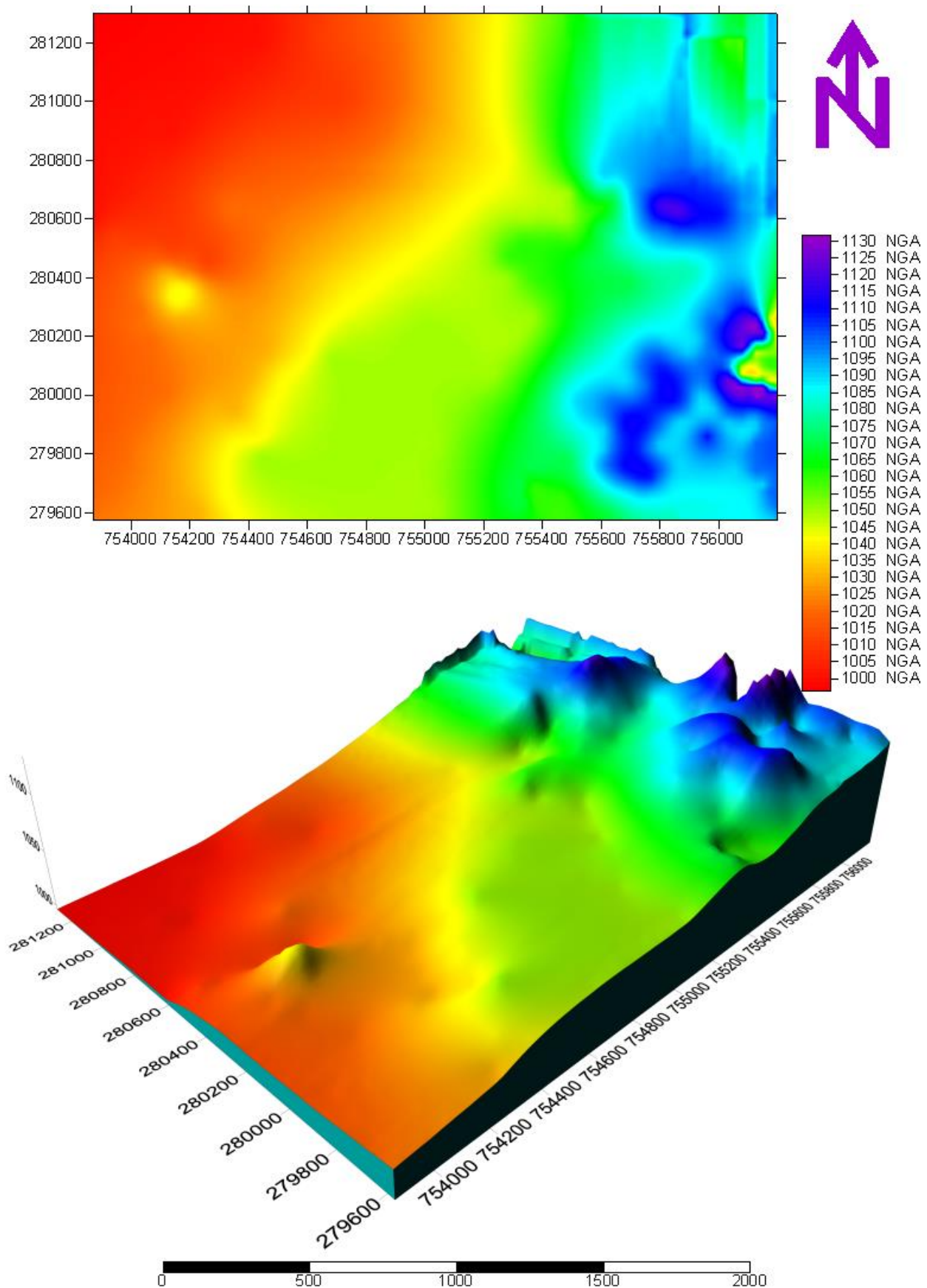


Fig. I. 2. Carte hypsométrique (en haut) et MNT du gisement de Chaâbet-El-Hamra (en bas), (Kada. H, 2013)

I. Contexte géologique.

❖ La carte hypsométrique ainsi que la vue panoramique du gisement de Chaâbet-El-Hamra montre une vue générale de la morphologie de l'aire de gisement. Nous constatons qu'il est divisé en deux zones dont les fortes altitudes sont à l'Est et les faibles à l'Ouest en taux d'ordre de 60%.

I. 3. Bref aperçu sur la wilaya de Sétif:

II. 3. 1. Situation de la wilaya de Sétif:

La wilaya de Sétif se situe au Nord- est de l'Algérie. Elle a des bordures limitrophes avec la wilaya de Bejaia au Nord, les wilayas de Jijel et Mila à l'Est, de Bordj-Bou-Argeridj à l'Ouest, et de Batna au sud.

Elle se situe entre les méridiens 6° et 8° Est, et les parallèles 35° et 37° Nord.

Sur le plan économique, la wilaya de Sétif est une région agricole et industrielle. Les plus importantes entreprises minières sont la mine du Plomb-Zinc de Kherzet Youcef et celle de Chaâbet-El-Hamra.

I 3.2. Le relief:

Sur le plan morpho structural, le territoire de la Wilaya peut être divisé en trois (03) zones morphologiques principales qui se succèdent du Nord au Sud:

- ❖ Édifices montagneux de l'Atlas tellien au Nord;
- ❖ Hautes Plaines Sétifiennes (Plateaux Sétifiens) au centre;
- ❖ Édifice montagneux du Hodna au Sud.

I. 3.2.1. Édifices montagneux de l'Atlas Tellien (Partie Nord):

Ils se caractérisent par un relief très accidenté avec des altitudes de 1200m. Les sommets les plus élevés, culminent à 1737m (Dj. Mégriss), 1554m (Dj. Anini) et 1461m (Dj. Medjounès) au Nord de la Wilaya, par contre au Sud, et vers les hautes plaines, le relief s'adoucit. La structure géologique de l'Atlas Tellien intervient des assises fortement déformées du Crétacé supérieur et inférieur, du paléogène et du Néogène. Les terrains du Trias et du jurassique y sont relativement rares. Dans les dépressions intra-montagneuses se développent les dépôts récents du Quaternaire.

I. 3.2.2. Hautes Plaines Sétifiennes (Partie Centrale):

Celui-ci est l'un des principaux éléments morphologiques. Il représente une plaine peu vallonnée d'étendue grossièrement Est-ouest, avec des altitudes de 900 à 1100m. La plaine est formée au Tertiaire avec un remplissage de sédiments récents lacustres et de rivières.

Au milieu de la plaine, le Néogène- Quaternaire s'élève localement sous forme des reliefs isolés, en coupole et linéaires formés de Calcaires, Dolomies, Marnes du Jurassique, Crétacé et Éocène.

Outre les massifs les plus importants de la région tel que Zdim, Sekkrine...., on y rencontre une série de cuvettes constituant les chott et sebkha : chott Beida, El Frain, Sebkhas Bazer et Mellah.

I. 3.2.3. Édifices montagneux du Hodna et leurs chainons orientaux (Partie Sud):

Les chaînes orientales (Bou Taleb, Hadjar Labiod....) sont dirigées approximativement Est-Ouest, le long de la limite Sud de la Wilaya de Sétif et s'allongent environ sur 100Km.

I. Contexte géologique

Les monts du *Hodna* constituant une sorte de barrière séparant les hautes plaines, de la dépression du *Hodna* située au Sud.

I. 3.3. Climat et végétation:

La barrière climatique des reliefs septentrionaux et l'altitude accentuent les contrastes et diversifient la végétation. Les *Babors* reçoivent des précipitations importantes et des neiges hivernales. Les hautes plaines et les monts du *Hodna* doivent se contenter de faibles précipitations de l'ordre de 300mm en moyenne.

Le climat est de type méditerranéen sec avec déjà de nettes influences continentales dues à l'altitude qui se traduisent par des gelées d'hiver et de début du printemps. En toute saison le sirocco reste un danger permanent pour l'agriculture.

I. 3. 4. Réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique est constitué par Oued *Rhumel* à l'Est et Oued *Bousellem* (affluent du Oued *Soummam*) à l'Ouest, qui a un régime d'écoulement permanent. Le réseau des cours d'eau dans la région de *Sétif* est assez dense.

I. 4. Résumé sur la géologie de la chaîne Alpine, le Nord Algérien:

La chaîne Alpine d'Algérie représente le segment occidental de la chaîne des *Maghrébides* (*Durand Delga, 1980*). L'édification de cette chaîne résulte de la structuration du bassin maghrébin et de ces marges, bassin qui se situe entre les marges continentales africaines et européennes.

La chaîne Alpine d'Algérie se caractérise par des structures en nappes à vergence Sud et une unité orogénique remarquable.

Du Nord au Sud on a:

- ❖ Le domaine interne;
- ❖ Le domaine des *Flyschs*;
- ❖ Le domaine externe.

I. 4.1. Le domaine interne:

Il est caractérisé par la dominance des affleurements du socle métamorphique de nature variée, comprenant localement des formations *catazonales* et des *péridotites*.

I. 4.2. Le domaine des *Flyschs*:

Il se caractérise par des formations de plaines abyssales mises en place par des courants de turbidité. Ces formations sont subdivisées en trois (03) groupes:

- ❖ Les *flyschs* Mauritaniens;
- ❖ Les *flyschs* schisto-quartzeux ou Albo- Aptien;
- ❖ Les Nummidiens.

I. 4.3. Le domaine externe:

En Algérie orientale, il est représenté par les séries telliennes. Les séries de l'avant-pays allochtone (selon les conceptions de *JM. Vila, 1980*) et les séries de l'avant-pays Atlasique.

I. Contexte géologique

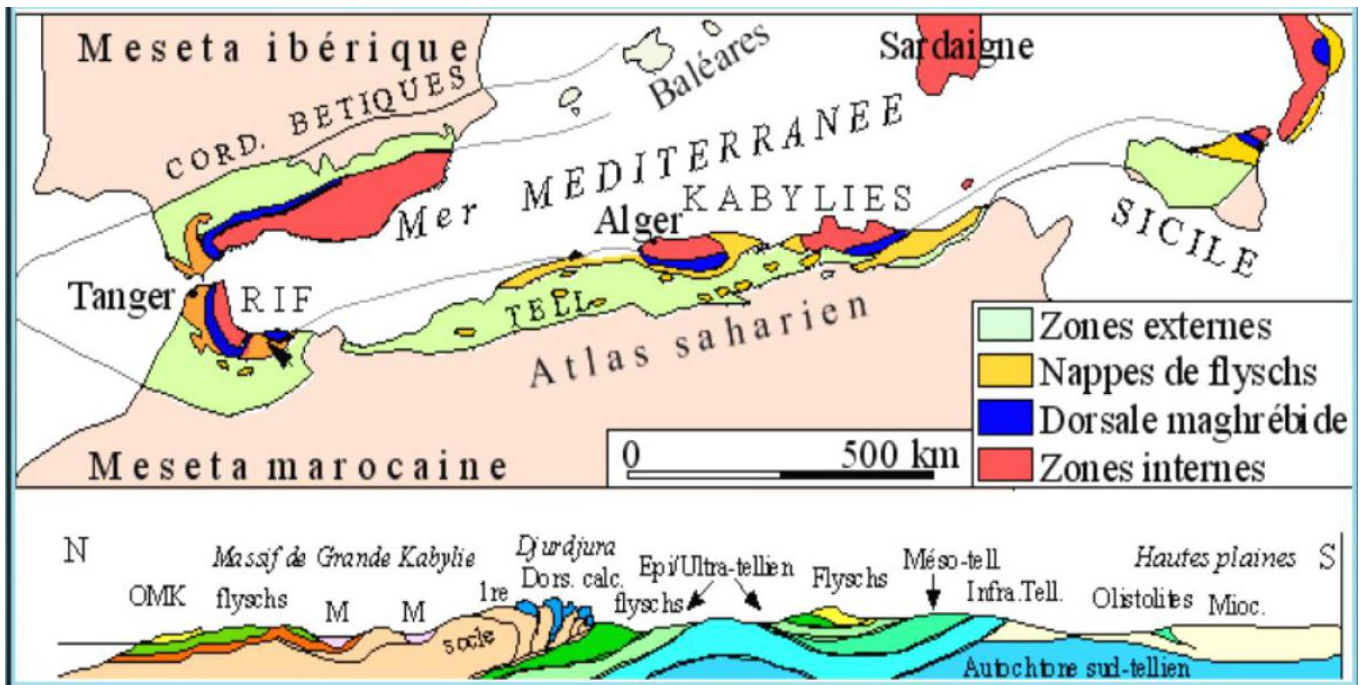


Fig. I.3. Les différentes unités géologiques des Maghrébides
(D'après Durand Delga, 1969).

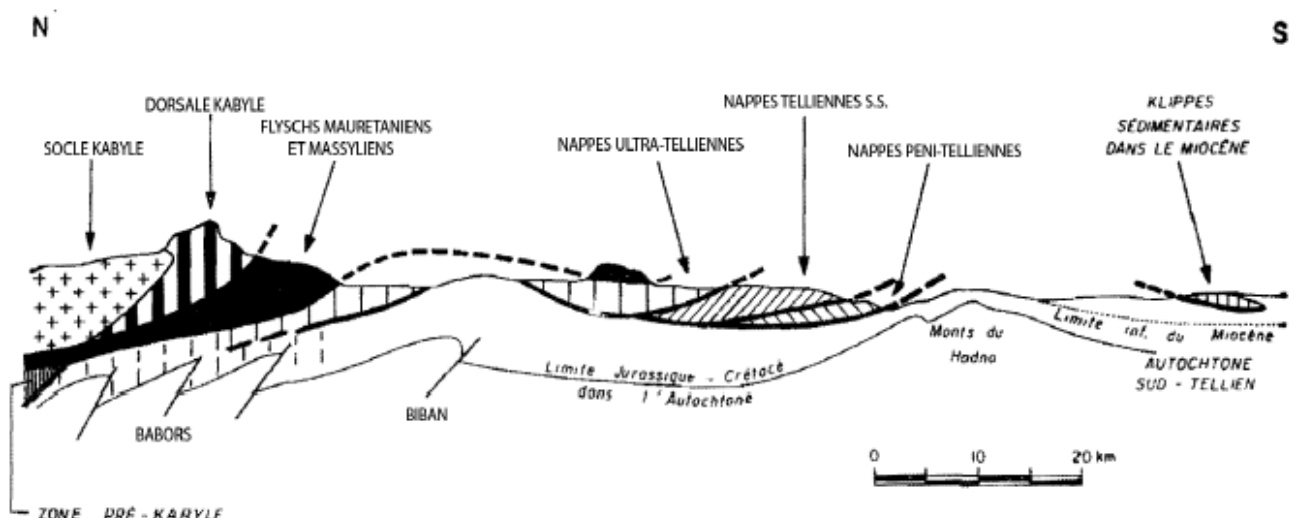


Fig. I.4. Les différentes unités de la chaîne des Maghrébides en coupe
(D'après Durand Delga, 1969).



I. Contexte géologique

I. 5. Géologie de la région de Sétif :

La géologie de la Wilaya de Sétif est représentée par des terrains appartenant aux différents domaines structuraux de l'Algérie du Nord. On distingue du Nord au Sud les domaines suivants:

- ❖ Le domaine des flyschs;
- ❖ Le domaine tellien;
- ❖ Le domaine néritique de la plate-forme Sétifienne;
- ❖ Les domaines para-autochtone et autochtone Hodnéen.

I. 5.1. Le domaine des flyschs:

Doivent être rattachés aux nappes Numidiennes, la nappe des flyschs Mauritaniens et la nappe des flyschs Massyliens.

I. 5.1.1. La nappe Numidienne

Elle détermine quelques affleurements dans le Nord de la Wilaya de Sétif et les deux massifs isolés du *Chouf Karoun* et du *Djebel Mégriss* qui est constitué par 250 à 300m d'alternance de grès grossiers hétérométriques à dragées de quartz, et d'argiles claires, kaoliniques, à petits bancs ou à boules quartzitiques. Cette série est azoïque. Les argiles de base à *Tubotomaculum* n'affleurent pas mais sont probablement présentent sous l'épais nappage d'éboulis anciens qui entoure le *Djebel Mégriss*. En effet quelques niveaux verts à efflorescences blanches (*gypse*) complètement soliflués. Les débris de *Tubotomaculum* n'y sont pas rares.

I. 5.1.2. La nappes des flyschs Mauritaniens:

La nappe des flyschs mauritaniens constitue l'élément supérieur des *Klippes* de *Ras El Fedh* qui située dans le Nord- Ouest de la Wilaya de Sétif représente les flyschs *Crétacé* à *Lutétien* et Grés micacés *Priabono-Oligocène*. Ces formations grésomiacées paléogènes sont le siège d'une intense disharmonie associée à des structures désordonnées qui permettent de déceler l'existence de la tectonique superposée.

I. 5.1.3. La nappe des flyschs Massyliens:

Sa séparation géographique est la même que celle des flyschs Mauritaniens dans la région de *Ras El Fedh* et *Ouled khoufach* constitué par des grès, argiles à micro brèches et à blocs *Crétacé*. La nappe des flyschs *Massyliens* affleure trop mal pour qu'une analyse convenable puisse en être effectuée. Son état de dissolution permet lui aussi de soupçonner l'existence d'une tectonique successive.

I. 5.2. Le domaine Tellien:

Proviennent de nombreuses unités: la nappe de type *Barbacha*, la nappe de type *Draa El Arba*, la nappe de type *Béni Abdellah*, unité supérieure à matériel *Éocène*, la nappe *Bibanique*, la nappe de *Djemila* et la nappe *Péni-Téllienne*.

I.5.2.1. La nappe de type Barbacha:

Les séries de types *Barbacha* n'affleurent que dans les *Babors* occidentaux, au Nord de *Ain Roua*. Elle est constituée par des dolomies de base, des calcaires compacts d'âge *Jurassique*, et marno-calcaire du *Crétacé inférieur*, par des marnes et conglomérats d'âge *Sénonien inférieur*.

I. Contexte géologique

Le contact de base de la nappe *Barbacha* est jalonné par des masses gypseuses *Triasiques*, et recoupe une série préalablement tectonisée (schistosité de flux, marquée par des minéraux néoformés).

I. 5.2.2. La nappe de type Draa El Arba:

Ces nappes déterminent essentiellement les crêtes qui vont du *Djebel Takoucht* au Nord du *Djebel Babor*. Elle présente des faciès épais à boules jaunes du *Sénonien supérieur* qui permettent une corrélation aisée avec les séries de type *Béni Abdellah*. Sa genèse est le résultat d'une diverticulation. Des séries complètes de même type sont connues au Nord aux environs d'*Oued Amizour*.

Le clivage se produit à la faveur d'une différence de compétence entre le *Crétacé moyen* marno-calcaire ou siliceux et le *Crétacé supérieur* entièrement marneux.

I. 5.2.3. La nappe de Béni Abdellah:

Ces séries accompagnent les Klippes de *Béni Abdellah* et de *Ras El Fedh* dans le NW de la Wilaya, et elle est constituée également par le *Sénonien* à dominance marneuse. Le lambeau *Jurassique d'El Broul* associé au Klippe des *Béni Abdellah* prouve que l'ensemble de la série est décollé sur le *Trias*.

II. 5.2.4. L'unité supérieure à matériel Éocène:

Cette unité est présente dans trois groupe d'affleurements, sur le versant Sud-Ouest du *Djebel Mégriss*, dans le Klippe d'*Ain Abessa* et dans celle de *Ain Messaoud*. Elle est constituée par des marnes noires, brunes ou grises à bancs et boules jaunes d'âge *Éocène moyen et supérieur*, des calcaires massifs de l'*Yprésien à Lutétien inférieur*, et par des marnes noires parfois schisteuses à boules jaunes rares d'âge *Maestrichtien supérieur à Paléocène*. Elle est tronquée basalement, son style en pli couché et serré est net et près d'*Ain Messaoud*. Ces plis et la schistosité du plan axial qui les accompagnent sont antérieurs au cisaillement basal et à la mise en place de cette unité.

I. 5.2.5. La nappe Bibanique:

Correspond à une masse plissée isoclinale dans des formations d'âge *Crétacé inférieur à Crétacé supérieur*. L'ensemble affecte l'allure d'un grand pli couché vers le Sud dont le flanc inverse est seul conservé à son extrémité orientale, au contact avec le *Djebel Guergour*. La charnière frontale est visible à l'Est de *Zemoura*. Le flanc normal constitue les hauteurs de *Guenzet*. Au cœur de ce pli se développe une ou plusieurs schistosités.

La plus récente est clairement située dans le plan axial des plis couchés vers le Sud. L'ensemble de ce dispositif est cisailé par un contact de base plissé par la tectonique tardive. On peut suivre ce contact au Sud de *Béni-Ourtillène* ou dans la fenêtre de *Oued Ben Sabah*.

I. 5.2.6. La nappe de Djemila:

La nappe de *Djemila* détermine l'essentiel du paysage au Nord de *Sétif* et d'*Eulma* et atteint à l'Est les environs de *Sidi Mérouane*. Elle présente des variations assez sensibles aussi bien du Nord au Sud que l'Est en Ouest. C'est la seule unité tellienne représentée par une série complète allant du *Lias* à la fin de l'*Éocène* pour une simple raison de continuité d'affleurement, on peut rassembler sous le nom de la nappe de *Djemila* les unités suivantes:

I. Contexte géologique

- ❖ L'écaille intercutanée de *Béni-Ourtilène*;
- ❖ La série de *Bousellem* aux environs des *Djebel Guergour, Anini* et *Hellel*;
- ❖ Le *Djebel Babor*;
- ❖ Le vaste secteur des *Dômes Sétifiens* autour du *Djebel Medjounes*, des *Monts de Djemila* et *Ouled Sabor*.

La nappe de *Djemila* constituée à la base par des marno-calcaires *Crétacé* et au sommet par des calcaires massifs de l'*Yprésien –Lutétien inférieur*, et des marnes noires brunes ou grise à boules jaunes de l'*Éocène moyen et supérieur*.

I. 5. 2.7. La nappe Pénii- Télliciennes:

La nappe *Pénii-Téllicienne* apparaît au *Djebel Hellel*, au *Djebel Halfa*, constituée par des marnes et des marno-calcaires d'âge *Cénomanién*.

Les affleurements du *Crétacé inférieur* les plus septentrionaux de la nappe *Pénii-Téllicienne* présentent une schistosité dominante qui, au *Djebel Bou Cherf*, affecte même les calcaires massifs *Vracono- Cénomanién*. Ce phénomène disparaît au *Djebel Gurouz*.

I. 5.3. Le domaine néritique de la plate- forme sétifiennne:

Dans la plate-forme allochtone, la nappe néritique constantinoise est relayée vers l'Ouest par l'ensemble allochtone *Sud-Sétifien*.

II. 5.3.1. La nappe néritique constantinoise:

La nappe néritique constantinoise est visible en fenêtre sous la nappe de *Djemila*, et chevauche clairement l'ensemble allochtone *Sud-Sétifien* du *Djebel Hammam* dans le massif montagneux du *Rokbet El Djemel* au Sud de *Tadjenanet* aux frontières de la Wilaya. Il est constitué par des formations calcaireuses du *Crétacé inférieur*.

I.5.3.2. L'ensemble allochtone Sud-Sétifien:

À l'exception des *Djebel Guergour* et *Anini* qui apparaissent en fenêtre sous les nappes *Télliciennes*, est composé par toute une série d'écailles en relais qui sont, du Nord au Sud:

- ❖ L'ensemble chevauchant *Zdim, Youcef, Brao, Tnoutit* possède une série surtout carbonatée du *Lias* au *Cénomanién*;
- ❖ L'ensemble composé par la série chevauchée et elle même chevauchante du *Zdim, Youcef* et *Ain El Hdjar* présente une composition et une allure analogue;
- ❖ L'écaille de *Djebel Sekrine*, celle de la série supérieur de *Djebel Kalaoun, de Koudiat Tella* et du *Djebel Tafourer*;
- ❖ La minuscule écaille du *Djebel Kalaoun* n'offre qu'un intérêt paléogéographique.

I.5.4. Parautochtone et autochtone Hodnéen:

Les formations parautochtones sont représentées par la série renversée et tronquée basalement du col de *Tifelouine* et par les terrains du compartiment Nord des failles inverses d'*El Bahira, Hadjar Lebiod, Ain Azel*. L'ensemble n'occupe donc qu'une mince frange au Sud de la Wilaya. Les formations parautochtones et autochtones sont représentées par le massif du *Hodna*. Ces massifs constituent le début de l'*Atlas Saharien* qui développe ses grandes structures plissées faillées jusqu'au porte du désert.



LEGENDE

QUATERNAIRE

MIO-PLIOCENE

NAPPE NUMIDIENNE

NAPPE NUMIDIENNE

NAPPES TELLINIENNES

NAPPE DE DRAA EL ARBA

NAPPE DE BENI ABDALLAH

NAPPE SUPERIEURE A MATERIEL EOCENE

NAPPE BIBANIQUE

DI VOICEE

DI KAILO

S DU HODNA

A horizontal scale bar with a vertical line at the left end labeled '0' and a vertical line at the right end labeled '13 Km'.

[illegible]

Contextes géologique, hydrogéologique et métallogénique du gisement de En do
Phaathet-El-Camra à Ain Azel, Wilaya de Ghat, le Nord oriental Algérie

I. Contexte géologique

En dehors des secteurs autochtones méridionaux où le *Trias* occupe une position anticlinale clairement extrusive, les masses broyées *Argilo- Gypseuses* du *Trias* jalonnent, les contacts anormaux tangentiels. Il englobe les débris de taille variée généralement broyés représentant le *Trias Moyen* et l'*infra Lias*.

I. 6. La stratigraphie des Monts du Hodna:

Le gisement de Zinc de *Chaâbet El-Hamra*, fait partie du « District métallogénique » à Pb-Zn des Monts du *Hodna* qui renferme d'importantes minéralisations en Pb-Zn localisées dans la région de Ain Azel.

Le gisement de *Chaâbet El-Hamra* appartient aux blocs de Ain Mlila, qui comprend trois structures de soulèvement en forme de Horst-Anticlinaux. Le gisement est associé au Horst de Rahbat.

La stratigraphie du massif de Hodna se caractérise par des séries sédimentaires définies du *Trias* au Quaternaire (Glaçon, 1967 ; Guiraud, 1973; Vila, 1983; Boutaleb, 2001) (Fig. II.8) :

I. 6.1. Le Trias:

Se rencontre sous forme de pointements dans les zones les plus tectonisées. Il est composé de masses d'argiles bariolées accompagnées d'un chaos de roches : *brèches dolomitiques, cargneules, amas de gypse, brèches de schistes micacées*, avec parfois des fragments de roches vertes. Des lambeaux *calcaro-dolomitiques* bien stratifiés, attribués à la base du *Lias* (*Rhétien* ou *Hettangien*) sont fréquemment emballés dans le *Trias*.

I. 6.2. Le Jurassique:

Affleure sur des surfaces importantes à l'Est d'Ain Azel. Il comprend le Jurassique inférieur-moyen (*Lias-Dogger*) et le Jurassique supérieur.

➤ *Le Lias- Dogger* constitue l'ossature *calcaro-dolomitique* de plusieurs chaînes des Monts du Hodna.

➤ *Le Jurassique supérieur* est constitué de trois groupes :

1. Un groupe *gréso-argileux*, très réduit dans les Monts du Hodna,
2. Un groupe *marno-calcaire* peu fossilifère,
3. Un groupe *carbonaté* supérieur, très riche en fossiles, qui correspond au *Portlandien* et comprendrait une partie du *Crétacé inférieur* (*Berriasien*).

I. 6.3. Le Crétacé inférieur:

Affleure largement dans la région. Il comprend, de la base vers le sommet :

1. Une formation *marno-silto-gréseuse*, d'âge *Berriasien* supérieur et *Valanginien* ;
2. Une formation *dolomitico-gréseuse* d'âge *Hauterivien* ;
3. Une formation *argilo-calcaro-gréseuse* d'âge *Barrémien* et *Aptien inférieur* ;
4. Une formation *calcaro-marneuse* à *Orbitolines* d'âge *Aptien* ;
5. Une formation *calcaro-marno-gréseuse* d'âge *Albien*.

I. 6.4. Le Crétacé supérieur:

Est constitué de la succession litho stratigraphique suivante :

1. Des *marnes* et des *marno-calcaires* du *Cénomaniens inférieur et moyen*, qui se termine par des couches très fossilifères ;
2. Des *calcaires* et *dolomies* du *Cénomaniens supérieur* et du *Turonien basal*, à la base et au sommet desquels s'observent des couches à *silex* ;



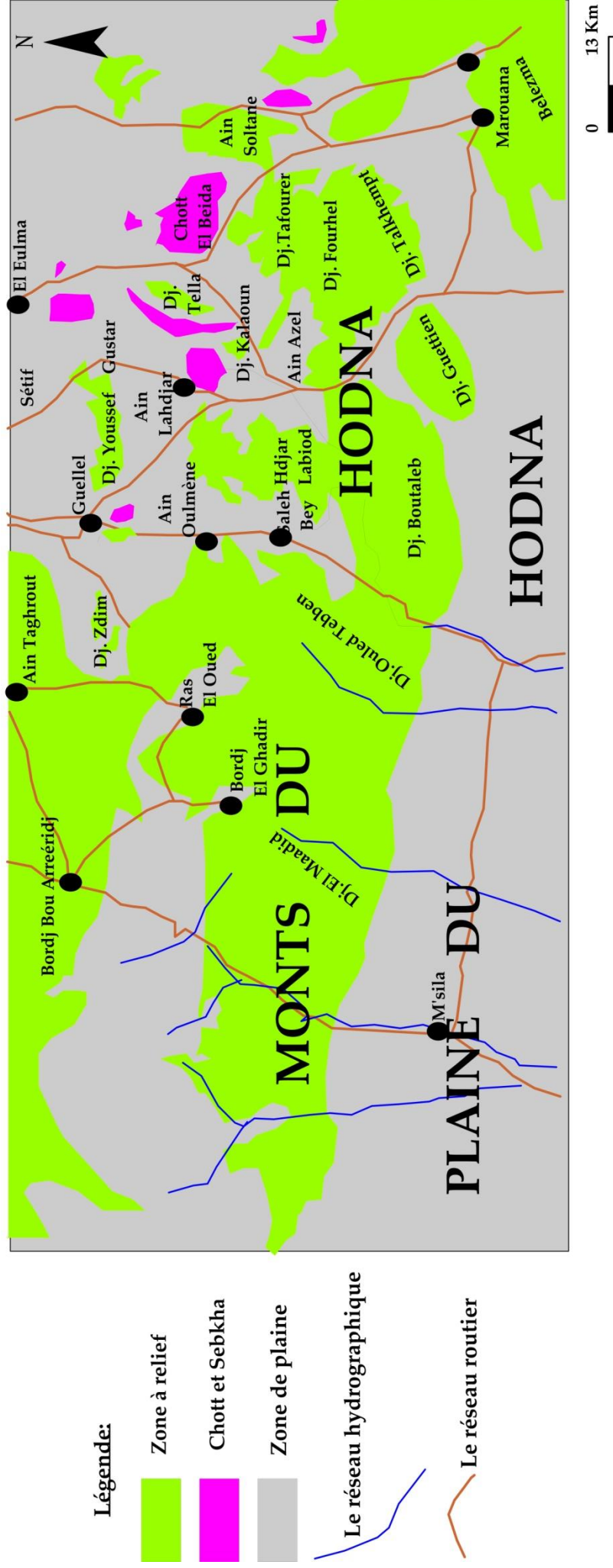


Fig. I.7 . Les principaux massifs du Hodna .



Contexte géologique, métallogénique et hydrogéologique du gisement de Sn de Chatter-El-Camra à Aïn Azel, Wilaya de Sétif, le Nord oriental Algérien



I. Contexte géologique

3. Des *marnes* et *marno-calcaires* à *Globotruncana Helvetica* (*Turonien inférieur à moyen*) ;
4. Des *marnes* à *Rudistes* du *Turonien supérieur* ;
5. Des *marnes* et *marno-calcaires* du *Sénonien* avec intercalation de *calcaires* à *Inocérâmes* ;
6. Des *calcaires* à *laffittéines* du *Maestrichtien*.

I.6.5. L'Eocène:

Est représenté par des faciès *calcaires* ou *marno-calcaires* à *silex* se terminant par des séries lagunaires ou parfois continentales (*argilites rouges* et *poudingues*).

I.6.6. Le Miocène:

Représenté le plus souvent de formations continentales et lagunaires, est composé de *conglomérats*, *grès*, *marnes* et *argiles rouges*.

I. 6.7. Le Pliocène:

Généralement concordant sur le *Miocène*, est constitué de formations *détritiques*, *marneuses* et *conglomératiques*.

I.6.8. Le Quaternaire:

Est composé de formations continentales peu épaisses.

I. 7. Le contexte structural global:

Les principales structures observées dans les monts du Hodna; d'après *Guiraud (1971)*; sont les suivantes:

I.7.1. Les plis:

Tous les plis sont dissymétriques avec tendance (souvent réalisée) au déversement méridional (*Savornin, 1920*).

Sur l'ensemble de la zone considérée, on observe plusieurs directions de plissement plus ou moins obliques par de très nombreuses cassures.

La direction tellienne d'orientation E-W à ENE- WSW généralement déversée vers le sud.

I. 7.2. Les cassures:

La région du Hodna est le siège d'une fracturation très intense qui peut affecter toute la couverture post- triasique (sauf le quaternaire). Il est fréquent d'observer des alignements de failles, de décrochement et d'injection triasiques pouvant présenter des âges différents et relayés par des flexures ou des plis de directions aberrantes.

I.7.3. Le diapirisme du trias:

Les affleurements triasiques se localisent en grande majorité sur les accidents qu'il jalonnent. La montée du matériel triasique a pour origine probablement la distension Est-Ouest qui accompagne la compression de direction sensiblement Nord-Sud.

I. Contexte géologique

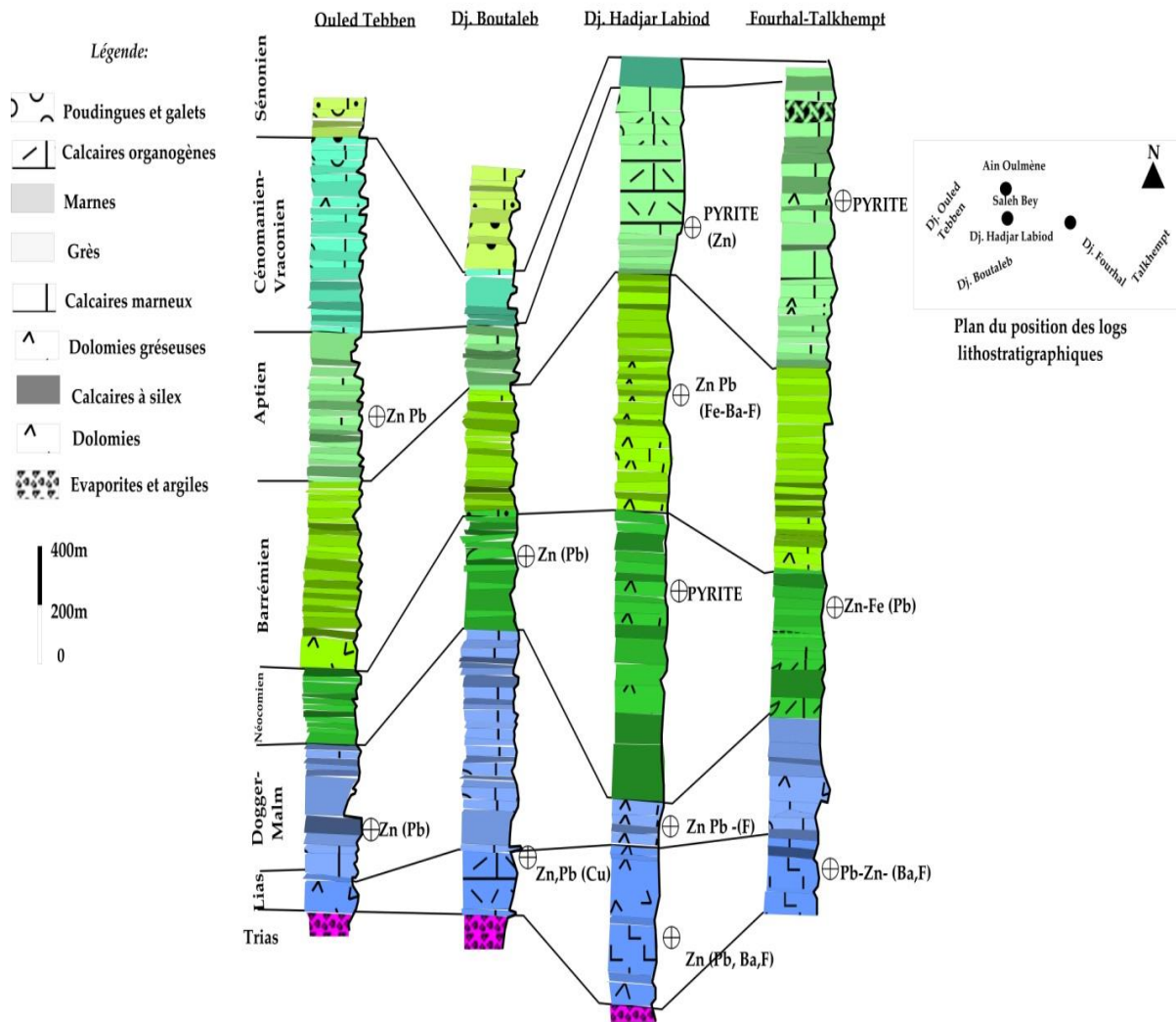


Fig. I.8. Colonnes lithostratigraphiques synthétiques comparatifs des Monts du Hodna
(Compilation faite par Boutaleb, 2001 à partir des travaux de Glaçon, 1967; Guiraud, 1973; Vila, 1980).

La simple observation des colonnes lithostratigraphiques synthétiques de la Fig. I.8 montre que les formations géologiques de même âge n'ont pas la même épaisseur, ainsi le Néocomien du Dj. Ouled Tebben présente une faible épaisseur. Parfois une même période géologique ne présente pas de minéralisation, cas du Barrémien stérile dans les Djebels autre que celui du Dj. Hadjar Labiod qui présente une minéralisation Plombo-zincifère.



I. Contexte géologique

I. 7.4. Les phases tectoniques:

Guiraud (1973) note les effets de deux phases tectoniques principales:

I.7.4.1. La phase atlasique:

Cette phase est responsable du plissement du domaine atlasique et par la même du domaine Hodnéen. Elle correspond à la phase tectonique tangentielle priabonienne à vergence sud (J.M. Vila, 1980).

I.7.4.2. La phase Mio-pliocène:

Cette phase correspond à la phase *Tortonienne* à vergence Sud; d'après J.M. Vila (1980); qui est responsable à l'empilement des lames en séries de l'ensemble allochtone Sud-Sétifien.

En résumé, le contexte structural du bassin Hodnéen est caractérisé par la superposition de directions telliennes (E-W et ENE-WSW) et atlasiques (NE-SW) avec un emboutissage de plis sous le chevauchement de l'allochtone Sud-Sétifien sur l'autochtone hodnéen (Vila, 1980).

Les différentes séries sédimentaires sur cette transversale se sont succédées en parfaite concordance et dans un contexte d'activité synsédimentaire (Guiraud, 1973; Bureau, 1986 et Talbi, 1993).

I. 8. La paléogéographie:

Les terrains les plus anciens connus à l'affleurement dans la région sont les formations chaotiques du complexe triasique et ne permettent pas de reconstituer l'histoire géologique antétriasique du Hodna (Guiraud, 1973).

I.8.1. La période triasique:

Le Trias débute par des séries détritiques rouges (Guiraud, 1973; Vila, 1980) et se poursuit par des niveaux évaporitiques puis par des carbonates.

Après une période continentale correspondant au *Trias inférieur*, une mer peu profonde provenant de l'Est envahit le Hodna à partir du *Trias moyen* entraînant le dépôt d'évaporites et de roches carbonatées. Les épaisses formations évaporitiques constituant le *Trias* joueront par la suite un rôle tectonique très important en permettant, en raison de leur plasticité, le décollement de la couverture post-triasique.

I.8.2. La période post-triasique:

Après une épisode lagunaire généralisé, au cours duquel se déposent les évaporites du Keuper (Guiraud, 1973), le domaine Hodnéen a été envahi par la mer au Rhétien.

Le *Lias inférieur-moyen* correspond à un milieu marin épicontinental alors que le *lias supérieur* se termine par une émergence généralisée marquée par des mouvements épirogéniques anti-toarcien (Glaçon, 1967; Guiraud, 1973).

Le *Dogger* voit une influence marine s'accentuer avec d'importantes influences de mer ouverte tout en restant un milieu peu profond marqué par la sédimentation de calcaires à filaments, calcaires à silex et des marnes témoignant d'une couverture du milieu plus importante que celle du *Lias*.

I. Contexte géologique

Le *Malm* et le *Berriasien* sont représentés par une formation marno-calcaire à la base et calcaro-marneuse au sommet. Cette sédimentation traduit l'instabilité d'un milieu à influence pélagique (Guiraud, 1973; Vila, 1980).

Une sédimentation détritique argilo-gréseuse s'opère entre le *Berriasien moyen* et le Lias inférieur et moyen, correspond à un milieu marin épicontinental, alors que le lias supérieur se termine par une base du Valanginien envahissant le Hodna et prenant un caractère deltaïque qui marque la fin de la sédimentation carbonatée.

Après cette sédimentation argilo-gréseuse et qui témoigne un milieu à apports détritiques importants du continent saharien, il s'établit à nouveau un régime de plate forme continentale sur laquelle se déposent en alternance des grès, des argiles, des marnes, des calcaires et des dolomies. Cette plate forme soumise à des influences marines et deltaïques va se caractériser par les dépôts assez monotones (Glaçon, 1963; Guiraud, 1973).

On assistera en particulier pendant une période correspondant approximativement à l'Hautérvien, à la formation de grosses barres dolomitiques alternant avec d'épais horizons gréseux.

Le *Barrémien* se caractérise par une sédimentation alternante (Calcaire, marnes, grès); à partir du *Barrémien supérieur* s'amorce une transgression qui devient très importante à l'Aptien et qui recouvre l'ensemble du domaine saharien.

Une phase régressive a eu lieu au *Gargasien* et sera suivie par une nouvelle transgression à l'*Albien* qui se traduit par des dépôts marno-calcaires à ammonites. Cette transgression est suivie par une régression marine durant le *Vraconien* témoignée par le retour à une sédimentation carbonatée. La période du Crétacé supérieur au Paléocène sera marqué par un important épisode régressif.

Enfin, une transgression s'amorce au *Burdigalien* et est caractérisée par un calme tectonogénique. La phase fini-pliocène, qui s'accompagne du comblement des derniers bassins marin ou lacustres donne l'essentiel des paysages actuels.

I. Contexte géologique

I. 9. La stratigraphie du gisement:

Elle est caractérisée principalement par les dépôts du Crétacé, dont l'*Hauterivien* présente le plus grand intérêt, car il renferme la minéralisation.

La carte géologique de ce secteur a été levée par l'E.R.E.M (1990) (Fig. I.9. et Fig. I.10, modifiée).

I. 9.1. Valangénien (V) [épaisseur: 150 à 220m]:

Les dépôts du Valangénien (stériles) affleurent à l'Est de la faille orientale et à l'Ouest du gisement et sont représentés par une alternance d' *aleurolites* grises avec des grès quartzeux gris clair, des dolomies gréseuses et argileuses, des calcaires et des marnes gris-verdâtres.

I.9.2. Hauterivien (H) [épaisseur: 150 à 200m]: :

La minéralisation zincifère d'intérêt industriel est localisée dans la partie inférieure de l'Hauterivien, dont la puissance varie de 100 à 150 m. Cet étage est subdivisée en deux (02) niveaux :

I.9.2.1. Hauterivien inférieur (H1) :

Ce niveau, d'une puissance totale variant de 70 à 120 m, est à son tour divisé en trois (03) termes :

1. **H1-a** : Composé de *dolomies grises* massives, à grains fins, parfois *gréseuses*, souvent à petites inclusions et nodules, de couleur blanchâtre, et parfois de *calcarénites* noires dans la partie supérieur de 2 à 5 m du toit ; ce terme est discontinu et son épaisseur est de 1 à 2 m.
2. **H1-b** : Représenté par une superposition, de bas en haut, de *marnes gris-verdâtres* (0,5 à 2 m), d'*aleurolites* gris-brun (2 à 5 m), de *dolomies grises* (2 à 10 m), de *dolomies gréseuses* (3 à 8 m) et de *marnes bariolées* (5 à 10 m).
3. **H1-c** : Également caractérisé par des *dolomies* à grains fins de couleur brunâtre ou fortement hématitisées (l'hématite est sous forme de nids et de filonnets dans la masse dolomitique).

I.9.2.2. Hauterivien supérieur (H2) :

Ce niveau, d'une puissance globale variant de 80 à 120 m, est subdivisé en cinq (05) termes :

1. **H2-a** : Formé de *grés*, parfois en alternance avec des *argiles*, de *marnes* et *aleurolites* verdâtres, avec toujours à la base de l'alternance un niveau *calcaire* gris-clair, dont une partie, de 1 à 3m d'épaisseur, est *dolomitisée*.
2. **H2-b** : Représenté par des *dolomies massives* à grains fins plus ou moins hématitisées.
3. **H2-c** : Représenté par un *calcaire* gris *argileux* (parfois renfermant des passées *argilo-marneuses* ou *siliceuses*) dont l'épaisseur varie de 10 à 15 m.
4. **H2-d** : Constitué de *dolomies* à grains fins, de couleur gris-brun, souvent argileuses, dont la puissance totale varie de 15 à 20 m.
5. **H2-e** : Caractérisé par une irrégularité de composition et de puissance ; essentiellement représenté par des *calcaires* gris en alternance grossière avec des *marnes* et des *aleurolites* ; dans la partie inférieure de ce terme, les *calcaires* sont remplacés par des *dolomies* recristallisées.

