

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة

Année 2019

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie
Laboratoire De Recherche De Géologie (LRG)
Spécialité Géologie
Filière Géochimie et dynamique du globe

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD

THÈME

**Géochimie des minéralisations polymétalliques du bassin
Sétif-Hodna : Caractérisation géostatistique multivariée et
application à la recherche minière**

Par : TOUBI Nour El Houda

Devant le jury :

Président :	LAOUAR Rabah	Professeur	UBMA
Directeur :	MEZGHACHE Hamid	Professeur	UBMA
Examineur :	BOURFIS Ahcene	Professeur	U Constantine1
Examineur :	CHAOUCHI Rabah	Professeur	U M'hammed Bougara- Bumerdes
Examineur :	TOUBAL Abderrahmane	Professeur	UBMA

Résumé

Les Monts du Hodna-Sétif renferment un grand nombre d'indices et gisements à Zn-Pb-Ag. Ils constituent un ensemble montagneux localisé entre deux chaînes d'Atlas : Atlas saharien au Sud et Atlas tellien au Nord de l'Algérie. Les minéralisations sont encaissées dans des horizons carbonatés du Jurassique et du Crétacé inférieur (Hauterivien, Barrémien et Aptien). Les études géologiques et gîtologiques de ces concentrations minérales montrent, globalement, la même paragenèse constituée de sphalérite, galène, pyrite et marcassite. Les minéraux de gangue sont en général la dolomite, la calcite, la barytine et plus rarement le quartz et le gypse. La région d'étude est constituée de quatre secteurs: Chaabet El Hamra (gisement-surface), Dj. Zdimm, Kherzet Youssef et Ain Kahla. Ces secteurs ont fait l'objet de campagnes de prospection effectuées par RUDIS de 1963 à 1965 et par l'Office National de Recherche Géologique et Minière-ORGM en 1992 suivant des mailles variant, de 100mx50m 100mx20m 20mx25m 20mx20m. Un total de 8968 échantillons lithogéochimiques de roche mère, ont été prélevés de tous les secteurs et analysés, en général, sur les éléments : Pb, Zn, Cd, Ag, Cu et Ba. Cet ensemble des données de prospection géochimique de surface a été compilé et traité à l'aide des méthodes statistiques : monovariée, bivariée et multivariée et aux méthodes géostatistiques en utilisant des logiciels géo-informatiques. Il en est de même pour les données d'exploration du gisement de Chaabet El Hamra.

L'étude statistique a montré une très forte variabilité des teneurs de Zn, Pb, Ag qui serait due à une hétérogénéité des données géochimiques d'où la nécessité de procéder à une discrimination de celles-ci par faciès. La classification monovariée a permis de discriminer les échantillons en sous-populations dont celle des valeurs significativement anormales. Le traitement multivarié a permis de calculer les corrélations linéaires entre les éléments et de déterminer les différentes associations chimiques. Dans le gisement de Chaabet el Hamra, trois phases de minéralisation à Zn ont été mises en évidence.

Dans le gisement de Chaabet El Hamra, le variogramme vertical calculé à partir de l'ensemble des teneurs en Zn des échantillons des carottes d'exploration n'a montré aucun effet de trou. La pseudo-périodicité n'est donc pas systématique et l'idée selon laquelle la couche minéralisée encaissée dans l'Hauterivien inférieur, serait constituée de six (06) lentilles minéralisées superposées, n'est pas toujours vérifiée. Les lentilles minéralisées existent certes, mais elles sont réparties d'une façon irrégulière dans tout le gisement.

[RESUME]

L'étude géostatistique dans les secteurs de Chaabet el Hamra, Zdimm, Kherzet Youssef et Ain Kahla a permis de déterminer les principales directions de continuité de la minéralisation à Zn-Pb (structure minéralisée) qui sont respectivement N130°, N45°, N45° et N90° avec des portées de 446.61m, 600m, 121.60m et 197.16m.

Les méthodes statistiques et géostatistique ont abouti à la détermination et la cartographie de zones anormales. La maille de prospection géochimique utilisée par l'ORGM est suffisamment fine pour détecter toutes les anomalies géochimiques existantes.