CARTE GEOLOGIQUE GISEMENT DE CHAÂBET-EL-HAMRA

ÉCHELLE: 1/2000

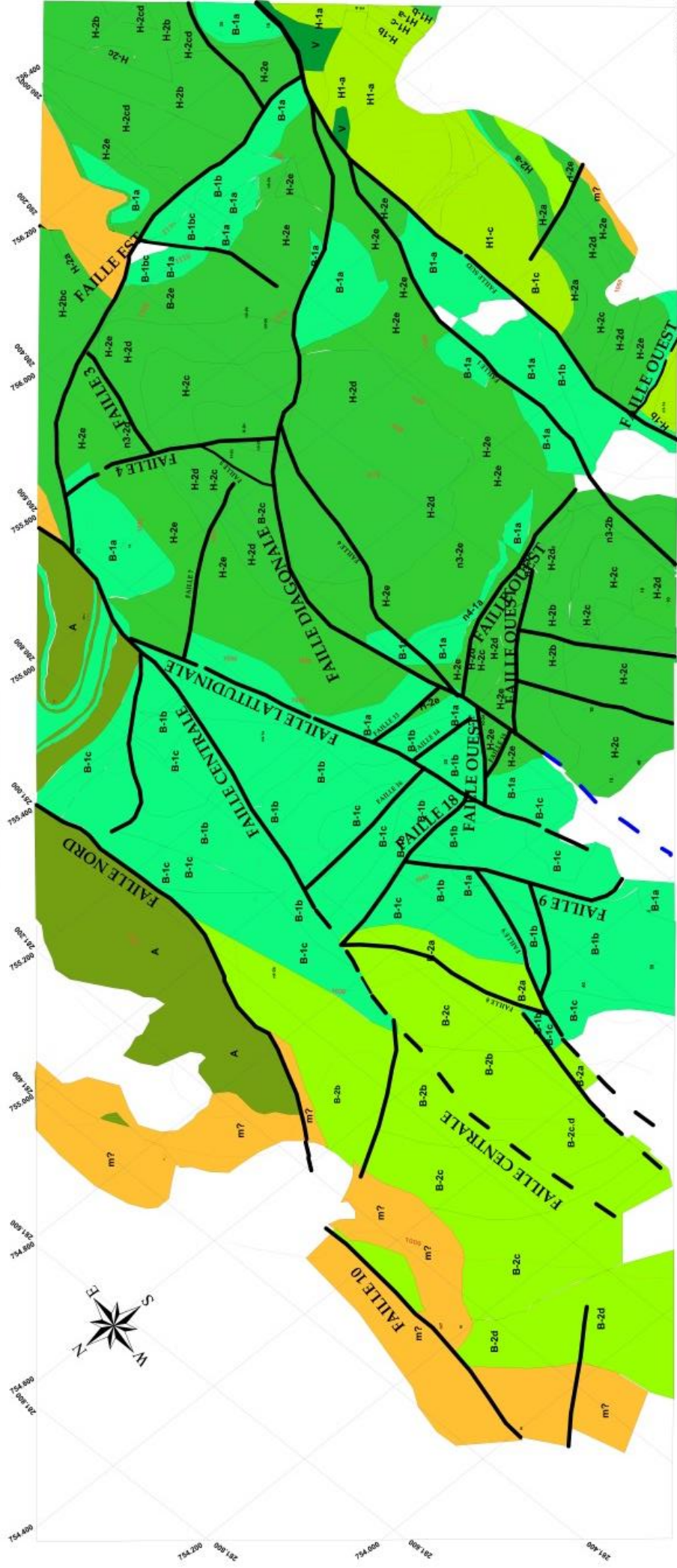


Fig. I. 9. Carte géologique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra (EREM, 1990),
-modifiée-

LEGENDE:

	Quaternaire: Débris des roches en place
	Dolomies, Calcaires, Grès et ciment argileux
	Néogène: Calcaires bioclastiques, Conglomérats foliés avec des dolomies calcaires.
	Aptien supérieur: Alternance de paquets de calcaire gris et de grès calcaires contenant des passés d'aleurolithes.
	Barrémien moyen:
	paquet d: Dolomies gréseuses avec intercalation d'aleurolithes, Grès.
	paquet c: Alternance de Dolomies gréseuses avec Grès.
	paquet b: Alternance d'aleurolithes, grès et Dolomies gréseuses.
	paquet a: Dolomies gréseuses avec des
	Barrémien inférieur:
	paquet c: Dolomies cryptogranulaires.
	paquet b: Alternances de marnes, calcaires, aleurolithes grès, les dolomies sont rares.
	paquet a: Grès avec intercalation de dolomies gréseuses.

	Hauterivien supérieur:
	paquet e: Alternance de marnes, calcaires, aleurolithes, grès, dolomies gréseuses, niveau supérieur de la couche est formé de dolomies,
	le niveau inférieur est formé de calcaires massifs, l'épaisseur des niveaux peut atteindre 5m.
	paquet d: Dolomies grenues massives de couleur grise avec des rares passés de grès.
	paquet c: Alternance de Dolomies, Grès d'aleurolithes.
	paquet b: Dolomies grises massives grenues, parfois cavernueuses avec hématites.
	paquet a: Grès gris, gris brunâtre à brun rougeâtre.
	Hauterivien inférieur:
	paquet c: Dolomies grenues cavernueuses brunes rougeâtre hématitisées. A l'Est, elles sont grises et à l'Ouest, elles sont cavernueuses.
	paquet b: alternance de roches gréseuses de couleur grise claire stratifiées obliques de structures de lamination.
	paquet a: Dolomies grenues massives bitumineuses de couleur grise à gris rosâtre.
	Valangénien: alternance d'aleurolithes, grès avec intercalation de dolomies et quelques calcaires.

Fig. I. 10. Légende de la carte géologique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra (EREM, 1990), modifiée



I. Contexte géologique

I.9.3. Barrémien (B) [épaisseur: 300m] :

Il est développé au Nord-Ouest et au Sud du gisement et il est subdivisé en deux (02) niveaux :

I.9.3.1. Barrémien inférieur (B1) :

Ce niveau est à son tour divisé en **trois (03)** termes :

1. **B1-a** : Formé essentiellement par des *grès* et des *dolomies gréseuses* parfois *argilo-bitumineuses*, avec une fine dissémination de pyrite et de passées de *dolomies* légèrement oxydée ; la puissance de ce terme varie de 40 à 60 m.
2. **B1-b** : Constitué par une alternance de *dolomies marneuses massives*, de *marnes* et de *calcaires marneux* ; sa puissance varie aussi de 40 à 60 m.
3. **B1-c** : Représenté par des *dolomies massives à grain fins*, avec des fissures remplies d'oxydes et de calcite, et une puissance variant de 15 à 20 m.

I.9.3.2. Barrémien supérieur (B2) :

Ce niveau est subdivisé en quatre (04) termes :

1. **B2-a** : Représenté par des *dolomies gréseuses*, massives à grains fins ou moyens, avec souvent des fissures remplies par la calcite et, vers la fin du terme, par la pyrite disséminée ; la puissance de ce terme varie de 20 à 30 m.
2. **B2-b** : Formé de *grès brun*, avec une alternance d'*aleurolites* et d'une *dolomie* très *gréseuse*, et, en fin d'intervalle, un aspect broyé de la roche, la puissance du terme varie de 30 à 40 m.
3. **B2-c** : Constitué d'une alternance de *dolomie gréseuse*, de *grès brun* et d'*argiles verdâtres* (*dolomies* et *grès compacts*, massifs et légèrement hématitisés). Sa puissance varie de 60 à 130 m.
4. **B2-d** : Formé de *dolomies gréseuse* et *argileuse* et de *calcaire brun-violet*, avec des passées d'*argile verdâtre*. Sa puissance est d'environ 60 m.

I.9. 4. Aptien (A):

Les formations aptiennes ont été rencontrées par certains sondages au Nord-ouest du champ minier sous le Miocène et le Quaternaire. Elles sont représentées par une alternance de calcaires gréseux et grès calcaireux avec des passées de calcaires très fins et des grès friables.

II.9.5. Miocène (m):

Le Miocène existe à 1200m d'altitude (*Chouf Bou Arket*) et est discordant sur l'*Hauterivien*. Il est constitué par des brèches à la base, des calcaires blancs, gris et de calcaires gréseux au sommet (*Glaçon, 1967*).

I.9.6. Quaternaire (Q):

Il se résume dans des débris de roches en place sous forme des dolomies, calcaires, grès avec un ciment argileux.

I. Contexte géologique

LA COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU GISEMENT DE ZINC DE CHAABET-EL-HAMRA

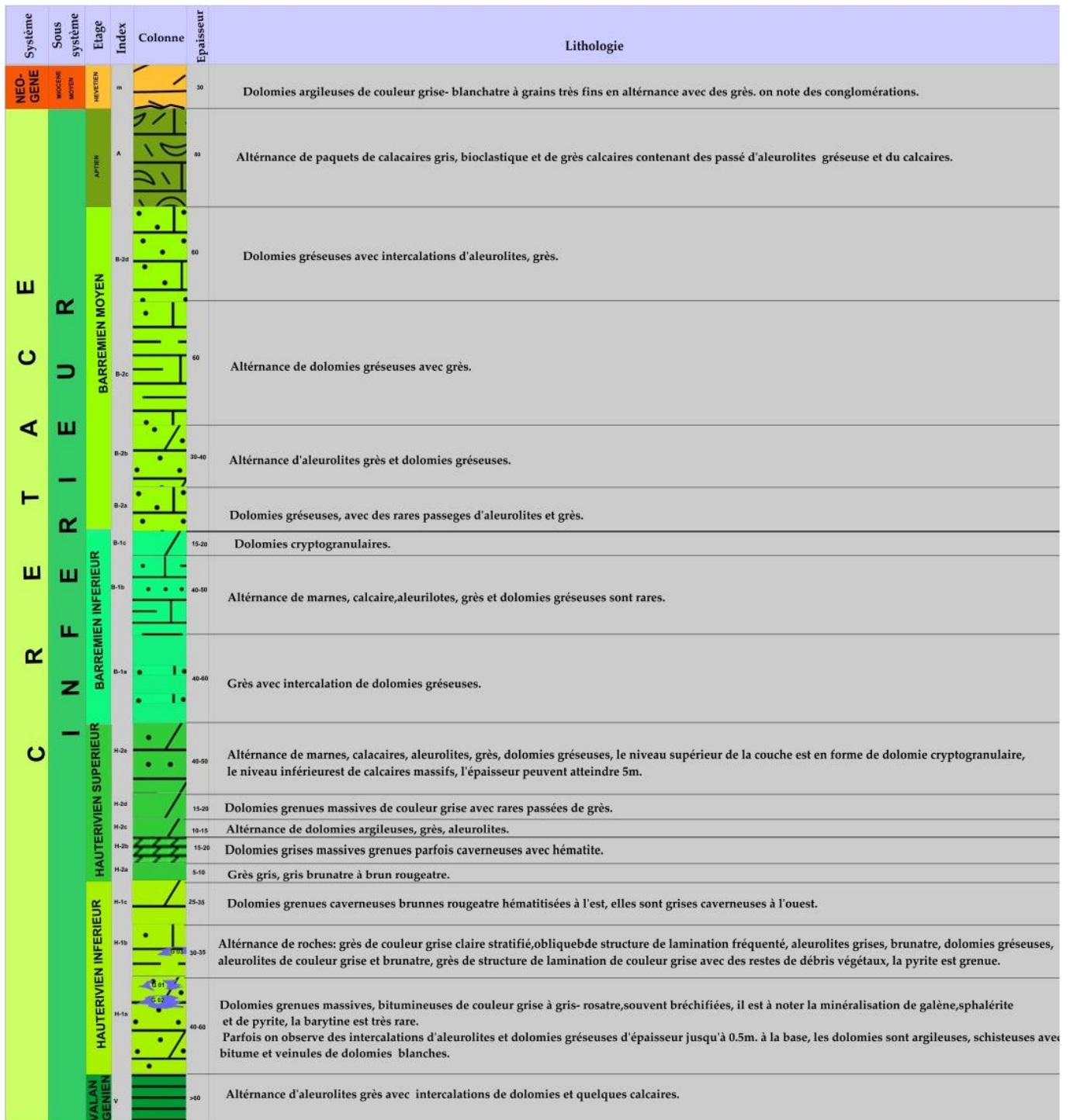


Fig .I.11. La colonne lithostratigraphique du gisement de Chaâbet-El-Hamra (EREM, 1992)

I. Contexte géologique



Photo. I.1. Les grès zonés du Barrémien



Photo. I. 3. Les dolomies de l'Hauterivien supérieur



Photo. I.2. Les dolomies de l'Hauterivien inférieur

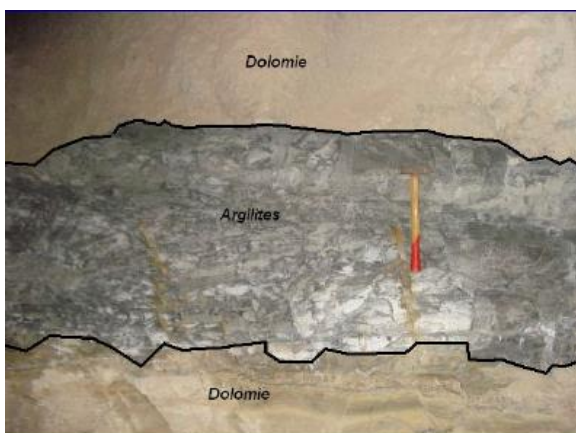


Photo. I. 5. Les argilites du Valangénien

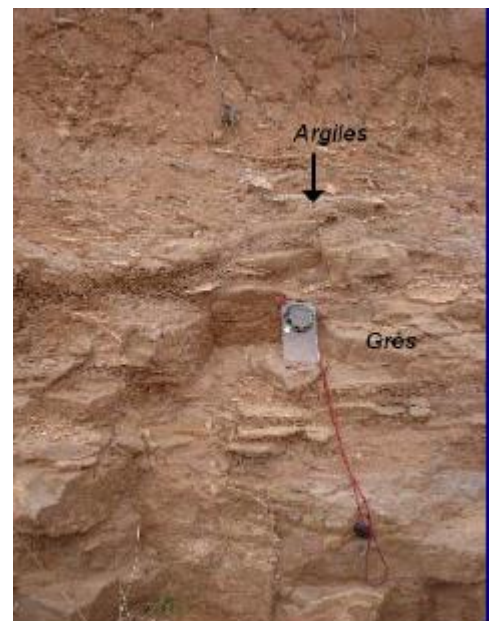


Photo. I. 4. Les grès et les argiles de l'Hauterivien inférieur

I. Contexte géologique

I. 10. Traitement des images satellitaires avec l'ENVI 4.5:

Comme pour la majorité des travaux cartographiques modernes, nous avons utilisé des images satellitaires de type Landsat ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper plus*) ainsi que les cartes géologiques existantes (Feuille 93,143 et 144) .

I.10.1. Présentation du logiciel

L' ENVI est un logiciel commercial complet de visualisation et de traitement d'images issues de la télédétection. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de démixage radiométrique, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles.

L'affichage des images à traiter sera sous trois (03) types, selon le choix:

- Un affichage en niveau de gris;
- Un affichage en fausses couleurs: composition colorée;
- Un affichage en utilisant les rapports de bandes: bandes ratios.

I. 10.1.1. Un affichage en niveau de gris:

Le mode de visualisation pour ce type d'affichage n'affiche qu'une seule bande, et ce niveau varie entre 0 et 255. 0 correspond au *noir* et 255 au *blanc*.

I. 10.1.2. Un affichage en fausse couleurs: composition colorée:

Ce type d'affichage consiste à attribuer des couleurs fictives aux bandes spectrales. L'image résultante est dite composition colorée et se compose de trois (03) couleurs: *Rouge*, *Vert* et *Bleu*.

Par convention, on attribue la couleur *Rouge* à la bande spectrale proche *infrarouge*, la couleur *Verte* à la bande *Rouge*, et la couleur *Bleue* à la bande *Verte*.

D'une manière générale, sur une composition colorée, les sols nus apparaissent dans des teintes *bleu clair*, l'eau dans une teinte *Bleue foncée* ou pratiquement *noire*, la végétation herbacée en *Rouge claire*.

Le tableau I. 1. montre les différentes combinaisons utilisées en fausse couleur et leurs utilités.

I. 10.1.3. Un affichage en utilisant les rapports de bandes: bandes ratios

Cette analyse est basée sur la notion de réflectance, c'est le rapport entre la quantité d'énergie réfléchie par un objet et la quantité d'énergie reçue par le capteur. Cette méthode permet de réduire les effets de la topographie et d'augmenter le contraste entre les surfaces minérales, en pratique il s'agit de définir les bandes (paire) qui entrent dans le calcul des rapports et les introduire dans l'ENVI.

Le calcul d'un rapport de bandes (le rapport de canaux TM correspond à un nouveau canal, dont les valeurs des pixels sont égales au rapport entre les valeurs radiométriques des deux canaux), permet de s'affranchir des variations d'éclairement des pixels, mais aussi de mieux séparer les unités, car les informations complémentaires contenues dans les deux bandes sont prises en compte (Tableau I.1).

I. Contexte géologique

RGB	Descriptions
321	Image en couleur naturelle
432	Combinaison standard en fausses couleurs. La végétation apparaît en rouge.
453	La limite entre terre/eau est très nette. Bon pour l'étude des sols et de la végétation.
742	Combinaison souvent utilisée en géologie. Le sable, le sol et les minéraux montrent une multitude de couleurs. Bon pour étudier les régions désertiques.
753	Combinaison souvent utilisée géologie. Le sable, le sol et les minéraux montrent une multitude de couleurs.
541	Combinaison souvent utilisée en agronomie. La végétation apparaît en vert clair.
754	Très utiles en géologie. Fournit la meilleure pénétration dans l'atmosphère. La végétation apparaît en bleu.
731	Combinaison bonne en géologie. Les roches apparaissent dans une multitude de couleurs.
5/7	Bonne discrimination pour les roches riches en Al-OH
3/1	Bonne discrimination pour les roches ayant subies une altération hydrothermale et pour les oxydes de fer.
1/2, 2/1	Bonne discrimination pour les roches riches en oxydes de fer
3/1, 3/2	Bonne discrimination de la végétation et l'eau
4/1, 4/2	Bonne discrimination de la végétation et l'eau
3/4	Utilisé pour étudier les terres arides et les régions urbaines
7/5	Bonne discrimination des argiles
5/4	Bonne discrimination des oxydes de fer

Tableau I.1. Exemples des combinaisons et des rapports de bandes utilisés dans le traitement des images satellitaires.

I. Contexte géologique

Plus les exemples montrés au tableau, voici quelques exemples de rapports de bandes utilisés en RVB :

[3 /1, 5/4, 7/5] met l'accent sur la composition des matériaux de surface.

[3/5, 1/5, 5/7] et [5/7, 4/5, 1/3] bon pour la cartographie des serpentines.

[7/3, 5/2, 4/7] permet d'obtenir des informations sur la lithologie des formations.

[5/3, 3/1, 7/5] permet d'obtenir des informations sur la lithologie des formations.

I.10.2. Traitement des images satellitaires

I.10.2.1. Discrimination lithologique:

Dans cette partie et par le test des différents traitements comprenant les compositions colorées et les rapports de bandes ratios appliqués à l'image Landsat 7 ETM+, nous voulons identifier au mieux la localisation géologique de la mine de Chaâbet –El-Hamra dans son environnement géologique.

Les résultats sont à chaque fois comparés et confrontés aux cartes géologiques utilisées (Sétif: 1/50.000 et 1/200.000, Ain Azel: 1/50.000, Ain Lahdjar: 1/50.000).

Cette comparaison nous permettra d'aboutir à une image claire et nette sur la situation réelle de la région d'étude dans son environnement géologique.

Le tableau .I.2 résume les caractéristiques des images satellitaires (en RVB) de différents couleurs dans l'environnement de l'aire d'étude.

Lithologie et type de traitement (RVB)	321	453	731	5/3,3/1,7/5	7/3, 5/2, 4/7
Chott et Sebkha	gris	violet	Bleu turquoise à vert	vert	Bleu foncé
T	marron	Bleu vert	marron	Bleu clair	Jaune-marron
Jd	Gris clair à foncé	vert	marron	rose	jaune
n4H	Noir grisâtre	Vert foncé	marron	Rose foncé	Violet-jaune
n5H	Gris clair à foncé	vert	marron	Bleu turquoise rosâtre	Vert- marron
mH	beige	Vert clair	Marron clair	Bleu turquoise	vert
A	marron	Vert beige à taches rouges	marron	Bleu turquoise à taches rouges	Jaune à tache bleues
Q	Marron à vert foncé	Vert à tache rouge	Marron à taches noires	Rose à taches rouges	Jaune-vert à taches bleues
Qt	marron	vert	marron	Bleu turquoise	Vert- jaune

Tableau .I.2 résume les caractéristiques des images satellitaires (en RVB) de différents couleurs dans l'environnement de l'aire d'étude.

I. Contexte géologique

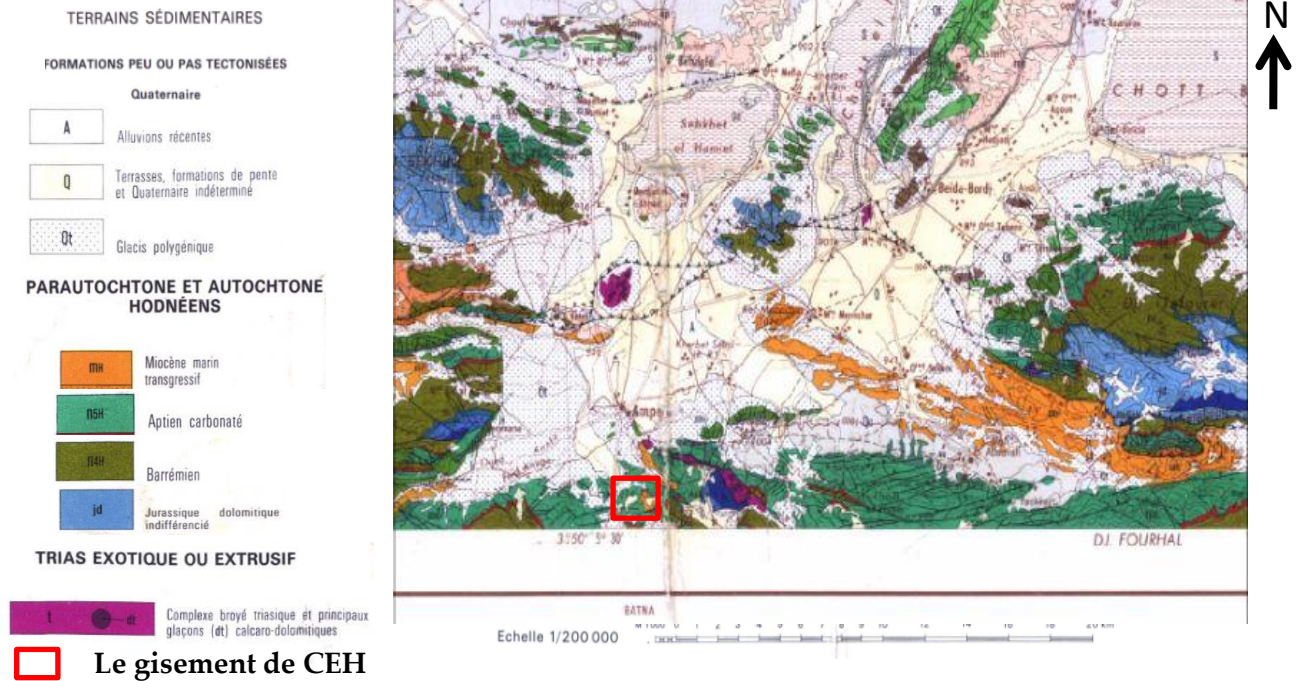


Fig. I.12. Localisation du gisement de Chaâbet-El-Hamra dans son environnement géologique sur un extrait de la carte géologique de Sétif, 1/200.000

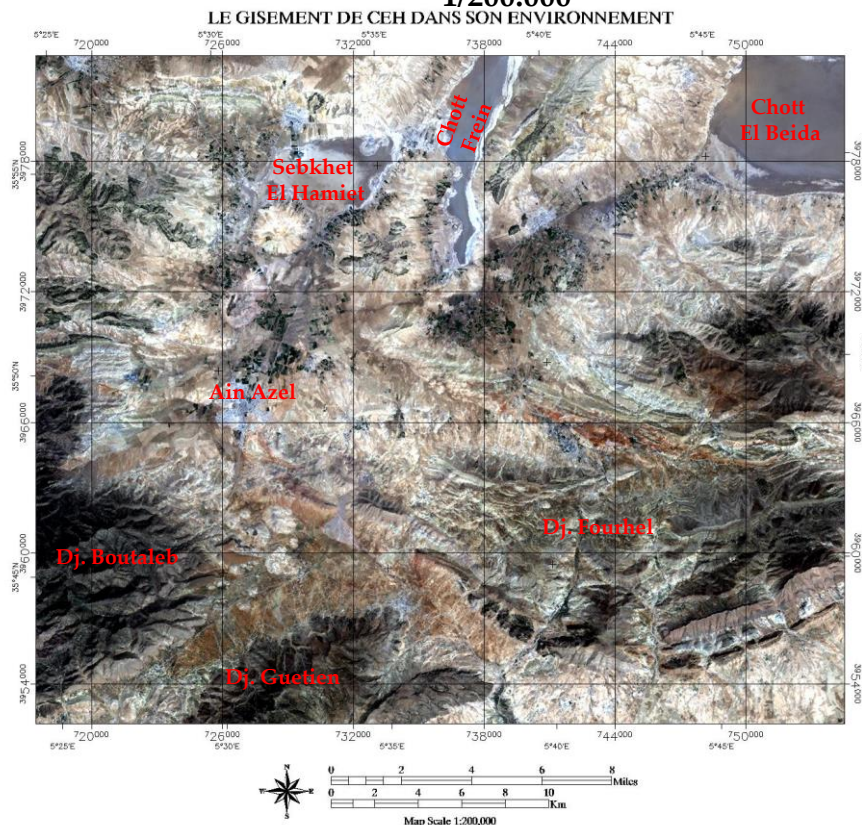


Fig. I. 13. Discrimination lithologique en composition colorée 321

I. Contexte géologique

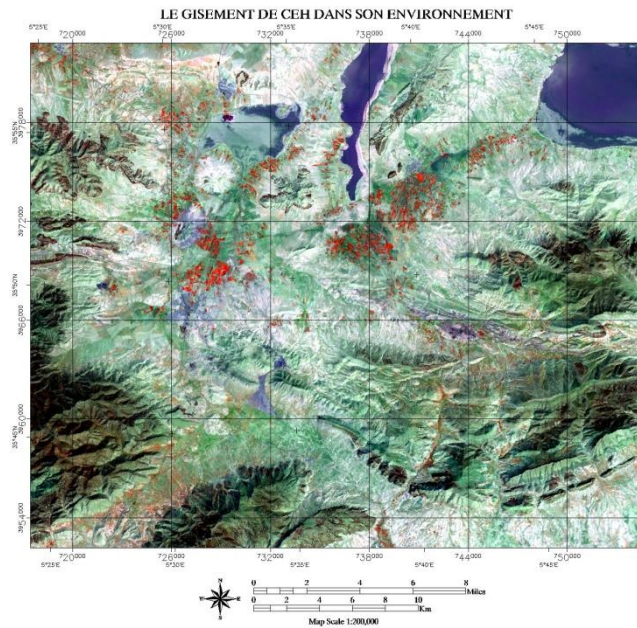


Fig. I. 14. Discrimination lithologique en composition colorée 453

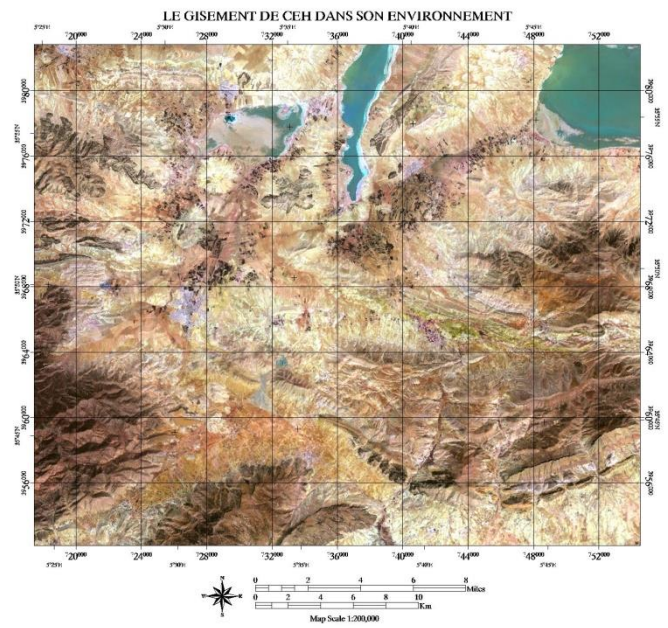


Fig. I. 15. Discrimination lithologique en composition colorée 731

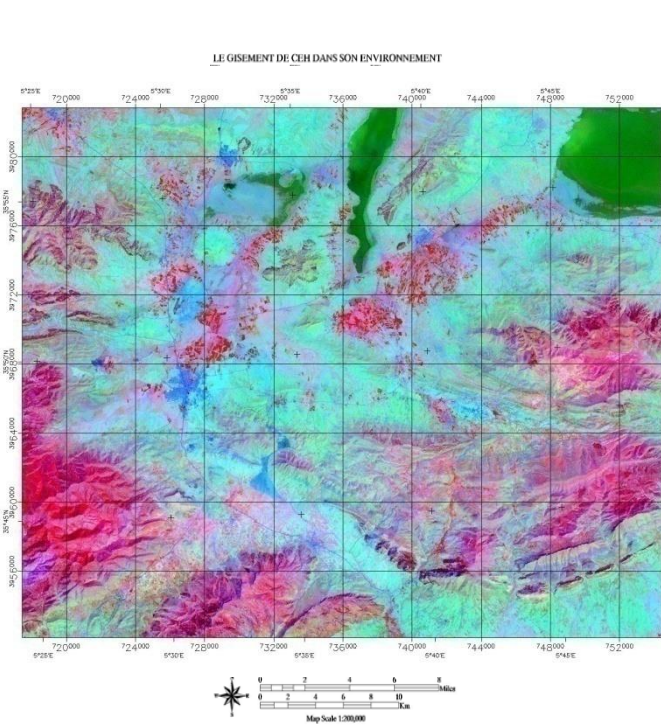


Fig. I. 16. Image RVB obtenue avec les bandes générées en rapport 5/3,3/1,7/5

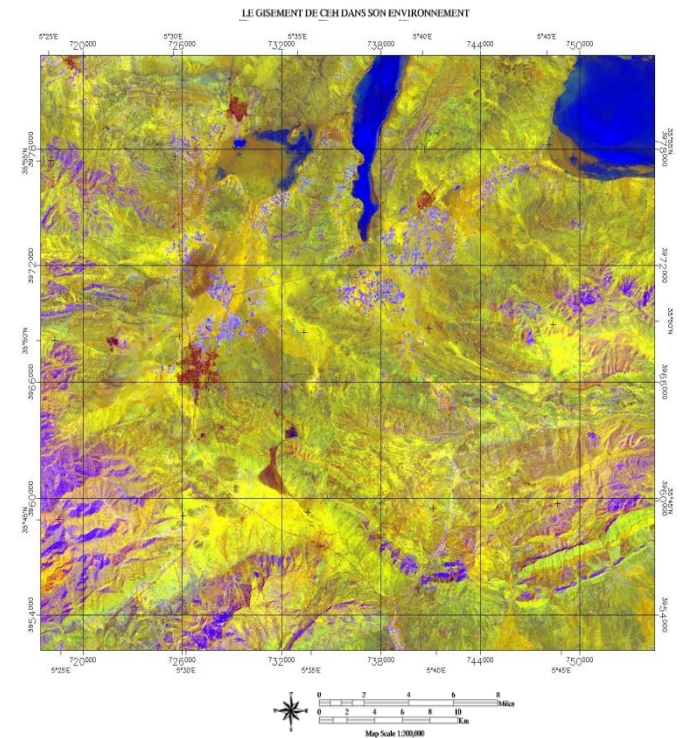


Fig. I. 17. Image RVB obtenue avec les bandes générées en rapport 7/3,5/2,4/7

I. Contexte géologique

I.11. Structure et tectonique du gisement:

Le gisement de *Chaâbet-El-Hamra* est situé dans la partie Sud-Ouest de la terminaison périclinale de la grande structure en horst anticlinal de Rahbet, district de Fourhal.

Selon l'EREM (1992) et d'après le caractère du plissement, le gisement est subdivisé en trois (03) gros blocs: Est, central et Ouest.

I.11.1. Le Bloc Est:

Trois (3) côtés de ce bloc sont limités par des failles (la faille Est en Est, la faille Latitudinale au Nord et Nord-Ouest et les failles Ouest et Sud en Ouest), tandis que le côté Sud est ouvert et se trouve en contact avec les calcaires du *Néogène*.

- Sur le plan structural, le bloc représente un brachyanticlinal et le pendage des flancs du pli est : 10° à 15° NE et 15° à 20° SW.

- Le pli est compliqué par des accidents cassants :

- ❑ **La faille Sud** : de direction latitudinale dans le flanc Sud-Est du brachyanticlinal, c'est une faille normale à rejet vertical de 100 à 120 m avec un pendage au Nord inférieur à $65-75^{\circ}$. Cette faille a soulevé ce bloc. (*Glaçon, 1967*).

- ❑ **La faille Diagonale** : elle s'étend vers le Nord-Est sub-parallèlement au plan axial.

I.11.2. Le bloc Central:

Il a la forme d'un coin, dont l'angle aigu est formé par le raccordement des failles centrale et latitudinale dans la partie Est. La partie opposée du coin s'en va en s'élargissant à l'Ouest du gisement.

- Sur le plan structural, le bloc Central est plus compliqué. Dans son ensemble, le coin représente un Graben à amplitude d'affaissement de 15 à 20 m.

I.11.3. Le Bloc Ouest:

Il est localisé au Nord-Ouest de la faille centrale et se trouve limité par des dislocations cassantes Ouest, Sud et latitudinale.

- ❑ **La faille centrale** : c'est une faille normale qui s'étend de l'extrémité Nord jusqu'à l'extrémité Sud, avec un pendage au Sud-Est inférieur à $70-75^{\circ}$ et un rejet vertical de 10 à 15 m dans sa partie Nord-Est, elle coupe un chevauchement à pente douce.

- ❑ **La faille latitudinale** : c'est une faille normale dérivée de la faille centrale. Elle se prolonge à l'Ouest au-delà du gisement, avec un pendage au Nord de 75 à 80° et un rejet vertical de 10 à 20 m.

- ❑ **La faille Est** : dérivée aussi de la faille centrale, cette faille normale est orientée vers l'Est, de direction subméridienne, avec une amplitude verticale du rejet de 80 m, voire de 100 m suivant le plan de faille, et un pendage Sud-ouest inférieur à $65-70^{\circ}$.

- ❑ **La faille Ouest** : cette faille normale se dégage du dessous du dépôt quaternaire, bordant le flanc Sud-est du brachyanticlinal du bloc Est, et change de direction jusqu'à 300° , se faisant couper par la faille latitudinale ; c'est une faille en escalier formant des plaques, des coins, dans une zone d'environ 70 m de large, et le pendage est à l'Est inférieur à $70-85^{\circ}$ tandis que les rejets verticaux atteignent 10 m.

I. Contexte géologique

La partie inférieure (profil 10-15) est affectée par deux accidents tectoniques majeurs subparallèles de direction Nord-Est/Sud-Ouest à savoir : la faille diagonale et la faille latitudinale. La première est traversée par le profil 13 et a un rejet de 4 mètres avec un pendage d'environ 50 degrés vers le Sud-Est, par contre la faille latitudinale est située entre les profils 15 et 16. Son rejet est de 10 mètres avec un pendage d'environ 60 degrés vers le Nord-Ouest.

I. 12. Diagramme de rosace:

Le secteur d'étude est caractérisé par une tectonique de type cassante représentée par des failles normales qui perturbent sa lithologie.

L'étude de la fracturation, qui affecte la région de Chaâbet El Hamra, faite grâce au relevé de plusieurs directions de failles à partir de la carte de réseaux de failles, déduite de la carte géologique de la zone d'étude (Fig. I. 9), permet la réalisation d'un diagramme de rosace.

Rosace qualitative faite à partir de la carte géologique du gisement

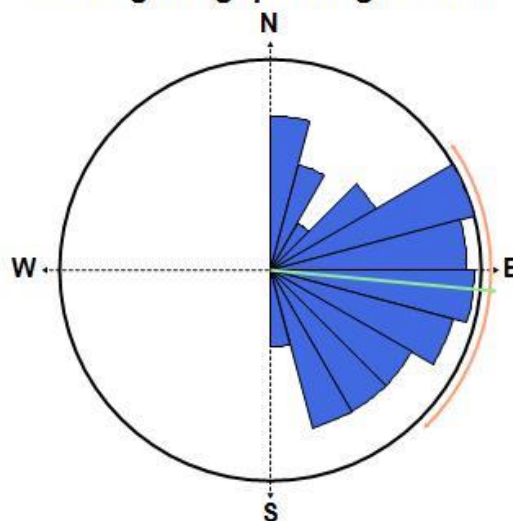


Fig. I. 10. Rosace du gisement de Chaâbet-El-Hamra (Kada. H, 2013).

L'interprétation de la rosace directionnelle montre que les failles s'organisent selon les suivantes directions majeures: la N010, N060, N100, N140.

I. 13. Conclusion:

Le gisement de Chaâbet-El-Hamra ;dans le sud de Sétif; fait partie du domaine para-autochtone et autochtone Hodnéen. Il occupe la partie Ouest de Dj. Fourhal. Il est essentiellement formé par des terrains de Crétacé inférieur recouvert par du Miocène discordant. Il connaît une intense fracturation sous forme des failles normales.

*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

2ème Partie

CONTEXTÉ HYDROGÉOLOGIQUE

*Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie
Géologie appliquée et ressources minérales
Université de Sétif*



II. Contexte hydrogéologique

II. 1. Étude morphométriques du bassin versant:

II. 1. 1. Introduction:

L'étude morphométrique du bassin versant repose sur les mesures et les calculs géométriques des différents paramètres morphométriques (Surface, altitude, pente...).

Ces paramètres obtenus à partir des données topographiques, nous permettent d'avoir une idée sur la forme du bassin versant, son relief, son régime et même l'ordre des cours d'eau.

II. 1. 2. Notion d'un bassin versant:

Un bassin versant ou un bassin hydrologique est un espace géographique dont les apports hydriques naturels sont alimentés exclusivement par les canaux ou en matières solides transportés par l'eau forment, en un point unique dans l'espace, une embouchure ou en un exutoire.

Généralement, un bassin versant est déterminé par sa morphologie, et essentiellement par les lignes des crêtes topographiques et de partage des eaux.

Au sein du même bassin versant, il existe des bassins versants partiels ou cellules unitaires, ce sont des petits bassins versants dans la grande unité.

II. 1. 3. Le bassin versant de la zone d'étude:

La région d'Ain Azel appartient au bassin versant de Sebkhet- El-Hamiet, sous-bassin partition du bassin versant d'EL Eulma référencée sous le code 07/01 par l'ANRH. Cette unité géographique est elle même une entité hydrologique remarquable de l'Algérie orientale, Le bassin versant des Hautes plaines Constantinoises codé 07. (Fig. II. 1.1 , II. 1. 2)

Ce Bassin versant s'étend d'El-Eulma au Nord-Ouest jusqu'au Khenchela au Sud – Est et dispose d'une superficie de 9578m².

II. 1. 4. Les caractéristiques morphométriques:

Sous bassin versant de Sebkhat-El-Hamiet :

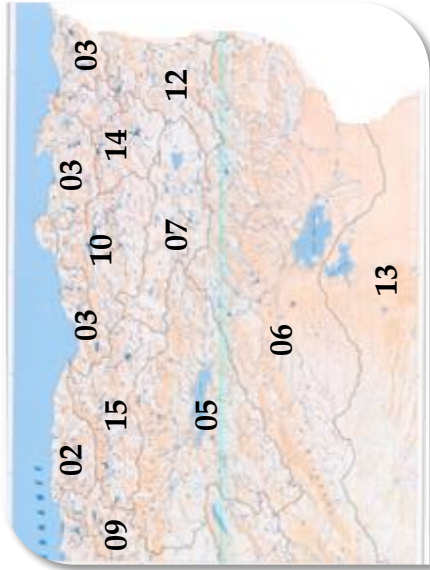
La forme des bassins versants est importante à étudier car elle conditionne directement le temps de réponse du bassin versant aux précipitations, c'est-à-dire la durée du ruissellement de surface et le temps de parcours à travers le réseau de drainage.

II. 1. 4. 1. Indice de compacité ou coefficient de Gravelius:

C'est la forme du bassin versant qui conditionne le temps de la concentration des eaux à l'exutoire de ce dernier. En effet, un bassin versant qui possède une forme allongée ne réagira pas de la même manière qu'un autre qui a une forme plus compacte.

Alors, la forme des bassins versants est exprimée par l'indice de compacité de Gravelius K_c , qui correspond au rapport du périmètre P du bassin (Sous-bassin) à celui d'un cercle ayant la même surface.

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$



- Les sous bassins versants :
- 01 : Chelif
 - 02 : Cotiers Algérois
 - 03 : Cotiers Constantinois
 - 04 : Cotiers Oranais
 - 05 : Chott el Hodna
 - 06 : Chott Melhir
 - 07 : Hauts plateaux Constantinois
 - 08 : Chott ech Chergui
 - 09 : Isser
 - 10 : Kébir Rhumel
 - 11 : Macta
 - 12 : Medjerda
 - 13 : Sahara
 - 14 : Seybouse
 - 15 : Soummam
 - 16 : Tefna

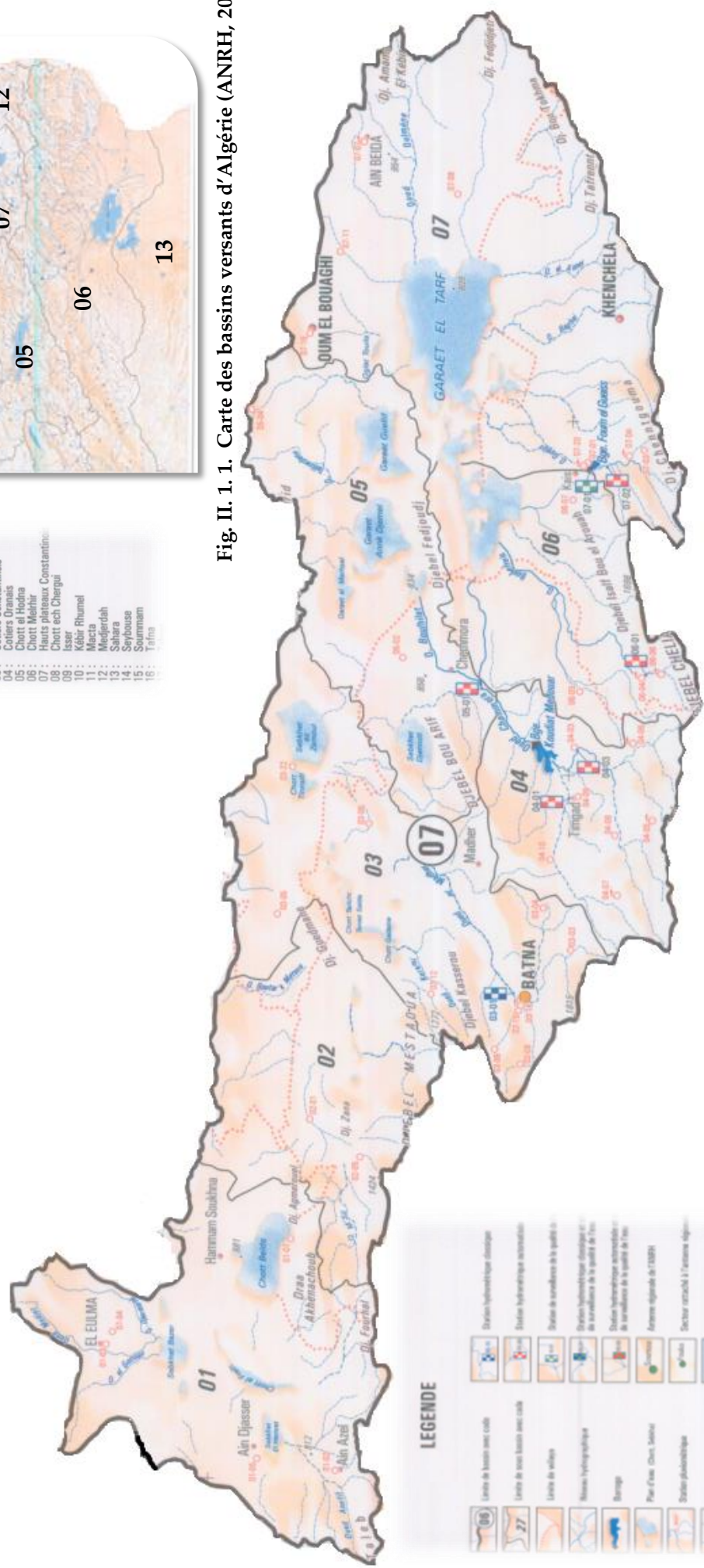


Fig. II.1.1. Carte des bassins versants d'Algérie (ANRH, 2002).



Fig. II.1.2. Les sous bassins versants des hauts plateaux constantinois.

II. Contexte hydrogéologique

Kc: Indice de compacité de Gravelius,

P: Périmètre du sous bassin versant à étudier; (Le périmètre est mesuré à l'aide d'un curvimètre);

A: Superficie du sous bassin versant à étudier; (La surface est un paramètre principal, elle s'obtient par planimétrie sur la carte topographique après le tracé des limite du bassin versant à étudier. Elle s'exprime en Km²).

A (Km ²)	P (Km)	Kc
584, 76	112	1, 29

Tableau. II. 1.1. L'indice de compacité de Gravelius Kc du sous-bassin de la région d'étude.

❖ On remarque que la valeur du Kc (*indice de compacité*) est supérieure à 1,12 ce qui permet de dire que la forme du bassin versant de la région étudiée est allongée.

❖ du point de vue hydrologique, la durée de ruissellement de surface ou le temps de parcours à travers le réseau de drainage sera plus lent par comparaison avec un bassin ramassé

II. 1. 4. 2. Recherche d'un modèle de représentation:

❖ Les dimensions du rectangle équivalent (Rectangle du Gravelius):

Cette notion introduite par L. Roche (1963), permet la simple comparaison des bassins versants entre eux en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Le contour devient un rectangle de même périmètre, les courbes de niveau des droites parallèles au petit coté du rectangle, l'exutoire l'un des petits coté du rectangle appelé "Rectangle équivalent".

Si l'indice de compacité de Gravelius Kc est supérieur ou égal à 1.12 ($Kc \geq 2/\sqrt{\pi}$), les dimensions du rectangle équivalent seront obtenues à l'aide des deux relations suivantes:

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right]$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right]$$

Tel que:

Kc: l'indice de compacité de Gravelius,

A: la superficie du sous- bassin versant à étudier,

L: la longueur du rectangle équivalent,

l: la largeur du rectangle équivalent.

Le tableau (II. 1.2.) qui suit récapitule la simple application numérique des deux relations précédentes:

A (Km ²)	Kc	L (Km)	l (Km)
584, 76	1, 29	41. 6	14. 03

Tableau. II. 1. 2. Les dimensions du rectangle équivalent du sous-bassin de Sebkhas- El- Hamiet.