Mots clés : Zn/Pb- Hodna- Sétif – Géochimie -Géostatistique

The Hodna-Setif Mountains contain a large number of indices and deposits of Zn-Pb-Ag. They constitute a mountainous group located between two chains of Atlas: Saharan Atlas in the South and Tell Atlas in the North of Algeria. The mineralization is hosted in carbonate horizons of the Jurassic and Lower Cretaceous (Hauterivian, Barremian and Aptian). The geological studies of these mineral concentrations show, globally, the same paragenesis consisting of sphalerite, galena, pyrite and marcasite. Gangue minerals are usually dolomite, calcite, barite and more rarely quartz and gypsum. The study area consists of four sectors: Chaabet El Hamra (field-deposit), Dj. Zdimm, Kherzet Youssef and Ain Kahla. These areas were surveyed by RUDIS from 1963 to 1965 and by the National Office of Geological and Mining Research-ORGM in 1992 by various mesh sizes, 100mx50m 100mx20m 20mx25m 20mx20m. A total of 8968 lithogeochemical samples of rocks were taken from all sectors and analyzed on the elements: Pb, Zn, Cd, Ag, Cu and Ba. This set of geochemical surface survey data was compiled and have a treatment using statistical methods: monovariate, bivariate and multivariate, and geostatistical methods using geo-computer software. It is the same for the exploration data of the Chaabet El Hamra deposit.

The statistical study of the four sectors showed a very strong variability of the Zn, Pb, Ag contents which would be due to a heterogeneity of the geochemical data hence the need to discriminate them by facies. The monovariate classification made it possible to discriminate the samples in sub-populations of which that of the significantly anomalous values. Multivariate processing made it possible to calculate the linear correlations between the elements and to determine the different chemical associations. In the Chaabet el Hamra deposit, three phases of Zn mineralization have been identified.

In the Chaabet El Hamra deposit, the vertical variogram calculated from all the Zn contents of the samples of the cores showed no hole effect. The pseudo-periodicity is therefore not systematic and the idea that the mineralized layer hosted in the Lower Hauterivian consists of six (06) superimposed mineralized lenses is not always verified. Mineralized lenses certainly exist, but they are distributed unevenly throughout the deposit.

The geostatistical study in the areas of Chaabet el Hamra, Zdimm, Kherzet Youssef and Ain Kahla made it possible to determine the main directions of continuity of the mineralization at Zn-Pb (mineralized structure) which are respectively N130 °, N45 °, N45 ° and N90 ° with ranges of 446.61m, 600m, 121.60m and 197.16m.

[ABSTRACT]

Statistical and geostatistical methods have led to the determination and mapping of anomalous areas. The geochemical survey mesh used by the ORGM is fine enough to detect all existing geochemical anomalies.

Keywords: Zn / Pb- Hodna-Setif - Geochemistry –Geostatistics.

تحتوي جبال الهضنة سطيف على عدد كبير من القرائن والودائع من الزنك-الرصاص والفضة وهي تشكل مجموعة جبلية تقع بين سلسلتين من أطلس: أطلس الصحراء في الجنوب وأطلس تلم في شمال الجزائر. تتم استضافة التمعدين في آفاق الكربونات في العصر الجوراسي والطباشيري السفلي وتظهر الدراسات الجيولوجية والجيولوجية لهذه التركيزات المعدنية، على الصعيد العالمي، نفس التشوه الذي يتألف من سياليريت، غالينا، بيريت وماركاسيت. عادة ما تكون معادن الجانج الدولوميت والكالسيت والباريت ونادراً ما تكون الكوارتز والجبس. تتكون منطقة الدراسة من أربعة قطاعات: شعبية الحمراء (وديعة السطح)، جبل زديم، خرزة يوسف وعين كحلة. تم مسح هذه المناطق بواسطة روديس والمكتب الوطني لبحوث الجيولوجيا والتعدين في عام 1992 تم جمع ما مجموعه 8968 عينة خرسانية كيميائية من حجر بشبكات 100mx50m 100mx20m 20mx25m 20mx20m. جميع المناطق وتحليلها. تم تجميع هذه المجموعة من بيانات المسح الجيوكيميائي السطحي ومعالجتها باستخدام طرق إحصائية: الطرق أحادية المتغير، ثنائي المتغير، ومتغيرات متعددة، والطرق الجيوإحصائية باستخدام برنامج الكمبيوتر الجغرافي. إنه نفس الشيء بالنسبة لبيانات التنقيب لشعبية الحمراء

أظهرت الدراسة الإحصائية تبايناً قوياً جداً في بيانات الزنك الرصاص النحاس والباريت والتي قد تكون بسبب عدم تجانس البيانات الجيوكيميائية وبالتالي الحاجة إلى تمييزها بواسطة الوجه. جعل التصنيف أحادي المتغير من الممكن تمييز العينات في مجموعات سكانية فرعية، بما في ذلك تلك التي لها قيم شاذة إلى حد كبير. أتاحت المعالجة متعددة المتغيرات حساب الارتباطات الخطية بين العناصر وتحديد الارتباطات الكيميائية المختلفة. تم تحديد ثلاث مراحل من تمعدن الزنك في مستودع شعاب الحمرا