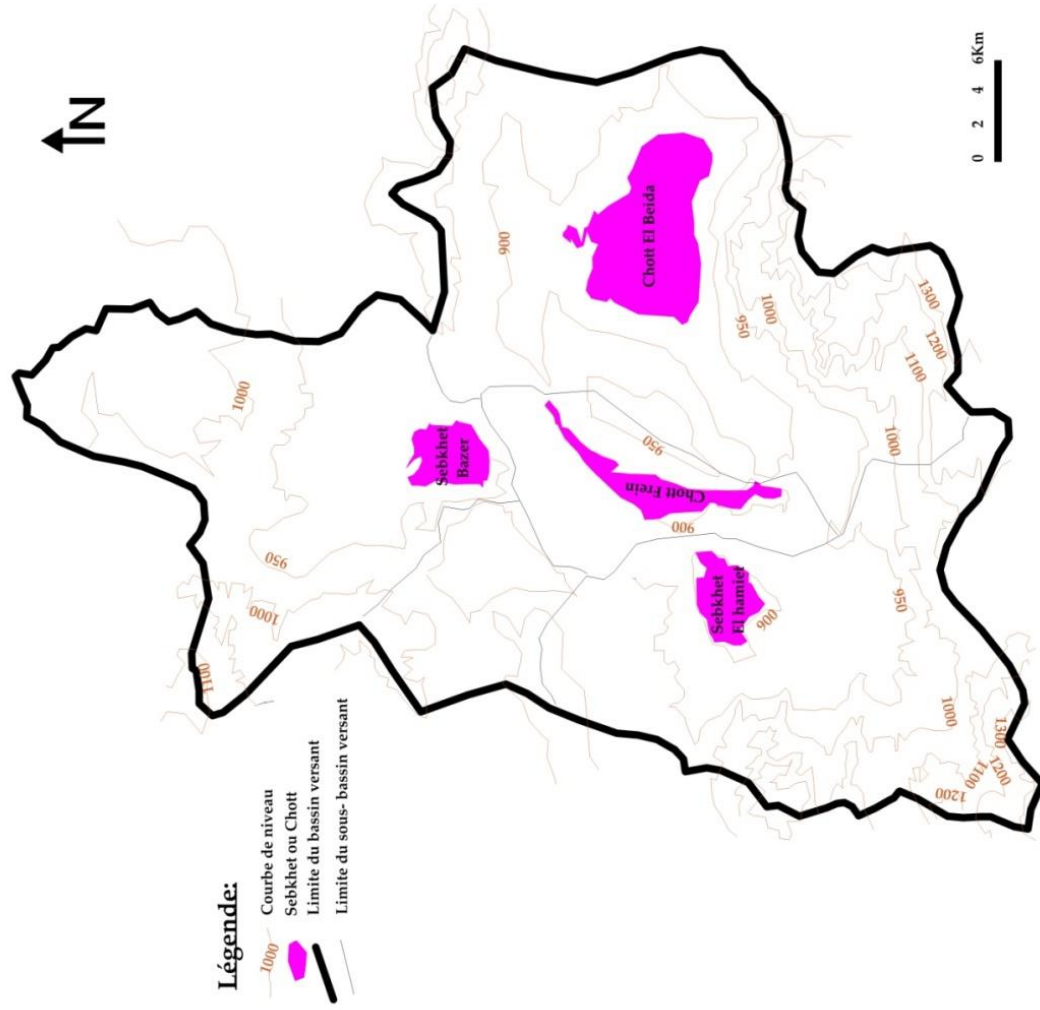


Fig. II. 1. 4. L'orographie du sous- bassin versant de la zone d'étude.



Fig. II.1. 3. Le sous- bassin versant 07-01 (Tiré de la carte des bassins versants, ANRH, 2002).

II. Contexte hydrogéologique

II. 1. 4.3. Caractéristiques des altitudes:

Les variations d'altitudes à l'intérieur de bassin versant jouent un rôle très important dans la répartition spatiale des éléments climatiques et le taux de concentration.

Le portait le plus précis des altitudes est représentée par la courbe hypsométrique. Cette courbe exprime la répartition de la surface du B.V par tranches d'altitudes. Le tableau suivant montre la répartition altimétrique.

Classe d'altitude (m)	Surface partielle (%)	Surface cumulée (%)
1350- 1300	1,87	1,87
1300- 1250	1,87	3,74
1250-1200	2,8	6,54
1200- 1150	2,81	9,35
1150-1100	5,61	14,96
1100-1050	6,55	21,51
1050-1000	10,28	31,79
1000-950	21,5	53,29
950- 900	35,51	88,8
900-850	8,41	97,21
850- 800	1,87	99,08
800 -750	0,92	100

Tableau. II. 1. 3. La répartition des surfaces par tranches d'altitudes.

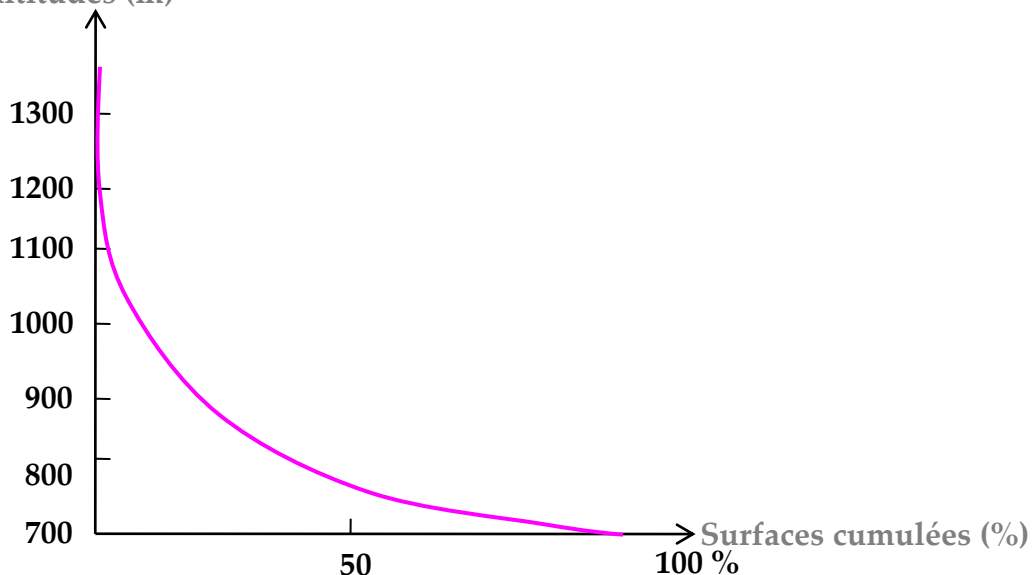


Fig. II. 1.5. La courbe hypsométrique.

II. Contexte hydrogéologique

Alors, la répartition hypsométrique de chaque secteur est plus significative, les tranches les plus dominantes sont celles de 800-850m et 850- 900m, (99, 08% et 97,21% successivement), ce qui implique l'abondance du planitude avec une faible pente, c'est-à-dire un sous-bassin sénile à relief âgé avec quelques buttes.

II. 1.4.4. Altitude médiane H50%:

Elle est déduite directement de la courbe hypsométrique.

H50% = 975m.

II. 1.4.5. Dénivelée simple D:

On définit la dénivelée D comme étant la différence de cote entre H5% et H95%.

H5% = 1225m

H95% = 860m

D = 1225 – 860 = 365m

II. 1.4.6. Indice de pente et relief:

L'effet du relief apparaît dans la vitesse d'écoulement et donc dans le temps de concentration.

Si la pente dans une région donnée est forte, l'écoulement sera rapide, ce qui donne un temps de concentration court.

❖ Indice de pente globale Ig:

L'indice de pente globale est évalué par M. Roche (1963) à partir du rectangle équivalent, facile à calculer et permet une classification de relief selon l'ORSTOM.

- ☐ Classe R1: Relief très faible: $I_g < 0,002\%$
- ☐ Classe R2: Relief faible: $0,002 < I_g < 0,005\%$
- ☐ Classe R3: Relief assez faible: $0,005 < I_g < 0,01\%$
- ☐ Classe R4: Relief modéré: $0,01 < I_g < 0,02\%$
- ☐ Classe R5: Relief assez fort: $0,02 < I_g < 0,05\%$
- ☐ Classe R6: Relief fort: $0,05 < I_g < 0,1\%$
- ☐ Classe R7: Relief très fort: $0,1 < I_g$

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D (m)	L (m)	Ig	Relief
365	41600	0,008	Assez faible

Tableau. II. 1. 4. L'indice de pente globale Ig

II. 1.5. Caractéristiques du réseau hydrographique:

Un réseau hydrographique est l'ensemble des canaux de drainage naturel permanents ou temporaires par où s'écoulent les eaux. Ces eaux proviennent des eaux de ruissellement ou restituées par les eaux souterraines.

Le réseau hydrographique du sous-bassin versant 07- 01 est représenté par une série de cours d'eau intermittents, dont la plupart se perdent dans les formations du quaternaire, au niveau des dépressions fermées, représentées par les Chotts et les Sebkhass indiquant un écoulement de type endoréique.

II. Contexte hydrogéologique

Légende:

- Limites du bassin versant
- Limites des sous-bassins versants
- Réseau hydrographique
- Sebkhet, Chott

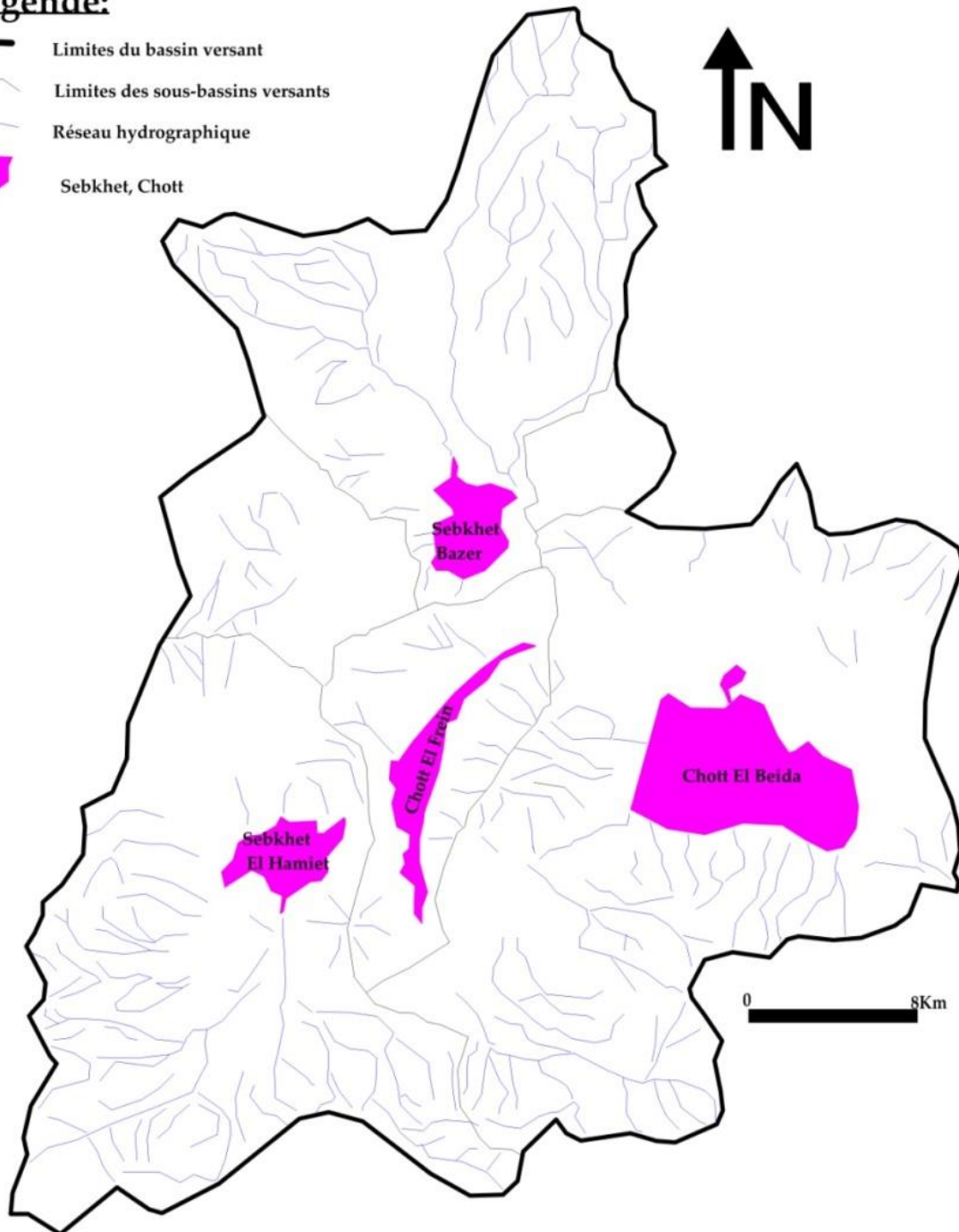


Fig. II. 1. 6. Le réseau hydrographique du sous- bassin versant de la zone d'étude.

II. Contexte hydrogéologique

II. 1.6. Récapitulation des caractéristiques morphométriques:

le tableau II.1.5 sera une récapitulation des différentes caractéristiques du bassin versant de la zone d'étude.

Bassin versant		Hauts plateaux constantinois	
Sous bassin versant		El-Hamiet	
Code		07-01	
Surface A (Km ²)		584,76	
Périmètre P (Km)		112	
L'indice de compacité Kc		1,29	
Rectangle équivalent	Longueur L (Km)	41,6	
	Largeur l (Km)	14,03	
Altitude moyenne H50% (m)		975	
Dénivelée D (m)	H5% (m)	365	1225
	H95% (m)		860
Indice de pente Ig		0,008	
Classification du relief		Relief assez faible	

Tableau. II. 1. 5. Récapitulation des caractéristiques du sous- bassin versant de la zone d'étude.

II. 1. 7. Conclusion:

Le sous-bassin versant de *SEBKHET-EL-HAMIET* couvre une superficie de 584,76Km². Il a une forme allongée (Indice de compacité Kc = 1,29) et un relief assez faible (Ig = 0,008) avec une altitude moyenne de 975m.

La majorité des oueds sont temporaires, prenant naissance dans la partie sud de ce dernier, et ont comme exutoire *SEBKHET-EL-HAMIET*, caractérisant ainsi un écoulement endoréique.

II. Contexte hydrogéologique

II. 2. L'étude hydroclimatique:

II. 2.1. Introduction:

Le trait le plus frappant du climat des hautes plaines Sétifiennes est sans doute la grande variabilité des précipitations P et des températures T liées bien sûr aux irrégularités topographiques et aux opposées de la Méditerranée et du Sahara. Ainsi, les montagnes de l'Atlas Saharien et celles de l'Atlas Tellien protégeant les hautes plaines Sétifiennes respectivement des vents désertiques du Sud et ceux chargés en humidité venant du Nord.

Le climat de la région étudiée est de type semi-aride avec des hivers perturbés, rigoureux et pluvieux et des étés chauds et secs.

II. 2.2. Collecte des données:

Toute étude hydroclimatique nécessite la collecte des données à partir des stations météorologiques les plus proches à la zone d'étude.

Les coordonnées des stations météorologiques visitées sont consignées dans le **tableau II.2.1** suivant:

Station	Code	X	Y	Z
Sétif	15- 06- 12	735. 274	323. 492	1009 m
Ain Azel	07- 01- 02	754.000	287.700	0960 m

Tableau II.2. 1. Coordonnées Lambert des stations.

II.2.3. Données de l'O.N.M:

Les données; recueillies auprès de l'office national météorologique (O.N.M) *Sétif*; sont sous forme des moyennes mensuelles concernant la pluviométrie, températures maximale, moyenne et minimale, l'humidité, vent, évaporation pour les cycles (2000- 2010). -Voir l'annexe-

La station pluviométrique de *Ain Azel* qui se situe pratiquement dans le gisement de *Chaâbet-El-Hamra* à 700 m de la limite Nord-Ouest du gisement, nous ont permis d'avoir les données du cycle (2004- 2011), et la simple recherche sur des mémoires de fin d'étude des années passées nous permet d'avoir plus d'informations sur les précipitations de la région (voir l'annexe), et qui seront donc directement utilisées comparativement avec celles de *Sétif*.

II.2.4. Carte des précipitations moyennes (A.N.R.H 2002):

La nouvelle carte pluviométrique au 1/500.000 et sa notice explicative élaborée par l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) éditée en 2002 sont prises en considération.

Cette nouvelle carte; dont un extrait sur la **figure II.2.1.**; a pour objectif la réactualisation de la carte de *M. Chaumont et C. Paquin* éditée en 1971 (de la série ancienne 1913- 1963); (**Fig. II. 2. 2**).

II. Contexte hydrogéologique

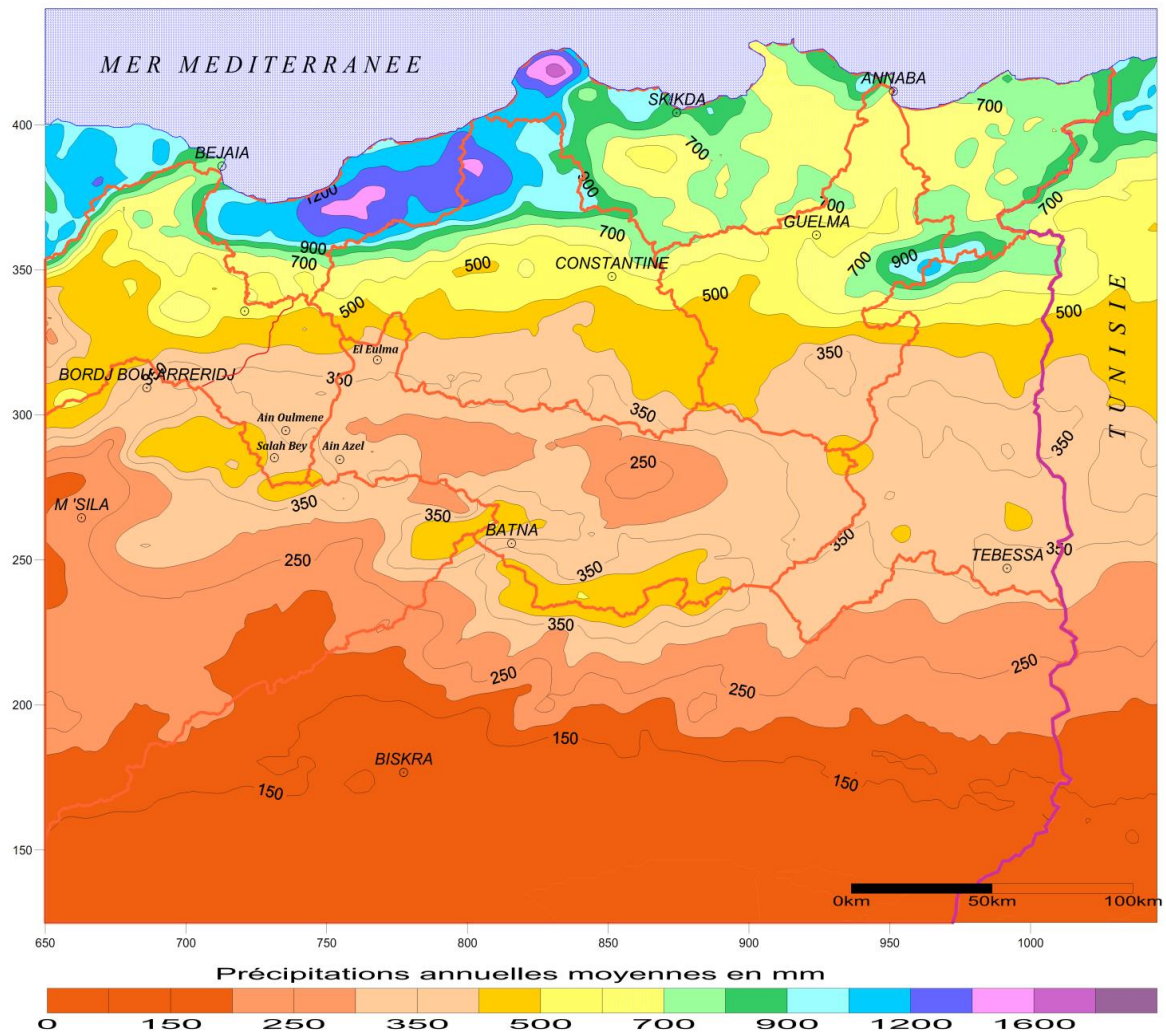


Fig.II.2.1. La carte des précipitations (ANRH, 2002).



Fig.II.2.2. La carte de M. Chaumont et C. Paquin éditée en 1971 (de la série ancienne 1913- 1963); modifiée

II. Contexte hydrogéologique

II. 2. 5. Analyse des données:

Selon les deux précédentes cartes, la moyenne des précipitations de la station de Ain Azel (située à 700m du gisement de Chaâbet-El-Hamra) connaît un notable changement selon la carte de *M. Chaumont et C. Paquin* éditée en 1971 (de la série ancienne 1913- 1963) elle est de 400 à 500mm et chute à 350mm au vue de la nouvelle carte pluviométrique de l'ANRH éditée en 2002.

Ce changement de précipitation peut être dû au changement climatique que subit la terre suite à l'effet de serre.

II.2. 6 . Étude des précipitations de la station de Ain Azel:

La série d'observations sur la précipitation de 1984 à 2011 (Période de 27 ans) de la station de Ain Azel est donnée (Voir le tableau dans l'annexe).

Les données disponibles permettent l'estimation de la quantité de pluie moyenne annuelle reçue par le sous bassin versant.

II. 2.7. Variation des précipitations dans le temps:

II.2. 7.1. Précipitations moyennes mensuelles:

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations sont portées dans le tableau qui suit.

Jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.	Ann
30,72	21,36	31,34	36,88	41,42	19,74	8,06	10,13	35,98	27,82	23,62	32,39	319,44

Tableau. II.2.2. Précipitations moyennes mensuelles
(Station de Ain Azel, période de 1984- 2011) .

Le tableau des précipitations moyennes mensuelles exprimé en histogramme (Fig. II.2.3) montre que la dépression de *Ain Azel* est caractérisée par une saison plus ou moins pluvieuse des mois de *Septembre* à *Mai*.

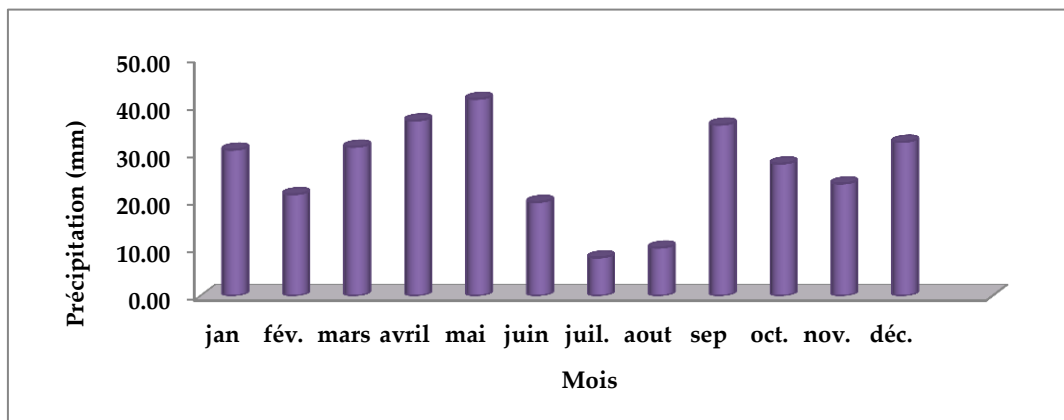


Fig.II.2.3. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles
(Station de Ain Azel, période de 1984- 2011) .

II. Contexte hydrogéologique.

II.2. 7.2. Précipitations moyennes annuelles:

L'histogramme de la figure (Fig. IV. 2) représente les valeurs moyennes annuelles des précipitations issues des précipitations de la station de Ain Azel.

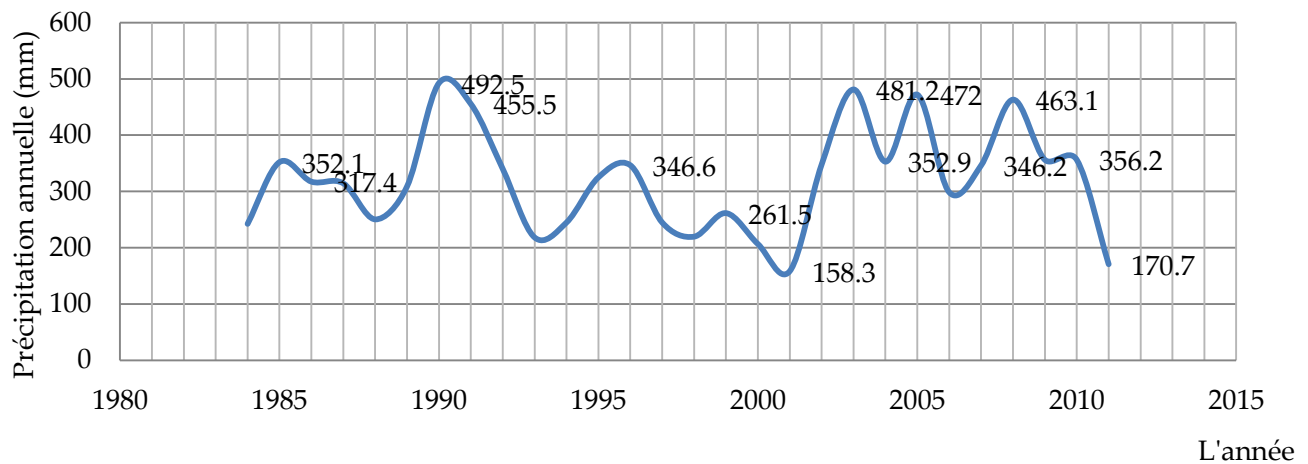


Fig. II.2. 4. Histogramme des précipitations moyennes annuelles (Station de Ain Azel, période de 1984- 2011) .

La simple analyse de l'histogramme montre que l'année 1990 est l'année la plus pluvieuse de la série observée avec 492,5mm, et plus particulièrement les mois d'Avril et Mai (83,6 mm et 101,4 mm respectivement). Ces précipitations représentent presque plus de 2,5 fois les précipitations moyennes de ces deux mois, ceci pourrait avoir une probable relation avec la catastrophe «Inondation de la mine de Kherzet Youcef » du 02 juin 1990.

II.2.8. Variation des précipitations dans l'espace:

(Détermination de la lame d'eau précipitée):

Il existe plusieurs méthodes qui permettent finalement la détermination de la lame d'eau précipitée sur le sous bassin versant à partir des précipitations moyennes annuelles, mesurées au niveau des différentes stations.

II. 2.8.1. Méthode de Thiessen:

Par manque des données, cette méthode ne peut être convenablement appliquée, elle nécessite des stations régulièrement réparties dans le sous bassin versant à étudier.

III. 2.8.2. Méthode de la moyenne arithmétique:

$$P = N^{-1} \sum_{i=1}^N P_i$$

Tel que:

P: la précipitation enregistrée dans la station i;

N: nombre de stations.

II. Contexte hydrogéologique.

❖ Application numérique:

Station	Précipitation pour chaque station (2000-2011)
Sétif	401,44 mm
Ain Azel	334,15 mm

Tableau. II. 2.3. Récapitulation du calcul.

II.2.9. Température de l'air:

Contrairement aux précipitations qui constituent l'apport en eau dans le bilan hydrologique, les températures de l'air jouent un rôle très important dans les pertes par le phénomène de l'évapotranspiration.

Par manque des données des températures de l'air de la région de *Ain Azel*, on ne trouve que les valeurs enregistrées de la station de *Sétif*, seul choix, pour faire le reste du calcul.

II.2.9.1. Variation de la T° de l'air dans le temps:

La distribution des températures moyennes mensuelles est très irrégulière, on note que les mois les plus chauds sont Juin, Juillet et Aout, et les mois les plus froids sont Décembre, Janvier et Février.

Mois	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.
T°	5,1	6,2	9,6	12,2	16,8	22,6	26,5	25,3	20,0	16,0	9,3	5,9

Tableau. II.2. 4. Températures moyennes mensuelles
(Station de Sétif, période 2000-2011).

La figure suivante (Fig. II.2.5) représente le graphe $T^{\circ} = f(t)$ de la station de *Sétif*.

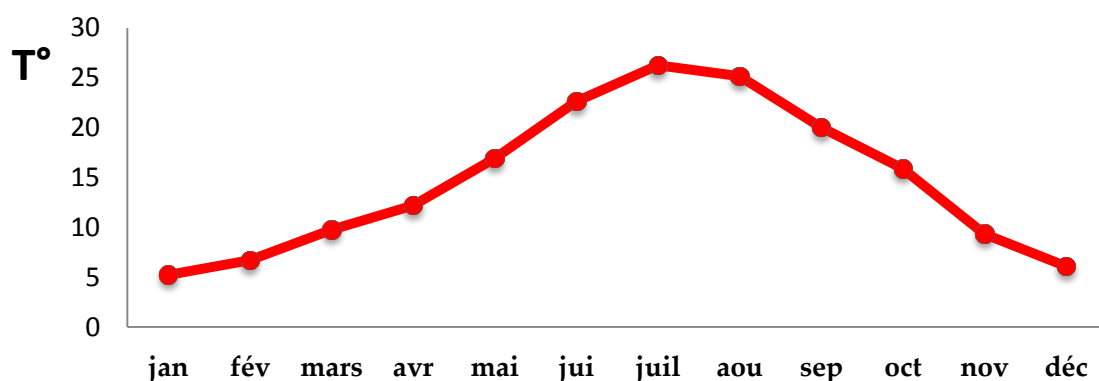


Fig. II.2. 5. Les températures moyennes mensuelles
(Station de Sétif, période de 2000- 2011) .

II. Contexte hydrogéologique

II.2.9.2. Courbe ombrothermique:

Gaussen et *Bagnouls* considèrent un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures ou égales au double de la précipitation mensuelle moyenne.

$$\text{Un mois sec} \longrightarrow P \leq 2T$$

	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.
P (mm)°	33	23	33	46	45	25	5	12	46	31	28	38
T °	5,1	6,2	9,6	12,2	16,8	22,6	26,5	25,3	20,0	16,0	9,3	5,9

Tableau. II.2. 5. Températures et précipitations moyennes mensuelles

(Température: Station de Sétif, période 2000-2011).

(Précipitation: Station de Ain Azel, période 2000-2011).

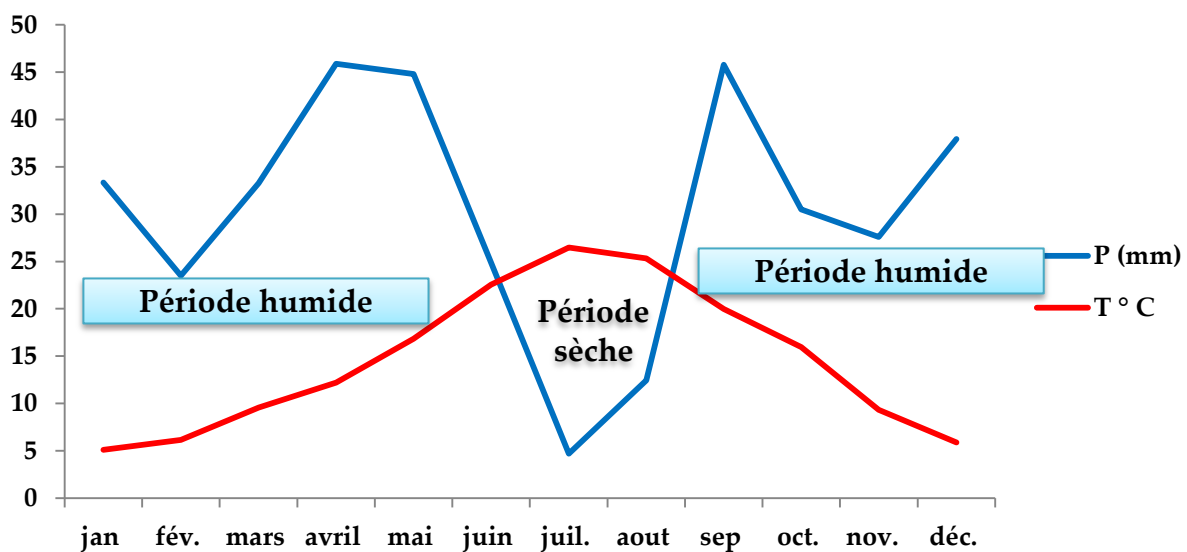


Fig. II.2. 6. Courbe ombrothermique.

❖ Selon la figure précédente (Fig. II. 2.6), la période de sècheresse s'étend sur trois (03) mois, débutant au mois de *Juin* et s'achevant à *Aout*.

❖ En outre, on remarque que malgré une pluviométrie relativement importante qui s'amorce aux mois de *Septembre* et *Octobre*, les températures T° élevées au cours de ces mois les situent parmi les mois secs.

II. Contexte hydrogéologique

II.2.10. L'indice climatique:

Le géographe *De- Martonne* a défini un indice d'aridité « A » qui tient compte des précipitations p et des températures T°.

Cet indice est calculé par la formule suivante:

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

- A: l'indice d'aridité;
- P: précipitations annuelles moyennes;
- T: température moyenne annuelle.

Pour la station de *Ain Azel*, « A » calculé est égale à 14. 82.

Selon *De- Martonne*, les valeurs comprises entre 10 et 20 caractérisent un milieu semi-aride.

II. 2.11. Le bilan hydrique:

Le but ultime d'une étude de ressources hydriques d'un sous bassin versant est l'établissement de son bilan hydrologique pour une années moyenne.

L'équation du bilan s'écrit comme suit:

$$P = E + R + I$$

- P: la hauteur de la lame d'eau précipitée en mm
- E: l'évapotranspiration en mm
- R: le ruissellement en mm
- I: l'infiltration

II.2.11. 1. L'Évapotranspiration:

L'évapotranspiration est un terme issu de deux concept différents (évaporation et transpiration) et désigne les pertes en eau par retour dans l'atmosphère.

- ❑ **Évaporation:** constitue les pertes en eau subie par les surfaces d'eau libre.
- ❑ **Transpiration:** due à l'utilisation de l'eau par les plantes et son rejet sous forme vapeur dans l'atmosphère.

II. 2.11.2. Évaluation de l'E.T.R:

L'ETR annuelle moyenne peut être déterminée in situ par *évaporomètre* ou par des formules empiriques et abaqués.

II.2.11.2.1. Formule de L. Turc:

$$E.T.R = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

- P: Précipitation annuelle moyenne en mm
- T: Température annuelle moyenne en °C
- $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

II. Contexte hydrogéologique

Station	P (mm)	T° C	L	ETR (mm)	ETR (%)
Ain Azel	365	14. 62	821,74	348,44	95,46

Tableau. II.2.6. Calcul de l'E.T.R annuelle selon la formule de L. Turc.

II.2.11.2.2. Formule de Coutagne:

Cette formule fait intervenir deux paramètres: précipitation P et température T.

$$D = P - \lambda P^2$$

Avec:

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

et cette formule ne sera valable qu'après la vérification de la condition suivante: $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$

Où:

- D: déficit d'écoulement en mm par an
- P: précipitation moyenne annuelle en mm
- T: température moyenne annuelle en °C
- λ: paramètre dépendant de la température.

❖ Application numérique:

T°	λ	1/8λ	1/2λ	P (m)
14.62	0.35	0.356	1.42	0.365

Tableau. II. 2.7. Vérification de la condition.

- La condition n'est pas vérifiée ce qui implique que la valeur de l'ETR ne peut pas être calculée par cette formule.
- Apparemment, la *formule de Coutagne* n'est pas justifiée en zone semi-aride.

II.2.11.2.3. Détermination de l'ETR avec l'abaque de Wundt:

L'évapotranspiration réelle peut être évaluée à partir de l'abaque de *Wundt (modifié par Coutagne)*; donnant le déficit d'écoulement moyen annuel en fonction de la température T° et la précipitation moyenne annuelle .

La valeur obtenue à la station de *Ain Azel* est égale à **350mm**.

II. Contexte hydrogéologique

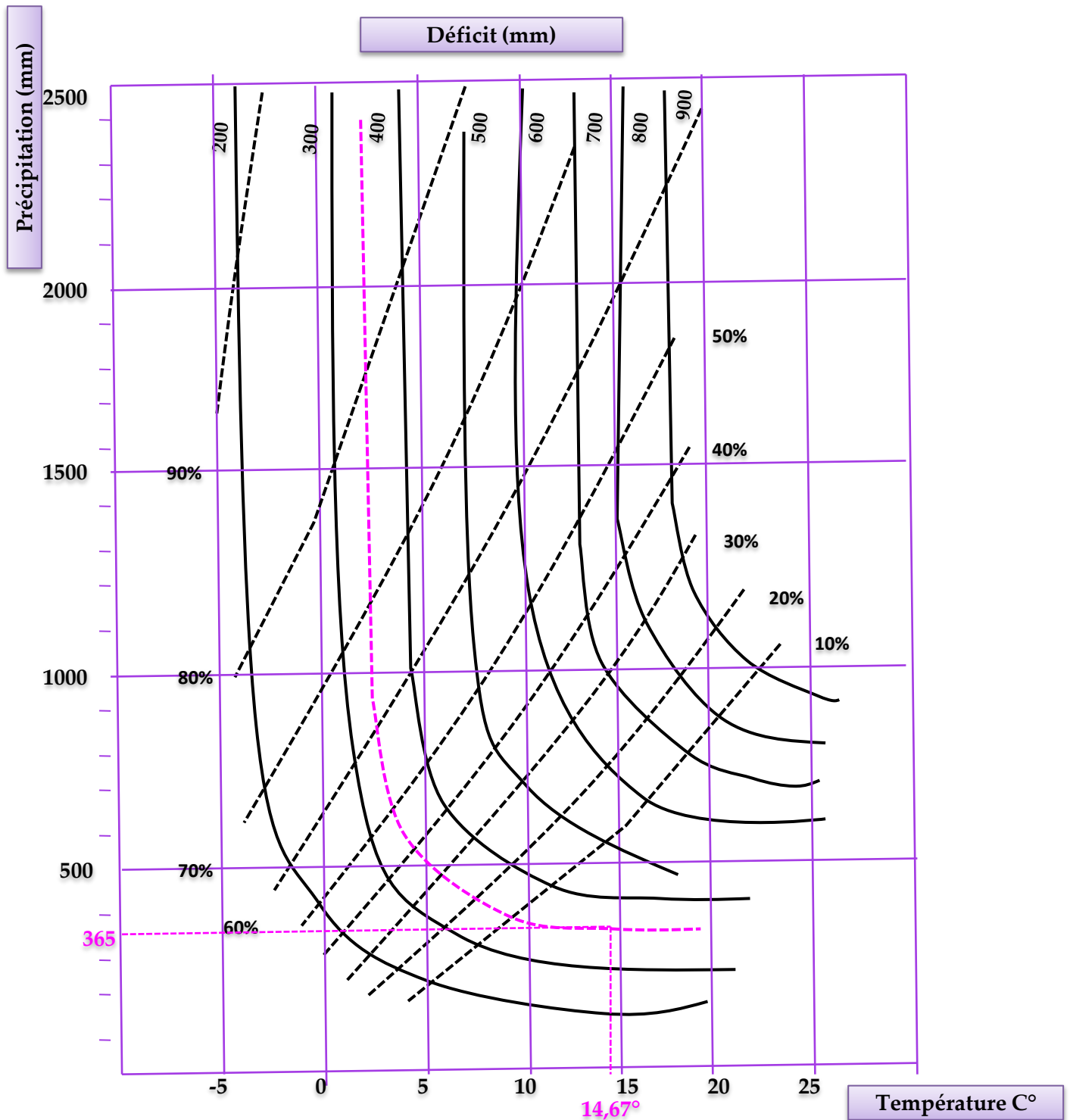


Fig.II.2. 7. Abaque donnant le déficit d'écoulement moyen annuel d'après Wundt (Modifié par Coutagne).

II. Contexte hydrogéologique

II.2.11.2.4.Méthode de P. Verdeil (1988):

P. Verdeil a établi en 1988 un abaque bi- logarithmique pour les régions algériennes semi-arides où les précipitations ne dépassent pas les 600 mm/ an.

Toujours, la valeur de la précipitation de la station de Ain Azel est de l'ordre de 365mm.

➤La projection de cette dernière sur l' abaque (Fig. IV. 6) donne une valeur du déficit d'écoulement de 350mm (soit 95, 89%).

II.2.11.2.5.Évaluation de l'ETR par le bilan de Thornthwaite:

❖ Cette méthode consiste à établir un bilan mensuel à partir des termes suivants:

❖ L'indice thermique mensuel: i

❖ L'indice thermique annuel: I

❖ L'évapotranspiration potentielle mensuelle non-corrigée: EP

❖ L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée: ETP

❖ Réserves facilement utilisables: RFU

❖ L'indice thermique mensuel i :

Cet indice est calculé à partir de la température moyenne mensuelle T° du mois considéré.

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	déc
T°	5,1	6,2	9,6	12,2	16,8	22,6	26,5	25,3	20	16	9,3	5,9
i	1.03	1.38	2.68	3.85	6.26	9.81	12.48	11.64	8.15	5.81	2.55	1.28

Tableau . II.2.8. Les valeurs calculées de l'indice thermique mensuel i .

❖ L'indice thermique annuel I :

Cet indice est la somme des indices mensuels des douze (12) mois de l'année.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov.	déc.	Σ
i	1.03	1.38	2.68	3.85	6.26	9.81	12.48	11.64	8.15	5.81	2.55	1.28	66.92

Tableau . II.2. 9. L'indice thermique annuel I .

❖ Calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle non-corrigée EP:

Elle se calcule selon la formule suivante:

Avec:
$$EP = 16 \times \left(\frac{10 T}{I} \right)^A$$

$$A = (6.75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7.71 \times 10^{-5} \times I^2) + (1.79 \times 10^{-2} \times I) + 0.49239$$

II. Contexte hydrogéologique

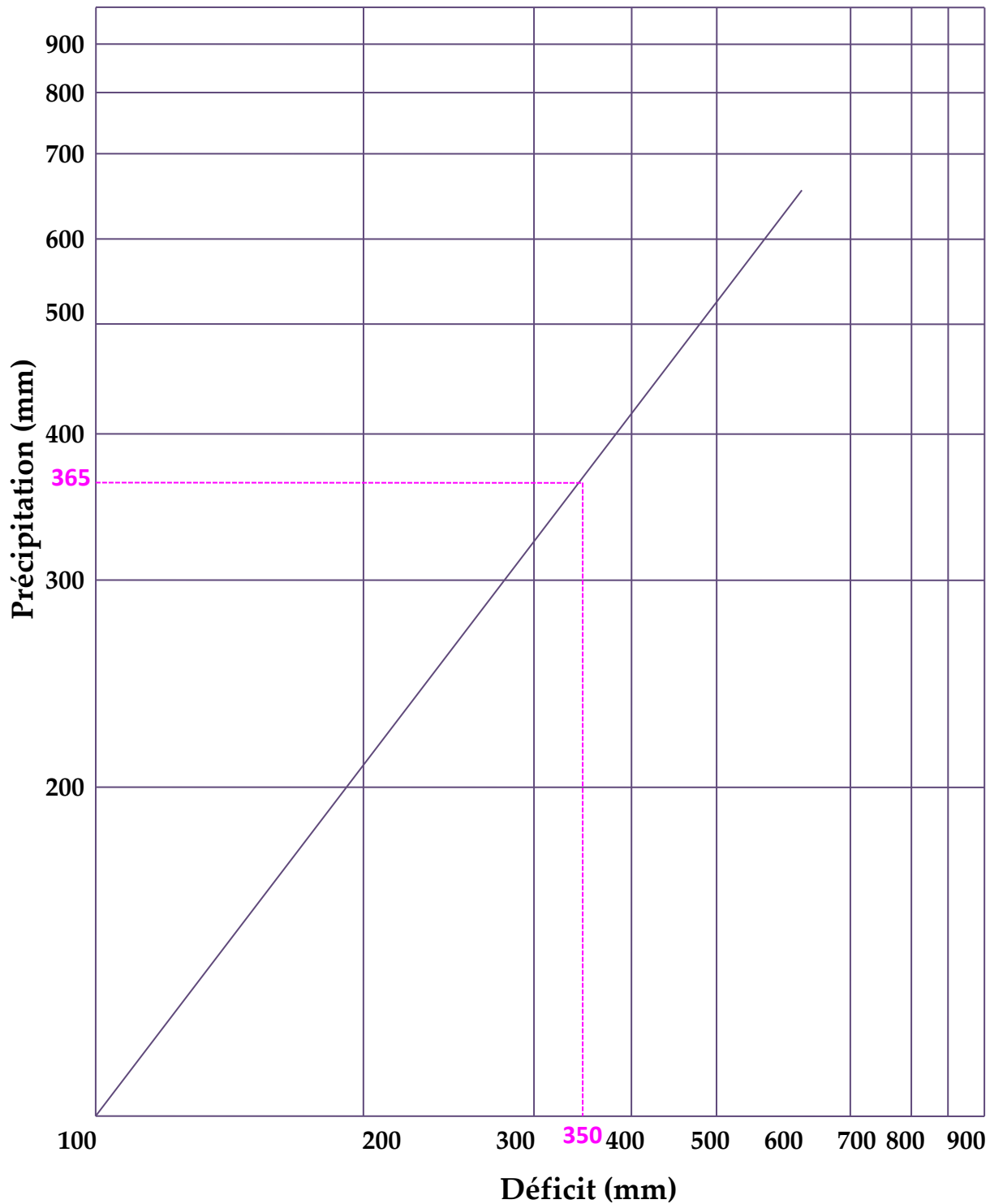


Fig. II. 2. 8 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie.
(D'après P.Verdeil -1988)

II. Contexte hydrogéologique

Mois	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	déc.
T°	5,1	6,2	9,6	12,2	16,8	22,6	26,5	25,3	20	16	9,3	5,9
ETP	10.50	14.21	27.96	40.51	66.45	105.14	134.50	125.20	87.03	61.62	26.62	13.16

Tableau .II.2. 10. Les valeurs calculées de l'évapotranspiration potentielle mensuelle non-corrigée ETP.

❖ Calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée ETP:

L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée est obtenue en multipliant EP par *un coefficient de correction K*, dépendant de la latitude du sous bassin versant. Ce paramètre est donné par un tableau type.

Mois	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	déc
K	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
EP	10,5	14,21	27,96	40,51	66,45	105,14	134,5	125,2	87,03	61,62	26,62	13,16
ETP	9,13	12,07	28,79	44,15	80,40	127,21	165,43	145,23	89,64	59,77	22,89	11,18

Tableau . II.2. 11. Les valeurs calculées de l'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée ETP.

❖ Calcul des réserves facilement utilisables RFU:

Avant de commencer le calcul du bilan, il faut mentionner que la RFU (Réserves facilement utilisables) est calculée à partir de la formule de *Hallaire*.

Tel que:

$$RFU = \frac{C - F}{100} \times H \times d + 30mm$$

- **RFU:** Réserves facilement utilisés
- **C:** capacité de rétention du sol: c'est- à- dire, elle correspond au maximum d'eau que le sol peut retenir lorsque son drainage est assurée librement;
- **F:** capacité au point de flétrissement: c'est- à- dire, c'est la limite inférieure de l'eau absorbable par les plantes;
- **H:** profondeur d'enracinement;
- **D:** densité apparente du sol.
- **Les 30mm** correspondent à l'enracinement capillaire pour les sables limoneux.
- Ne disposant pas de ces paramètres, nous retenons une valeur de **36mm pour la RFU** correspondant à la quantité d'eau optimale que le sol peut retenir (*M.A. Bellouche, 1996*). **La valeur de 36mm pour la RFU est utilisée pour les calculs.**

▪ Le bilan fait intervenir deux paramètres essentiels: la température T° et les précipitations P. La détermination de l'ETR tient compte de la recharge du sol due aux précipitations et à la décharge due à l'évaporation. La différence entre l'ETP et l'ETR constitue le déficit agricole.

II. Contexte hydrogéologique

- Le bilan de Thornthwaite est établi à partir du mois de Septembre, au moment où les réserves commencent à se reconstituer.
- $P > ETP$: $ETP = ETR$
- $P < ETP$: a/ $ETP \leq P + RFU$: $ETR = ETP$
- b/ $ETP > P + RFU$: $ETR = P + RFU$
- $RFU > 36\text{mm}$: un excédent
- $RFU < 0\text{mm}$: un déficit agricole.

Mois	sep	oct	nov	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Ann
T°	20,00	16,00	9,30	5,90	5,10	6,20	9,60	12,20	16,80	22,60	26,50	25,30	14.62
P	46,00	31,00	28,00	38,00	33,00	23,00	33,00	46,00	45,00	25,00	05,00	12,00	365,00
i	08.15	5.81	02.55	01.28	01.03	01.38	02.68	03.85	06.26	09.81	12.48	11.64	66.92
K	01,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	-
EP	87,03	61,62	26,62	13,16	10,50	14,21	27,96	40,51	66,45	105,14	134,50	125,20	712,9
ETP	89,64	59,77	22,89	11,18	9,13	12,07	28,79	44,15	80,40	127,21	165,43	145,23	795,95
ETR	46,00	31,00	22,89	11,18	9,13	12,07	28,79	44,15	80,40	25,6	5,00	12,00	328,21
RFU	-	-	5,11	31,93	36	36	36	36	0,6	-	-	-	
Da	43,64	28,77	-	-	-	-	-	-	-	102,21	160,43	133,23	468,28
Ws	-	-	-	-	19,80	10,93	4,21	1,85	-	-	-	-	32,57

Tableau . II.2.12. Estimation du bilan hydrologique selon Thornthwaite pour la station de Ain Azel.

II. 2. 12. Discussion des résultats de l'ETR:

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR obtenues par les différentes méthodes sont regroupées dans le tableau III.2.14.

Méthode	ETR (mm)	Taux / P
Turc	348,44	95.46%
Coutagne	Non justifiée	
Abaque de Wundt	350	95.89%
Abaque de Verdeil	350	95.89%
Thornthwaite	328,21	89.92%

Tableau . II.2.13. Les valeurs de l'ETR selon les différentes méthodes.

II. Contexte hydrogéologique

En zone semi-aride, l'estimation de l'évapotranspiration réelle par les méthodes classiques est très délicate, les résultats restent en fait discutables car ils sont déduits de formules empiriques faisant intervenir:

- soit des variables telle que les précipitations P et les températures T°
- soit des coefficients en relation avec le climat ou la situation géographique;
- soit une valeur telle que la réserve en eau RFU (36mm) qui est une valeur arbitraire en l'absence de mesures in situ.

En zone semi-aride, l'abaque de Verdeil a donné les valeurs les plus fiable pour ce type de régions.

II.2.13. Estimation du ruissellement annuel:

La formule de *Tixeront- Berkaloff* applicable en zone semi-aride, permet d'estimer le ruissellement à l'aide de la relation suivante:

$$R = \frac{P^3}{3 \times ETP^2}$$

- R: Ruissellement annuel en mm;
- P: Précipitations moyennes annuelles en mm;
- ETP: Évapotranspiration potentielle annuelle en mm.

❖ Application numérique:

P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
365	795,95	25,58

Tableau . II.2.14. L'estimation du ruissellement annuel.

II.2.14. Discussion du bilan hydrique:

Rappel: l'équation du bilan hydrologique est:

$$P = E + R + I$$

De ce qui précède, on retient les valeurs suivantes:

❖P = 365mm

❖E = 328,21mm $\longrightarrow$ I = 11,21 mm soit un 3.07%.

❖R = 25,58 mm

II.2.15. Conclusion:

Le secteur étudié est caractérisé par un climat sec semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles de 365mm et des températures moyennes annuelles de 14.62°C.

L'analyse des précipitations mensuelles montre que la courbe des précipitations est en dessous la courbe thermique depuis le mois du juin jusqu'au aout, ce qui correspond à une période de sécheresse.

L'évapotranspiration réelle retenues est estimée à 328,21mm représente 89.92% des précipitations et l'évapotranspiration potentielle est estimée à 795,95mm, donc, le bilan hydrique de la région est très déficitaire: le déficit est estimé à 467,68 mm.

L'excédent est évalué à 32,57 mm selon le bilan hydrologique de *Thorntwaite* et aux infiltrations.

Le ruissellement est estimé par la formule de *Tixeront- Berkaloff* à 25,28mm.

L'infiltration représente la qualité d'eau qui pénètre dans le sous-sol, ce paramètre est très important du point de vue hydrogéologique, mais il est difficile à apprécier, et vu les valeurs estimées de l'ETP et l'ETR, on peut dire que l'infiltration est très faible (3,07%).

II. Contexte hydrogéologique

II. 3. Le contexte hydrogéologique du gisement:

II.3.1. Introduction:

L'eau est la ressource naturelle la plus précieuse, car sans elle la vie ne peut exister, mais parfois, et plus précisément dans le cas du gisement de Chaâbet-El- Hamra, elle devient un obstacle qui empêche les travaux miniers d'exploitation.

La discontinuité des travaux d'extraction du minerai (la sphalérite en premier lieu) du gisement étudié, est particulièrement lié à un gisement des eaux souterraines dont les deux (02) corps minéralisés sont situés sous le niveau hydrostatique de 972m à partir du profil 10. (Fig.III.3.1)

II.3. 2. Brève aperçue sur l'hydrogéologie de Sétif:

Au point de vue hydrogéologique, la Wilaya de Sétif est répartie en deux grandes zones:

-La zone Nord dite à faible potentialité hydrique souterraines qui est caractérisé par un relief accuse très morcelé par la néotectonique, l'agressivité de l'érosion, la faiblesse des masses calcaires et la large dominance des formations argileuses ou marneuses créent de mauvaises conditions pour l'existence d'aquifères. Les sources sont faibles, disposées et peu intéressants à cause de l'irrégularité de leur débit.

- La zone Sud de la Wilaya dite à moyenne et forte potentialité hydrique est par contre représentée d'une part par un grand développement des formations Subhorizontaux détritiques Mio-Plio-quaternaire qui détermine l'existence d'une nappe superficielle déjà surexploitée.

- D'autre part, il y a un grand nombre d'aquifères potentiels correspondant à des formations carbonatées épaisses et qui sont représentées comme suit: (Fig. III.3.2.)

- L'aquifère de l'Yprésien-Lutétien inférieur (e4-5);
- L'aquifère du Campano-Maestrichtien (C6c);
- L'aquifère du Cénomano-Turonien (C1-2);
- L'aquifère de l'Aptien (n5);
- L'aquifère du Barrémien (n4);
- L'aquifère du Jurassique (Jd).

II. 3.3. Hydrogéologie du gisement de Chaâbet - El- Hamra: Présentation générale:

Les études et les données hydrogéologiques montrent la mise en évidence la présence de deux (02) aquifères sous forme des nappes libres dans:

- ❑ **La partie centrale du gisement:** un aquifère dans les *dolomies hauteriviennes* à perméabilité de fissure. Cet aquifère a été étudié par la réalisation d'une batterie de forage et de piézomètre afin de dénoyer la mine.
- ❑ **La partie Nord-Ouest du gisement:** un second aquifère localisé dans les formations à dominante *gréseuse barrémienne*.
- ❑ **La partie Est du gisement:** deux sondages hydrogéologiques ont été exécutés, ces derniers ont donnés des résultats négatifs et une absence des venues d'eau a été notée.

La simple analyse des différents travaux hydrogéologiques, et selon la nature lithologique des différentes couches, la figure II.3.3. montre la colonne lithostratigraphique du gisement en fonction de la perméabilité des formations.

II. Contexte hydrogéologique

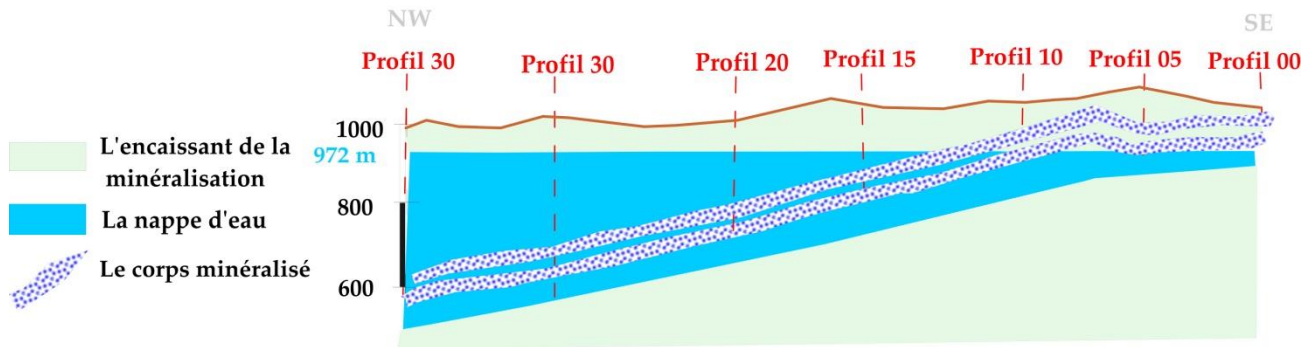


Fig. II.3. 1. Les deux corps minéralisés et leur situation sous le niveau hydrostatique à partir du profil 10

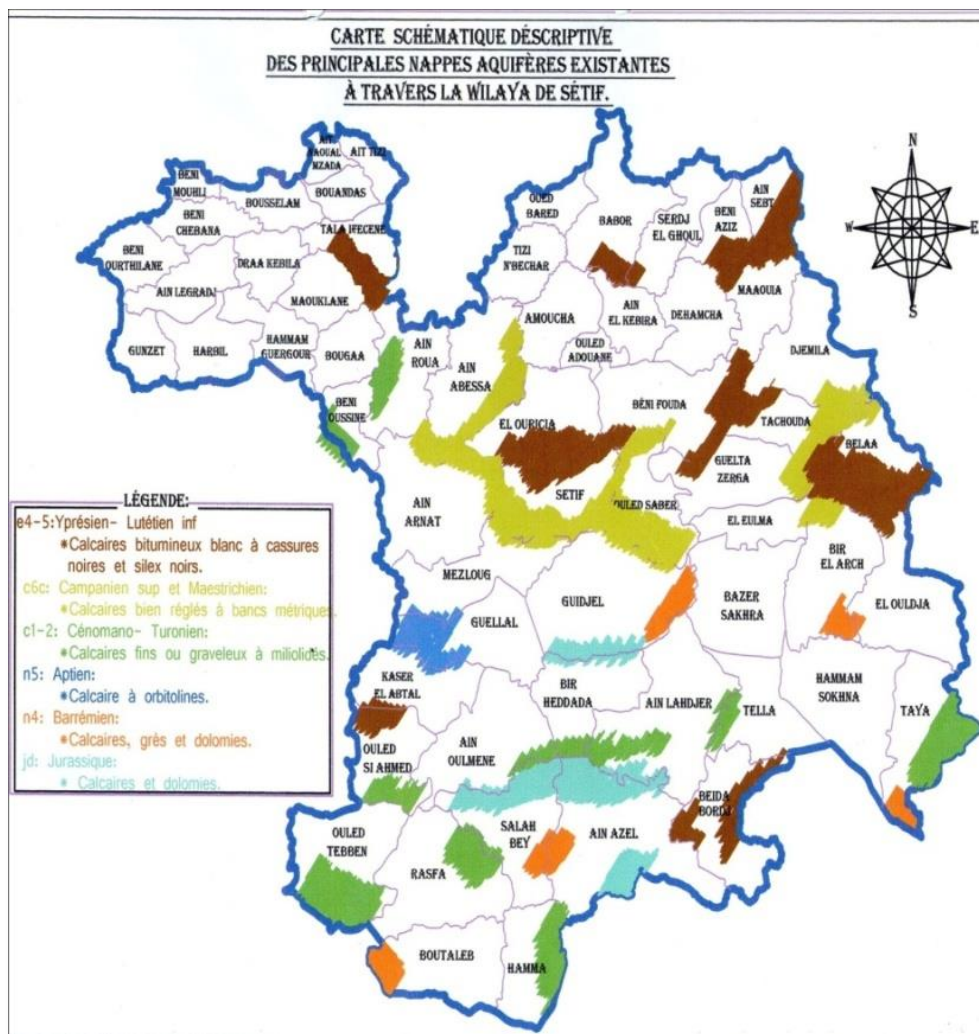


Fig. II.3.2. Carte schématique descriptive des principales nappes aquifères existantes à travers la région de Sétif, (DREWS, 2011)



II. Contexte hydrogéologique

II.3.4. Caractéristiques géométriques :

Une coupe hydrogéologique dans la partie centrale du gisement et une autre passant par la descenderie et le puits de la mine (Fig. III. 3. 5 et 6) ont été établies à partir de la carte géologique 1/2000 du gisement, ainsi que les logs stratigraphiques des différents sondages miniers: S240, S295, S299, S297, S296, S228 et les sondages hydrauliques: SH1, SH3, Pz10, Pz11.

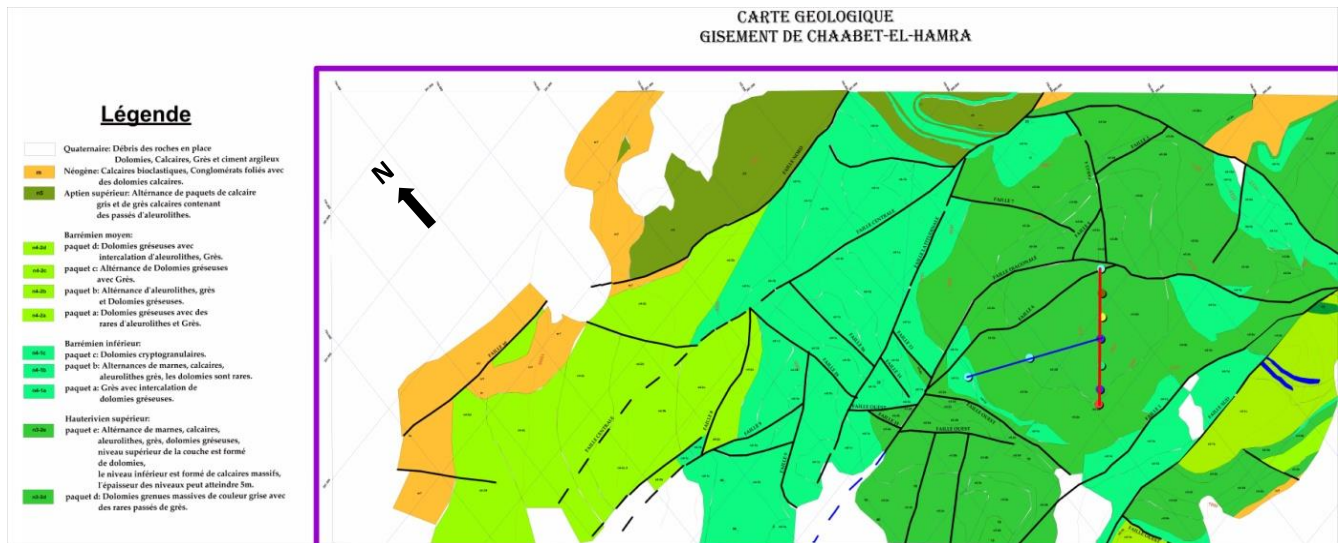


Fig.II.3.4. Localisation des deux (02) coupes hydrogéologiques réalisées sur la carte géologique du gisement (centrale en bleu et en rouge passant par la descenderie)

Il en ressort:

II.3.4. 1. La coupe dans la partie centrale (Fig. II.3.5):

l'aquifère se situe dans des formations de l'Hauterivien inférieur sous forme des:

- ❖ Dolomies gréseuses massives bréchiques et calcareuses (n3-1a);
- ❖ Grès alternés avec des dolomies gréseuses (n3-1b);
- ❖ Dolomies gréseuses cavernueuses (n3-1c).

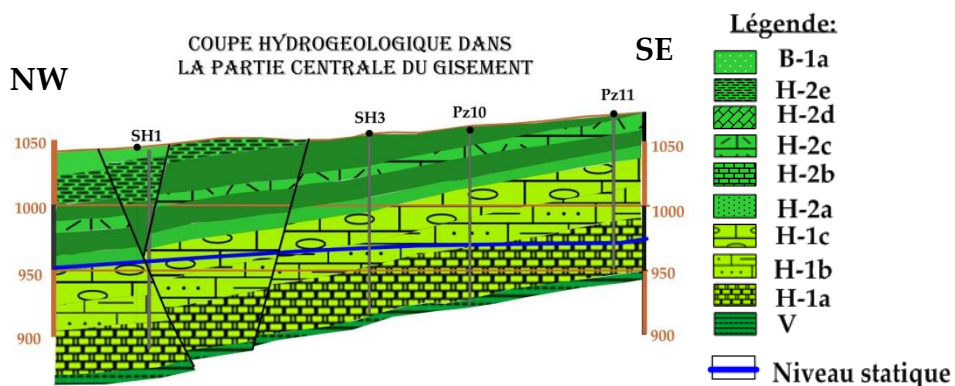


Fig.II.3.5. La coupe hydrogéologique dans la, partie centrale du gisement (EREM, 1991) –modifiée

II. Contexte hydrogéologique

LA COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU GISEMENT DE ZINC DE CHAABET-EL-HAMRA

Système	Sous système	Elage	Index	Colonne	Epaisseur	Lithologie	Conséquence hydrogéologique
NEO-GENE	MIocene	MIocene	MIocene	MIocene	30	Dolomies argileuses de couleur grise- blanchâtre à grains très fins en alternance avec des grès. on note des conglomérations.	Imperméable
C R E T A C E	BARREMIEN MOYEN	BARREMIEN MOYEN	BARREMIEN MOYEN	a3-5	40	Alternance de paquets de calcaires gris, bioclastique et de grès calcaires contenant des passé d'aleurolites gréseuse et du calcaires.	Perméable à semi-perméable
				a4-2a	80	Dolomies gréseuses avec intercalations d'aleurolites, grès.	
				a4-2b	60	Alternance de dolomies gréseuses avec grès.	
				a4-2b	30-40	Alternance d'aleurolites grès et dolomies gréseuses.	
				a4-2a		Dolomies gréseuses, avec des rares passages d'aleurolites et grès.	
	BARREMIEN INFÉRIEUR	BARREMIEN INFÉRIEUR	BARREMIEN INFÉRIEUR	a4-1c	15-20	Dolomies cryptogranulaires.	Imperméable
				a4-1b	40-50	Alternance de marnes, calcaire, aleurolites, grès et dolomies gréseuses sont rares.	
				a4-1a	40-40	Grès avec intercalation de dolomies gréseuses.	
	HAUTERIVIEN SUPERIEUR	HAUTERIVIEN SUPERIEUR	HAUTERIVIEN SUPERIEUR	a3-2a	40-50	Alternance de marnes, calcaires, aleurolites, grès, dolomies gréseuses, le niveau supérieur de la couche est en forme de dolomie cryptogranulaire, le niveau inférieurest de calcaires massifs, l'épaisseur peuvent atteindre 5m.	Imperméable
				a3-2b	15-20	Dolomies grenues massives de couleur grise avec rares passées de grès.	
				a3-2c	15-15	Alternance de dolomies argileuses, grès, aleurolites.	
				a3-2d	10-20	Dolomies grises massives grenues parfois cavernueuses avec hématite.	
C R E T A C E	HAUTERIVIEN INFÉRIEUR	HAUTERIVIEN INFÉRIEUR	HAUTERIVIEN INFÉRIEUR	a3-2a	5-10	Grès gris, gris brunâtre à brun rougeâtre.	Perméable
				a3-1a	25-35	Dolomies grenues cavernueuses brunes rougeatre hématitisées à l'est, elles sont grises cavernueuses à l'ouest.	
				a3-1b	30-35	Alternance de roches: grès de couleur grise claire stratifié, oblique de structure de lamination fréquenté, aleurolites grises, brunâtre, dolomies gréseuses, aleurolites de couleur grise et brunâtre, grès de structure de lamination de couleur grise avec des restes de débris végétaux, la pyrite est grenue.	
				a3-1a	40-60	Dolomies grenues massives, bitumineuses de couleur grise à gris- rosatre, souvent bréchifiées, il est à noter la minéralisation de galène, sphalérite et de pyrite, la barytine est très rare. Parfois on observe des intercalations d'aleurolites et dolomies gréseuses d'épaisseur jusqu'à 0.5m. à la base, les dolomies sont argileuses, schisteuses avec bitume et veinules de dolomies blanches.	
VALAN-GENE				a2	>40	Alternance d'aleurolites grès avec intercalations de dolomies et quelques calcaires.	Imperméable

Fig.II.3.3. Colonne lithostratigraphique du gisement en fonction de la perméabilité des formations géologiques



II. Contexte hydrogéologique

De plus, le niveau piézométrique est relativement subhorizontal à légèrement incliné, il atteint la cote **953,5m** à l'Ouest et **973,12m** à l'Est.

II.3.4. 2. La coupe passant par la descenderie et le puits de la mine (Fig.III.3.6):

L'aquifère se situe dans des formations toujours hauteriviennes n3-1a;

Aussi, le niveau piézométrique est relativement subhorizontal à légèrement incliné, il atteint la cote **974,32m** à l'Est et **960,81m** à l'Ouest.

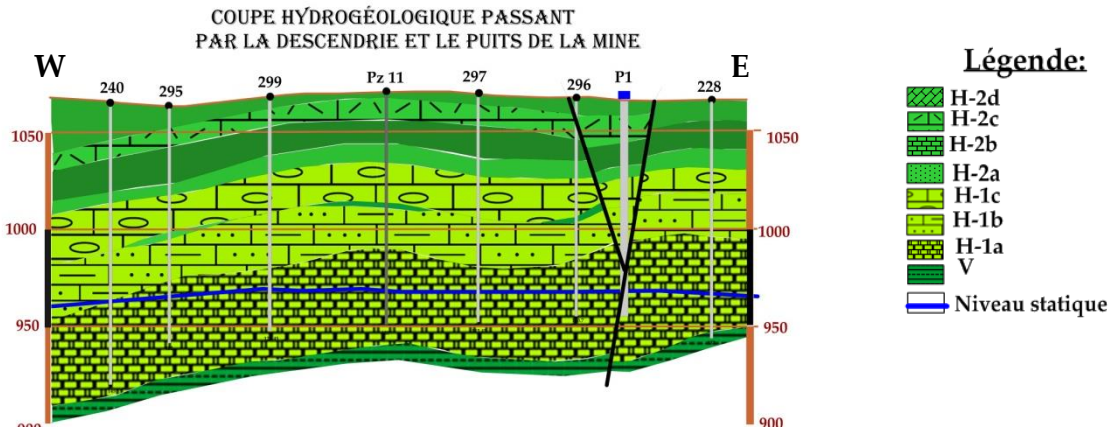


Fig. II. 3.6. La coupe hydrogéologique passant par la descenderie et le puits de la mine (EREM, 1991) – modifiée

Les deux (02) coupes montrent que l'aquifère est limité en bas par une formation imperméable du Valangénien sous forme des marnes et alternance d'aleurolites calcaire.

II.3.5. La carte piézométrique du gisement de Chaâbet-El-Hamra:

En 400 sondages de prospection, plus de **vingt (20)** ont été utilisés comme des ouvrages hydrauliques et qui servent à contrôler le niveau piézométrique du gisement.

La collecte des données des différents niveaux piézométriques; à travers les différents profils (**Profils 6, 7, 9, 10,12,14, 15 et 16**) de l'année 1990 nous a permis l'élaboration d'une carte piézométrique pour le gisement. (**Fig.II. 3.7**).

Le tableau (II. 3.1) qui suit récapitule les niveaux piézométriques prélevés.

II. Contexte hydrogéologique

N° du profil	N° de sondage	X Lambert (m)	Y Lambert (m)	Z: niveau piézométrique (m)
6	286	755640	279904	995,05
7	281	755640	279958	998,05
9	366	755834	280380	1005,03
10	368	755065	280320	987,35
10	291	755424	280120	969,97
12	310	755346	280284	968,63
12	398	755226	280160	969,54
13	319	755450	280510	970,7
13	318	755200	280266	971,5
14	330	755350	280760	970,18
14	335	755318	280520	968,32
14	320	755186	280374	958,62
15	341	755292	280644	972,4
15	329	755260	280600	967,96
15	342	755224	280566	972,8
15	348	755190	280530	969,03
15	344	755166	280490	968,7
15	331	755130	280456	968,8
15	346	755096	280420	968,74
16	347	755230	280718	967,02
16	351	755194	280862	969,66
16	327	755132	280606	968,53
16	349	755100	280570	966,7
16	358	755034	280492	969,39

Tableau. II. 3. 1. Le niveau piézométrique des différents sondages (EREM, 1990).

- L'observation de la carte piézométrique montre que le sens d'écoulement des eaux tend vers les profils 14, 15 et 16 (la couleur bleue sur carte).

II. Contexte hydrogéologique

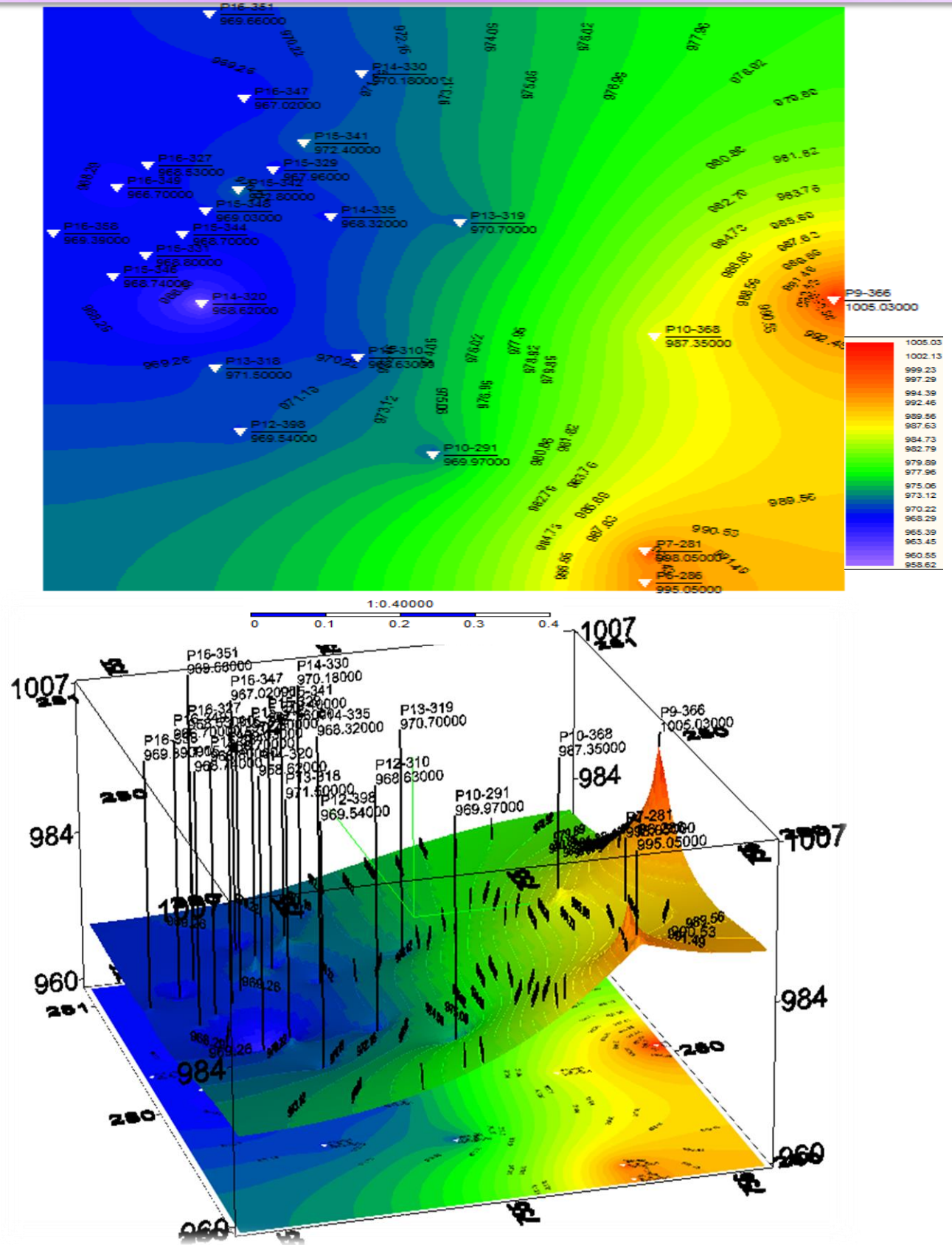


Fig.II. 3.7. La carte piézométrique du gisement réalisée à la base de 24 sondages (niveau statique mesuré en 1990)

II. Contexte hydrogéologique

II.3.6. Essai de pompage et calcul hydrodynamique :

L'étude hydrodynamique; qui se base sur les résultats des essais de pompage effectués à débit constant durant une période donnée; a été élaboré suite à la réalisation des forages hydrauliques F01, F02, F03, F04, F05 et F06.

II.3.6.1. Rappels et définitions:

▪ Perméabilité : K

Elle exprime l'aptitude d'un matériau à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient hydraulique et a pour unité « m / s ».

▪ Transmissivité : T

Elle exprime le produit de la perméabilité par la puissance de l'horizon aquifère dans une section transversale considérée et a pour unité « m² / s ».

▪ Coefficient d'emmagasinement : S

Il exprime le volume d'eau libéré lors d'un pompage, c'est un nombre sans dimension

et se présente sous forme de pourcentage. Son concept est très important en hydrogéologie minière puisqu'il traduit la quantité d'eau susceptible d'être libérée par l'aquifère lors de l'avancement des travaux miniers et donc de prévoir les débits d'exhaure.

II. 3.6.2. Inventaire des points d'eau: Le champ de captage de CEH:

Le champ de captage de *Chaâbet -El- Hamra*; où son but ultime est de rabattre le niveau d'eau aux alentours des travaux miniers; contenu dans les formations *hauteriviennes* dans la partie centrale du gisement (Fig. III. 3.8. et 9) comporte les forages suivants:

Forage	Coordonnées Lambert (m)		Cote du terrain (m)	Profondeur (m)
	X	Y		
F01	755.042	280.435	1039.70	206
F02	755.048	280.518	1054.20	233
F03	755.070	280.611	1056.60	215
F04	755.094	280.673	1048.70	260
F05	755. 075	280.857	1026.60	190
F06	754.838	280.820	1033	220
Pz1	755.017	280.510	1050	

Tableau . II. 3.2. Les coordonnées des forages implantés pour le dénoyage de la mine.

II. Contexte hydrogéologique

II.3.6.3. Description technique du champ de captage de Chaâbet-El-Hamra:

Le projet d'exhaure des eaux de la mine de Chaâbet-El-Hamra est basé essentiellement sur les six (06) ouvrages hydrauliques et qui sont des forages de type *Rotary à la boue*.

Après la mise en place du tube guide de 20'' en TNRS cimenté au terrain, le creusement a été continué par un outil de 12'', pour élargir ensuite tous les ouvrages en 17''.

Pendant la réalisation de F02, F03, F04, F05 et F06, la perforation a connu *une perte totale* ce qui implique l'existence des fissures assez grandes.

Après l'interprétation du film de la diagraphie (carottage électrique) où le principe de l'opération est de mesurer deux (02) grandeurs:

- ❑ Le potentiel: donne une idée sur la nature géologique des couches traversées;
- ❑ La résistivité électrique des terrains traversés: renseigne sur la teneur en eau de ces couches;

les forages ont été équipés en tubes TNRS de 12''1/4 soit pleins (TP: pour les formations non-poreuses) ou crépinés (TC: pour les formations poreuses) pour poser ensuite le massif filtrant sous forme de graviers lavés, tamisés et calibrés de 2 à 3cm.

Forage	F02	F03	F04	F05	F06
TP (m)	183	175	200	130	163
TC (m)	50	40	60	60	57
Volume du gravier (m ³)	19,5	23	22	20	45
Profondeur (m)	233	215	260	190	220
Débit (l/s)	17	15	26	20	30
N.S (m)	88,95	93	84,93	61,15	72.8
Calage de la pompe (m)	182	173	170	172	-

Tableau. II. 3.3. Description techniques des forages du champ de captage de Chaâbet-El-Hamra.

II. Contexte hydrogéologique

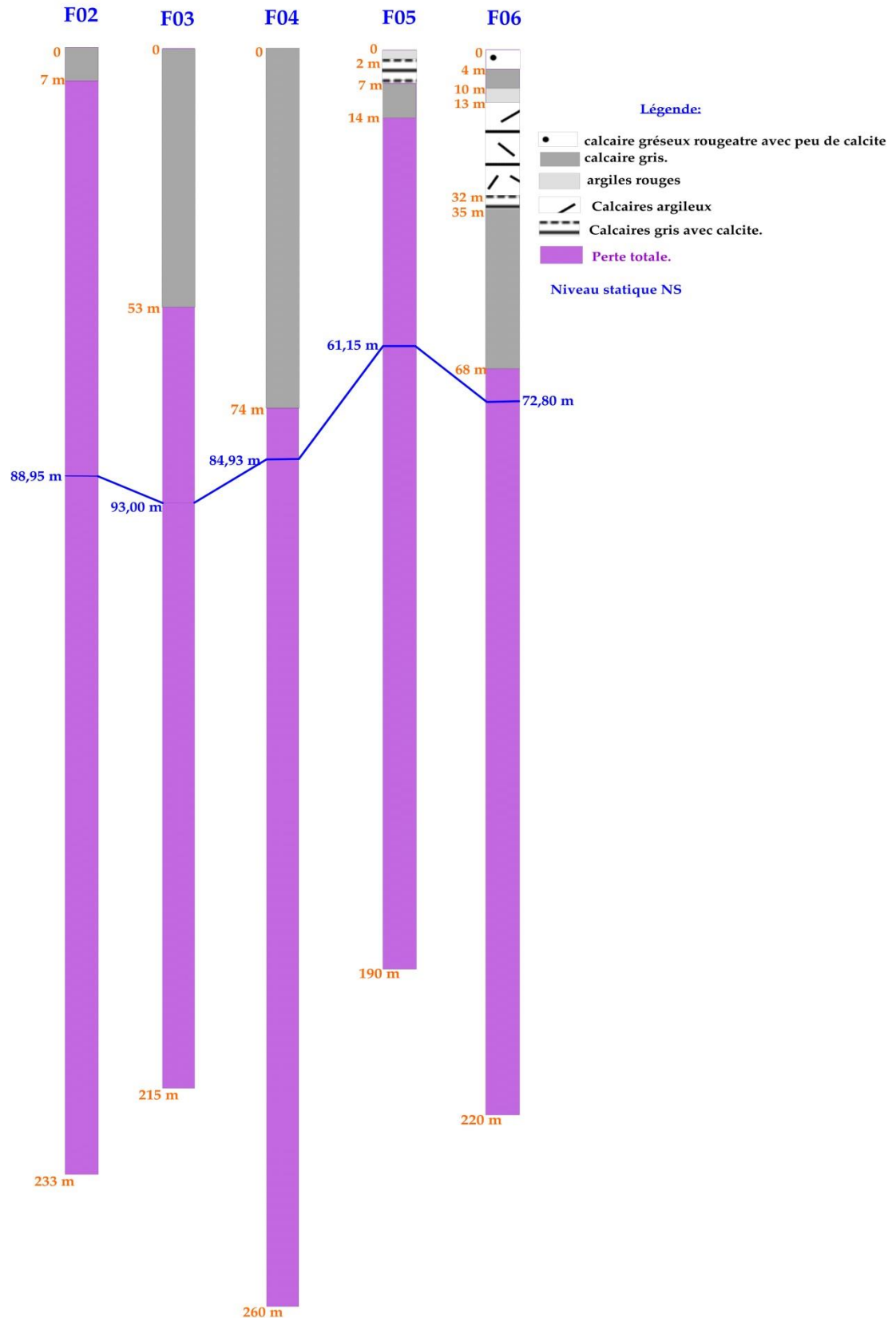


Fig.II.3.9. La description technique des forages du champ de captage de Chaâbet-El-Hamra

II. Contexte hydrogéologique



Photo. II.3.1. Le F01
en 2004



Photo. II. 3.2. Le F02 et F03
en 2008



Photo.II.3.3. Le F05
en 2008

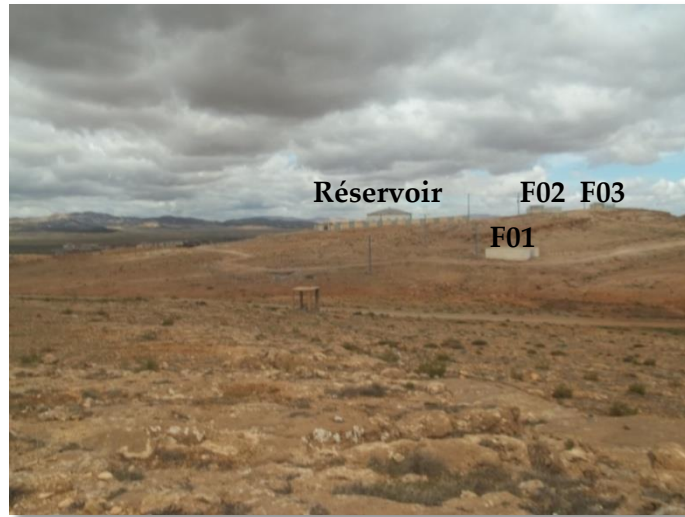


Photo.II.3.4. Le réservoir, F01, F02 et F03
en 2013



Photo. II.3.6. Le F02 en 2013



Photo. II.3.5. Le F04
en 2013

II. Contexte hydrogéologique

II.3.6.4. Interprétation graphique des essais de pompage:

En réalité, le gisement de *Chaâbet-El-Hamra* a connu un bon nombre d'essais de pompage: dès les premiers travaux de prospection jusqu'à l'actuel.

L'essai de pompage est le seul moyen qui nous permet de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère étudié.

II.3.6.5. Le traitement des données:

L'interprétation quantitative des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère étudié est basée sur l'essai de pompage de longue durée de trente (30) jours.

□ Essai de pompage de 30 jours:

L'essai de pompage de 30 jours ; du 01-11-2010 au 1-12-2010 ; a été effectué avec cinq (05) pompes totalisant un débit moyen de 89 litres / secondes (**320 m³/h**). Le piézomètre **Pz1** et le forage **F06** ont été utilisés pour suivre l'évolution du niveau d'eau souterraine en guise de piézomètre.

La descente se poursuit donc le régime est toujours transitoire, c'est pour cela qu'on adopte l'expression d'hydrodynamique souterraine du régime transitoire établie par *C.V Theis* en 1935, et transformée par *C.E Jacob* en 1950 donnant l'expression d'approximation logarithmique suivante:

$$s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{x^2 S} \dots\dots\dots(1)$$

- s : Rabattement (m).
- Q : Débit (m³/h
- T : Coefficient de transmissivité (m²/ h) .
- t : Temps de pompage (h).
- t' : Temps de la remontée (h).
- x : Distance entre le piézomètre et le forage (m).
- S : Coefficient d'emménagement sans dimension.

Descente: $\left[\begin{array}{l} s = \log t \dots\dots\dots(2) \\ s = \log \frac{t}{x^2} \dots\dots\dots(3) \end{array} \right.$

Remontée: $s = \log \frac{t+t'}{t} \dots\dots\dots(4)$

La formulation la plus proche pour le traitement des données de l'essai est la méthode de représentation graphique basée sur l'approximation logarithmique de la formule *Theis-Jacob* (1).

Les graphiques ont été tracés pour les différents ouvrages pour calculer les deux (02) paramètres: **T** et **s**.

II. Contexte hydrogéologique

□ La courbe de descente:

1. S = logt:

Cette méthode vise à suivre le rabattement du niveau d'eau en fonction du temps.

$$s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{x^2 S} \dots\dots\dots(1)$$

Transformation mathématique de l'expression (1)

$$s = \frac{0.183Q}{T} \left(\log \frac{2.25T}{x^2 S} + \log t \right) \dots\dots\dots(5)$$

L'équation (5) est de la forme :

$$y = c (\log b + \log x) \dots\dots\dots(6)$$

Ce qui implique que :

$$y = s \dots\dots\dots(7)$$

$$x = t \dots\dots\dots(8)$$

$$c = \frac{0.183Q}{T} \dots\dots\dots(9)$$

$$b = \log \frac{2.25T}{x^2 S} \dots\dots\dots(10)$$

Il s'agit d'une droite représentative obtenue par l'équation (2) comme suit :

On porte en abscisses les logarithmes des temps t et en ordonnées les rabattements s , La pente de cette droite " C " permet de calculer la Transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement S .

▪ Calcul de la transmissivité T :

La transformation de l'équation (9) donne l'équation (11) qui permet de calculer la transmissivité :

$$T = \frac{0.183Q}{c} \dots\dots\dots(11)$$

▪ Calcul du coefficient d'emmagasinement S :

Lorsque la droite représentative coupe l'axe des temps, donc $s = 0$ et $\log t = \log t_0$, alors l'équation (5) serait :

$$0 = \frac{0.183Q}{T} \left(\log \frac{2.25T}{x^2 S} + \log t_0 \right) \dots\dots\dots(12)$$

$$\frac{0.183Q}{T} \neq 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$\log \frac{2.25T}{x^2 S} + \log t_0 = 0 \dots\dots\dots(14)$$

$$\log \frac{2.25Tt_0}{x^2 S} = 0 \dots\dots\dots(15)$$

II. Contexte hydrogéologique

$$\frac{2.25Tt_0}{x^2S} = 1 \quad \dots\dots\dots(16)$$

Suite aux transformations mathématiques, on abouti à l'équation 17) qui permet de calculer le coefficient d'emmagasinement S.

$$S = \frac{2.25Tt_0}{x^2} \quad \dots\dots\dots(17)$$

2. $s = \log \frac{t}{x^2}$

Cette méthode vise à suivre le rabattement en fonction du temps et de la distance qui le sépare du point de pompage. La transformation de l'équation (1) donne l'équation (18) :

$$s = \frac{0.183Q}{T} \left(\log \frac{2.25T}{S} + \log \frac{t}{x^2} \right) \quad \dots\dots\dots(18)$$

A partir de l'équation (18), le même cheminement sera poursuivi que précédemment pour aboutir aux relations (11) et (19). Il s'agit d'une droite représentative obtenue comme suit:

On porte en abscisses les logarithmes des temps t/x^2 et en ordonnées les rabattements

s , La pente de cette droite "C" permet de calculer la Transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement S (idem au calcul précédent).

▪ Calcul de la transmissivité T :

$$T = \frac{0.183Q}{c} \quad \dots\dots\dots(11)$$

▪ Calcul du coefficient d'emmagasinement S :

$$S = 2.25Tt_0 \quad \dots\dots\dots(19)$$

▪ Résultats:

➤ Selon les données de l'essai de pompage durant les trente (30) jours, les graphes suivants illustrent le rabattement dans les différents points (**Fig.II.3.11**).

➤ La forte perturbation des deux graphes du **F04 et F05**; à cause du pompage rend délicat toute interprétation valide.

➤ Le tracé des courbes issues des deux piézomètres (**F06 et Pz1**), évolue d'une manière logique de telle sorte que l'interprétation est acceptable.

➤ Le calcul des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère se résume dans le tableau suivant.