في رواسب شعبية الحمراء، لم يظهر المقياس الرأسي المحسوب من جميع محتويات الزنك لعينات النوى أي تأثير تقب. وبالتالي فإن الدورية الزائفة ليست منهجية، ولا يتم التحقق دائماً من فكرة أن الطبقة المعدنية المستضافة في الجزء السفلي Hauterivien والتي تتكون من ستة (06) عدسات تمعدن مترابية. من المؤكد أن العدسات المعدنية موجودة، ولكنها موزعة بشكل غير متساو في جميع أنحاء الإبداع

أتاحت الدراسة الإحصائية الجغرافية في مناطق شعبية الحمراء وزديم وخرز يوسف وعين كحلة تحديد الاتجاهات الرئيسية لاستمرارية التمعدين في الزنك-الرصاص التي هي على التوالي شمال

90° و 45° و 45° و 130°

بمسافات 446.61 متراً و 600 متراً و 121.60 متراً و 197.16 متراً

أسفرت الطرق الإحصائية والجيوإحصائية عن تحديد المناطق الشاذة ورسم خرائط لها. شبكة المسح الجيوكيميائي المستخدمة من قبل ORGM. إنها جيدة بما يكفي للكشف عن جميع الشذوذ الجيوكيميائي الحالي.

الكلمات المفتاحية: زنك/رصاص- الحضنة- سطيف -جيوكيمياء- جيو احصاء

A.-INTRODUCTION GENERALE.....1
B.- GENERALITE SUR LES GISEMENTS POLYMETALLIMIQUES A Zn /Pb, (Cu, Ag.).....2
D.-SITUATION GEOGRAPHIQUE DES SECTEURS ETUDIES.....9

PARTIE I - GEOLOGIE

I.- CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

I.-1.- CADRE STRUCTURAL DES PLAINES SETIFIENNES AU SEIN DE LA CHAINE ALPINE D'ALGERIE DU NORD..... 10
I. - 2. - STRATIGRAPHIE.....17
I. - 3. - TECTONIQUE REGIONALE..... 22
I. - 4. - MINERALISATIONS.....24

II. - CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

II. - 1. – SECTEUR DE CHAABET EL HAMRA

II. - 1. - 1. - Stratigraphie.....26
II. - 1. - 2. - Tectonique30
II. - 1. - 3. - Minéralisation.....31

II. - 2. – SECTEUR DE DJ.ZDIMM

II. - 2. - 1. - Stratigraphie..... 35
II. - 2. - 2. - Tectonique 37
II. - 2. - 3. - Minéralisation.....39

II. - 3. – SECTEUR KHERZET YUCEF

II. - 3– 1.- Stratigraphie42
II.- 3.-2.- Tectonique45
II.- 3.-3.- Minéralisation.....46

II. - 4. – SECTEUR AIN KAHLA

II.- 4.-1. - Stratigraphie.....47
II.- 4.-2. - Tectonique 53
II.- 4.-3. - Minéralisation.....54

PARTIE II – METHODES ET METHODOLOGIES DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

I. – METHODES ET LOGICIELS UTILISEES POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES GEOCHIMIQUES

I. 1. – Analyse de données56
I. 2. – Géostatistique.....57

I.3. –Logiciels.....	57
II.-ANALYSE ET GEOSTATISTIQUE DES DONNEES GEOCHIMIQUE DU GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA	
II.1. –METHODOLOGIE DE PROSPECTION.....	58
II.2.- STATISTIQUE DES DONNEES DE LA PARTIE SUD-EST DU GISEMENT (DU PR0 AU PR15).....	62
II.3.- TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES DE LA PARTIE PAUVRE DU GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA (PR15-PR30).....	69
II.4. – GEOSTATISTIQUES DES DONNEES D’EXPLORATION DE LA PARTIE SUD-EST DU GISEMENT CHAABET EL HAMRA.....	74
III.ANALYSE ET GEOSTATISTIQUE DES DONNEES GEOCHIMIQUES DE SURFACE DE DIFFERENTS SECTEURS	
III.1. - SECTEUR CHAABET EL HAMRA	
III.1.1.- Statistique des données de surface du secteur de Chaabet El Hamra.....	81
III.1. 2.- Conclusion.....	88
III.2.- SECTEUR Dj. ZDIMM	
III.2.1.- Traitement statistique du secteur DJ. Zdimm.....	89
III. 2. 2. – Géostatistique.....	97
III. 2. 3.- Conclusions et recommandations.....	107
III.3 – SECTEUR KHERZET YUCEF	
III.3.1.- Statistique du secteur minier de Kherzet Youssef.....	108
III.3.2.- Géostatistique.....	115
III.3.3. – Conclusion.....	121
III4. – SECTEUR AIN KAHLA	
III.4.1.- Statistique du secteur minier d'Ain Kahla.....	121
III.4.2.- Géostatistique.....	126
III.4.3. – Conclusion.....	130
CONCLUSION GENERALE.....	131

A.- INTRODUCTION

Le bassin minier du Hodna-Sétif (Algérie) présente un grand potentiel minier. Les gisements et indices minéraux qui s'y trouvent, ont fait l'objet de nombreux travaux de recherches géologiques et de prospections minières à partir des années 1900. Les caractéristiques pétro-minéralogiques et gîtologiques ont été assez bien étudiées. Cependant la caractérisation géochimique-géostatistique ne l'a pas été suffisamment et c'est l'objectif de la présente étude. Ce travail consiste donc essentiellement à optimiser le traitement et l'interprétation des données géochimiques d'exploration des campagnes effectuées par l'Office Nationale de la Recherche Géologique et Minière— ORGM —dans le gisement de Chaabet El Hamra et celles des campagnes de prospection lithogéochimique de surfaces faites sur les secteurs de Zdim, Chaabet el Hamra, Kherzet Youssef et Ain Kahla, à l'aide des méthodes statistiques : monovariée, bivariée et multivariée et aux méthodes géostatistiques. L'ensemble de toutes ces données chimiques provient d'un total de 8968 échantillons. Les études d'analyse de données et géostatistiques ont nécessité l'utilisation d'un certain nombre de logiciels informatiques parmi lesquels Statgeo, Statistica, Surfer, Surpack et Variowin

Les méthodes et méthodologies d'analyse de données et géostatistiques utilisées ainsi que les résultats obtenus sont présentées dans la présente thèse, en deux grandes parties totalisant dix chapitres.

- La première partie traite de la géologie régionale du bassin de Hodna et de la géologie locale des secteurs et gisements étudiés. Des lames minces et sections polies ont été confectionnées à partir des échantillons géologiques prélevés dans les secteurs étudiés. Une dizaine d'analyses par Diffraction X a été effectuée sur des échantillons prélevés dans le gisement de Chaabet El Hamra.

- La deuxième partie de cette thèse est la plus importante. Elle porte sur les différentes méthodes et logiciels utilisés dans le traitement statistique et géostatistique des données de prospection géochimique. Les principales méthodes sont : L'analyse statistique monovariée par la méthode de passage par Zéro, l'analyse statistique multivariée - Analyse en Composantes Principales normée (ACP), la variographie de Zn et l'interpolation par krigeage ordinaire de cet élément ainsi que la cartographie des anomalies géochimiques de surface dans les quatre secteurs d'études.

Des conclusions ont été faites sur la caractérisation géologique, géochimique-géostatistique et gîtologique des différentes concentrations métallifères de ces secteurs. Des recommandations sur les recherches minières futures dans la région ont été faites.

I. - CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

I.1.-CADRE STRUCTURAL DES PLAINES SETIFIENNES AU SEIN DE LA CHAINE ALPINE D'ALGERIE DU NORD

La chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides fait partie de l'orogène alpin péri-méditerranéen d'âge Tertiaire qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km du Rif à la Sicile (Fig. 6) (Durand-Delga et Fontboté, 1980). Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie

En Algérie, La chaîne du maghrébide sur la transversale sétifienne est subdivisée schématiquement en plusieurs zones (domaines), du Nord au Sud on distingue (Fig.6) :