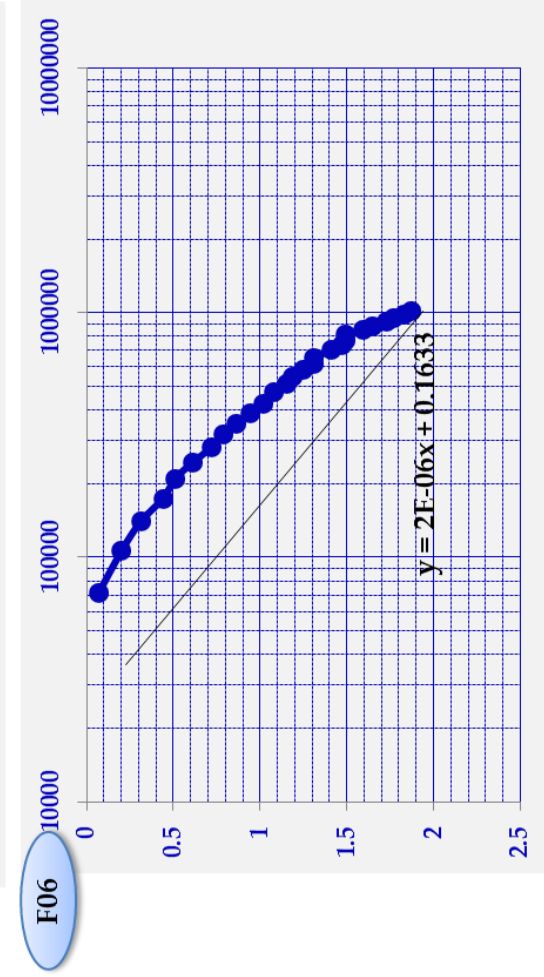
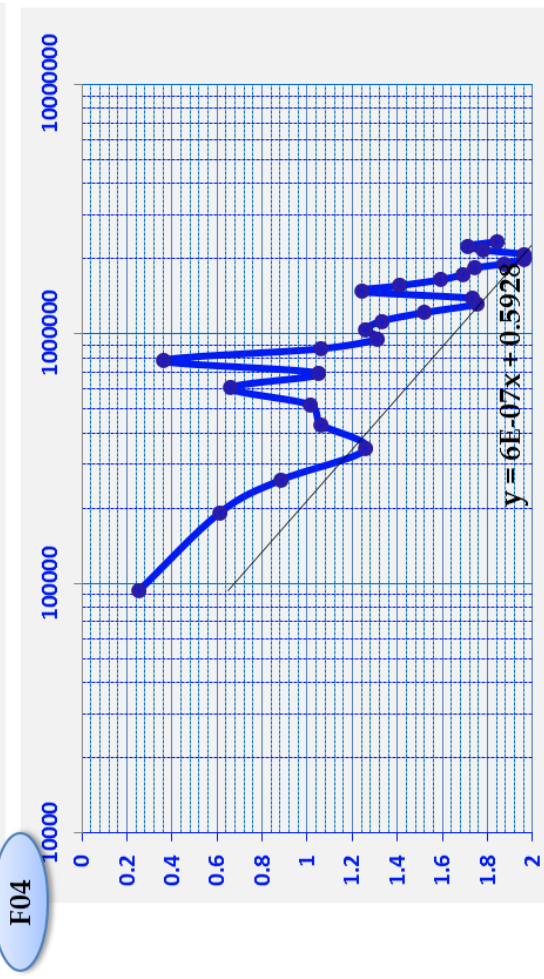
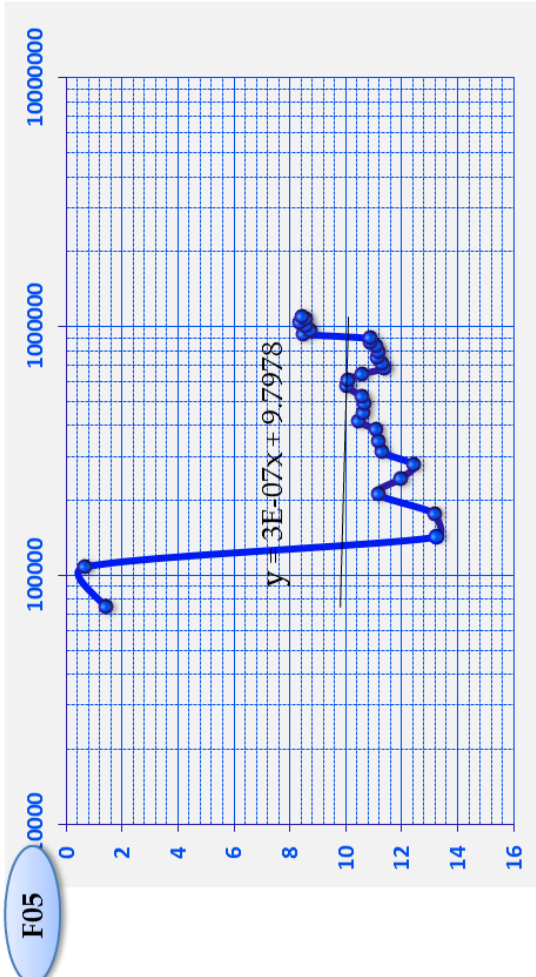
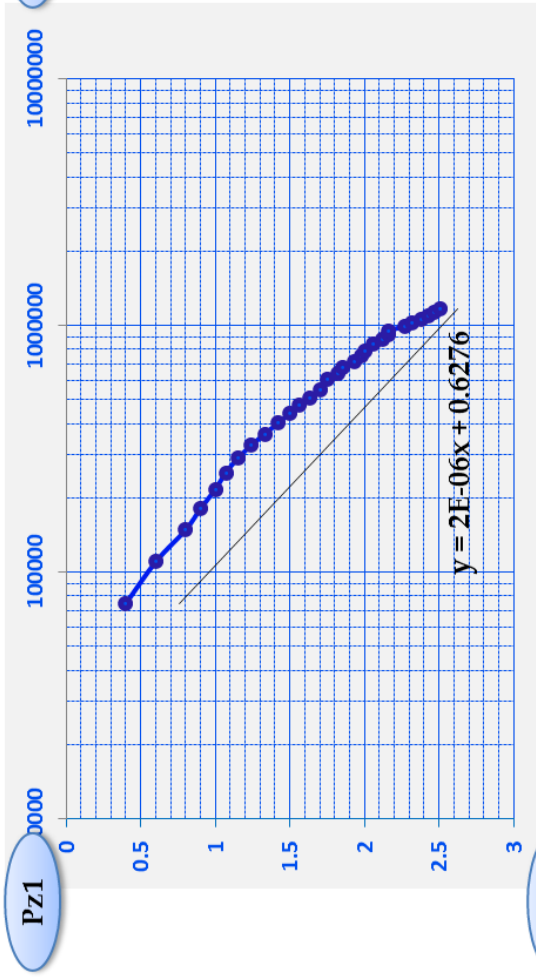


Fig. II. 3.10. Les graphes du rabattement (R-m) en fonction du temps (T-s) des différents ouvrages hydrauliques dans la zone d'étude

II. Contexte hydrogéologique

	F01	F02	F03	F04	F05
Q moy (l/s)	12.96	17.69	14.92	20.84	22.55
Q moy (m ³ /s)	0.01296	0.01769	0.01492	0.02084	0.02255
T/ Pz1 (m ² /s)	3.9528 E-3	5.39545E-3	4.5506E-3	6.3562E-3	6.87775E-3
T/F06 (m ² /s)	7.4115E-3	1.0116468E-2	8.5209375E-3	1.1917875E-3	1.2895781E-3
s/Pz1 (%)	2	2.1	5.01	2.69	6.4
s/F06 (%)	4	5.16	3.56	4.09	4.42

Tableau. II.3.4. Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère Hauterivien du gisement de Chaâbet-El-Hamra

❖ Avec cet essai de pompage « longue durée » en régime transitoire et en fonction des piézomètres (F06 et Pz01), les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère sur la base des équations de C.E. Jacob sont:

- Transmissivité T (m/s): varie entre 3.9528 E-3 et 6.87775E-3
- Le coefficient d'emménagement s (%): varie entre 2 et 6%.

❖ Ces paramètres calculés seront utilisés en estimation des délais de rabattement.

II. 3.7. Volume extrait :

Les essais de 30 jours durant les vingt quatre (24) heures ont permis un pompage de 230 000 m³.

Désignation	F1	F2	F3	F4	F5	Total
Volume extrait (m3)	33477	45716	38405	54076	58552	230 227

Tableau. II.3.5. Le volume d'eau extrait après un mois de pompage (ENOF, Décembre 2010).

II. 3.8. Rabattement:

Les rabattements mesurés après un mois de pompage sont présentés dans le tableau suivant :

Date	F5	F4	F6	PZ 1
01/11/2010	910,52	928,46	967,00	956,35
01/12/2010	905,73	926,51	964,58	953,84
Rabattement	4,79	1,95	2,42	2,51

Tableau. II.3.6. Le rabattement enregistré après un mois de pompage. (ENOF, Décembre 2010).

II. Contexte hydrogéologique

II. 3. 9. Délais de rabattement:

II.3.9.1. Prévisions des délais de rabattement à partir des courbes de descentes lors des essais de pompage de 30 jours:

Forage	F 4	F 5	F 6	Pz 1
Délais (mois)	62	26	27	27,6

Tableau.II.3.7. Les délais de rabattement.

II.3.10. La position du corps minéralisé par rapport à la nappe hauterivienne:

II.3.10.1. Après un mois de pompage:

On résume toutes les données trouvées sous forme d'un graphe.

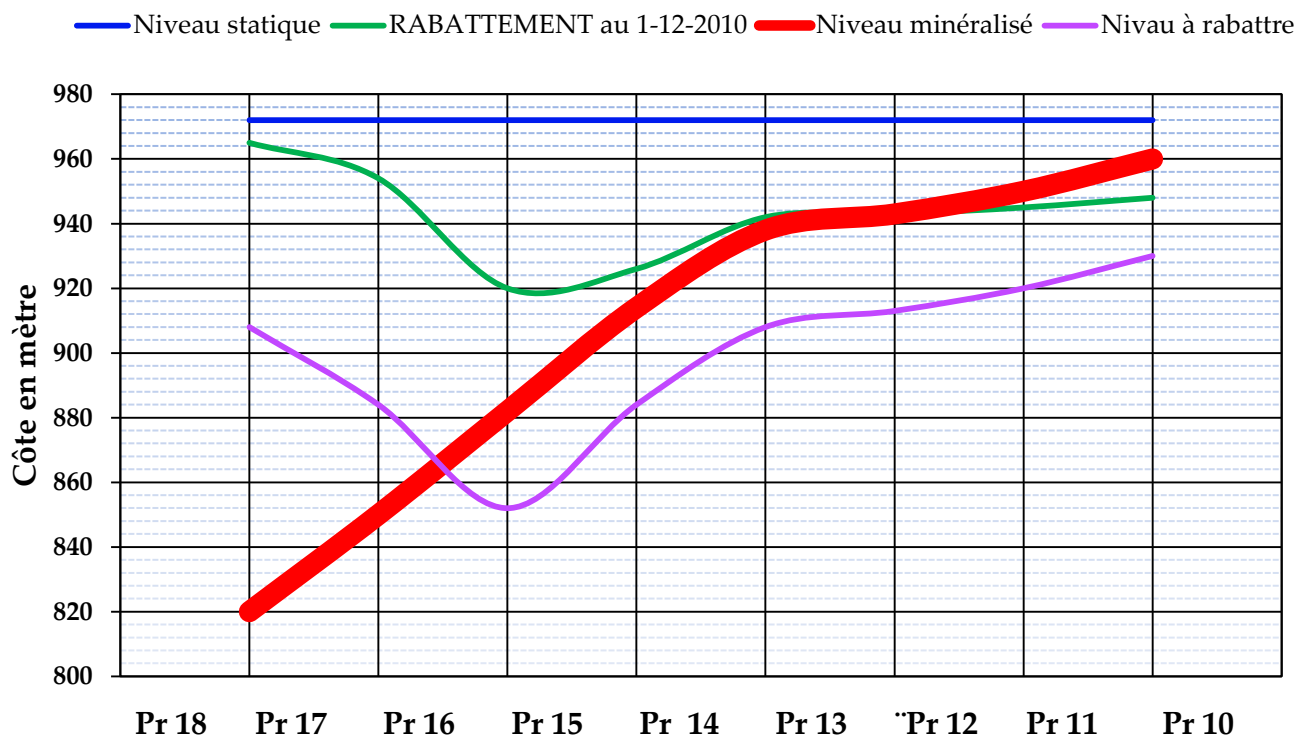


Fig. II.3.11. Un graphe illustrant le rabattement après un mois de pompage

II. Contexte hydrogéologique

II.3.10.2. Au mois de septembre 2013:

Après trois ans et plus du pompage continu en fonction d'un système de pompage composé de cinq (05) forages (F1, F2, F3, F4, F5) avec un débit de 22 l/s, 18 l/s, 10 l/s, 3 l/s, 19 l/s respectivement avec un total de 72 l/s, en raison de rabattre 30m sous la minéralisation, le volume d'eau extrait est égale à 180187m³.

Le suivant graphe et à la base des lectures dans les piézomètres montre le corps minéralisé par rapport au niveau d'eau.

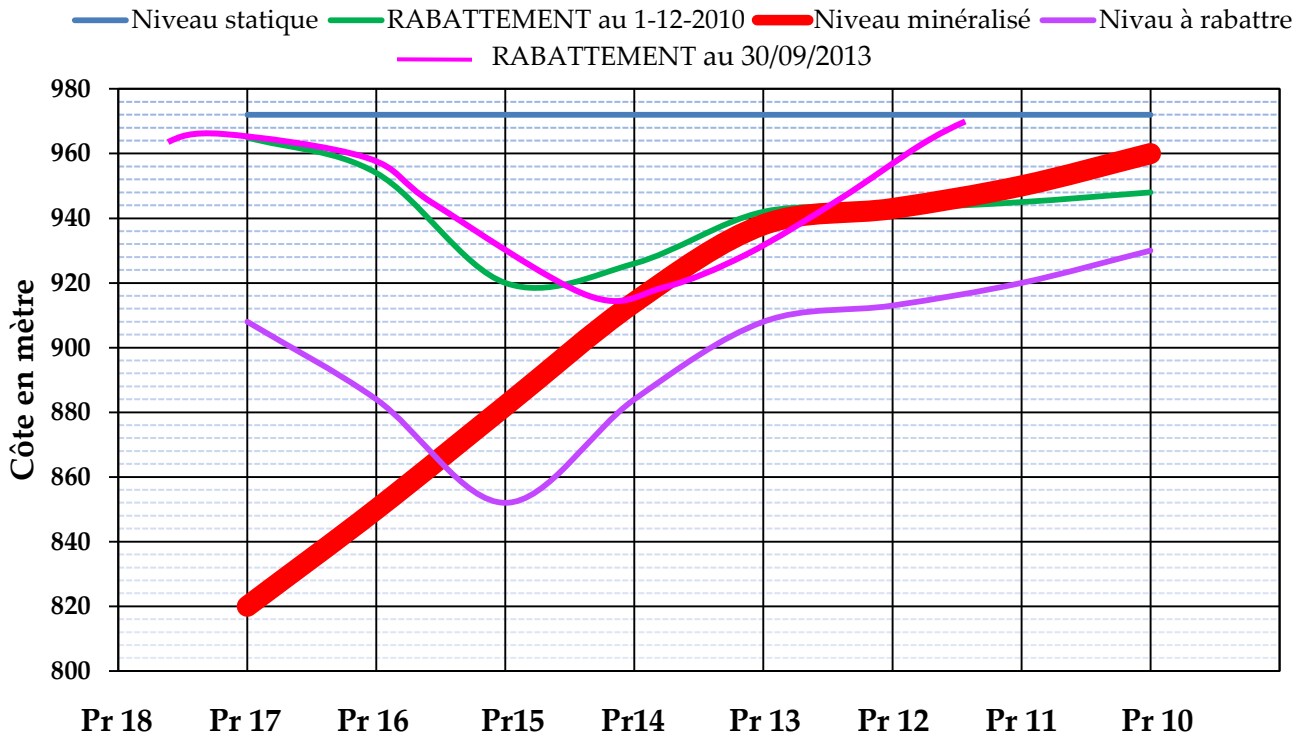


Fig. II.3.11. Un graphe illustrant le rabattement au mois de Septembre 2013

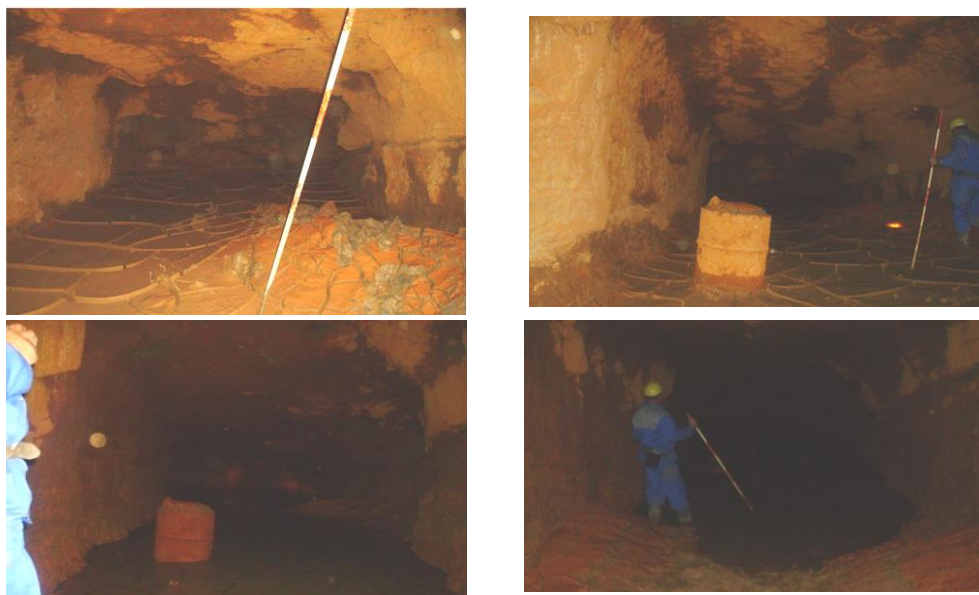


Photo. II . 3.7. Le niveau asséché.

II. Contexte hydrogéologique

II.3.10. Relation débit-Rabatement:

Par cet élément et faisant suite toujours à l'opération de pompage continu en raison de dénoyer la mine afin de continuer les travaux miniers d'extraction, nous voulons suivre les deux paramètres débit-rabatement en fonction du temps.

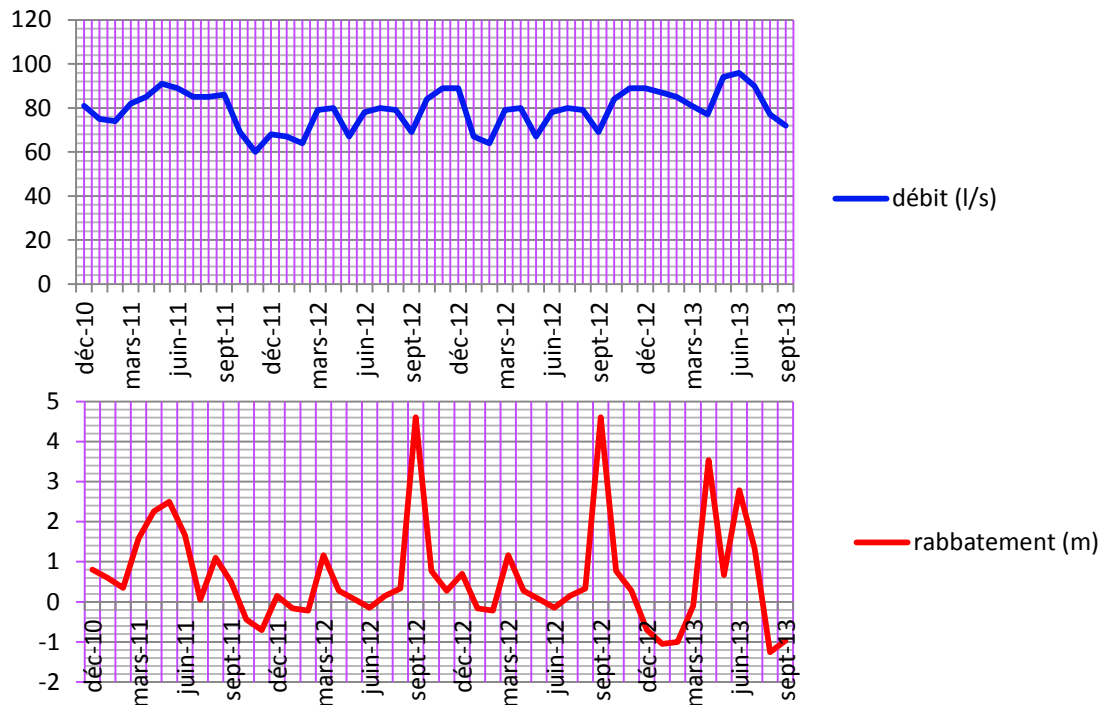


Fig. II.3.12. Un graphe illustrant la relation débit- rabatement au cours du temps (Décembre-2010 à Aout-2013)

À partir de ces graphes réalisés à la base des données de pompage du décembre-2010 à Aout-2013, nous confirmons la relation logique entre les deux variantes où l'augmentation du débit de pompage résulte un fort rabatement.

II.3.11. Conclusion:

En raison de rabattre le niveau d'eau sous la minéralisation afin de continuer les travaux d'extraction du minerai de zinc du gisement de Chaâbet-El-Hamra, et pour éviter tout risque de la méthode passive utilisée dans les travaux miniers en cas des venues d'eau, la réalisation d'une batterie de forages composée de six (06) forages hydrauliques était la solution.

Ces forages nous ont permis de connaître les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère hauterivien dans lequel les deux (02) corps minéralisés sont immergés.

La transmissivité de cet aquifère calculée varie entre $3.9528 \cdot 10^{-3}$ et $6.87775 \cdot 10^{-3}$, tandis que le coefficient d'emménagement est entre de 2 et 6%.

À partir de ces derniers, et en fonction du niveau rabattu durant le mois de pompage des délais de rabatement ont été calculés.

II. Contexte hydrogéologique

II. 4. L'hydrochimie du gisement:

II. 4. 1. Introduction:

L'étude hydrochimique donne des informations à l'hydrogéologie, parce que l'eau souterraine en circulation est non seulement un créateur mais aussi un vecteur d'information, et pour cela, l'exposition des résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux des différents échantillons (**les six -06- forages existants dans le gisement**) dans des périodes aussi différentes permet l'étude du comportement des substances dissoutes et/ ou transportées et de renseigner sur le fonctionnement de l'aquifère hauterivien.

Alors, l'objectif ultime outre ces suivants :

- ☐ Déterminer la répartition quantitative des éléments majeurs ;
- ☐ Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux
- ☐ Avoir une idée générale sur la qualité chimique des eaux;
- ☐ Et enfin déterminer l'origine des différents paramètres

Est de voir la dissolution ou non de la minéralisation du gisement.

II. 4. 2. Étude des paramètres physico-chimiques :

II. 4.2.1. Étude des paramètres physiques :

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité est gérée par un certains paramètres qui sont :

- La température (T°),
- Le potentiel hydrogène (pH),
- La conductivité (σ) et
- Les résidus secs à 105°C (Rs).

II. 4.2.1.1.Température (T°) :

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, et dans la dissolution des sels dissous, donc sur la conductibilité.

Ce paramètre est très important à connaître, car il permet de différencier les eaux qui circulent près de la surface de celles qui circulent en profondeur, et donc la qualité de l'eau.

La variation thermique des eaux souterraines est en fonction de la profondeur de l'aquifère et du gradient géothermique.

Les températures des eaux relevées varient entre 18 à 20°C .

II. 4.2.1.2.Potentiel Hydrogène (pH) :

Il exprime la concentration en ion H^{+} d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau. Par définition le pH est le cologarithme décimal de la concentration en H^{+} : $\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^{+}]$.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

$[\text{H}^{+}] < [\text{OH}^{-}] \Rightarrow \text{pH} > 7$: l'eau est basique ;

$[\text{H}^{+}] > [\text{OH}^{-}] \Rightarrow \text{pH} < 7$: l'eau est acide ;

$[\text{H}^{+}] = [\text{OH}^{-}] \Rightarrow \text{pH} = 7$: l'eau est neutre.

Dans notre région d'étude, le pH mesuré varie entre 7,22 et 7,96 ce qui permet de dire que l'eau est basique (Tableau.II. 4. 1).

II. Contexte hydrogéologique

Échantillons des forages			F01	F02	F03	F04	F05	F06
			pH des échantillons					
Date du prélèvement	2008	Mars	-	7,22	7,94	7,59	7,96	-
	2010	Février	7,39	7,41	7,34	7,35	7,44	7,26
		Octobre	7,32	7,58	7,28	7,44	7,51	7,62
		Novembre	7,27	7,38	7,35	7,32	7,41	7,28
	2012	Avril	7,36	7,35	7,30	7,22	7,23	7,39

Tableau. II.4. 1. Les valeurs du pH des différents forages dans la zone d'étude.

II. 4.2.1.3. Conductivité (σ):

C'est la conductance électrique d'une eau. Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l'eau. Elle donne une estimation approchée de la minéralisation des eaux.

Le tableau II. 4.2. qui suit résume les valeurs de la conductivité en micro siemens des différents échantillons à travers les forages.

Échantillons des forages			F01	F02	F03	F04	F05	F06
			Conductivité des échantillons en $\mu\text{S/cm}$					
Date du prélèvement	2008	Mars	-	930	1020	780	1130	-
	2010	Février	772	765	759	791	793	780
		Octobre	767	756	763	791	761	752
		Novembre	745	762	747	785	791	778
	2012	Avril	740	690	730	750	770	720

Tableau. II. 4. 2. Les valeurs de la conductivité des différents forages dans la zone d'étude.

➤ On remarque que les valeurs de ce paramètre sont en diminution au cours du temps.

II. Contexte hydrogéologique

II. 4.2.1. 4. Les résidus secs à 105°C (R.s):

La minéralisation d'une eau représente la totalité des substances et les matières en suspension quelles soit organiques ou minérales. Elle est exprimée en mg/l.

Le tableau III.4.3. qui suit résume les valeurs des résidus secs trouvés.

Échantillons des forages			F01	F02	F03	F04	F05	F06
			Résidus secs à 105°C en mg/l					
Date du prélèvement	2008	Mars	-	582	622	602	766	-
	2010	Février	565	542	547	559	534	514
		Octobre	549	577	538	571	541	532
		Novembre	559	575	537	567	547	525
	2012	Avril	460	440	454	474	522	450

Tableau. II.4. 3. Les valeurs des résidus secs des différents forages dans la zone d'étude.

- On remarque que ce paramètre est en diminution au cours du temps. L'évolution des résidus secs se fait par deux (02) stades :
- **Premier stade:** l'apport et dilution ;
- **Deuxième stade:** dissolution.

II. 4.3. Étude des paramètres chimiques :

Lors de son transit, l'eau acquit une composition chimique liée à la nature lithologique du terrain traversé. L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

II.4.3.1. Cations :

☐ Calcium (Ca++) :

C'est un élément de la dureté totale. Son origine naturelle provient essentiellement de l'attaque des formations carbonatées par le gaz carbonique.



Dans la zone d'étude, le *Calcium* provient des massifs carbonatés du gisement.

II. Contexte hydrogéologique

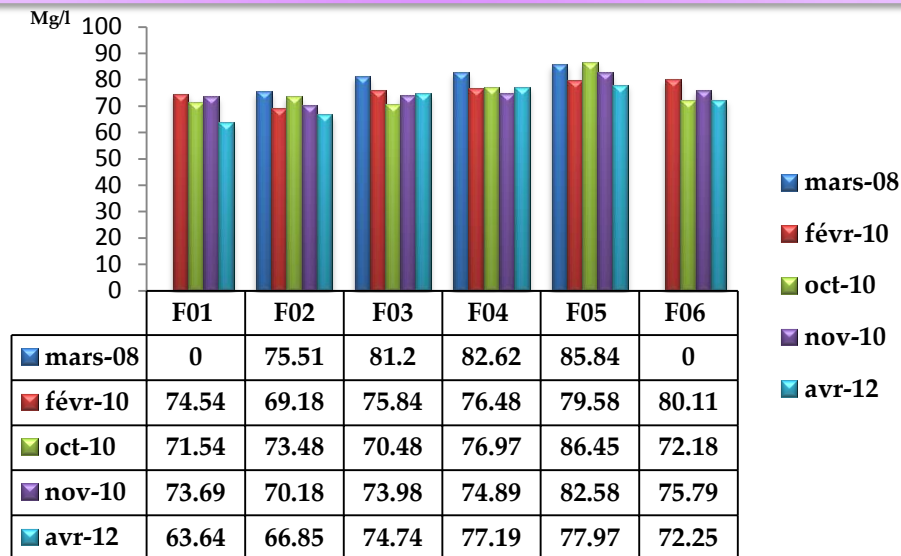


Fig. II. 4.1. Variation temporelle des teneurs en Ca^{++} dans les eaux des différents forages.

Les valeurs du calcium Ca^{++} varient de 75,51mg/l à 85,84 mg/l avant le pompage et de 63.64 mg/l à 86.45 mg/l après le pompage.

- L'étude de l'évolution temporelle des cations de calcium Ca^{++} sur la figure III. 4.1. semble montrer une légère diminution au cours des années de pompage (2010-2012).
- Ces teneurs baissent nettement au F01.

□Magnésium (Mg^{++}) :

C'est aussi un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique.

Il varie de 36.03 mg/l pour le forage F05 à 44.85 mg/l pour le forage F05 aussi.

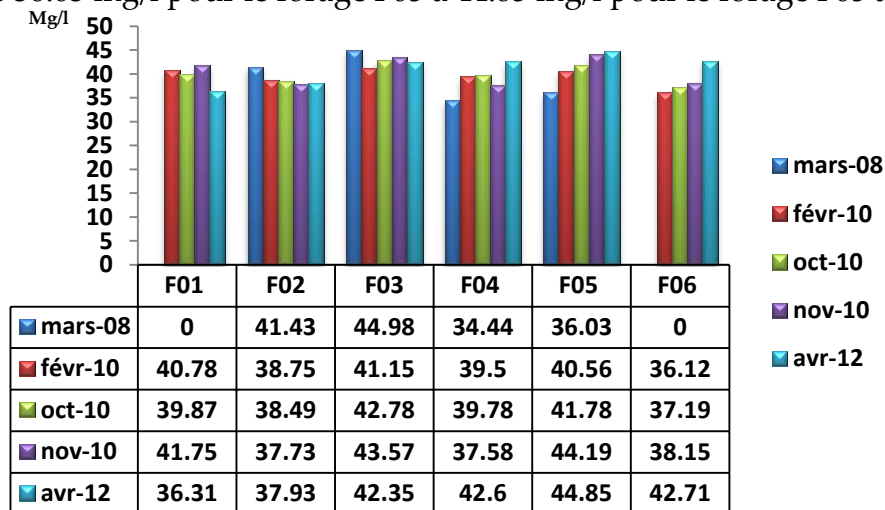


Fig. II.4.2. Variation temporelle des teneurs en Mg^{++} dans les différents forages.

II. Contexte hydrogéologique

Les valeurs du Magnésium Mg^{++} varient de 36,03mg/l à 41,43 mg/l avant le pompage et de 36,12 mg/l à 44,85mg/l après le pompage.

▪ Pour ces cations mentionnés dans la figure III. 4.2. tout spécialement, on observe une augmentation importante au cours de l'année 2012. Ceci est particulièrement significatif pour les forages F04, F05 et F06.

□ Sodium et Potassium ($Na^{+} + K^{+}$) :

Le Sodium est beaucoup plus abondant que le Potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables.

Il provient du lessivage des formations riches en NaCl (argile et marne).

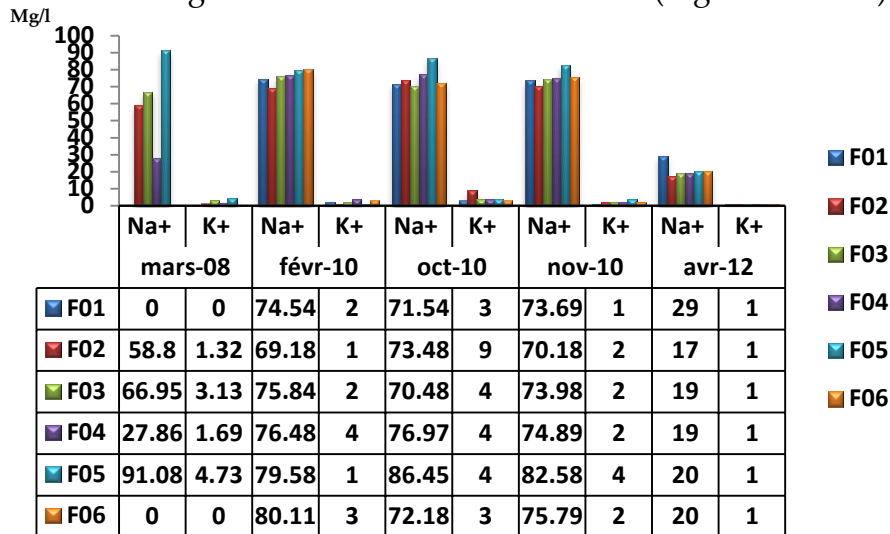


Fig. II.4.3. Variation temporelle des teneurs en Na^{+} et K^{+} dans les eaux des différents forages.

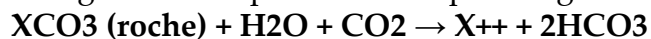
Les valeurs du potassium K^{+} varient de 1mg/l à 4mg/l, ce qui implique en fait l'ion le moins abondant.

▪ L'étude de l'évolution temporelle de cations de Na^{++} et K^{+} montre que les cations de K^{+} ; après le pompage (Avril 2012); connaissent une stabilisation à la valeur de 1mg/l pour tous les forages, tandis que les ions Na^{+} baissent nettement en tous les forages en comparant avant le pompage continu.

II.4. 3.2. Anions :

□ Bicarbonates (HCO_3^{-}) :

Les Bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre « la roche – l'eau et le gaz carbonique » selon l'équation générale suivante :



Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est en fonction de :

- La nature des terrains traversés ;
- La température de l'eau ;
- et la pression du CO_2 dissous.

II. Contexte hydrogéologique

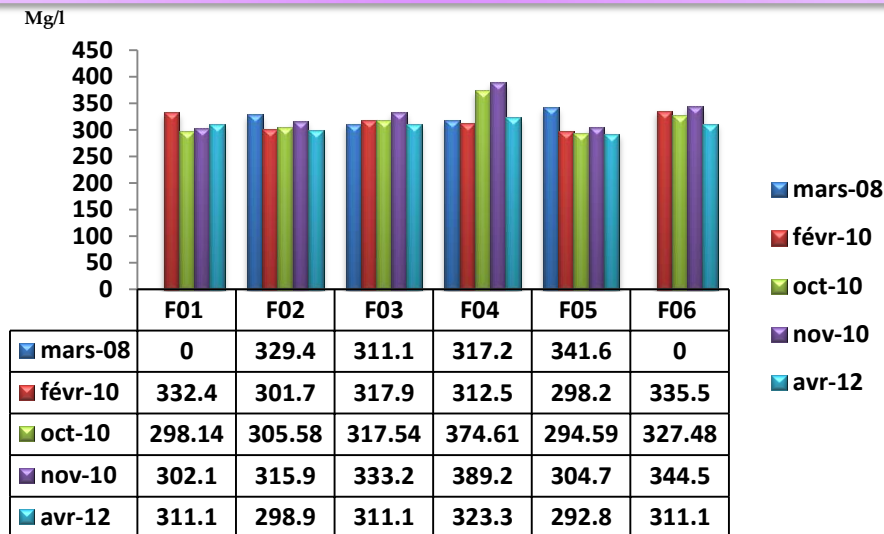


Fig. II.4.4. Variation temporelle des teneurs en HCO_3^- dans les eaux des différents forages.

❖ Commentaire:

- Les teneurs des Bicarbonates sont les teneurs les plus abondantes, elles varient de 311,1 à 341,6 mg/l avant la mise du pompage, et de 294,59 à 389,2 mg/l après le pompage.
- L'évolution temporelle des **Bicarbonates** montrée par l'histogramme de la figure III. 4.4. indique une légère modification (parfois une diminution et d'autre fois une augmentation) par rapport aux teneurs avant le pompage continu.

❑ Sulfates (SO_4^{--}) :

La source la plus probable de l'ion Sulfate est le minéral sulfuré:

- Sphalérite (ZnS), Galène (PbS),
- Baryte (BaSO_4), Pyrite (FeS_2).

Les sulfures en présence d'eau s'oxydent en donnant des sulfates :

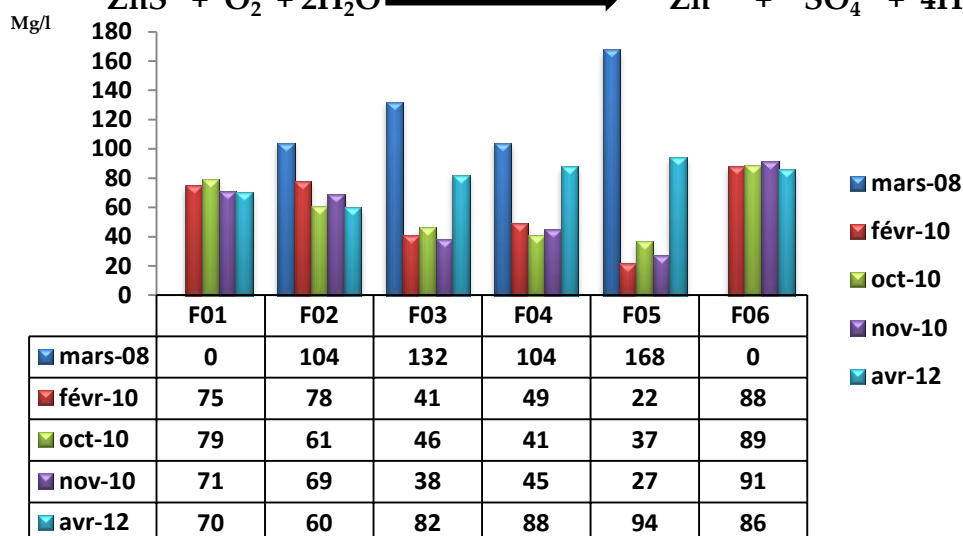
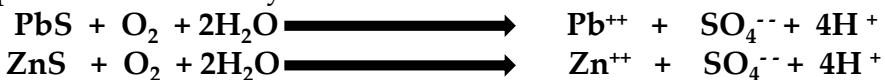


Fig. II.4. 5. Variation temporelle des teneurs en SO_4^- dans les eaux des différents forages.

II. Contexte hydrogéologique

- Les teneurs des sulfates varient de **104 à 168,6 mg/l** avant la mise du pompage continu, et de **22 à 94 mg/l** après le pompage.
- L'histogramme dessiné indique la diminution des teneurs des sulfates en tous les forages après la mise à niveau du pompage continu, tel que au forage F02, la teneur de cet anion était 104 mg/l avant le pompage (Mars 2008) pour qu'elle devienne 60 mg/l en période du pompage (Avril 2012).

□ Chlorures Cl⁻:

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles mais à des proportions variables. Ils proviennent essentiellement de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salifères.

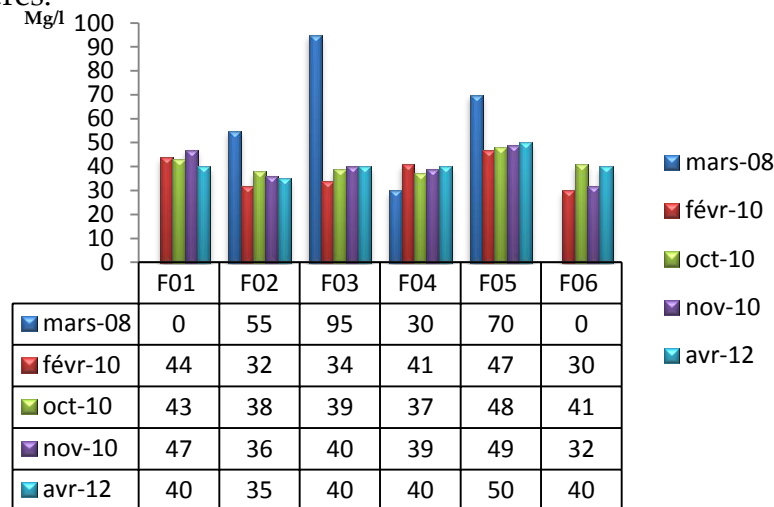


Fig. II.4.6. Variation temporelle des teneurs en Cl⁻ dans les eaux des différents forages.

- Les teneurs des *Chlorures* varient de 30 à 95 mg/l avant la mise du pompage continu, et de 30 à 50 mg/l après le pompage.
- L'histogramme dessiné indique pratiquement une diminution des teneurs des *Chlorures* dans tous les forages après la mise à niveau du pompage continu, tel que au forage F02, la teneur de cet anion était 55 mg/l avant le pompage (Mars 2008) et devient 35 mg/l en période du pompage (Avril 2012).

□ Nitrates NO₃⁻:

Après la production de l'azote minéral; qui provient essentiellement des pluies; il se transforme par le processus de nitrification sous l'intervention des bactéries aérobiques en *Nitrites* (NO₂) et en *Nitrates* (NO₃).

II. Contexte hydrogéologique

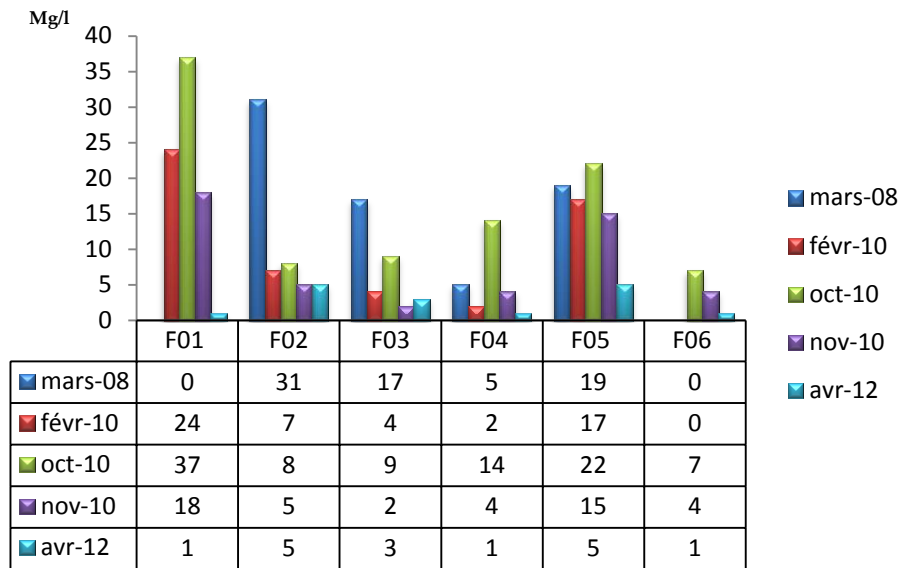


Fig. II.4.7. La variation temporelle des teneurs en NO₃⁻ des différents forages.

❖ Par le présent histogramme, et après le pompage continu, on peut dire que les teneurs des nitrates est en diminution pour tous les forages par rapport aux teneurs enregistrés avant le pompage continu.

II. 4. 4. Classification des eaux:

II.4. 4.1. Faciès des eaux: Diagramme de Piper

Cette méthode est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur *le diagramme de Piper* qui permet de classer et comparer les eaux entre elles.

Ce diagramme comporte un losange ABCD et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent (100) parties égales correspondant à des quantités en réaction pour cent (calculé par rapport à des ions de même signe).

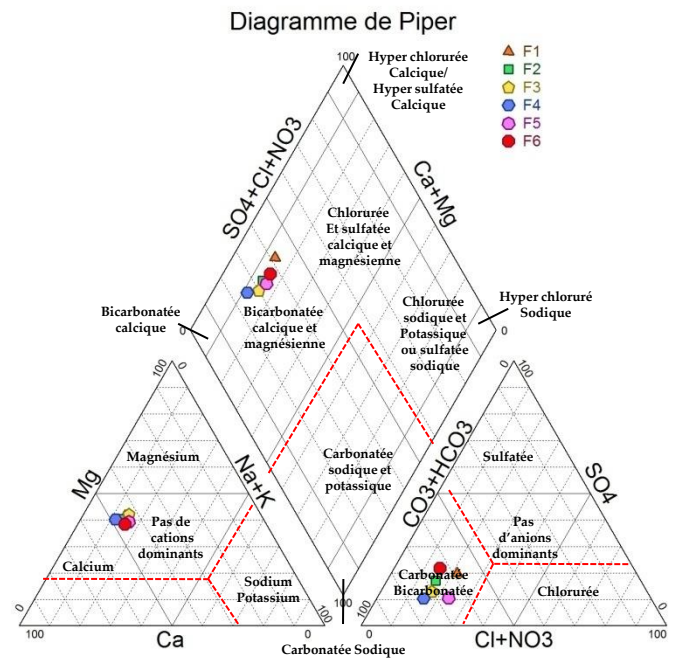
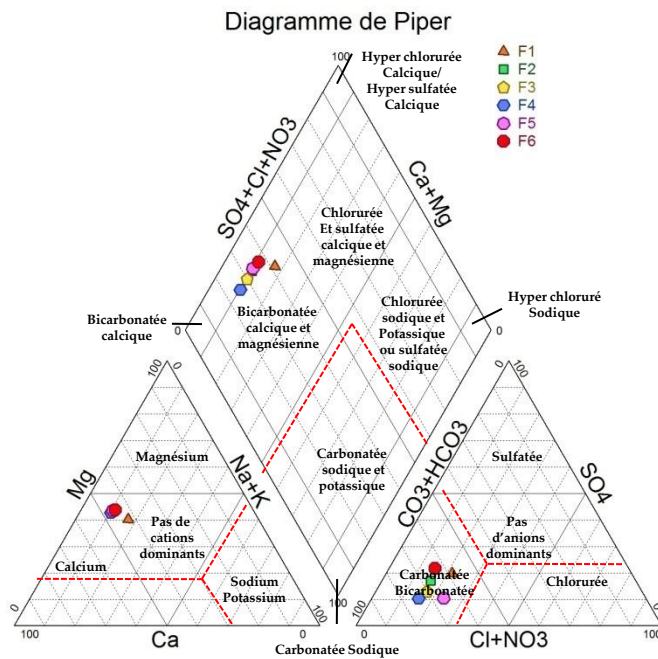
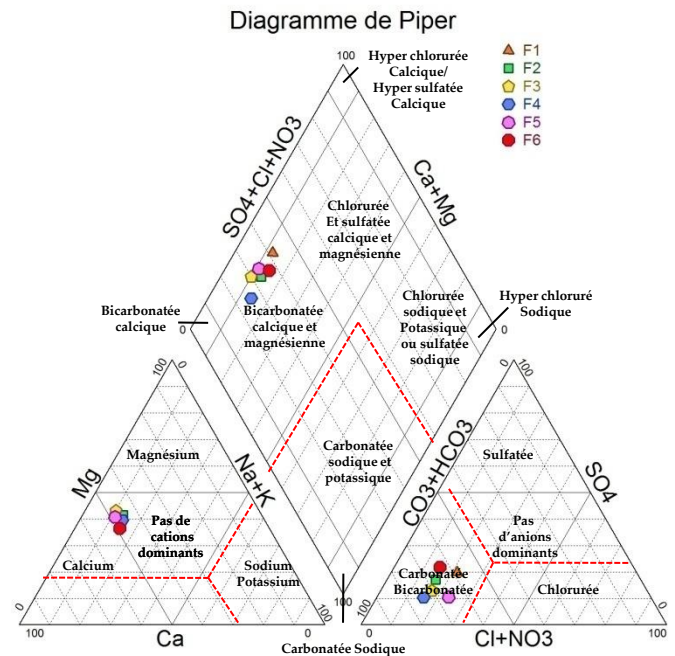
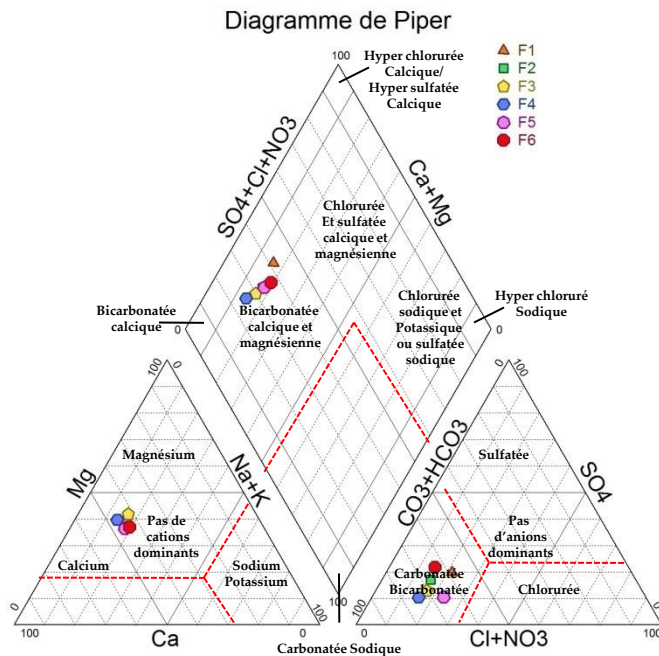
Ainsi dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les deux parallèles supportant ces deux points s'entrecroisent en un seul point dans le losange ABCD, indiquant la nature du faciès chimique des eaux.