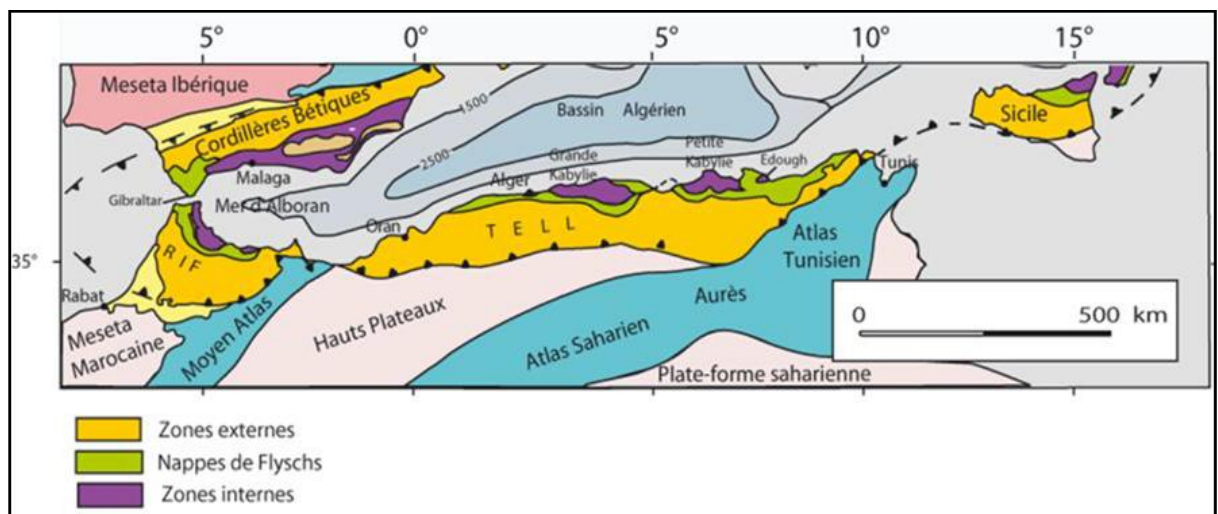


Fig. 6-Schéma structural des maghrébides avec localisation de la zone d'étude
(d'après Durand Delga et Fontboté 1980)

- **Domaine interne**

Il se caractérise par les massifs de socle, localement revêtus d'une couverture de terrains paléozoïques, ces derniers sont souvent peu métamorphiques (Bouillin, 1986). De nombreux auteurs, dont Durand-Delga (1980), estiment que les massifs littoraux (nord algérien) sont les restes d'une zone haute primitivement continue. Ces zones internes sont formées de massifs anciens d'origine continentale et sont bordées du côté externe, méridional, par la dorsale calcaire (Bouillin, 1992). En Algérie orientale, sur la transversale du constantinois, le socle Kabyle constitue l'élément le plus interne des

Maghrébides (Durand Delga, 1969). Plus au sud on a la Dorsale kabyle ou « Chaîne calcaire ».

- **Domaine des flyschs**

Ce domaine est constitué par des nappes de flyschs crétacés-paléogènes, On distingue du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs, les flyschs maurétaniens et les flyschs massyliens auxquels s'ajoutent un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs numidiens d'âge Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur. (Gélard 1969 ; Raoult 1969-1972 ; Bouillin 1986). Ces flyschs et leur substratum sont intercalés entre les zones internes qui les chevauchent et les zones externes qu'ils chevauchent (Bouillin, 1992).

- **Domaine tellien (Domaine externe de nappes telliennes)**

Le domaine tellien occupe un vaste espace bordé au Nord par le littoral et la partie Sud du domaine Kabyle et au sud, il est limité par les hauts plateaux sétifiens. Le Secteur de Zdimm appartient à ce domaine. Les séries telliennes englobent des formations épaisses marneuses d'âge jurassique à Eocène, Ces séries sont subdivisées en trois grandes unités Durand, Delga (1969) et Vila (1980) - Il s'agit d'importantes masses allochtones caractérisées par des faciès marneux et marno-calcaires. Du point de vue structural, ces masses présentent un caractère chevauchant vers le Sud. On distingue :

- les nappes ultra-telliennes;
- les nappes telliennes;
- les nappes peni-telliennes
- série de l'avant pays allochtone : Ce sont des unités encore plus externes et d'allochtonie notable, structurées au Miocène moyen.

- **Les séries ultra telliennes**

Elles sont représentées par de minuscules témoins dans les régions de Djemila et Kherrata. Elles sont constituées de marnes claires du Sénonien, de calcaires siliceux éocènes et de marnes noires et grises de l'Eocène-Oligocène. Cette série a été proposée par Durand Delga (1969).

- **Les séries telliennes au sens strict**

Ces séries couvrent un espace considérable qui va des chaînes côtières des Babors jusqu'aux premières pentes des monts de Hodna, elles sont d'âge crétacé à l'Oligocène.

Les séries telliennes fussent délimitées par Leikine et al (1975) en plusieurs nappes superposées, on distingue de haut en bas et du Nord au Sud :

- la nappe de Barbacha et les unités de Brek-Gouraya-Arbalou ;
- les unités d'Erraguène - Dra El Arba les unités de Beni Abdellah
- la nappe du Djemila rassemblant plusieurs unités : Djebel Babor - Beni Ouartilane.
- Les nappes bibaniques.