❖ L'analyse du Diagramme de piper (Fig.II.4.8. à Fig.II.4.11); révèle un faciès bicarbonatée calcique et magnésien.

❖ Dans le triangle des cations, les analyses se situent où aucun cation n'est dominant.

❖ On note dans le triangle des anions que les eaux sont regroupées vers le niveau du pôle carbonaté et bicarbonaté.

II. Contexte hydrogéologique



II. Contexte hydrogéologique

II.4. 4.2. Faciès des eaux: Diagramme de Schoeller-Berkaloff:

La classification des eaux dans ce diagramme est basée sur le positionnement des différents éléments analysés sur les règles graduées (Fig.II.4.12 à Fig.II.4.15).

On résume les résultats dans le tableau II.4.4.

Forage	Formule caractéristique		Faciès chimique
Compagne de Février 2010	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻⁻ > SO ₄ ⁻⁻ > Cl ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺ > Mg ⁺⁺ > Na ⁺ + K ⁺	Bicarbonaté calcique et magnésien.
Compagne de Octobre 2010			
Compagne de Novembre 2010			
Compagne de Avril 2012			

Tableau II.4.4. Classification des eaux selon Schoeller –Berkaloff

II.4.5. Métaux lourds:

Le terme métal lourd regroupe les métaux de densité supérieure à 5 g/cm³, à l'exception des alcalino-terreux.

En général, les éléments suivants sont cités comme étant des métaux lourds : **bismuth (Bi), cadmium (Cd), chrome (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), étain (Sn), fer (Fe), manganèse (Mn), mercure (Hg), molybdène (Mo), nickel (Ni), plomb (Pb), et zinc (Zn).**

Puisque ce gisement est destiné à l'exploitation du Zinc, des analyses des métaux lourds sont donc obligatoire pour confirmer la dissolution ou la non-dissolution de ces derniers.

Le tableau II.4.5. qui suit récapitule les teneurs des métaux lourds (en mg/l) et surtout le Zn, Pb et Fe des forages testés après la mise à niveau du pompage continu

II. Contexte hydrogéologique

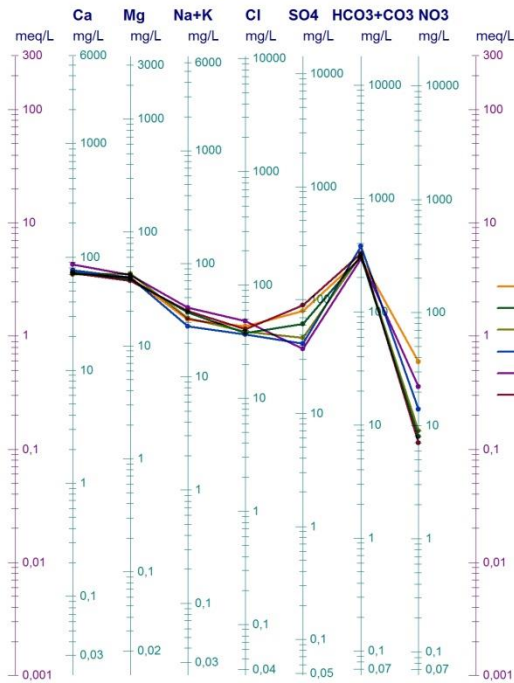


Fig.II.4.12. Le digramme de Schoeller-Berkaloff (Octobre 2010)

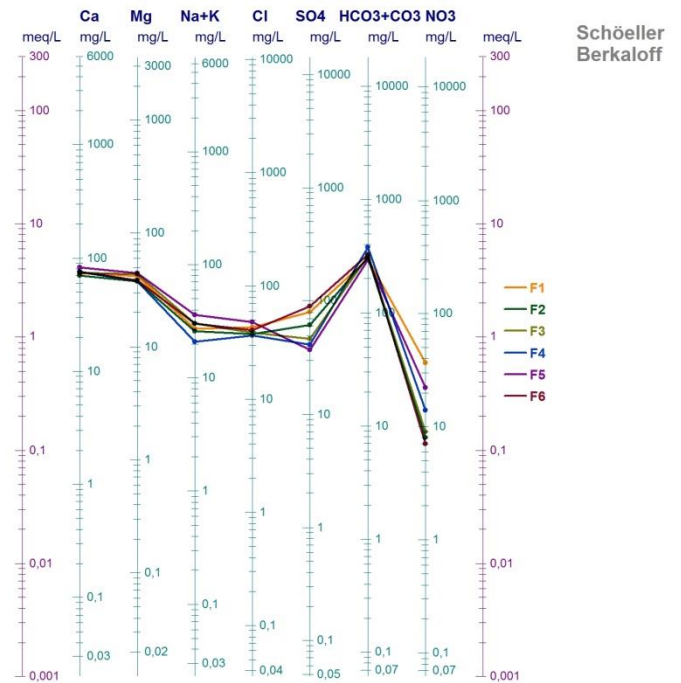


Fig.II.4.13. Le digramme de Schoeller-Berkaloff (Novembre 2010)

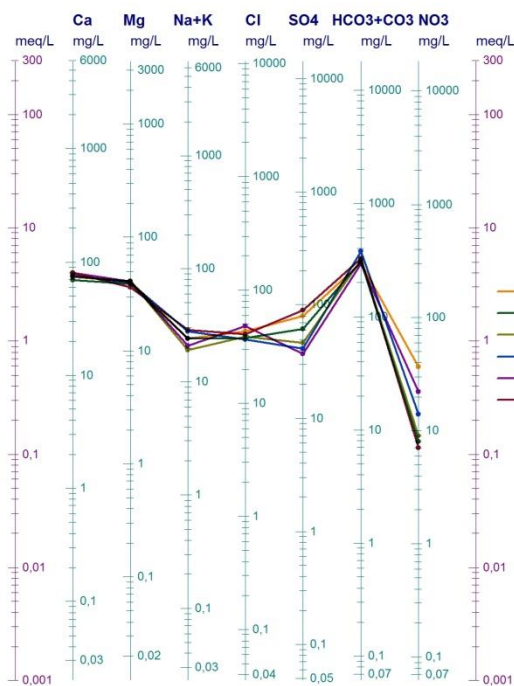


Fig.II.4.14. Le digramme de Schoeller-Berkaloff (Février 2010)

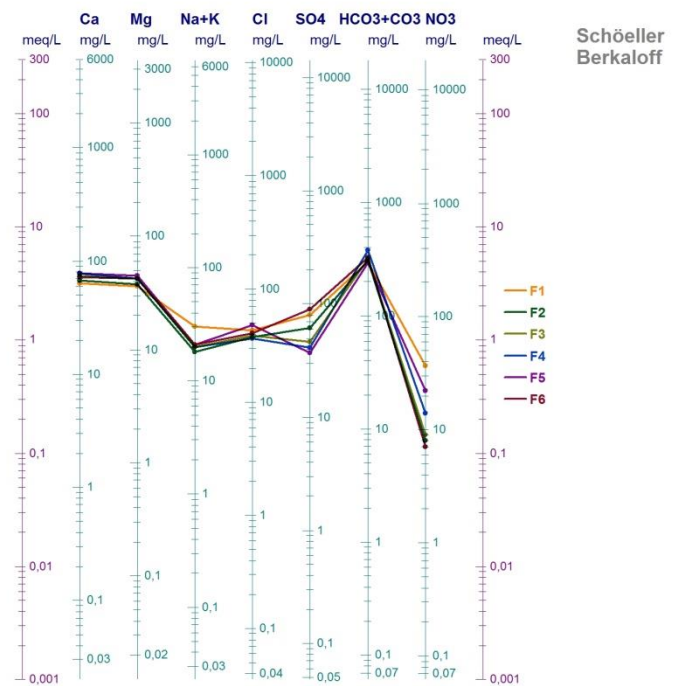


Fig.II.4.15. Le digramme de Schoeller-Berkaloff (Avril 2012)

II. Contexte hydrogéologique

Date de prélèvement	Forage	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)	Fe (mg/l)	Cr (mg/l)	Mn (mg/l)	Cd (mg/l)
10/10/2010	F1	0.904	Non décelable	0.008	Non décelable	Non décelable	Non décelable
	F2	0.015		0.189			
	F3	0.028		0.010			
	F4	0.000		0.006			
	F6	0.038		0.081			
17/11/2010	F1	1.104		0.008			
	F2	0.008		0.147			
	F3	0.058		0.005			
	F4	0.000		0.003			
	F6	0.024		0.060			
25/02/2010	F1	1.018		0.008			
	F2	0.010		0.160			
	F3	0.080		0.002			
	F4	0.000		0.004			
	F6	0.052		0.048			
Avril 2012	F1	0		0.073		0.009	
	F2	0.007		0.071		0.014	
	F3	0.035		0.085		0.014	
	F4	0.048		0.307		0.017	
	F5	0.001		0.065		0.008	
	F6	0.016		0.141		0.018	

Tableau.II.4.5. Les teneurs des métaux lourds dans les forages du champ de captage

II.4.6. Potabilité des eaux de la mine de zinc de Chaâbet-El-Hamra (Norme et qualité):

Non seulement la réalisation des forages hydrauliques dans le gisement de zinc de Chaâbet-El-Hamra est pour le dénoyage de la mine afin de continuer les travaux d'exploitation, mais aussi la gestion de ces eaux pour alimenter les gens des communes avoisinantes en eau potable sera un double intérêt.

Les analyses chimiques des concentration des différents éléments chimiques des eaux de forages ne doivent pas dépasser un certain seuil défini par les normes algériennes des eaux: Les Normes (NA) 6360 et les normes OMS (Organisme mondiale de la santé).

II. Contexte hydrogéologique

Paramètre chimique	Les Normes (NA) 6360 mg/l	Les normes OMS (2008) Mg/l	Les teneurs dans les eaux du gisement en mg/l
PH	6.5 - 8.5	6,5-9,225	7,22-7,96
CND ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2800	≤ 1500	720-1130
R. S à 105°C (mg/l)	2000	1500	440-582
SO_4^-	200/400	250	22-94
Cl^-	200/500	200	30-95
CA^{++}	75/200	500	75,51-85,84
Mg^{++}	150	50	36,03-44,85
NA^+	200	100	17-91
K^+	20	12	1-4
Nitrates (NO_3)	50	20	31-1
Zinc mg/l	5	3	0-0,904
Plomb	0.05	0.01	Non décelable
Fer mg/l	0.3	0,3	0,002-0,307
Manganèse	0.5	0,4	0,008-0,018
Cadmium	0.01	0,003	Non décelable
Chrome	0.05	0,05	

Tableau II. 4.6. Comparaison des eaux souterraines du gisement de Chaâbet-El-Hamra avec la norme Algérienne (NA) 6360 et les normes OMS (2008)

La comparaison des eaux de forages de la zone d'étude à la norme algérienne (NA) 6360 et celle de l'OMS n'enregistre aucune anomalie, ce qui permet de dire que ces eaux sont dans les normes.

II. 4.7. Conclusion:

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines du gisement de Chaâbet-El-Hamra montrent que cet aquifère renferme des eaux basiques bicarbonatées calciques et magnésiennes selon la classification de *Piper et schoeller-Berkaloff*.

Sa conductivité et ses résidus secs sont en diminution au cours du temps.

De plus, l'analyse des métaux lourds confirme la faible présence de ces derniers dans ces eaux, ce qui permet de dire que le corps minéralisé du gisement ne se décompose pas.

La comparaison des teneurs enregistrées avec les normes de potabilité, soit Algérienne (NA) 6360 ou celle de l'OMS n'enregistre aucune anomalie ce qui implique sa potabilité.

*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

3ème partie

CONTEXTE MÉTALLOGÉNIQUE

*Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie
Géologie appliquée et ressources minérales
Université de Sétif*



III. Contexte métallogénique

III.1. Introduction:

La problématique à l'origine de ce travail comporte les questionnements suivants:

- *Quels est le type du gisement de Chaâbet-El-Hamra?*
- *Quelle est la relation entre la minéralisation et l'encaissant?*
- *Quelles sont les types d'altération existants?*

Il n'est pas aisé de répondre à ces préoccupations mais on essayera de le faire à partir des explications rencontrées soit dans la littérature, soit dans des travaux antérieurs sur le gisement et selon nos appréciations.

III.2. Aperçu historique:

Les monts du Hodna, Belezma et des Aurès représentent une importante région polymétallique du nord algérien sur une superficie de 9000km². En outre et du point de vue économique, le zinc et le plomb constituent la deuxième richesse de l'Algérie après le fer.

L'existence de minéralisations plombozincifères est connue depuis l'antiquité dans cette région par un nombre très important des gites exploités autrefois. Les vestiges des anciens travaux miniers remontent à l'antiquité romaine.

Les minéralisations hodnéennes les plus accessibles ont fait l'objet d'exploitation artisanale isolée et ce à partir des travaux de recherche qui ont eu lieu dans la région depuis le début du siècle.

Parmi les travaux les plus importants sur le plan géologique, structural et métallogénique ceux réalisés par:

- ❑ *Savornin. J, 1920; Bertraneu. M, 1955 et 1958; Glaçon. J, 1952.*
- ❑ La thèse de *Glaçon. J, 1967* sur la géologie et les gites métallifères du tell Sétifien est considérée comme un travail de base pour la région.

Elle a été suivie par des travaux à l'échelle régionale aussi bien sur:

- **Le plan structural par:**

- ❖ *Guiraud. R, 1971 et 1973*

- **Le plan métallogénique par:**

- ❖ *Popov. A, 1968*

- **Et des travaux à l'échelle locale comme:**

- ❖ *Benzerga. M, 1974 sur le Dj. Guestar*

- ❖ *Henni. A, 1984 et Khaldi. A, 1987 sur la massif de Hadjar Labiod (Mine de Kherzet Youcef).*

- Et plus récemment, la thèse de *Boutaleb. A, 2001.*

Par ailleurs, des informations importantes concernant les gites métallifères de la région Hodnéenne sont données par des rapports inédits de l'EREM (1981, 1983, 1989 et 1992) et dernièrement par l'ENOF.

- **EREM:** Entreprise de la Recherche et de l'Exploitation Minière.

- **ENOF:** Entreprise Nationale des produits miniers non-Ferreux et des substances utiles.



III. Contexte métallogénique

III.3. Répartition des gîtes Hodnéens:

Le gîte de Chaâbet-El-Hamra étant situé dans les monts du Hodna, il est intéressant d'avoir une idée sur les gisements et les indices avoisinants à différents points de vue. Leur répartition et leur typologie est donnée dans la figure III.1. suivante.

De plus, le tableau III.1. qui suit sera un tableau de description uniquement pour les minéralisations *plombozincifères* qui sont les plus importantes par leur tonnage. En effet, elles représentent le tiers de la totalité des indices de Pb-Zn du nord Algérien (EREM, 1992).

Nom du gîte	Morphologie	Roche encaissante	Age des roches encaissantes	Minéralisations essentielles	Gangue
Zdim	Stratiforme	Dolomie	Aptien	Galène, sphalérite et pyrite	Dolomite, quartz, calcite
Abiane	Cassure et stock-work	Calcaire	Lias	sphalérite et galène	Baryte, quartz
Dra Sfa	Stratiforme	Calcaire	Cénomanién	sphalérite et galène	Baryte, quartz
Kherzet Youcef	Stratiforme	Dolomie	Barrémien supérieur	sphalérite, galène, marcassite et pyrite.	Baryte, calcite, quartz et gypse
Ain Kahla	Stratiforme	Dolomie	Lias inférieur et Dogger moyen	sphalérite et galène	Baryte et fluorine
Chaâbet-El-Hamra	Stratiforme (lenticilles superposées)	Dolomie	Hautérivien	sphalérite, pyrite, marcassite et galène	Baryte, calcite, dolomite et quartz
Dj-Guestar	Stratiforme (en amas)	Calcaire dolomitisé	Hautérivien	sphalérite et galène	Dolomite, quartz et calcite
Dj. Brao	Stratiforme	Calcaire	Barrémien	sphalérite et galène	Quartz, dolomite et calcite
Mènes oriental	Cassure	Calcaire	Lias	sphalérite et galène	Baryte, quartz et calcite



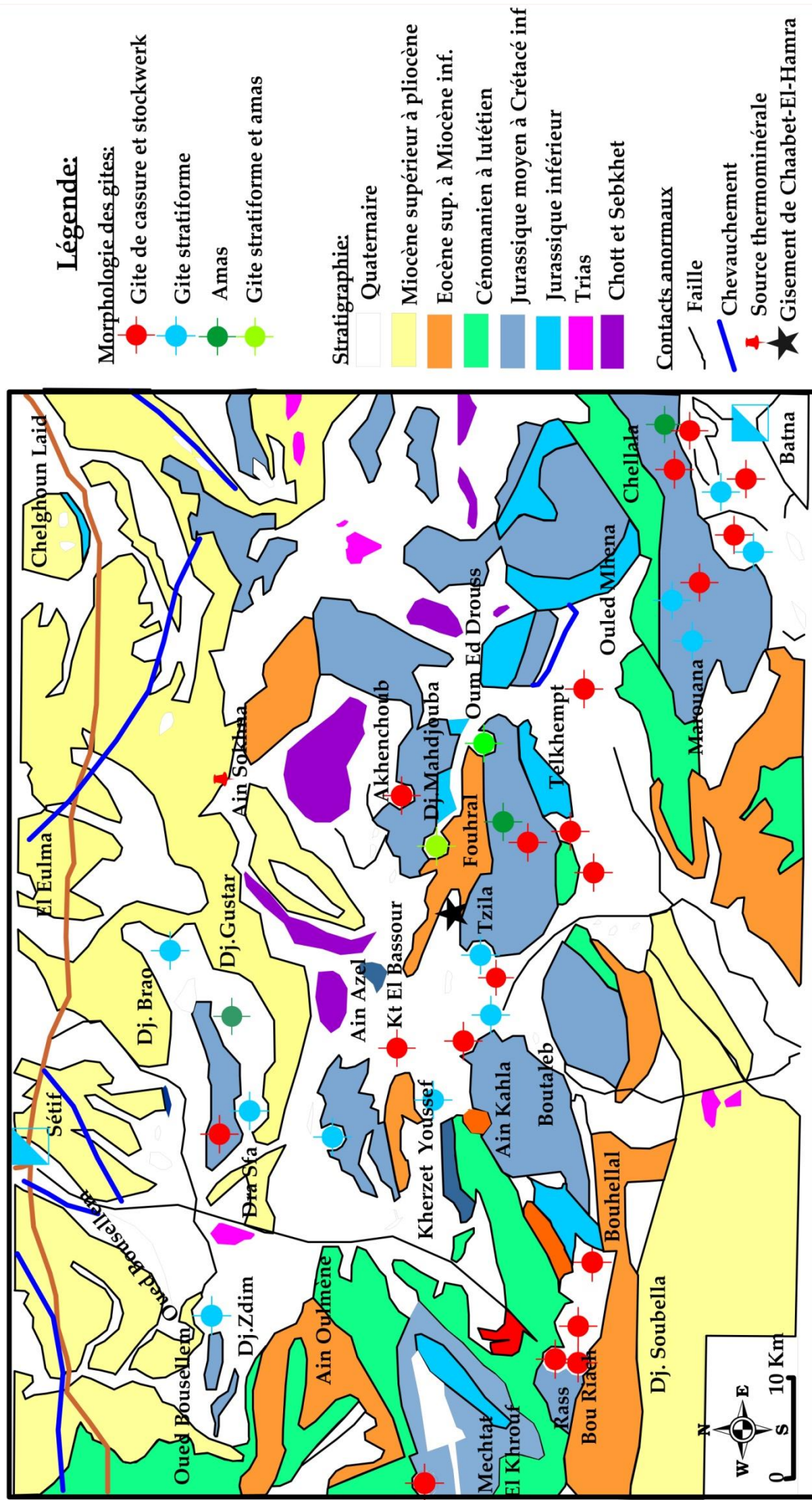


Fig. III 1. Carte des gîtes minéraux de la partie orientale des Monts du Hodna (D'après ONG, 1987; modifiée)

IV. Contexte métallogénique

.../.

Fourhal	Stratiforme et amas	Dolomie	Lias, Barrémien et Aptien	sphalérite, galène et pyrite	Baryte, calcite et dolomite
Talkhempt	Cassure, autres formes indéterminées	Dolomie	Lias moyen	sphalérite et galène	Calcite et baryte
Tzila	Stratiforme	Dolomie	Aptien inférieur	sphalérite et galène	Quartz, dolomite et calcite
Medjouba	Cassure	Dolomie	Hautérvien	sphalérite et galène	Quartz, calcite et dolomite
Oum El Drous	Cassure	Dolomie et calcaire	Aptien	sphalérite et galène	Baryte et quartz
Rasfa	Cassure	Dolomie	Lias	sphalérite et galène	Dolomite, calcite et baryte
Bourieche	Cassure	Calcaire et dolomie	Lias	sphalérite et galène	Baryte, calcite et quartz
Bouhellal	Cassure	Calcaire et dolomie	Crétacé inférieur	sphalérite et galène	Quartz, baryte et dolomite
Merouana	Stratiforme	Calcaire	Aptien	sphalérite et galène	Quartz, baryte et calcite.

Tableau III. 1. Caractéristiques des gites Hodnéens (EREM, 1992).

La simple analyse de la figure Fig. IV.1. permet de mettre en évidence une situation des différents gisements à proximité des grands accidents. À titre d'exemple:

- Le gisement de *kherzet Youcef* qui est situé au voisinage d'une faille décrochante dextre NS qui pourrait être active durant le mésozoïque en forme d'une faille normale puis décrochante dextre lors de la mise en place des nappes rigides de l'ensemble allochtone Sud Sétifien.
- Le gite de *Ain El Kahla* est limité au sud par une faille inverse Est-Ouest d'âge incertain.
- Les gites du Sud-Est de *Ain Azel*, et y compris le gisement de notre thème d'étude, ils sont liés spatialement à des accidents directionnels confondus avec l'axe du pli anticlinal arqué du *Fourhal- Telkhempt*.



III. Contexte métallogénique

III. 4. Historique des travaux miniers de Chaâbet-El-Hamra:

Le gisement de *Chaâbet-El-Hamra* tire son nom d'un indice découvert en 1900 par *Savornin. J.* Il se trouve à 700m au SSW de la montagne de *Chouf Bou Arket* à l'embouchure de oued *Chaâbet-El-Hamra*.

L'indice a fait l'objet d'exploitation au cours des années 1910, 1920, 1936, 1941. Les premiers renseignements relatifs aux caractères des travaux de recherche de prospection remontent au début des années soixantes par le B.R.M.A (Bureau de recherches minières Algériennes).

De 1967 à 1970, la reprise des travaux d'évaluation sur l'indice et le commencement des travaux de recherches aux alentours. En 1971, Jogov a établi une carte géologique schématique et a réalisé quatre (04) sondages.

En 1976- 1977, une carte géologique au 1/2000 a été établie.

De 1978 à 1981, les travaux de recherche-estimation se sont poursuivis (*Agassiev.M, Ait Ouramdane. J, Dmitrovski*, 1981) à l'échelle du champ minier.

C'est en 1989 que furent réalisés les travaux d'évaluation systématique menés en parallèle avec les travaux d'ouverture en Juin 1991 par l' EREM .

En 1992, un rapport a été rédigé après avoir terminé la prospection-évaluation du gisement avec les calculs de réserves des minerais de *Zinc* par l'EREM.

En Septembre 1995, l'exploitation du gisement est débutée. Il ressort de l'ensemble des travaux que la minéralisation du gisement de *Chaâbet-El-Hamra* est représentée par le minerai de *Zinc* (Sphalérite) et les *sulfures de fer* (Marcassite et pyrite).

La zone minéralisée est orientée suivant la direction N120° à 140° vers l'Est, et a été suivie par sondages sur 2900 ml avec une largeur de 500 à 600m. (EREM, 1992).

III.5. Localisation et morphologie des corps minéralisés:

Sur la base des travaux de sondages (proche de 400 sondages) disposés sur 31 profils, et par l'interpolation des niveaux minéralisés à partir des coupes techniques des sondages trouvés et selon la coupe longitudinale du gîte, on arrive à dire que la minéralisation est formée sous forme de deux corps principaux.

Ils forment des amas lenticulaires superposés pluri-étage et discontinues, les contours de ces amas sont irréguliers, ne présentent pas de biseautage propre aux lentilles, ils ressemblent à des remplissages de poche.

D'après les rapports de l'EREM (1989, 1992) et SIDAM (1992), les deux corps minéralisés sont les principaux corps du gisement . Il est évalué à 5.7 M/t : 5.5% Zn et 0.15% Pb.(EREM, 1992).

III. 5.1.Corps de minerai n°1 (supérieur):

Il est associé à la partie supérieure du niveau dolomitique bitumineux bréchiforme (H1-1); c'est une couche allongée qu'on peut diviser en trois lentilles (L4, L5, L6) dont la largeur est de 300 à 600m et la longueur de 2700m, son épaisseur moyenne est de 5m.

La minéralisation consiste en sphalérite disséminée et massive, marcassite, pyrite et une de galène.





Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique du gisement de Zn de Chaïbat-El-Camra à Ain Azel, Wilaya de Sétif, le Nord oriental Algérien

Légende:

m	Néogène: Calcaire bioclastique, marnes, conglomérats, alternance des micro-poudingue, grès ferrugineux folliés.	n4-1	Barrémien supérieur: Calcaires gris, parfois gris clair, massifs à intercalation d'argillites. Barrémien inférieur: Alternance de faisceau de dolomie gréseuses ou calcaires gris à grains fins ou moyen avec des faisceaux constitués de grès et marnes.
C1	Cénomanién: Calcaires gris clairs, massifs rarement à module de silex, avec conglomérats à la base.	n3	Hauterivién: Dolomies grises, massives à grains moyens. Valangénien: Partie supérieur: En particulier calcaires noirs avec des passes de grès. Partie inférieur: En particulier grès avec passés de marnes et dolomies.
n6-7	Albien: Calcaires gris pelitomorphes détritiques en peti et gros bancs. Aptien supérieur: Assise supérieur: Dolomies grises, calcaires dolomitisés et bioclastiques.	n2	Jurassique supérieur: Kimméridgien: Calcaires noirs.
n5-2	Assise inférieur: Alternance de calcaire gris organogène, et de grès calcaires blancs.	J5	Collovo- Oxfordien: Calcaires noirs à mélange de marnes argileuses.
	Aptien inférieur: Assise supérieur: Dolomies grises, calcaires dolomitisés.	J3-4	Lias supérieur: Dolomies grise claire massive à grains moyens et fins. Lias inférieur:
n5-1	Assise inférieur: Alternance de calcaire gris organogène, et de grès blancs.	I3-4	Partie supérieur: Alternance de dolomies grises massives à stratification oblique. Partie inférieur: Calcaires organogènes bitumineux de couleur noire à blanche.
		I1-2	

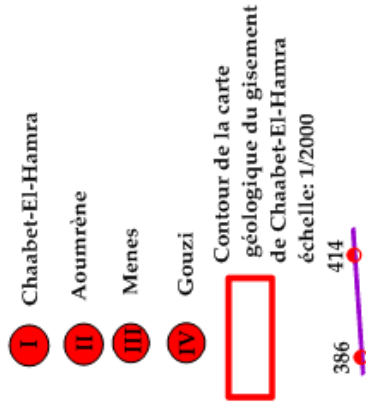


Fig. III.3. La légende de la carte géologique du horst anticlinal de Rahbet (EREM, 1992)



III. Contexte métallogénique

III.5.2. Corps de minerai n°2 (inférieur):

Il se situe au dessous du corps n°1 dans les mêmes dolomies (H1-1), là où le caractère bréchiforme est moins net. Il est séparé du corps n°1 par un intercalaire stérile de dolomie tacheté.

Il s'agit d'une couche allongée divisée en trois (03) lentilles (L1,L2,L3), son extension est inférieure à celle du corps n°1, celle-ci possède des parties stériles plus vaste. La minéralisation est essentiellement constituée de sphalérite, marcassite, pyrite et rarement de galène.

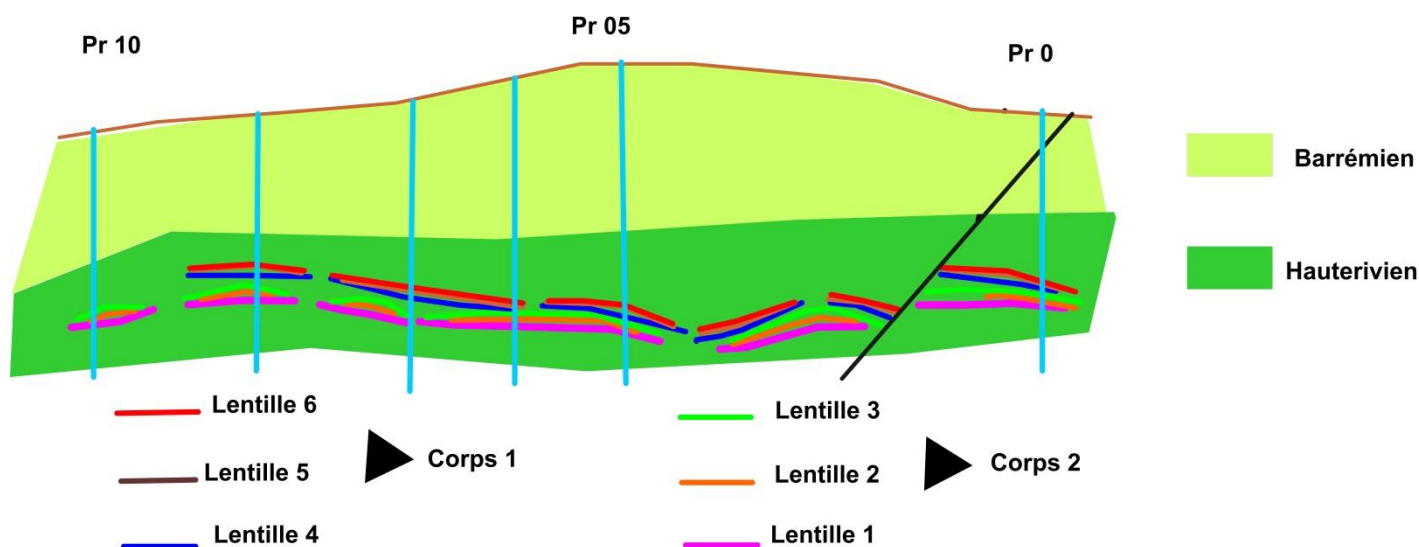


Fig. III.4. Coupe schématique du gisement de Chaâbet-El-Hamra avec la disposition des six lentilles composant les deux corps minéralisés (ENOF), modifiée.



Photo. III.1. Fragment d'une lentille de l'un des corps minéralisés.



Légende:

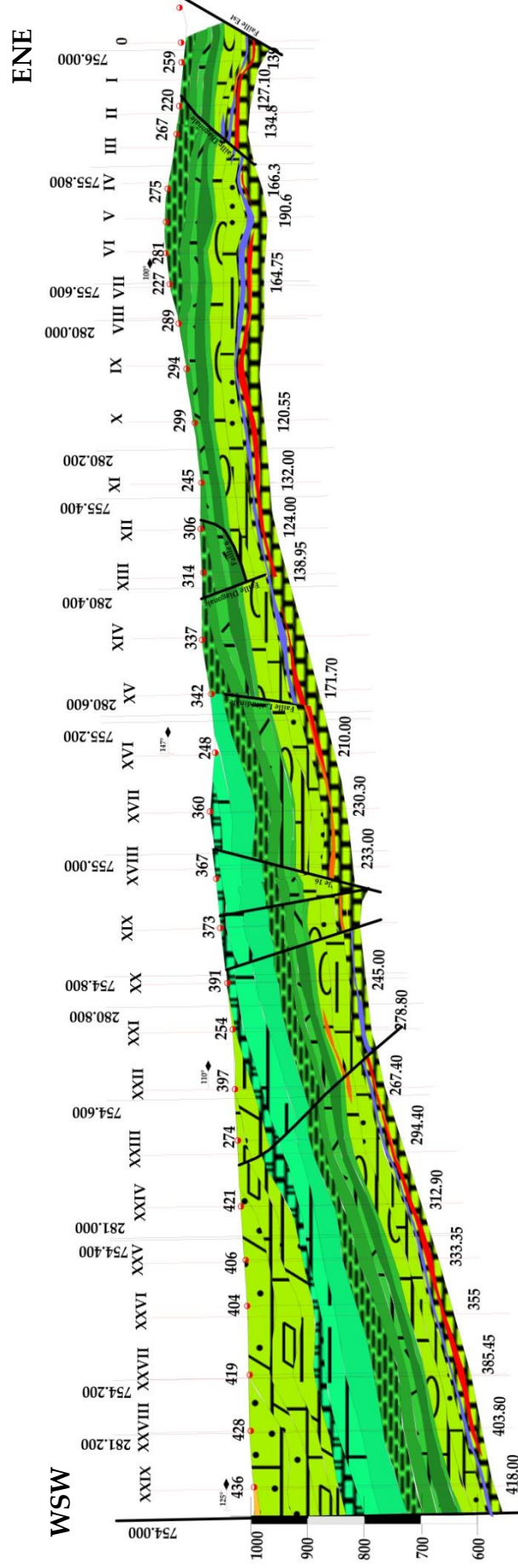
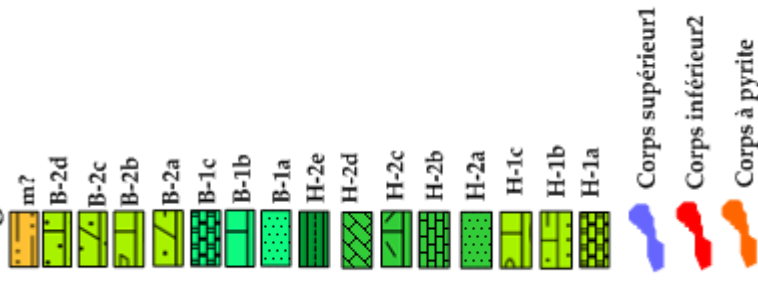


Fig. III.5. Coupe longitudinale du gisement de Chaâbet-El-Hamra en fonction des sondages miniers effectués (E.R.E.M, 1992)

- modifiée -

III. Contexte métallogénique

III. 6. Étude pétrographique:

Toute étude pétrographique est basée sur le prélèvement des échantillons de la région à étudier.

Pour éviter le maximum de l'effet d'altération, nous avons décidé d'échantillonner au niveau de la descenderie.

Elle se situe au point le plus bas de la région dans la cote 1020m avec une longueur de 830m.



Photo. III.2. La galerie d'accès de la mine de Chaâbet- El-Hamra



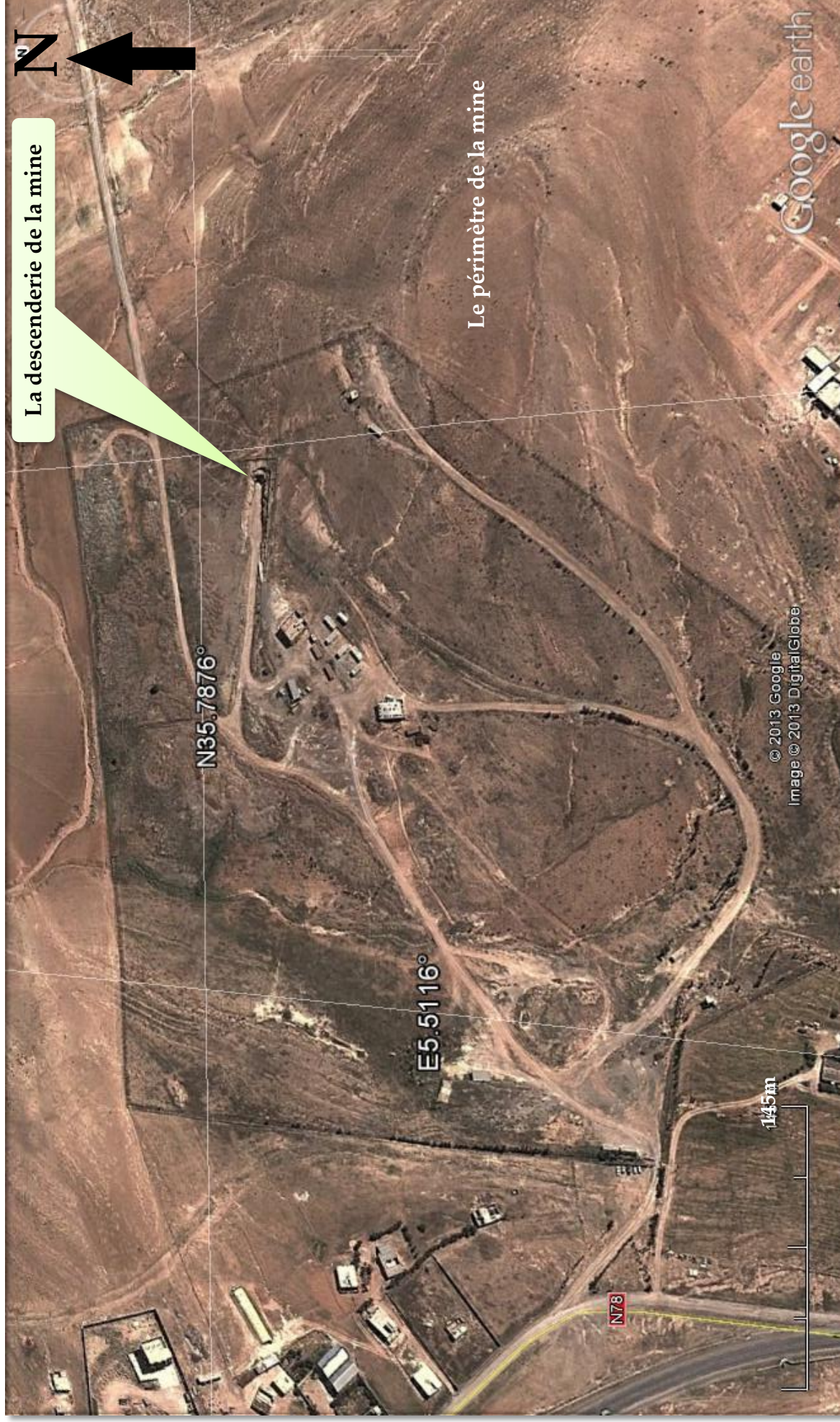


Fig. III.6. Image satellitaire montrant la position de la descenderie (l'endroit de l'échantillonnage) de la mine de Chaâbet-El-Hamra (Source: Google Earth -2013-)

III. Contexte métallogénique

III. 6.1. Étude de l'encaissant:

III.6.1. 1. Observations macroscopiques:

L'étude macroscopique est basée sur la description des échantillons d'âge *Hauterivien* et *Barrémien* prélevés au niveau de la descenderie.

III.6.1.1. 1 Hauterivien:

Dans l'ensemble, l'*Hauterivien* est constitué de calcaires, dolomies, dolomies gréseuses, de grès et d'argiles. C'est le faciès dolomitique qui prédomine et qui en outre renferme la minéralisation Zn-Pb.

La description macroscopique des échantillons prélevés débutera par l'encaissant non minéralisé et se poursuivra par l'encaissant minéralisé.

▪ Les grès:

Ils sont de couleur beige à verdâtre, à grain fins comprenant des taches noires bitumineuses et traversés par des fissures à remplissage calcitique présentant des traces d'oxydation. (pl. 1. photo. III.3).

▪ Les calcaires:

Sont des calcaires fins de couleur grise avec quelques taches blanches de calcite (pl. 1. photo. III.4).

▪ Les dolomies:

Les dolomies prélevées peuvent être regroupées entre les dolomies porteuses de la minéralisation de zinc, de baryte et les dolomies grises qui précèdent ces deux catégories.

❖ Les dolomies grises:

Elles sont constituées de fins cristaux d'une couleur grise-noire avec quelques filonnets blancs remplis de calcite. (pl. 1. photo. III.5).

❖ Les dolomies porteuses de baryte:

L'échantillon prélevé est un échantillon sombre à grain fin. Il contient des vacuoles millimétriques à centimétriques remplies par des petits cristaux de quartz, sans oublier les petites taches blanches de la calcite. (pl. 1. photo. III.6).

▪ Les dolomies "l'encaissant de zinc":

Les dolomies porteuses de la minéralisation sont des dolomies ferrugineuses à grains fin et parfois brillants, avec une couleur blanche (calcite) et une orange (oxyde de fer). (pl. 1. photo. III.7).

III.6.1.1.2. Barrémien:

Les formations barrémiennes sont caractérisées par la présence de grès qui sont prédominants, de dolomies et de calcaires.

▪ Les grès du barrémien:

Sont des bancs pluri décimétriques à métriques de couleur grise à violacée à grains fins ou moyen, au différents aux grès zonés de surface caractérisés par une alternance de deux (02) couleurs: Une couleur sombre rougeâtre et une autre claire beige à blanchâtre. (pl. 2. photo. III.13 et 14).

▪ Les calcaires:

Les échantillons prélevés peuvent être regrouper en deux (02) catégories: calcaires argileux, et calcaires marneux.

▪ Calcaires argileux:

Ils se caractérisent par une couleur grise à grains fins. La cassure de l'échantillon prélevé montre l'existence des cristaux blancs et brillants de calcite d'un côté et l'existence d'une couleur de l'oxydation. (pl. 2. photo. III.11).



III. Contexte métallogénique

Planche. 1

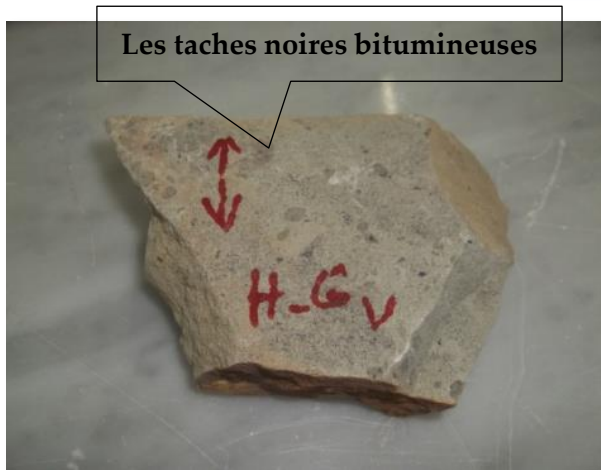


Photo. III. 3. Les grès verts de l'Hauterivien

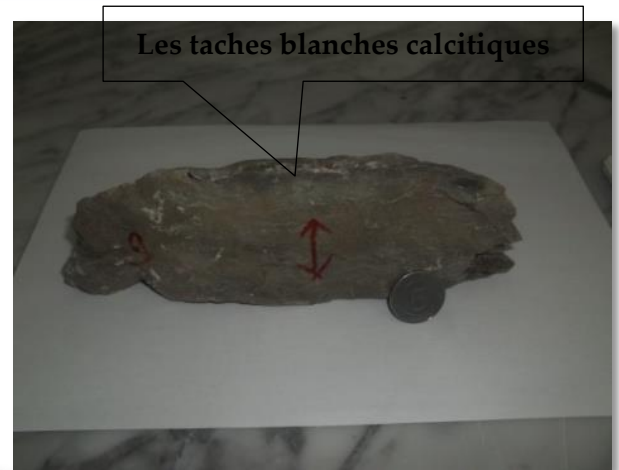


Photo. III.4. Les calcaires de l'Hauterivien

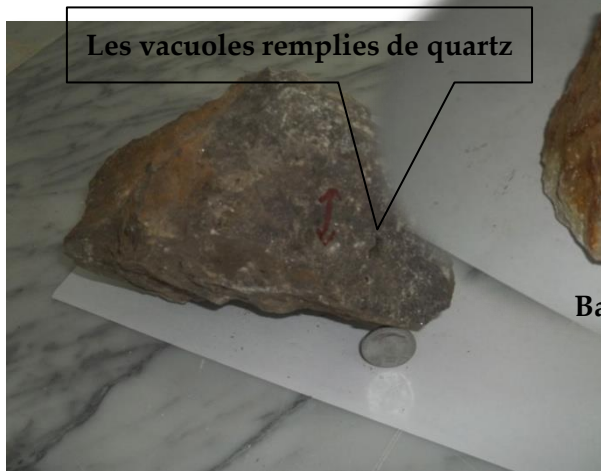


Photo. III.5. Les dolomies -l'encaissant de la baryte- de l'Hauterivien



Photo. III.6. Les dolomies grises de l'Hauterivien



Photo. III.7. Les dolomies -l'encaissant du minerai de zinc- de l'Hauterivien

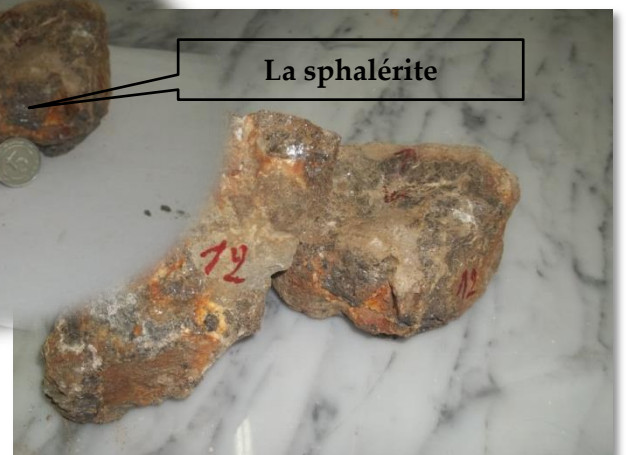


Photo. III.8. La sphalérite dans les dolomies de l'Hauterivien



III. Contexte métallogénique

Planche.2



Photo. III.9. Les dolomies massives du barrémien



Photo. III.10. Les dolomies oxydées du barrémien

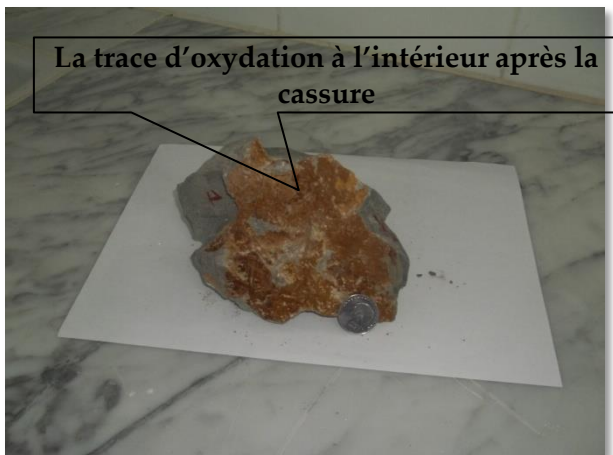


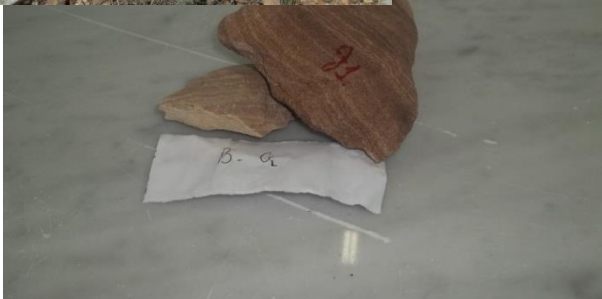
Photo. III.11. Les calcaires gris du Barrémien.