-Les séries péni-telliennes

Les séries péni-telliennes se caractérisent par des formations marno-pélitiques, calcaires, marneuses et micritiques du Crétacé Vila (1980). Ces séries apparaissent au Djebel Hellel, au Djebel de Halfa, aux Djebel Bou-Cherf et Ouakissène, dans le massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel Grouz. La nappe péni-tellienne montrent une grande affinité avec les faciès telliens pélagiques et les faciès néritiques.

- L'avant-pays allochtone

D'Ouest en Est, l'avant- pays allochtone présente plusieurs types de séries différenciées, du Trias supérieur au Crétacé ou à l'Eocène, en trois organisations : Sétifiennes, constantinoises et enfin algéro tunisiennes. Le secteur de Zdimm appartient à l'organisation sétifienne. Les unités de cette organisation sont caractérisées par des séries mésozoïques de plateforme qui admettent des intercalations pélagiques Savornin (1920). Ces unités apparaissent en fenêtre sous les nappes telliennes au Nord (Guergour et Anini) ou en demi-fenêtre à l'Ouest, au contact avec le massif des Bibans ; à l'Est, s'intercalent l'unité néritique constantinoise et les écaïlles préatlasiques de Sellaoua .En effet, Les formations allochtones sud sétifiennes dans leur partie méridionale, constituent un vaste domaine d'écaïlles développées entre les méridiens d'Ain Taghrout à l'Ouest et Ain M'lila à l'Est . Vila (1980). Elles forment d'Ouest en Est et du Nord au Sud des alignements de reliefs de Koudiet Della, des Djebels Zdim, Youssef, Braou et Tnoutit, un peu plus au Sud les Djebels Sékrine, Kalaoun, Tella. Tafourer, Agmerouel, Azraout, Tazourit-Guedmane, Hamouda et enfin au sud l'ensemble montagneux des Djebels Messaouda, Roknia, Zana et Mestaoua(Fig.7)

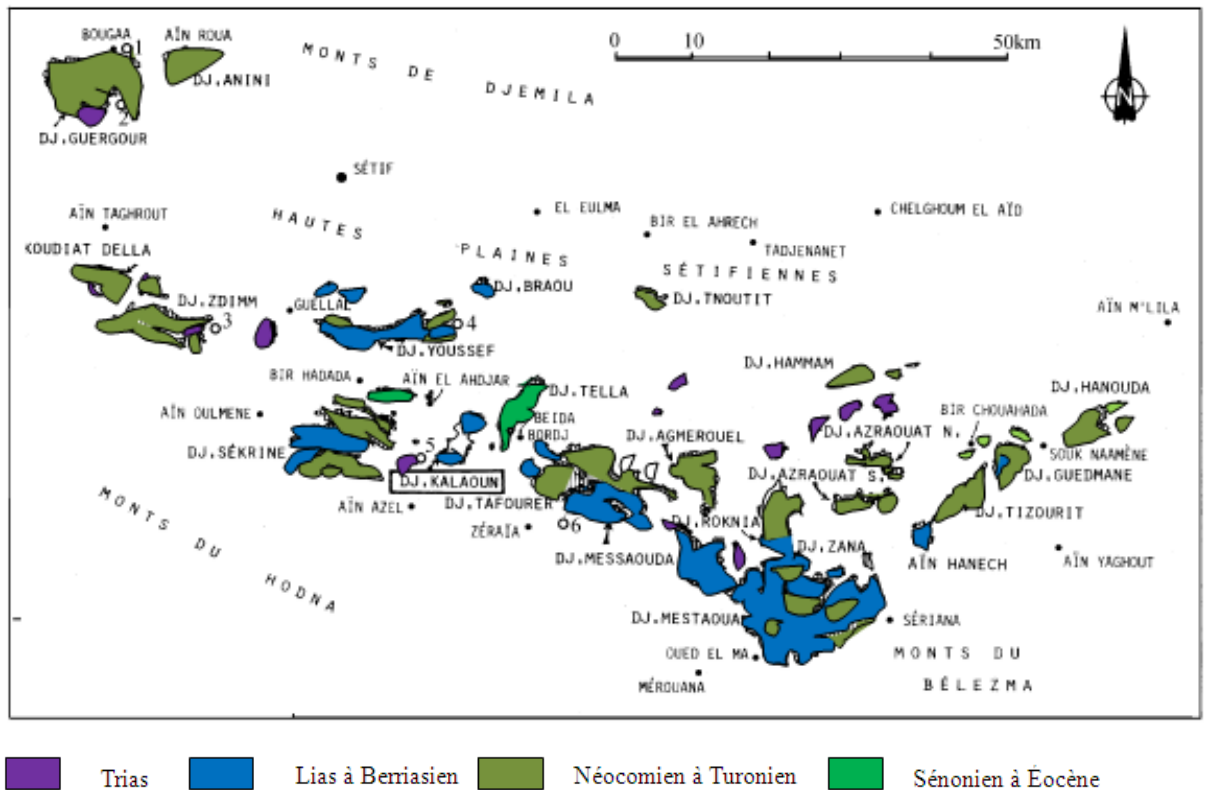


Fig.7- Plan de position simplifié des formations allochtones sud-sétifiennes et leurs grandes coupures stratigraphiques (Vila, 1980). Modifié