Photo. III.12. Calcaire marneux du Barrémien.



Photo. III.14. Les grès du Barrémien



III . Contexte métallogénique

▪ Calcaires marneux:

Les grains de cet échantillon sont des grains fins d'une couleur généralement en ocre avec quelques filaments droits en jaune -marron foncé et quelques taches trop petites en rouge brique. (pl. 2. photo. III.12).

▪ Les dolomies:

Les dolomies du barrémien prélevées sont d'une part des dolomies massives avec des grains fins, et d'autre part sont des dolomies oxydées friables avec des cristaux blancs de quartz visibles à l'œil nu. (pl. 2. photo. III.9 et 10).

III.6.1.2. Observations microscopiques:

III.6.1.2. 1. Hauterivien:

▪ Les grès:

Ce sont des grès très fins à ciment argileux et dolomitique, composés essentiellement de quartz, des cristaux de dolomites et des traces d'argiles. Ils contiennent du bitume avec des minéraux opaques.

Le quartz est représenté par des grains subanguleux à arrondis.

L'échantillon prélevé sous microscope contient quelques minces veinules qui ressemblent à des cassures remplis en sphalérite. (Pl.3. Photo. III.15).

▪ Les dolomies:

À travers l'étude des différentes lames faites, on constate:

1/ Dolomies grises " Dolosparite":

Il s'agit d'une dolomie constituée de gros cristaux .

La lame étudiée révèle les caractéristiques suivantes:

- Il n'y a pas d'organismes apparents dans ce microfaciès;
- Des cristaux de calcite primaire dont le clivage est très notable (Pl.3. Photo. III.16);
- Au niveau des fissures, un remplissage par des minéraux secondaires sous forme de calcite et de dolomite qui laisse la zone de recristallisation voir le jour (Pl.3. Photo. III.17);
- Des cristaux opaques automorphes à sub-automorphes de Pyrite (Pl.4. Photo. III.18);
- L'existence des filonnets de quartz (Pl.4. Photo. III.19);
- Une (Pl.3. Photo. III.16).

2/ Dolomie finement à moyennement grenue:

La lame étudiée permet de reconnaître:

- L'absence d'organisme apparent dans ce microfaciès;
- Une zonalité soulignée par l'apport des oxydes (Pl.4. Photo. III.20).

3/ Dolomie recristallisée:

La lame de cet échantillon montre que cette dolomie est une dolosparite.

Retient le constat suivant:

- Il n'y a pas d'organismes apparents dans ce microfaciès;
- Une inclusion de la sphalérite (Pl.5. Photo. III.21);
- Une zone de recristallisation (Pl.5. Photo. III.22);
- Une altération hydrothermale sous forme de:
 - (Pl.5. Photo. III.23);
 - Silicification avec l'inclusion des oxydes et de la minéralisation (Pl.6. Photo. III.24) ;
 - Chloritisation (Pl.5. Photo. III.23);



III. Contexte métallogénique

Planche.3

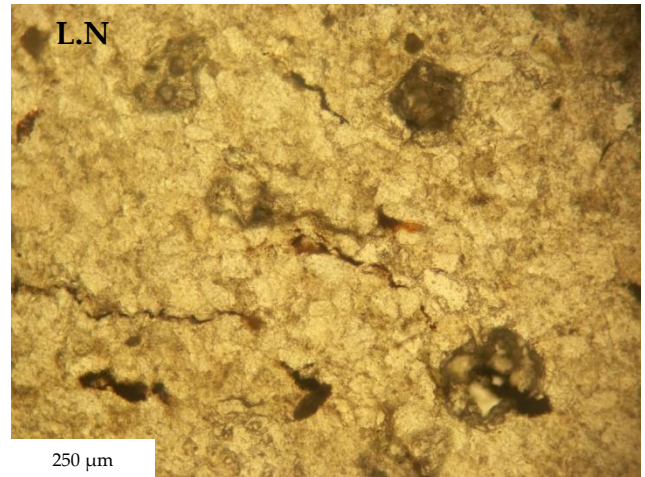
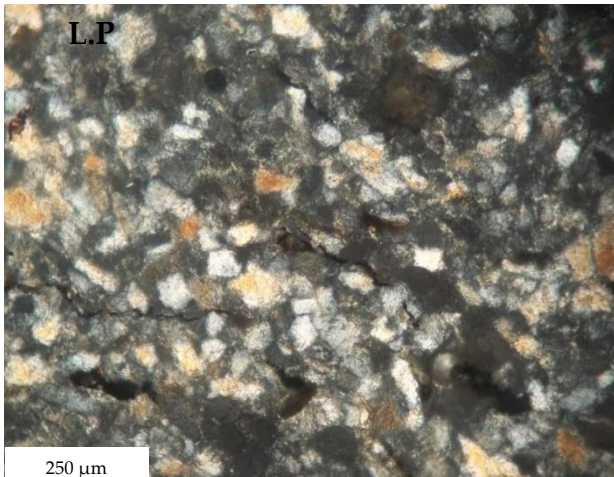


Photo. III.15. Lame montrant les grains du quartz, les minéraux opaques, la matrice dolomitiques et les veinules du sphalérite dans les grès verts de l'Hauterivien.



Photo. III.16. Lame montrant les cristaux primaires du calcite où le clivage est notable

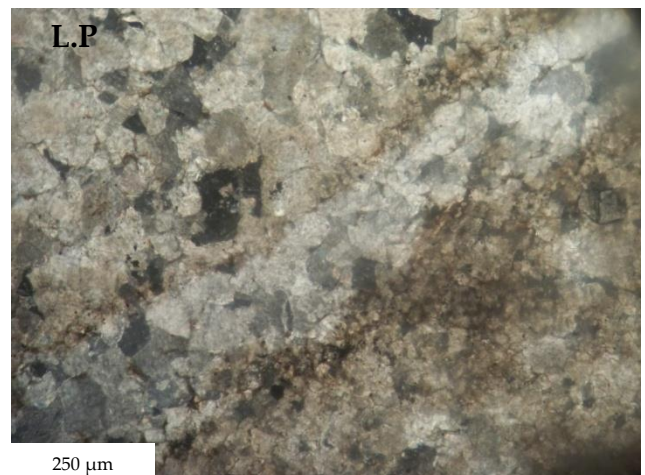


Photo. III.17. Lame montrant le remplissage en minéraux secondaires (Les zones de recristallisation)



III. Contexte métallogénique

Planche.4

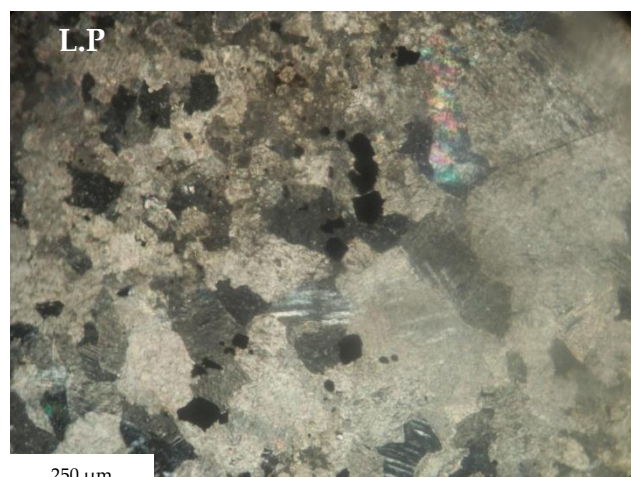


Photo. III.18. Lame montrant les grains de pyrite automorphe et sub-automorphe en L.N (à gauche) et en L.P (à droite).

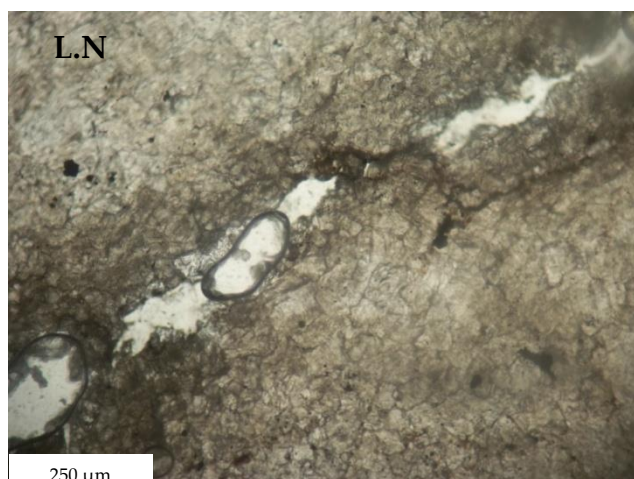


Photo. III.19. Lame montrant le filonnets du quartz en L.N (à gauche) et en L.P (à droite).

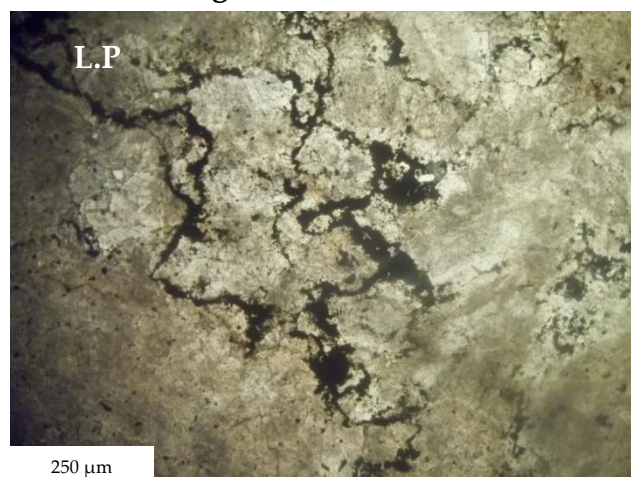
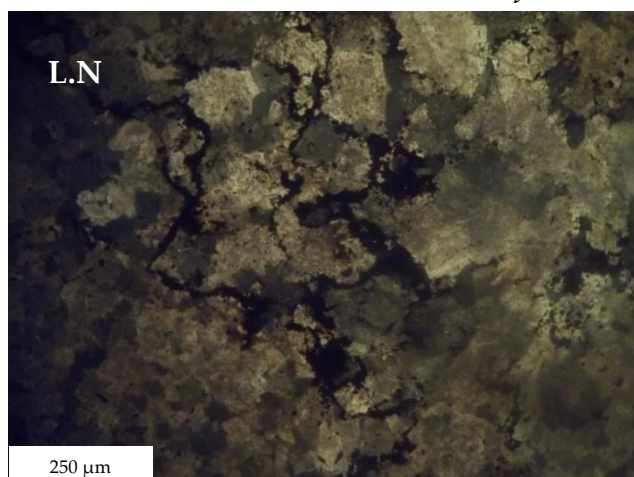


Photo. III.20. Lame montrant l'apport des oxydes en L.N (à droite) et en L.P (à gauche).



III. Contexte métallogénique

Planche.5

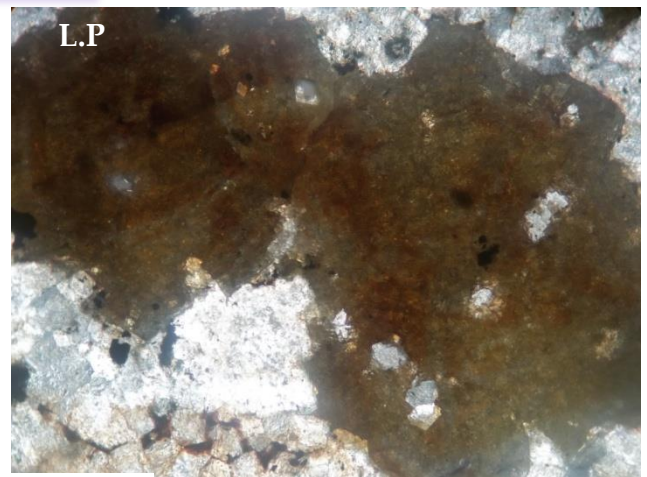
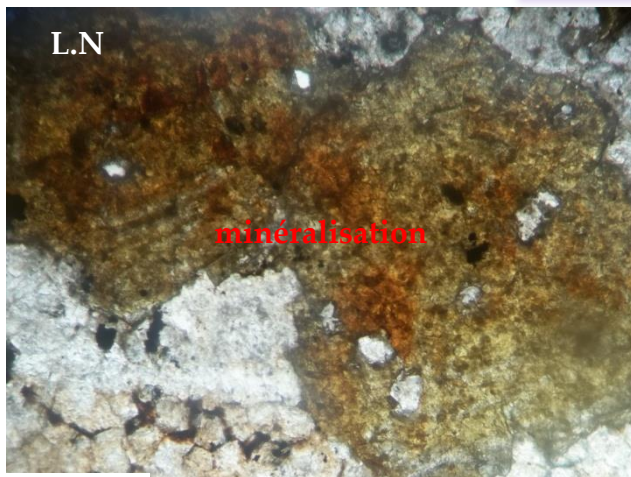


Photo. III.21. Lame montrant les inclusions de la minéralisation en L.N (à gauche) et en L.P (à droite).

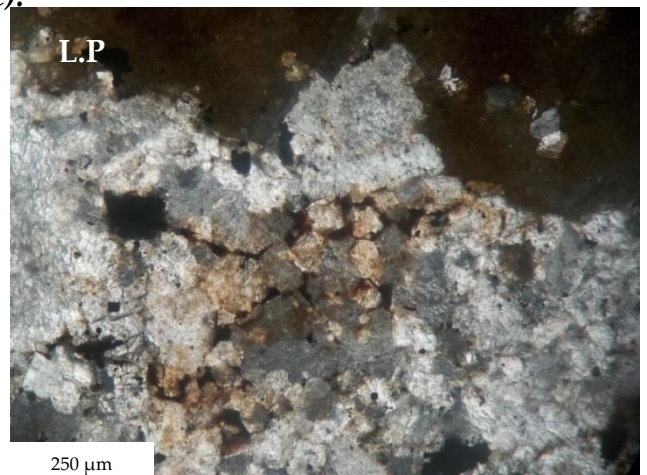


Photo. III.22. Lame montrant la zone de la recristallisation en L.N (à gauche) et en L.P (à droite).

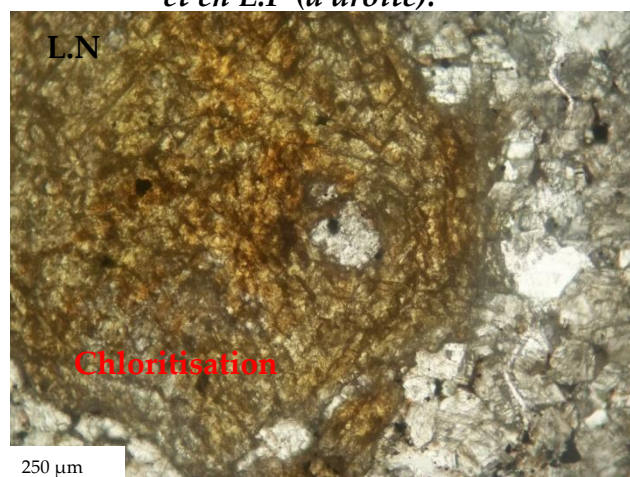


Photo. III.23. Lame montrant la chloritisation en L.N



III. Contexte métallogénique

Planche.6

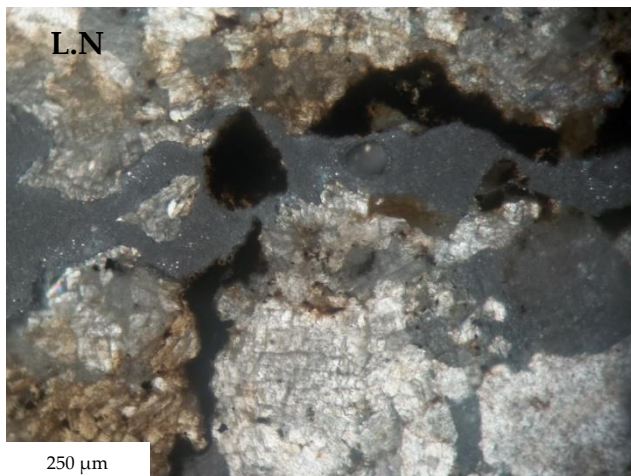


Photo. III.24. Lame montrant la silicification avec l'inclusion des oxydes (la minéralisation) en L.N (à gauche) et en L.P (à droite).

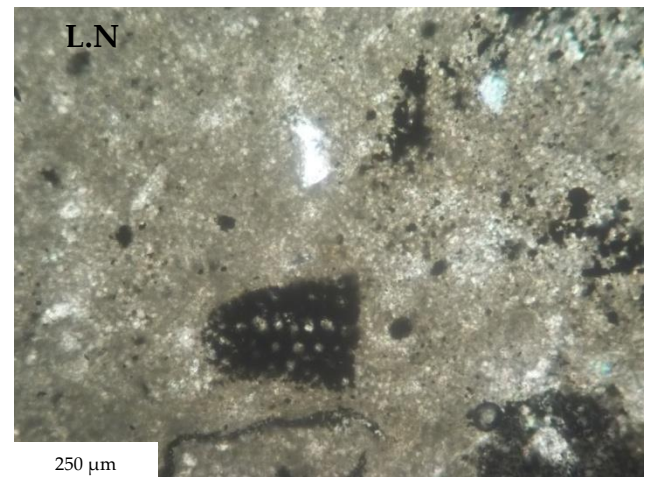


Photo. III.25. Lame montrant les fragments d'ostracodes, orbitoïdes (à gauche) et orbitolines (à droite) en L.N.

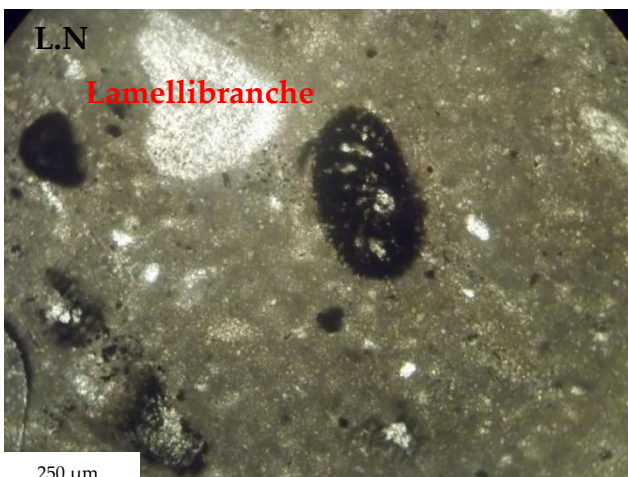


Photo. III.26. Lame montrant un fragment du lamellibranche (à gauche) et une section de foraminifère (à droite) en L.N dans un liant micritique.



III. Contexte métallogénique

III.6.1.2.2. Barrémien:

▪ Les calcaires:

Selon la classification de Dunham (1962), élargie par Embry & Klovan (1971), ce microfaciès est un wackestone (Liant micritique >10%) à bioclastes.

Les bioclastes en présence sont:

❖ Arthropodes: sous forme d'Ostracodes (possèdent des valves en calcite. Leur taille est de l'ordre de 1 mm) (Pl.6. Photo. III.25);

❖ Mollusques: sous forme des fragments de lamellibranche (Pl.6. Photo. IV.26);

❖ Foraminifères: sous forme d'orbitolines et orbitoïdes.

Du point de vu minéralogique:

❖ L'existence des minéraux opaques (Pl.7. Photo. III.27).

▪ Les dolomies:

les différentes lames faites ne révèlent pas de différence significative entre les lames hauteriviennes et barremiennes.

1/ Dolomies grises "Dolosparite":

Il s'agit d'une dolomie constituée de gros cristaux.

▪ Il n'y a pas d'organismes apparents dans ce microfaciès;

▪ Des cristaux de quartz (Pl.8. Photo. III.28), calcite et dolomite (Pl.8. Photo. III.30) ont été constatés;

▪ La sphalérite est post calcite et dolomite (Pl.8. Photo. III.29).

Planche.7

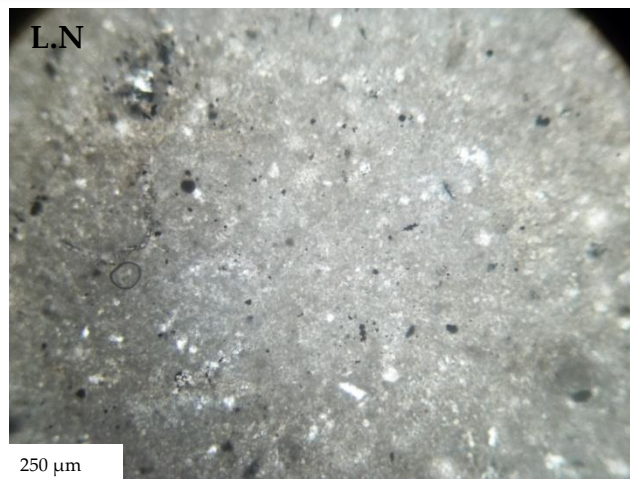
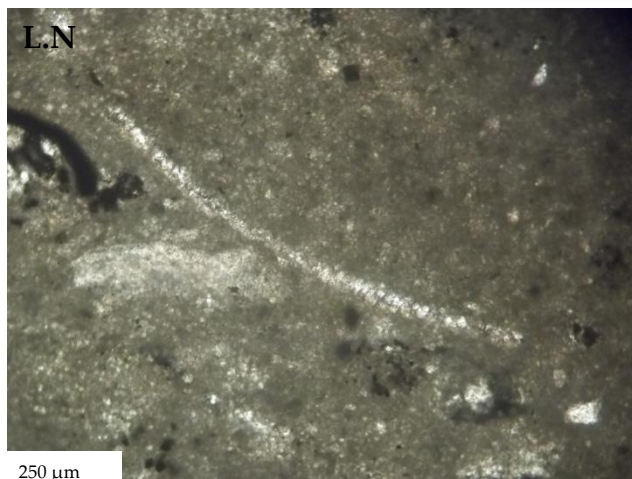


Photo. III.27. Lame montrant l'ostracode (à gauche) et les minéraux opaques dans le faciès des calcaires (à droite) en L.N.

III. Contexte métallogénique

Planche.8

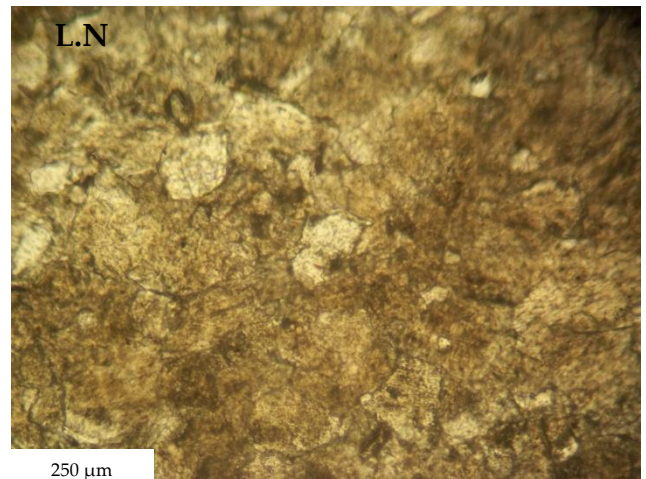
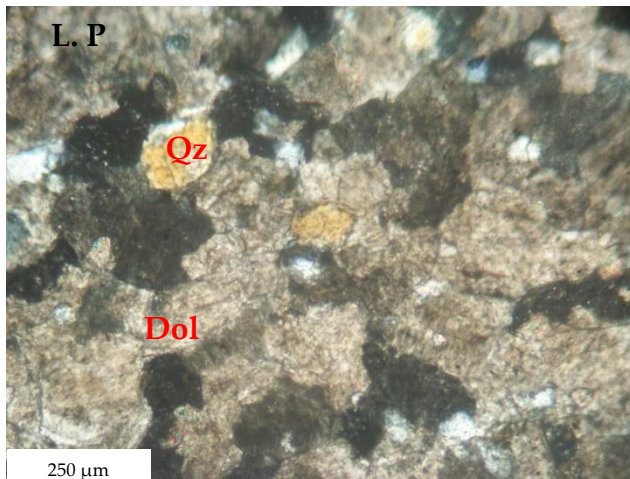


Photo. III.28. Lame montrant les cristaux du quartz en L.P (à gauche) et en L.N(à droite)

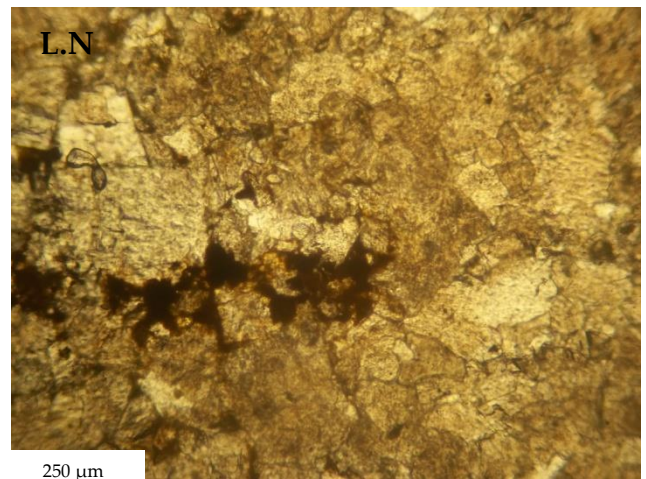
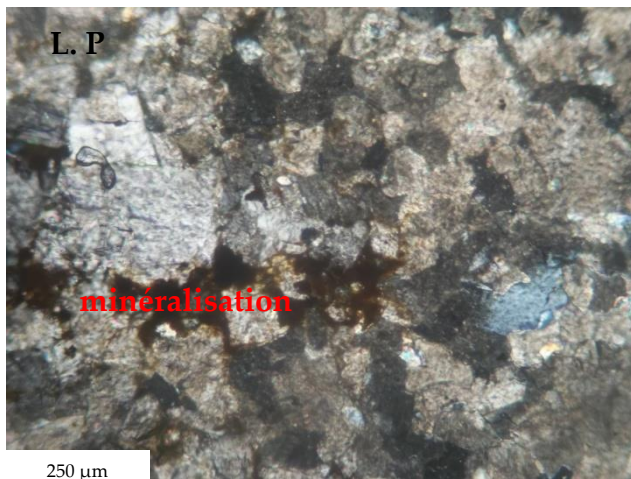


Photo. III.29. Lame montrant la minéralisation en L.P (à gauche) et en L.N(à droite)

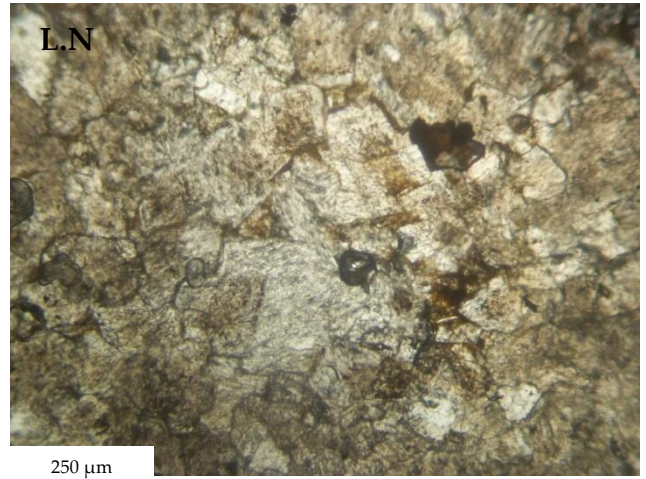
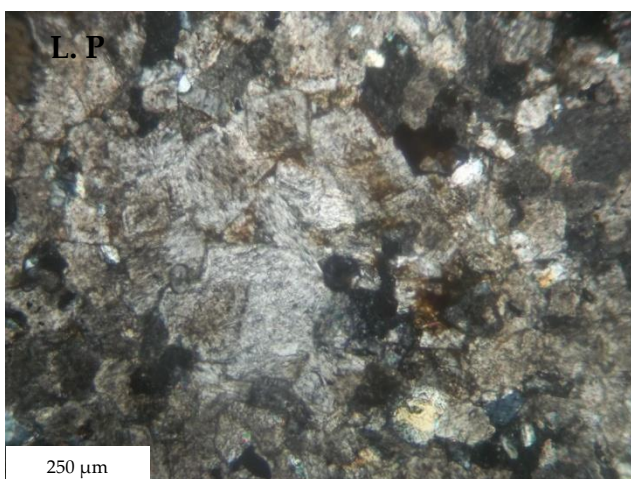


Photo. III.30. Lame montrant la calcite et la dolomite en L.P (à gauche) et en L.N (à droite)



III. Contexte métallogénique

III.6.1.3. Relation encaissant-minéralisation:

La minéralisation de *Chaâbet El Hamra* est encaissée dans des dolomies qui se présentent sous plusieurs aspects ; compacte, caverneuse, renfermant des cavités et des fissures.

L'étude microscopique des lames minces nous ont permis de mettre en évidence la succession paragenétique des différentes générations des dolomites et leurs relations avec la minéralisation. Cette étude microscopique suggère l'existence de quatre générations de dolomites qui sont (Pl.9. Photo. III.31):

▪Dolomite DI :

Il s'agit d'une dolomite à cristaux subautomorphes à automorphes.

▪ Dolomite DII :

C'est une dolomite cristalline, saccharoïde qui se présente en cristaux xénomorphes rarement automorphes.

Elle résulte d'une succession des phénomènes de dissolution – recristallisation des cristaux.

La dolomite DII se distingue de la dolomite DI par :

- ❑ Des cristaux plus grands.
- ❑ Des formes en nids, en nodules et en filonnets.
- ❑ Par la couleur plus claire généralement blanche.

▪Dolomite DIII :

C'est une dolomite qui se présente sous forme de cristaux automorphes à subautomorphes, elle est souvent associée à la minéralisation .

▪ Dolomite DIV:

représentée par des cristaux au sein les minéraux sulfurés (sphalérite).

▪Résultats:

➤Le gisement de *Chaâbet El Hamra* est caractérisé par une minéralisation encaissée dans les dolomies grises de l'Hauterivien inférieur.

➤L'étude microscopique des lames minces montre que ces dolomites sont antérieures par rapport à la minéralisation à l'exception de le DIV.

➤La minéralisation se présente sous forme de petites inclusions qui remplissent les espaces entre les grains ou sous forme massive.

III.7. Étude minéralogique:

III.7.1. Les minéraux de gangue:

▪La dolomite Ca Mg (CO₃)₂:

Elle constitue le minéral principal de la gangue et forme l'encaissant immédiat des sulfures, elle présente quatre aspects développés plus haut.

▪La barytine (BaSO₄) :

La barytine se rencontre rarement, elle est sous forme de filonnets de composition monominérale, c'est un minéral plus tardif que la sphalérite et la pyrite, elle est de couleur blanche, parfois rosâtre à cause des imprégnations d'hématite (Pl.10. Photo .III.32).

▪La calcite (CaCO₃) :

Elle est présente dans les roches encaissantes sous forme de veinules . Elle est de couleur blanche et par ailleurs elle représente le principal constituant des calcaires (Pl.10. Photo III. 34).



Planche.9

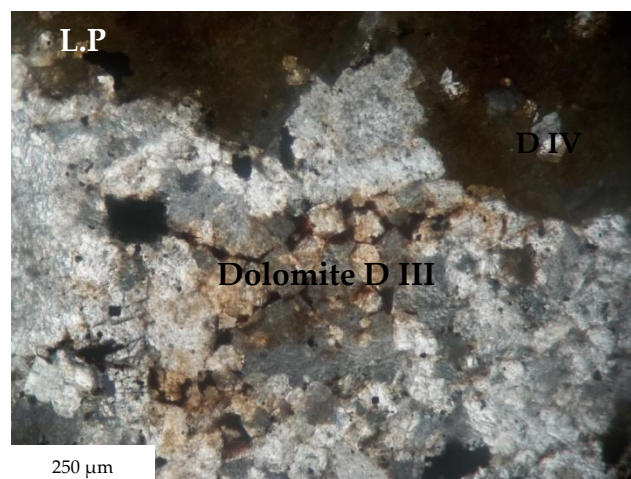
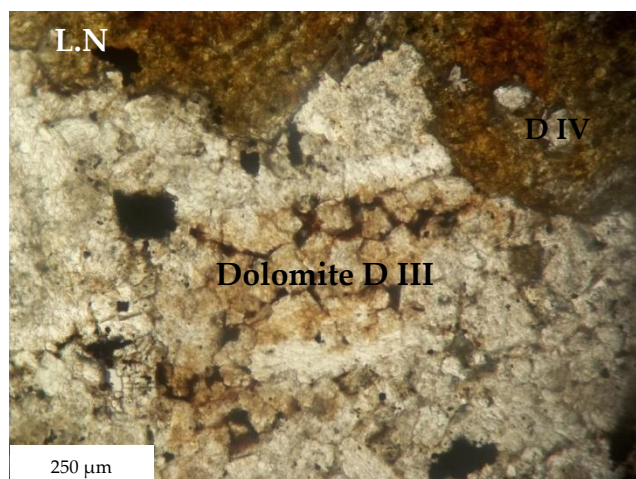
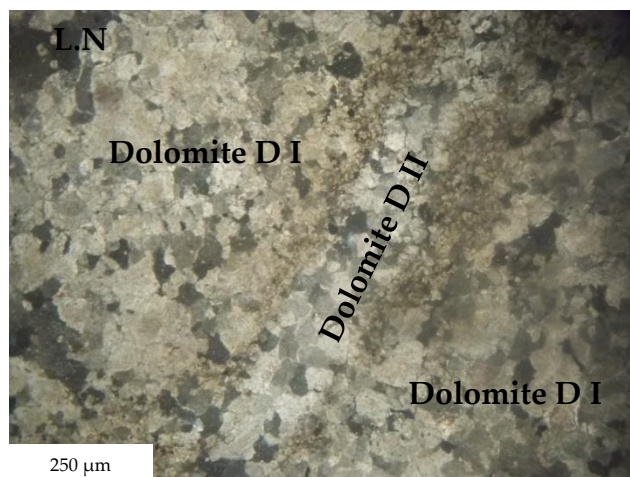


Photo. III.31. Lames montrant les différents types de dolomite.



III. Contexte métallogénique

■ L'hématite (Fe₂O₃):

C'est un minéral très abondant et bien développé dans le champ minier de Chaâbet-El- Hamra, sous forme de petits nids, en veinules de 1 à 2 cm d'épaisseur. Parfois, elle est associée à des nids de barytine (Pl.10. Photo .III. 33).

■ La pyrite (FeS₂):

Elle est présente dans les roches encaissantes sous forme de veinules . Elle est de couleur jaune. (Pl.10. Photo .III.33 et 35).

III.7.2. La minéralisation:

Dans notre cas, l'étude minéralogique sur la minéralisation a été fait essentiellement sur les informations récoltés de lames minces vu l'absence des sections polies.

III.7.2.1. Sphalérite (ZnS):

En lumière naturelle, elle se présente sous forme de couleurs bruns, jaune à orange. En lumière polarisée, elle varie du couleur brunes foncées à brunes claires. Sa forme est une forme irrégulière et est, notamment, plus abondante dans les formations hauteriviennes.

III.8. La succession paragenétique :

Les observations faites sur terrain ainsi que l'étude macroscopique des échantillons et microscopique des lames minces nous ont permis de faire sortir un ordre chronologique entre l'encaissant et la minéralisation.

De façon générale le gisement de Chaâbet- El- Hamra est caractérisé par une paragenèse constituée essentiellement de pyrite, sphalérite dans un encaissant essentiellement dolomitique. Ainsi la succession paragenétique peut être résumée comme suit:

III.8.1. Une phase diagénétique (syngénétique) :

Caractérisée essentiellement par la mise en place de la dolomite DI, DII, DIII, Calcite et le quartz, suivie par une période de fracturation et dissolution.

III.8.2. Une phase épigénétique (hydrothermale) :

Phase caractérisée essentiellement par le dépôt des minéraux sulfurés (sphalérite). Dans cette deuxième phase nous avons remarqué un autre intervalle de recristallisation qui conduit à la formation de la dolomite DIV.

1	Fracturation et dissolution	2	
Minéralisation syngénétique (Diagénétique)		Minéralisation hydrothermale (Épigénétique)	
Dolomite (primaire) de l'encaissant, calcite, quartz		Sphalérite	Dolomite DIV

Tableau III. 2. Tableau montrant la succession paragenétique.



III. Contexte métallogénique

Planche. 10



Photo. III.32. La barytine au sein des dolomies grises.



Photo .III.33. Hématite veinulée dans une dolomie (à gauche) et une Hématite associée à la pyrite et barytine (à droite).



Photo. III. 34. La calcite.



Photo. III. 35. La Pyrite.



III. Contexte métallogénique

III.9. Le type du gisement de Chaâbet-El-Hamra:

Le gisement de Chaâbet –El-Hamra rapproche vers les gisements hydrothermaux de type MVT.

Nous citons:

❖ Hydrothermal:

Les observations faites sur terrain montrent la trace d'altération hydrothermale (dolomitisation ou pyritisation).



III. Contexte métallogénique

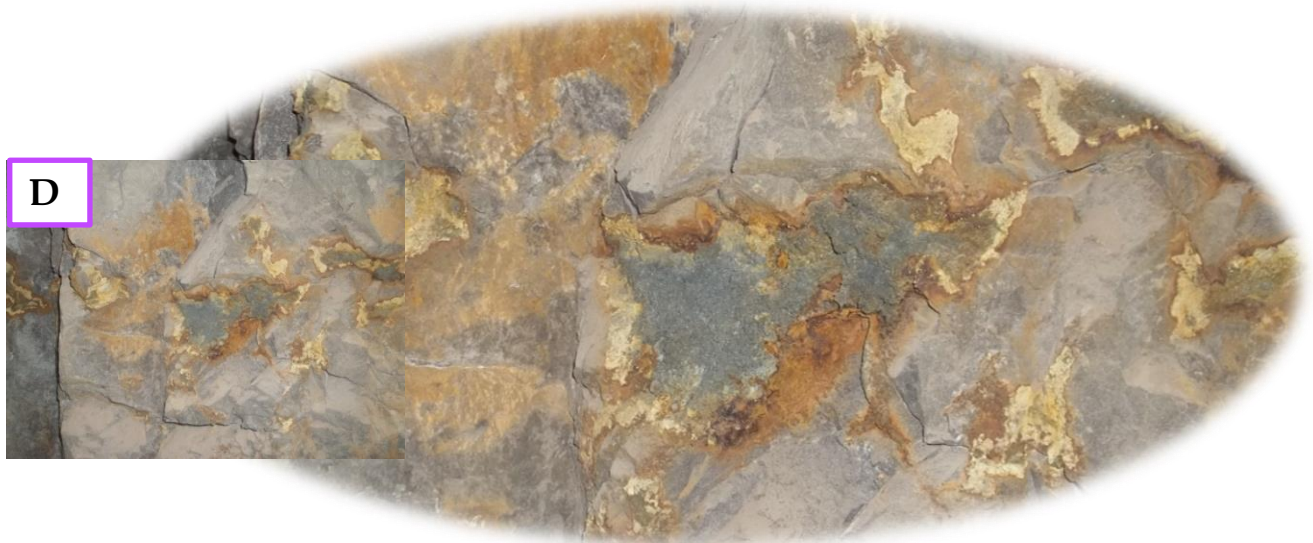


Photo. A.B. C. et F. La dolomitisation dans des dolomies hauteriviennes.
Photo. D. La pyritisation dans les dolomies hauteriviennes.
Photo. E. L'oxydation des dolomies hauteriviennes.



III. Contexte métallogénique

❖ Mississippi Valley Type (MVT):

Par la comparaison entre ce que nous avons trouvé dans l'étude géologique et pétrographique faites sur le gisement en sujet, et les caractéristiques des gisements hydrothermaux, on signale:

III.9.1. Composition minéralogique:

La minéralisation zincifère du gisement de Chaâbet-El-Hamra est incluse dans le minéral du sphalérite ZnS ce qui le laisse le prédominant sous forme stratiforme en lentilles (Fig. III.3). Les matériaux pétrolifères (bitume) y sont rares, ils se trouvent uniquement dans les grès verts. Les lames étudiées sont dépourvues de minéraux de hautes T° , elles contiennent que ceux de basses T° .

III.9.2. Lithologie de l'encaissant:

Les roches supports de la minéralisation zincifère de Chaâbet-El-Hamra sont des roches carbonatées de nature dolomitique des plates-formes d'âge hauterivien. Cette minéralisation se trouve essentiellement en dessous des couches argileuses dont l'épaisseur atteint 1 à 2m; et qui sert à jouer le rôle d'un écran.

III.9.3. L'environnement géodynamique:

Ce gisement est lié à des hauts-fonds (Horst de Rahbet).

III.9.4. Formation des altérations:

Outre l'altération constatée visuellement sur terrain (Pyritisation, dolomitisation), et au niveau des lames étudiées, l'altération sous forme d'une chloritisation et silicification ont été remarquées.

Toujours et au niveau des lames minces, nous avons constaté l'absence totale de la Zonalité et que la minéralisation est épigénétique.

La majorité de ces caractéristiques ont été répertoriées dans les gisements de type MVT ce qui rapproche le gisement étudié à ce type.

III. 10. Modèle génétique du gisement de Chaâbet-El-Hamra:

Pour expliquer la mise en place de la minéralisation de Chaâbet-El-Hamra, il faudrait répondre aux questions suivantes:

- ❑ *D'où viennent ces métaux?*
- ❑ *Quel est leur mode de transport?*
- ❑ *Quel est leur mécanisme de dépôt?*

Les réponses à ces questions nécessite des arguments solides pour avancer une hypothèse et nous ne sommes pas en mesure de la faire à ce stade de l'étude.

À défaut, nous prenons le modèle le plus proche au gisement de Chaâbet-El-Hamra trouvé dans la littérature.

❖ Le modèle paléinsulaire de PELISSONNIER, 1989 et 1993:

Pour cet auteur, la source des métaux se trouveraient hors de la série sédimentaire ce qui impliquerait un lien évident avec le socle, il propose le modèle suivant:

« Des eaux météoriques s'infiltrèrent par gravité sur les socles (points topographiquement hauts), percolent profondément grâce au jeu d'un circuit convectif et se charge progressivement en éléments chimiques, notamment en métaux, elles tendent à sortir par les points topographiquement les plus bas possibles compte-tenu de la position des écrans imperméables après balayage des eaux contenues dans les niveaux de base des séries sédimentaires, mais d'origine plus profonde ne peuvent être exclues » .



III. Contexte métallogénique

La structure paléinsulaire se présente souvent comme un horst, les failles bordières continuent à jouer longtemps pendant et après le dépôt de la couverture.

Ces failles bordières guident l'arrivée des solutions venant du socle, leur rejet tardif permet aux solutions de traverser le mince écran argileux qui a pu se déposer sur la paléinsulaire lors d'un enfoncement non uniforme et lent.

Ce modèle pourrait s'appliquer à Chaâbet-El-Hamra à condition de démontrer l'existence d'un haut-fond mais bordé par des failles syn-sédimentaires.

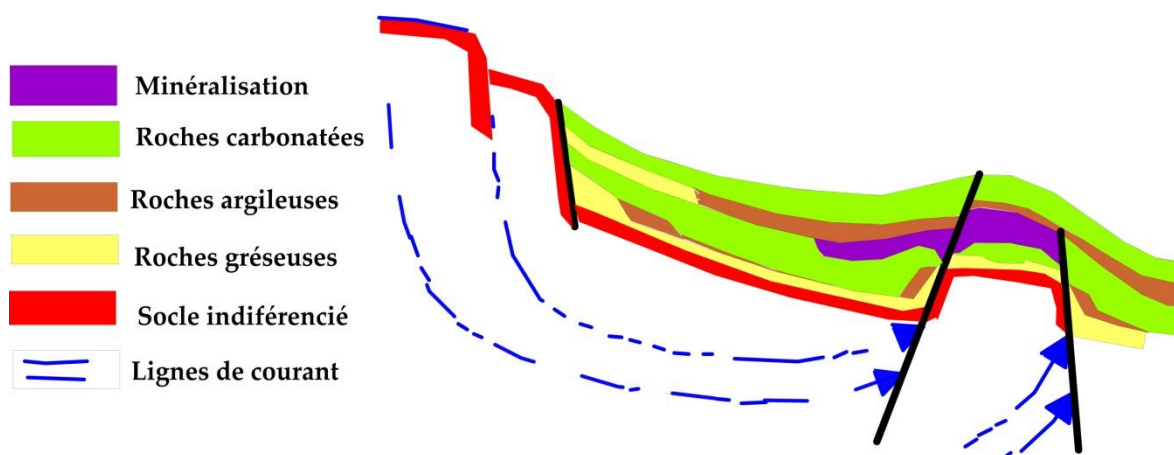


Fig. III.6. Schéma de circulation hydraulique envisagé pour la genèse des gisements MVT -PELISSONNIER (1959- 1967).

III. 11. Conclusion:

En conclusion, le gisement de Chaâbet-El-Hamra rapproche vers le type MVT. L'étude de la minéralisation et sa relation avec l'encaissant montre que la minéralisation est nettement postérieure à l'encaissant.

L'aspect général est représenté par deux corps minéralisés, divisés en six lentilles (L1 à L6) .

Comme modèle génétique, le modèle paléinsulaire de *Pelissonnier*, (1989 et 1993) peut être considéré comme le modèle le plus proche à Chaâbet-El-Hamra.

*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

CONCLUSION GÉNÉRALE

Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie

Géologie appliquée et ressources minérales

Université de Sétif



Conclusion générale.

Le travail que nous avons effectué sous le thème:

« Le contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique du gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra à Ain Azel, Wilaya de Sétif, nord oriental algérien »

nous a permis de conclure le suivant:

Dans l'Est d'Algérie et au Sud de Sétif à Ain Azel se situe le gisement de zinc de Chaâbet-El-Hamra. Il fait partie du domaine para-autochtone et autochtone Hodnéen qui est essentiellement formé par des formations carbonatées d'âge Jurassique, Crétacé et Miocène et principalement observées dans *Dj. Fourhal, Ouled Tebben, Hdjar Labiod et Boutaleb*.

Une étude litho stratigraphique du gisement en sujet permet l'identification des deux (02) formations carbonatées, gréseuses d'âge barrémien avec une épaisseur de 300m et hauterivien de 150 à 200m renfermant la minéralisation.

Ces deux formations du Crétacé sont recouvert par un Miocène discordant.

L'effectuation d'un bilan hydrique de la zone d'étude qui se caractérise par un climat semi-aride dont la température moyenne est de l'ordre de 15° et la précipitation moyenne annuelle est de 365mm/an, et qui rentre sous le sous bassin versant des Hauts plateaux constantinois nommé *Sebkhet El Hamiet*, indique et par les quatre (04) méthodes d'estimation (*Verdeil, Wundt, Thorntwaite et Turc*) un taux d'évapotranspiration réelle d'ordre 90%.

Selon la formule de *Tixeront-Berkaloff*, le ruissellement est de 25,28mm. L'infiltration, et vue les valeurs estimées de l'ETP et l'ETR est de l'ordre de 3,07% ce qui implique à dire que la nappe ne reçoit pas une forte recharge météorique.