1-Boukédma 2-Ain sedjera et Kef Semmah 3-Zdimm nord et Zdimm sud 4-Gustar
5- Koudiet el Bassour 6-Messaouda.

- Les avants pays para-autochtone et autochtone (préatlasique-atlasique)

Dans l'Est de l'Algérie, il s'agit du domaine atlasique dont le bord septentrional est très affecté par la tectonique alpine, permettant de définir un ensemble d'unités paraautochtones développées de façon continue du Sud de Sétif jusqu'au Sud-est de Constantine.

Cette structure permet de définir plusieurs unités :

1-Les unités rigides par-autochtones constituées de l'ensemble Sud-Sétifien et de l'unité néritique constantinoise: elles forment le môle d'Aïn-Miila. Wildi (1983) définit deux unités d'Ouest en Est:

2- Unité Sud-Sétifienne (Plate-forme carbonatée subsidente mésozoïque)

Cette zone a été décrite par Vila (1980). Les terrains correspondants apparaissent en fenêtre sous les nappes telliennes au Nord (Djebel Guergour et Anini au Nord Ouest de sétif) et en demi-fenêtre à l'Ouest, au contact avec le massif des Bibans et à la bordure nord du Hodna. Ces séries sont caractérisées par des sédiments mésozoïques de plate forme.

l'unité néritique Constantinoise (Plate-forme carbonatée subsidente du Jurassique au Cénomanién); Le môle néritique constantinois constitue les massifs de Hahouner-Dabar, les rochers de Constantine et la série de djebel Djaffa. Généralement, on observe, à la base, un Trias comportant des calcaires vermiculés et un ensemble grésopélitique. Puis viennent un Jurassique calcaro-dolomitique et un Crétacé calcaire, devenant marneux à son sommet.

Pour Vila (1980), ce domaine aurait émergé à la fin du Crétacé et aurait subi ultérieurement un léger déplacement vers le Sud (nappe néritique constantinoise). Les secteurs d'études Kherzet Youssef, Ain Kahla (massif de Hadjar Labiod) et le secteur de Chaabet El Hamra font partie de ce domaine (Fig.8).