L'étude piézométrique de la nappe hauterivienne incluse dans le gisement à partir de la cote 972m montre que la direction d'écoulement est vers la partie centrale du gisement, vers les profils 15 et 16 de prospection.

Le paramètres hydrodynamiques de l'aquifère déterminés sur la base des données des forages hydrauliques implantés dans le site du gisement F1, F2, F3, F4, F5, F6, Pz1, et des données de l'essai de pompage de 30 jours, la transmissivité trouvée est de $3,95 \times 10^{-3}$ à $6,87 \times 10^{-3}$ m²/s tandis que le coefficient d'emmagasinement est de 2% à 6%.

Ces deux paramètres permettent l'estimation des délais de rabattement de 30m sous la minéralisation.

L'hydrochimie des eaux de la mine en sujet désigne des eaux basiques dont leur conductivité et les résidus secs sont en diminution au cours du temps.

Selon les deux diagrammes: *Piper et Schoeller-Berkaloff*, le faciès chimique de ces eaux est un faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

Les métaux lourds dans ces eaux sont trop faibles, négligeables voir non-décelables ce qui reflète la non-dissolution des corps minéralisés par ces eaux.



Conclusion générale.

La comparaison des teneurs des différents éléments chimiques de ces eaux souterraines avec les normes Algériennes (NA) 6360 et l'OMS (2008) n'enregistre aucune anomalie ce qui permet leur potabilité.

Concernant la métallogénie, l'étude a commencé par un historique sur la région en citant les différents travaux faits, et plus précisément ceux de l'ENOF montrent que la minéralisation est encaissée dans des dolomies d'âge hauterivien sous forme des lentilles formant deux (02) ceps subparallèles.

Ensuite, et afin de définir la relation entre minéralisation-encaissant, une étude pétrographique a été faite sur la base des roches fraîches prélevées au niveau de la descenderie du gisement.

Il a été révélé que la minéralisation est encaissée dans un ensemble dolomitique d'âge hauterivien.

Du point de vue relation entre la minéralisation et l'encaissant, nous avons constaté deux (02) phases:

□ La première est diagénétique (syngénétique) caractérisée par la présence des dolomites DI, DII, DIII, calcite suivie par une fracturation et dissolution;

□ La deuxième est épigénétique (hydrothermale) caractérisée par les venues de la minéralisation sulfurée (sphalérite) et une 4^{ème} variation de dolomite DIV.

Les altérations hydrothermales sous forme de dolomitisation et pyritisation sur terrain, la minéralogie de la minéralisation, le contexte géodynamique de la région, l'absence totale des minéraux de haute température T° et la lithologie de l'encaissant rapprochent ce gisement vers les gisements hydrothermaux de type MVT.

*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
Nord oriental Algérien*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

*Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie
Géologie appliquée et ressources minérales
Université de Sétif*



Références bibliographiques.

- ❖ **AGASSIEV. M.A, AIT OURAMDANE.J, DMITROVSKI (1978-1981):** Rapport sur les résultats de prospection exécutées dans le périmètre du gisement de Chaâbet-El-Hamra et de Ain-El-Kahla, *EREM, Unité de Tizi Ouzou*.
- ❖ **A.N.R.H, DHWS & ENOF (Décembre 2010):** Interprétation des essais de pompage de 30 jours.
- ❖ **A.N.R.H, DHWS & ENOF (Décembre 2011):** Point de situation sur l'opération dénoyage et l'exploitation des eaux du champ captant Chaâbet-El-Hamra, Daira d'Ain Azel.
- ❖ **A.N.R.H, DREWS, ENOF (Septembre 2013):** Rapport mensuel du pompage continu du champ de captage de Chaâbet-El-Hamra.
- ❖ **ARNDT.N.T & GANINO.C (2010):** Ressources minérales, origine, nature et exploitation, *Dunod -édition, Paris*.
- ❖ **ATTEIA. O (2005):** Chimie et pollution des eaux souterraines, *Lavoisier -édit, France*.
- ❖ **BELLOUCHE. M.A (1996) :** L'eau dans les mines et les travaux souterrains :cas de la mine de Kherzet Youssef (Ain Azel -Sétif), *Mémoire de magister en hydrogéologie, Université de Constantine*.
- ❖ **BENZERGA. M (1975):** Première contribution à l'étude géologique et métallogénique des chainons intermédiaires au sud de Sétif (Algérie), *Thèse 3^{ème} cycle présenté à l'université de Nancy 1*.
- ❖ **BELKHIRI. L (2011):** Étude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel - Est Algérien, thèse Doctorat en hydraulique, *Université Hadj Lakhdar, Batna*.
- ❖ **BERTRANEU. J (1955):** L'étude géologique des monts du Hodna, *bulletin de service de la carte géologique de l'Algérie, Nouvelle série N°4*.
- ❖ **BERTRANEU. J (1958):** Tectonique et minéralisation. Traits commun à la plupart des gites téléthermaux d'Afrique du nord, *Rev. Indust. Minérale, Paris, N° spécial*.
- ❖ **BORDELLE. J & MARGAT. J (1980):** L'eau souterraine en France, *Paris: Masson*.
- ❖ **BOUTALEB. A (2001):** Les minéralisations à Pb-Zn du domaine Sétifien-Hodna, géologie, pétrographie, micro thermométrie et implications métallogéniques, *Thèse doctorat en géologie minière, USTHB, Alger*.



Références bibliographiques.

- ❖ **BUREAU. D (1986):** Approche sédimentaire de la dynamique structurale, évolution mésozoïque et devenir orogénique de la partie septentrionale du fossé saharien (Sud-Ouest Constantinois et Aurès, Algérie), *Thèse d'état, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Tome I, Tome II.*
- ❖ **CASTANY. G (1967) :** Traité pratique des eaux souterraines, *Paris: Dunod,p.*
- ❖ **CASTANY. G (1968) :** Prospection et exploitation des eaux souterraines, *Paris: Dunod.*
- ❖ **CASTANY G ET MARGAT J. (1977) :** Dictionnaire français d'hydrogéologie, BRGM, SGN, Orléans France.
- ❖ **CASTANY. G (1980) :** L'eau propre, *Paris: Hachette.*
- ❖ **CASTANY. G (1982):** Principes et méthode de l'hydrogéologie. *Paris: Dunod .*
- ❖ **DEMDOUM.A (2010):** Étude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, *thèse doctorat d'état en hydrogéologie, université de Constantine.*
- ❖ **DURAND DELGA. M (1969):** Étude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique , *bulletin N° 24.*
- ❖ **ENOF (1993):** Plans et coupes des corps minéralisés et leurs travaux miniers.
- ❖ **ENOF (1995):** Rapport géologique des travaux miniers du gisement de Chaâbet-El-Hamra.
- ❖ **EREM (1992):** Rapport final sur les travaux d'évaluation du gisement de Chaâbet-El-Hamra Avec calcul de réserve. *Tome 1.*
- ❖ **GILLI. É, MANGAN.C, MUDRY.J (2004):** Hydrogéologie, Objets, Méthodes et Application. *Paris: Dunod.*
- ❖ **GLAÇON.J (1958):** Les monts du Hodna (Partie orientale), XIXème congrès géologique international, *Monographie régionale 1, sérié, Algérie N° 7.*
- ❖ **GLAÇON.J (1967):** Recherche sur la géologie et les gites métallifères du tell Sétifien (Algérie), *Tome 2, bulletin N° 32, Publication du service géologique de l'Algérie.*
- ❖ **GUIRAUD. R (1971):** Aperçu sur les principaux traits du Hodna et des régions voisines, *bulletin de service de l'Algérie N° 41, nouvelle série.*



Références bibliographiques.

- ❖ **GUIRAUD R. (1975):** L'évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines, *Revue de Géographie physique et de géologie dynamique* (2) , Vol. XVII, Paris.
- ❖ **HENNI. A (1984):** La minéralogie, les particularités géochimiques et la genèse du gisement de Kherzet Youcef. *PH-D Université de l'état de LENINGRAD.*
- ❖ **JÉBRAK M. (2007):** Manuel de gîtologie Version 3.1, Université du Québec à Montréal, p.98, disponible sur: <http://www.ideas.uqam.ca/~sct/gitologie/mjg0.htm>
- ❖ **JÉBRAK, M, Marcoux, E, (2008):** Géologie des ressources minérales. Association géologique du Canada, Ressources naturelles et Faune Québec, Gouvernement du Québec.
- ❖ **KHALDI. A (1987):** Le gisement de Kherzet Youcef, une minéralisation Pb-Zn, Fe (Ba) stratiforme dans le membre médian marno- carbonaté du barrémien de la région de Ain Azel (Hodna, Algérie), Analyse, interprétation, typologie, genèse, thèse doctorat 3^{ème} cycle, LNP de LORRAINE.
- ❖ **LIAMAS. J (1993):** Hydrologie générale (principes et application), Gaetan Morin éditeur.
- ❖ **LUCAS.G, GRAS. P, LUNG. G (1976):** Les roches sédimentaires, étude microscopique des roches meubles et consolidées, Tome I et II, édition Douin, Paris.
- ❖ **MARSILY de G (1981):** Hydrogéologie quantitative. Paris: Masson.
- ❖ **MABILLOT. A (1980):** Le forage d'eau, Edition Offset à Saint-etienne (Loire), France.
- ❖ **MEBARKI . A (2005) :** Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement, thèse de doctorat, Université de Constantine.
- ❖ **MJATLIUK. E. V & VASSIELENCO.V.P (1988):** Atlas des foraminifères du Crétacé inférieur, édition Masson.
- ❖ **MUSY. A & HIGY. C (2004):** Hydrologie, une science de la nature, presse polytechnique et universitaire romandes.
- ❖ **NEUMANN. M (1967):** Manuel de micropaléontologie des foraminifères (Systématique-Stratigraphie), édition, Gauthier, Villars.
- ❖ **NEZZAL. F (1989):** Étude sédimentologique et paléogéographique de l'Albo-Aptien dans les hautes plaines Constantinoise, thèse de Magister, I.S.T, Université de Constantine.



Références bibliographiques.

- ❖ **REZIGAT. N & IMCHAL. K (2008):** Contribution à l'étude des problèmes environnementaux et de sécurité sur l'exemple de la mine souterraine de Chaâbet El-Hamra (Ain Azel, Wilaya de Sétif) , *Mémoire d'ingéniorat, UFAS, Sétif.*
- ❖ **SAMSON, I.M. AND RUSSELL, M.J. (1987):** Genesis of the Silvermines zinc-lead-barite deposit, Ireland : fluid inclusion and stable isotope evidence: *Economic Geology*, vol. 82.
- ❖ **SANGSTER D. F. (1976) :** Carbonate hosted Pb-Zn deposits. Sulphur and Pb isotopes in stratabound deposits, in K. H. Wolf ed., Handbook of stratabound and stratiform ore deposits; *Amsterdam, Elsevier, vol. 2.*
- ❖ **OUCHENE. M & MIDOU. Z (2010):** Contribution à l'étude géologique et géostatistique de la minéralisation à Pb-Zn de la mine de Chaâbet-El-Hamra (Sétif), *Mémoire d'ingéniorat. USTHB, Alger.*
- ❖ **PELISSONNIER . H (1961):** Paléo reliefs et minéralisation hydrothermales, le structure paléinsulaire, *extrait du numéro de janvier 1961 des annales des mines.*
- ❖ **PELISSONNIER . H (1967):** Analyse paléo- hydrogéologique des gisements stratiformes de Plomb, Zinc, Baryte, Fluorine du type "MISSISSIPI VALLEY", *reprinted from Economic Geology monography.*
- ❖ **PELISSONNIER . H (1980):** Le rôle des eaux souterraines d'origine météorique dans la formation des gisements minéraux. *Revue de l'union française des géologues, N° 52.*
- ❖ **PELISSONNIER . H (1993):** Relation des gisements du type Mississippi Valley (MVT) avec les socles sous-jacents aux gisement, gisements de type Mississippi Valley d'europe et d'Afrique du nord, comparaisons avec les gisements Nord-Américain, contrainte pour la modélisation des paléo circulation, *Campus géologique de France, Paris.*
- ❖ **POPOV, A. (1968):** Les types morphologiques et la répartition des gisements de zinc et de plomb en Algérie. *Ann. Mines. Géolo. Tunis, n° 23.*
- ❖ **RAY. F (2007):** Ressources en eau souterraine dans les chaîons béarnais (Pyrénées- Atlantiques, France) Géométrie et fonctionnement hydrogéologique de quatre aquifères carbonatés, *Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1.*
- ❖ **SAVORNIN. J(1920):** Étude géologique de la région du Hodna et du plateau Sétifien: Stratigraphie, description régionale, *bull, serv, Géol, de l'Algérie, 2^{ème} série, N° 7.*



Références bibliographiques.

❖ **SIDAM (1992):** Étude de développement du gisement zincifère de Chaâbet-El-Hamra, *INC, experts-conseils, tome I.*

❖ **TALBI. A (1993):** Métallogénie des gîtes à Pb-Zn-Ba du Sétifien-Hodna-Aurès. in: Proceedings of Workshop MVT. Mississippi Valley Type Deposits in Europe and North Africa, comparaisons with North American Deposits, constraints on modeling paleo-circulations.

❖ **TOUAHRI B. (1983):** Le gîte de zinc-plomb d'El Abed (Wilaya de Tlemcen, Algérie): une minéralisation "sous inconformité" en environnement dolomitique épicontinental; contribution à une recherche des guides de prospection. *Thèse de doctorat d'ingénieur. Université de Paris VI.*

❖ **VILA. J. M (1977):** Notices explicatives des cartes géologiques de Sétif, Ain Lahdjar, Ain Azel, échelle 1/50.000 et 1/200.000.

❖ **VILA. J. M (1980):** La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris VI, p. 663.*

❖ **W. SCHUMAN (1989):** Guide des pierres et minéraux, *Délachaux et Nistelé SA-édition, Paris.*

❖ **WILDI, W., (1983):** La chaîne tello-rifaine (Algérie – Maroc -Tunisie), Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique, Vol. 24, Numéro spécial.*

❑ Services techniques consultés:

❖ **A.N.RH:** L'agence Nationale des Ressources Hydriques –Constantine;

❖ **D.H.W.S:** Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Sétif;

❖ **D.R.E.W.S:** Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Sétif;

❖ **E.N.O.F:** Entreprise des produits miniers non ferreux et des substances utiles;

❖ **E.R.E.M:** Entreprise de la Recherche et de l'Exploitation Minière;

❖ **O.N.M:** Office national de la Météorologie;

❖ **ORGM:** Organisme de Recherches géologiques et Minières.



*Contexte géologique, hydrogéologique et métallogénique
du gisement de Zn de Phaâbet-El-Hamra à Ain Azel,
Wilaya de Sétif,
le Nord oriental Algérien*

Annexe

*Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en géologie
Géologie appliquée et ressources minérales
Université de Sétif*



Années	Paramètres	jan	fév.	mar.	avar	mai	jun	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.
2000	P. totale mensuelle (mm)	5,9	5,7	21,5	28,8	61,9	20,3	0,0	23,9	39,4	47,3	15,2	61,3
	T. minimale moyenne (°C)	-0,2	3,1	5,7	8,1	14,3	16,6	20,7	20,3	16,4	9,7	6,3	4,2
	T. maximale moyenne (°C)	9,1	13,6	16,5	19,5	26,2	28,8	33,9	32,8	27,7	18,6	15,2	12,6
	V. Maximale du vent (m/s)	11	18	16	22	15	15	17	28	20	16	19	26
2001	P. totale mensuelle (mm)	79,0	20,1	8,6	13,2	19,3	0,0	0,0	4,0	47,2	14,4	37,1	8,4
	T. minimale moyenne (°C)	2,7	1,9	8,3	7,0	11,4	17,5	21,0	20,8	15,8	14,8	5,8	1,7
	T. maximale moyenne (°C)	10,3	11,1	18,9	17,8	22,6	30,9	34,6	33,3	27,1	26,1	13,8	10,2
	V. Maximale du vent (m/s)	21	21	27	20	18	19	21	20	29	22	18	16
2002	P. totale mensuelle (mm)	22,7	24,0	29,5	7,0	5,5	0,8	45,5	29,8	7,8	16,2	118,9	92,4
	T. minimale moyenne (°C)	1,7	3,2	5,6	5,4	9,4	14,8	17,6	17,1	12,5	8,6	5,4	1,8
	T. maximale moyenne (°C)	11,2	14,1	16,3	19,2	25,1	31,9	33,0	31,4	26,9	23,3	14,1	11,6
	V. Maximale du vent (m/s)	17	20	18	23	19	21	28	20	22	18	32	20
2003	P. totale mensuelle (mm)	130,7	28,8	38,2	87,7	37,9	36,5	36,6	28,7	14,1	63,3	13,0	89,8
	T. minimale moyenne (°C)	1,0	-0,6	2,7	6,6	9,5	14,8	19,1	18,0	13,5	11,6	4,7	0,2
	T. maximale moyenne (°C)	8,4	8,6	15,0	18,2	23,8	31,0	35,9	34,0	26,3	21,7	15,3	9,2
	V. Maximale du vent (m/s)	24	24	19	17	25	24	26	22	28	19	15	21
2004	P. totale mensuelle (mm)	47,9	15,4	27,5	66,1	66,0	9,6	0,3	23,9	13,2	28,1	52,7	91,1
	T. minimale moyenne (°C)	-0,3	0,8	3,1	4,1	7,1	12,4	16,3	17,9	12,5	10,2	2,6	1,3
	T. maximale moyenne (°C)	10,5	14,5	15,8	16,0	19,2	28,6	33,7	34,7	28,1	25,0	13,6	9,8
	V. Maximale du vent (m/s)	17	49	18	17	26	16	21	22	18	18	22	24
2005	P. totale mensuelle (mm)	29,4	43,3	12,2	54,4	3,4	28,0	21,9	4,8	30,6	21,2	68,9	57,4
	T. minimale moyenne (°C)	-3,6	-1,9	3,1	5,8	9,5	14,0	18,2	16,0	12,6	9,2	3,4	0,2
	T. maximale moyenne (°C)	8,9	7,5	16,2	18,3	26,8	30,6	35,6	32,3	26,7	22,7	14,9	9,1
	V. Maximale du vent (m/s)	25	23	18	21	17	23	28	22	20	15	18	17
2006	P. totale mensuelle (mm)	55,9	36,8	8,5	39,7	79,4	4,7	14,0	2,8	54,3	0,8	9,5	49,6
	T. minimale moyenne (°C)	-0,7	-0,6	2,7	7,6	12,9	15,7	17,8	16,8	12,8	11,0	4,5	2,1
	T. maximale moyenne (°C)	8,1	9,8	16,6	21,6	26,2	31,0	33,7	32,6	26,8	25,4	17,2	11,0
	V. Maximale du vent (m/s)	18	17	26	21	22	23	23	19	19	14	12	19
2007	P. totale mensuelle (mm)	8,6	28,6	102,0	89,2	27,2	59,5	3,0	2,4	79,3	21,8	17,3	10,5
	T. minimale moyenne (°C)	0,4	2,2	2,1	7,3	8,9	15,0	17,0	18,0	14,0	10,4	2,9	0,1
	T. maximale moyenne (°C)	14,0	13,3	13,1	17,2	23,1	31,3	33,9	33,6	27,9	21,1	14,3	10,4
	V. Maximale du vent (m/s)	17	26	22	16	17	21	16	21	22	18	15	17
2008	P. totale mensuelle (mm)	10,8	21,6	42,9	21,8	72,7	29,0	40,1	19,1	44,9	55,4	23,0	38,1
	T. minimale moyenne (°C)	0,0	0,6	2,2	5,0	10,7	13,8	18,7	17,9	14,6	9,8	3,5	0,5
	T. maximale moyenne (°C)	12,9	13,8	14,6	19,8	23,7	28,6	34,9	34,4	27,4	20,6	12,9	9,3
	V. Maximale du vent (m/s)	17	18	20	21	21	19	30	30	21	15	20	18
2009	P. totale mensuelle (mm)	66,3	38,2	31,5	79,1	4,9	4,7	3,0	29,7	63,8	9,0	28,1	26,1
	T. minimale moyenne (°C)	1,0	-0,2	1,8	3,3	9,3	13,6	19,0	17,9	13,4	8,4	4,1	2,6
	T. maximale moyenne (°C)	9,5	9,9	14,4	15,0	25,1	31,2	36,7	34,0	25,5	21,3	17,6	13,2
	V. Maximale du vent (m/s)	24	18	23	16	17	17	21	28	20	18	18	18
2010	P. totale mensuelle (mm)	30,9	38,2	38,3	55,1	73,4	22,6	6,0	35,3	5,0	40,9	43,7	18,0
	T. minimale moyenne (°C)	1,6	1,9	3,9	6,4	6,7	13,0	17,4	17,2	12,9	8,7	4,6	0,4
	T. maximale moyenne (°C)	11,2	12,4	16,2	18,7	20,1	29,3	34,7	33,8	27,3	21,5	14,1	11,7
	V. Maximale du vent (m/s)	21	20	17	19	16	20	22	24	22	21	22	19

**Tableau.1. Les données météorologique (Précipitation, Température, Vitesse du vent)
*station de Sétif, Période 2000-2010***

	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.	Ann
1984	47,1	42,2	12,3	9,2	13	3	N.M	9	N.M	83,4	13	10,2	242,4
1985	31,5	21,6	75,5	18,8	84,5	N.M	N.M	N.M	7,5	41,6	28,7	42,4	352,1
1986	5,3	3	90	12,1	11,4	24	3	21,7	67,8	25,6	12,4	41,1	317,4
1987	17,7	30,9	4,8	10,5	44,3	1,5	57,9	N.M	2,3	17,4	34,3	92,9	314,5
1988	7,1	10,3	11,2	43,2	20,6	53,7	1,8	N.M	31,9	1,6	11,5	57,5	250,4
1989	8	21,1	8	83,2	31,8	50,8	9,2	12,1	41,8	7,9	19,5	15,5	308,9
1990	58,4	28,2	8,4	83,6	101,4	11,5	8,9	44,1	17,2	14,8	57	59	492,5
1991	7,3	29,7	94,3	48,7	58,7	13,7	33,4	10	29,6	97,5	15,8	16,8	455,5
1992	38,8	23,8	57,9	22,3	111,3	2,2	17,9	0,3	13,8	5,6	31,8	43,8	340,1
1993	14,6	32	32	1,2	47,4	2	3,2	15,2	11,8	3	44	27,1	218,3
1994	38,6	12,4	16,8	26,2	4,2	19,5	0	4,2	55,5	54,1	7,2	6,1	244,8
1995	42,7	19,8	41,3	20,8	5,1	39,3	1,6	20	84,8	8,8	6,4	34,5	325,1
1996	66,9	55	26,7	21,1	47,5	36,4	34,5	13	19,4	6,3	13,3	6,5	346,6
1997	24,6	2	8,8	59,5	12,7	13,2	0	7,6	53,1	30,5	45,2	32,8	244,8
1998	25,6	20,6	5,8	47,6	66,2	4,5	0	2	17,7	9,4	16,8	3,5	219,7
1999	59,5	11	17,9	19,9	6,8	3,7	2,6	2,5	49,8	41,4	46,4	N.M	261,5
2000	14,2	3,5	3	9,5	49,5	16,8	0	6	49,5	2,3	7,7	44,7	206,7
2001	20,7	18,1	5,7	3,6	20	2,4	9,6	8,4	38,8	3,3	18,5	9,2	158,3
2002	91,6	14,5	18,2	31,7	40,7	15,7	0	15,5	7,3	22,3	75,7	14,6	347,8
2003	42,6	5	41,2	50,7	87	67,5	0	12	47	61,7	16,2	50,3	481,2
2004	6	26,4	34,2	13	0,5	22,8	5,1	6,5	5	33,7	68,2	131,5	352,9
2005	79,2	53,8	4,4	71,6	41,3	14,6	12,9	7,4	53,1	31,7	38,8	63,2	472
2006	13,3	14,3	74,6	46,6	29,8	19,2	0	6	48,2	5,8	18,3	22,4	298,5
2007	3,5	1	2,4	9,4	122,2	10,5	13,7	16	135	15,8	8,5	8,2	346,2
2008	74,7	20,4	54,3	81,2	15,7	19,2	0	12,4	66,3	57,3	21,6	40	463,1
2009	11,8	50,8	49,2	63,2	54,3	38,9	6,3	7,2	32,1	28,2	2,7	11,5	356,2
2010	6	41,3	53,6	89	29,7	42,5	4	39,6	4,7	18,2	16,1	11,5	356,2
2011	2,9	9,2	25	35,1	2,1	3,5	N.M	N.M	16,5	55,3	11	10,1	170,7

**Tableau.2. Précipitations mensuelles
(de la station de Ain Azel, Période 1984-2011).**

A detailed topographic map of the Faurès region. The map features numerous contour lines indicating elevation, with labels such as 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000, 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600, 3700, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 4800, 4900, 5000, 5100, 5200, 5300, 5400, 5500, 5600, 5700, 5800, 5900, 6000, 6100, 6200, 6300, 6400, 6500, 6600, 6700, 6800, 6900, 7000, 7100, 7200, 7300, 7400, 7500, 7600, 7700, 7800, 7900, 8000, 8100, 8200, 8300, 8400, 8500, 8600, 8700, 8800, 8900, 9000, 9100, 9200, 9300, 9400, 9500, 9600, 9700, 9800, 9900, 10000. Various place names are labeled, including FAURÈS NORD, FAURÈS CENTRALE, FAURÈS SUD, FAURÈS OUEST, FAURÈS EST, FAURÈS SE, FAURÈS SW, FAURÈS NE, FAURÈS NW, FAURÈS E, FAURÈS W, FAURÈS S, FAURÈS N, FAURÈS SE, FAURÈS SW, FAURÈS NE, FAURÈS NW. The map also shows several rivers and streams, as well as a network of roads and paths. A scale bar at the bottom indicates distances up to 10 km. A north arrow is located in the upper right corner. The map is oriented with North at the top.

Fig. 3. Le réseau des failles du gisement (tiré de la carte géologique du gisement de Chaâbet-El-Hamra , échelle: 1/2000 (ENOF, 1991, modifiée).

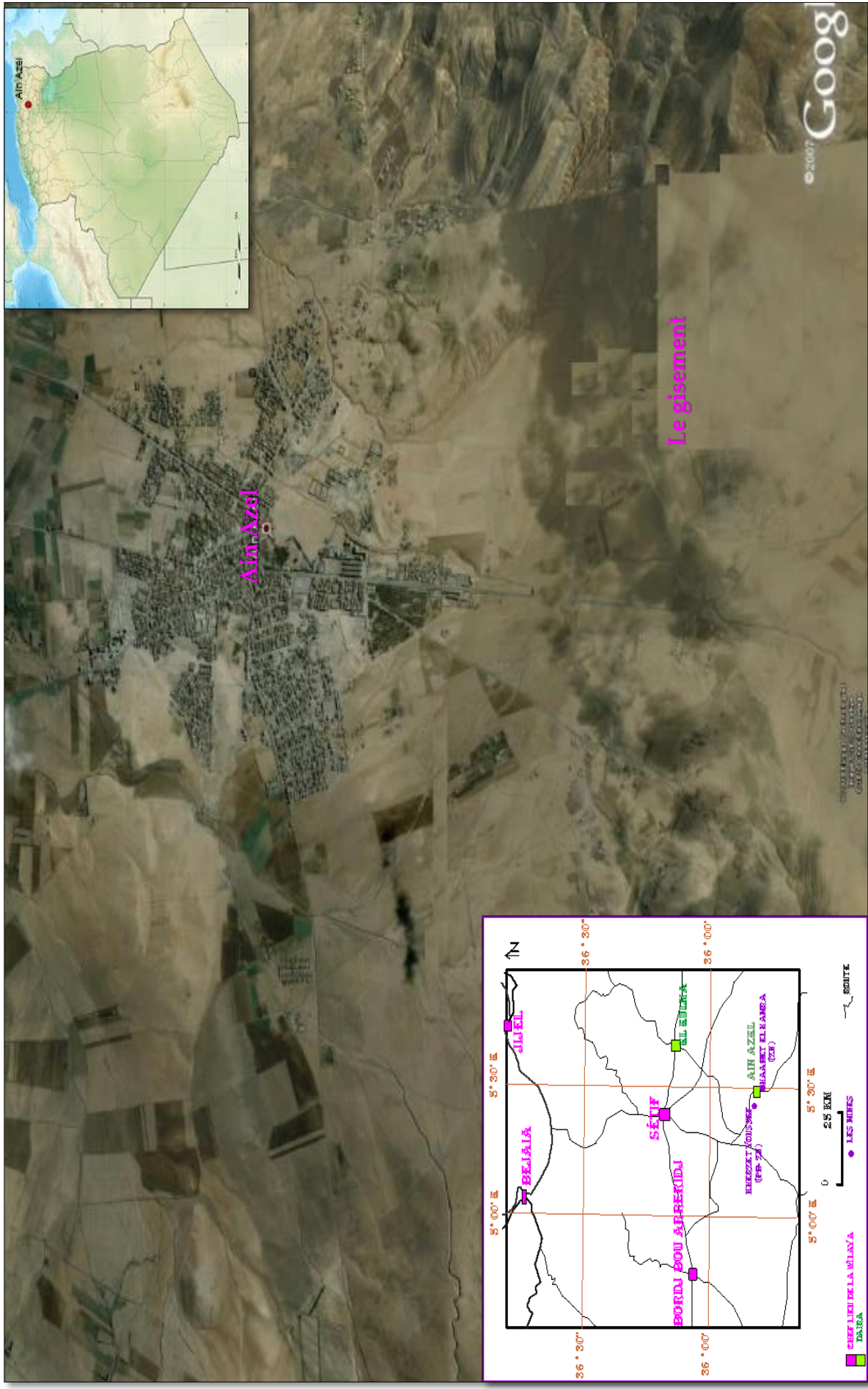


Fig. 1. Le gisement de Chaâbet-El-Hamra sur image satellitaire

Légende:

A	Alluvions récentes ou actuelles.	n^{1,2}	Miocène : grès, pailles, marres à Ammonites et Brachopodes.
Q¹	Glacis polygéniques rasant les reliefs.	js	Jurassique supérieur : calcaires fins à Saccocornu, bémolites à Capricornes et à Pygges.
m₁	Miocène : conglomérats, marres à Huîtres et calcaires gréseux.	jm	Jurassique moyen : calcaires variocores à Bémolites.
c₁^{1,2}	Cénomanien supérieur et Turonien : dolomies et calcaires à stèles ou à Micridia.	ls	Lias supérieur : marneaux à Ammonites.
n³	Aptien : calcaires à Orbitolines, dolomies.	l	Lias carbonaté massif.
n^{3a}	Aptien à dominante marneuse.	t	Trias : marne basales à gypses bréchiques, grès calcaires-dolomiques (d.l.) et opries (u).
n^{3b}	Barrémien : dolomies, calcaires et grès.		

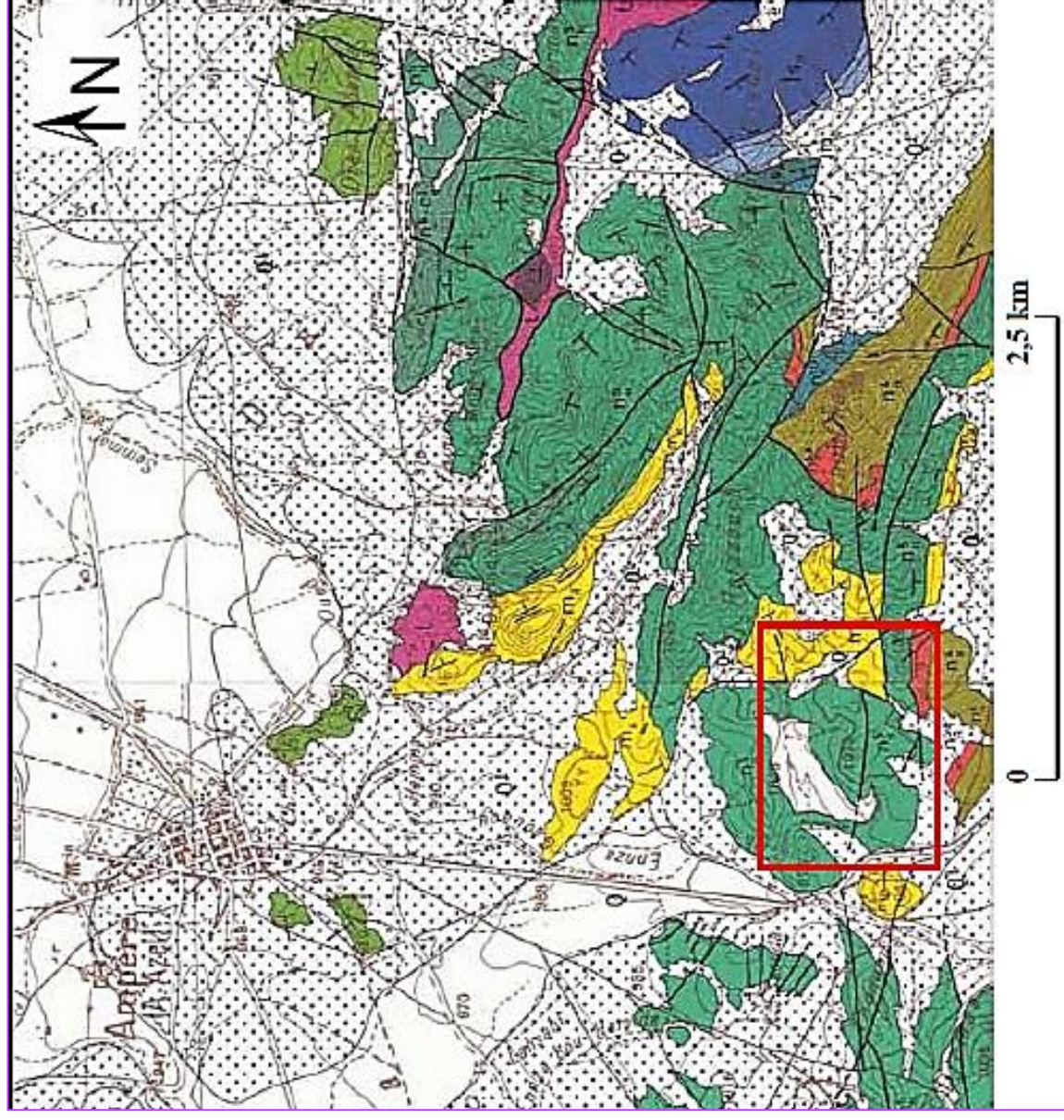


Fig.2. La localisation (cadre en rouge) du gisement de Chaâbet-El-Hamra sur la carte géologique de Ain Azel (Feuille n°143, Échelle: 1/50.000)

Date de prélèvement	Forage	PH	CND	RS	NO3	HCO	SO4	Cl	Ca	Mg	Na	K	TH	TA	TAC	Zn	Pb	Fe	Cr	Mn	Cd
10/10/2010	F1	7.32	767	549	37	298.14	79	43	71.54	39.87	29	03	34.7	0.0	27.6	0.904	Non détectable	0.008	/	/	/
	F2	7.58	756	577	8	305.38	61	38	73.48	38.49	28	09	35.4	0.0	26.1	0.015	Non détectable	0.189	/	/	/
	F3	7.28	763	538	9	317.54	46	39	70.48	42.78	29	04	31.1	0.0	25.7	0.028	Non détectable	0.010	/	/	/
	F4	7.44	791	571	14	374.61	41	37	76.97	39.78	24	04	35.9	0.0	22.8	0.000	Non détectable	0.006	/	/	/
	F5	7.51	761	541	22	294.59	37	48	86.45	41.78	37	04	34.7	0.0	25.1						
	F6	7.62	752	532	7	327.48	89	41	72.18	37.19	35	03	36.8	0.0	27.9	0.038	Non détectable	0.081	/	/	/
17/11/2010	F1	7.27	745	599	18	302.1	71	47	73.69	41.75	26	01	36.78	0.0	25.3	1.104	Non détectable	0.008	/	/	/
	F2	7.38	762	575	5	315.9	69	36	70.18	37.73	24	02	34.6	0.0	27.8	0.008	Non détectable	0.147	/	/	/
	F3	7.35	747	537	2	333.2	38	40	73.98	43.57	28	02	34.8	0.0	24.9	0.058	Non détectable	0.005	/	/	/
	F4	7.32	785	567	4	389.2	45	39	74.89	37.58	19	02	36.8	0.0	23.0	0.000	Non détectable	0.003	/	/	/
	F5	7.41	791	547	15	304.7	27	49	82.58	44.19	32	04	35.0	0.0	24.4						
	F6	7.28	778	525	4	344.5	91	32	75.79	38.15	28	02	36.8	0.0	26.5	0.024	Non détectable	0.060	/	/	/
25/02/2010	F1	7.39	772	565	24	332.4	75	44	74.54	40.78	22	02	37.5		27.27	1.018	Non détectable	0.008	/	/	/
	F2	7.41	765	542	7	301.7	78	32	69.18	38.75	23	01	35.4		27.17	0.010	Non détectable	0.160	/	/	/
	F3	7.34	759	547	4	317.9	41	34	75.84	41.15	17	02	35.7		25.1	0.080	Non détectable	0.002	/	/	/
	F4	7.35	791	559	2	312.5	49	41	76.48	39.5	24	04	36.1		24.8	0.000	Non détectable	0.004	/	/	/
	F5	7.44	793	534	17	298.2	22	47	79.58	40.56	20	01	35.8		24.0						
	F6	7.26	780	514	2.83	335.5	88	30	80.11	36.12	26	03	35.0	0.0	27.5	0.052	Non détectable	0.048	/	/	/
11/04/2012	F1	7.36	740	460	1	311.1	70	40	63.64	36.31	29	1	31.4	0	25.5	0	0	0.073	/	0.009	/
	F2	7.35	690	440	5	298.9	60	35	66.85	37.93	17	1	6.5	0	24.5	0.007	0	0.071	/	0.014	/
	F3	7.3	730	454	3	311.1	82	40	74.74	42.35	19	1	-	-	-	0.035	0	0.085	/	0.014	/
	F4	7.22	750	474	1	323.3	88	40	77.19	43.6	19	1	37	0	26.5	0.048	0	0.307	/	0.017	/
	F5	7.332.71	770	522	5	292.8	94	50	77.96	44.85	20	1	38.2	0	24	0.001	0	0.065	/	0.008	/
	F6	7.39	720	450	1	311.1	86	40	72.25	42.71	20	1	35.8	0	25.2	0.016	0	0.141	/	0.018	/

Tableau.3. Les analyses chimiques des eaux du gisement de Chaâbet-El-Hamra

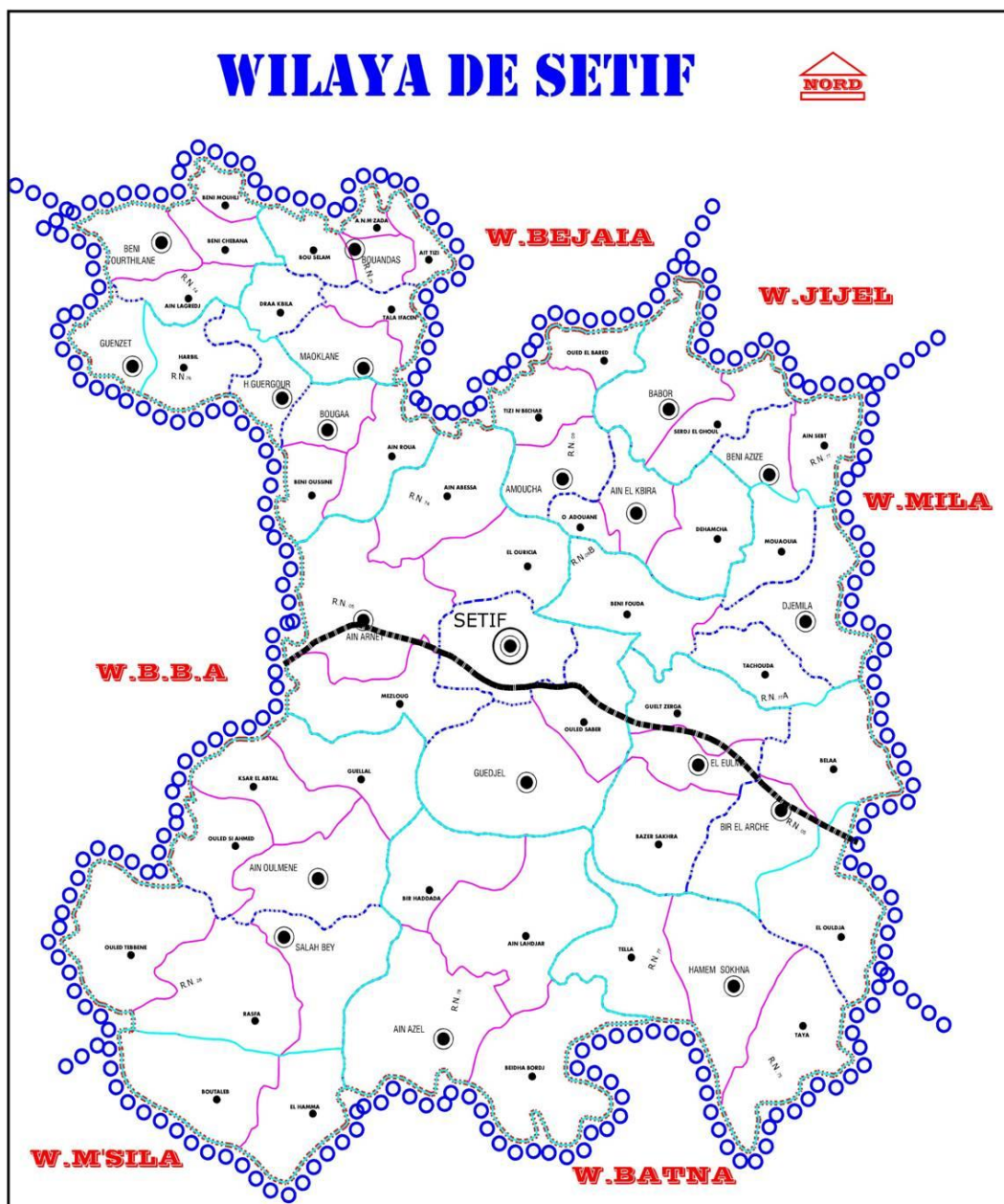


Fig. 4. Carte de l'organisation administrative de la wilaya de Sétif

ملخص:

يقع منجم الزنك للشعبة الحمراء و الذي دخل حيز التقييم سنة 1991، بعد حادثة 02 جوان 1990، على بعد 50 كم جنوب ولاية سطيف بمنطقة عين أزال، و على مسافة 7,5 كم من منجم خرزيت يوسف، ضمن المركب الجيولوجي الأطلي (أوتوكتون) و الشبه الأطلي (بارا أوتوكتون) العنصري، و الذي يدخل ضمن المقاطعة الميتالوجينية لـ Zn و Pb لجبال الحضة، لقسم عين مليلة الذي يحتوي ثلاث بنيانات من طبيعة هورست حيث يتوضع المنجم في هورست رحبات.

إن استغلال و معالجة المعطيات الميكدروجيولوجية أثبتا أن الجيب المائي الجوفي الهوتيريفياني يستقبل كمية قليلة من مياه الأمطار و العناصر الميكدروجيوديناميكية المحسوبة انطلاقا من محدد الأنفاج المساهمة في عملية خفض مستوى منسوب المياه سمحت لنا ادراج تنبأ لخفض مستوى المياه تحدد المستوى المعدني، كما أن الدراسة الميكدروكيميائية أثبتت عدم تلوث هذا الأخير بالمعادن الثقيلة المدرجة ضمن المعادن الزنكية للمنجم، على أساس دراسة بتروغرافية للصخر الدولوميتي المحيط بالمعدن و هذا ملاحظاته آثار التجوية الحموية (Altération hydrothermale)، فإنه تعين أن المنجم من نوع مسيسيبي هالي، و كنموذج تكويني لهذا المنجم فإن نموذج بيلسوني هو أقرب نموذج لهذا المنجم.

الطلماه المتألمية: منجم الزنك، الشعبة الحمراء، ميكدروجيولوجية، الجيب المائي الجوفي، الهوتيريفياني الميتالوجينية.

Résumé:

Le gisement de Zinc de Chaâbet-El-Hamra, rentré en évaluation en 1991 suite au sinistre du 02 juin 1990, se situe à 50 Km au sud de Sétif dans la région de Ain Azel et à 7.5 Km de la mine de Kherzet Youssef, dans l'ensemble géologique du para-autochtone et autochtone Hodnéen. Ce gisement fait partie du District métallogénique à Pb-Zn des monts du Hodna, appartient au bloc de Ain Mlila qui comprend trois structures de soulèvement en forme de Horsts anticlinaux et est associé au Horst de Rahbet.

L'exploitation et le traitement des données montrent que l'aquifère hauterivien de ce gisement est une nappe libre qui ne reçoit pas une forte alimentation météorique et les caractéristiques hydrodynamiques calculées à la base d'une batterie de forages de dénoyage nous permettent de faire une simulation des délais de rabattement de niveau d'eau sous la minéralisation. Par ailleurs l'étude hydrochimique a confirmé la non-pollution de cet aquifère par des métaux lourds de la minéralisation zincifère du gisement.

Sur la base d'une étude pétrographique des dolomies de l'encaissant et des observations sous forme d'altération hydrothermale vue sur terrain, il a révélé que ce gisement rapproche vers le type Vallée du Mississipi.

Comme modèle de formation à ce gisement, le modèle de *Péllissonnier* paléinsulaire est le modèle le plus proche.

Mots clés: Gisement, Zinc, Chaâbet-El-Hamra, Aquifère, Hauterivien, Altération hydrothermale.

Abstract:

The deposit Zinc Chaâbet-El-Hamra, returned to evaluation in 1991 following the loss of 2 June 1990, is located 50 Km south of Setif in the region of Ain Azel and 7.5 km from the mine Kherzet Youssef, in geological entire para-Aboriginal and Aboriginal Hodnéen. This deposit is part of the District to Pb-Zn metallogenic Mountains Hodna belongs to block Ain Mlila which includes three structures lifting shaped Horsts anticlines and is associated with Horst Rahbet.

The mining and processing of the data shows that the aquifer Hauterivien this deposit is a free layer that does not get a strong meteoric supply and hydrodynamic characteristics calculated based on a battery of dewatering wells allow us to Speeds of a simulation of folding under the water level mineralization. Moreover, the hydrochemical study confirmed the non-pollution of the aquifer by heavy metals from zinc mineralization of the deposit.

On the basis of a petrographic study of the banking dolomites and observations as hydrothermal alteration view field, he found that this deposit closer to the Mississippi Valley type.

As training model to deposit model *Péllissonnier* paléinsulaire is the closest model.

Keywords: Deposit, Zinc, Chaâbet-El-Hamra, Aquifer, Hauterivian, hydrothermal alteration.