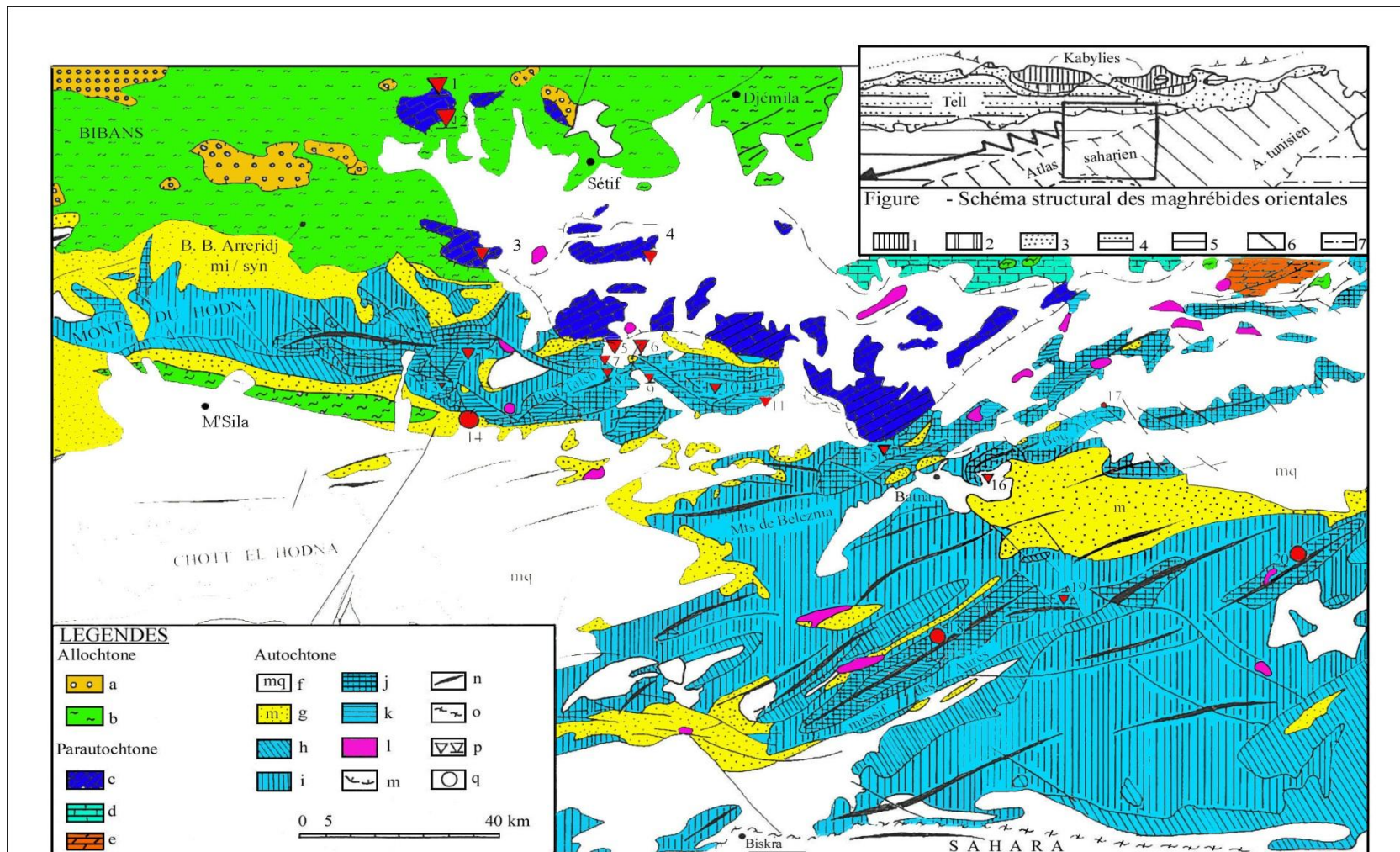


Fig.8- Schéma structural des domaines sétifien-Hodna-Belezma-Aurès (d'après Wildi, 1983) avec localisation des principaux gites de Pb-Zn

LEGENDE

1 – Socles ; 2 – Dorsale ; 3 - Flyschs } Zones internes 4 – Nappes telliennes } Zones externes
 5 - Hauts Plateaux 6 - Atlas saharien } Avant-pays autochtone 7 - Plate forme saharienne

Allochtone :

a – Nappes de flyschs

b – Nappes telliennes

Parautochtone :

c – Ensemble allochtone sud-sétifien

d – Néritique constantinois

e – Eailles du Sellaoua

Autochtone :

f – Miocène supérieur post-nappes à Plio-quadernaire

g – Miocène syn à anté-nappes

h – Eocène à paléocène

i – Crétacé supérieur

j – Crétacé inférieur

k – Jurassique

l – Trias

m – Contacts anormaux

n – Axes anticlinaux

o - Flexure ou accident sud atlasique

p – Minéralisations stratiformes

q – Gîtes filoniens

Les noms des gîtes et indices minéralisés :

1 – Boukdéma

2 – Kef Semmah et Aïn Sedjera

3 – Djebel Zdim

4 – Djebel Gustar

5 – Kherzet Youssef

6 – Chabet El Hamra

7 – Aïn Kahla

8 – Kef Omar

9 – Gouzi-Debba

10 – Tazila

11 – Talkhempt

12 – Kender-Menzou

13 – Dzoli-Bou Aissi

14 – Bou Taleb (Abiane, Soubella etc..)

15 – Mérouana

16 – Aïn Bougda

17 – Djendli (Bou Arif Est)

18 – Taghit Sidi Belkheir

19 – Ichmoul

20 – Aïn Mimoune

I. 2.-STRATIGRAPHIE

Les différentes formations qui constituent la région sont d'âge variant du trias au quaternaire (Fig.9), elles ont été démontrées dans les travaux antérieurs de Savornin,1920 ; Laffitte, 1939; Glaçon, 1967 ; Vila, 1980; Guiraud, 1990, Boutaleb, 2001,et les rapports inédits de l'ORGM,1992 et 2013 et de ENOF,2015.

-Le Trias : il s'agit d'argiles bariolées (rouge, vert, violacée) accompagnée d'un chaos de roches habituelles au complexe triasique, brèches dolomitiques, cargneules, amas de gypse et même parfois des fragments de socle cristallin (Glaçon, 1967).

Les principaux affleurements du Trias sont situés près du Djebel Gouzi, de Koudiat El Bassour au milieu de la plaine qui est le seul époinement qui ait fourni des roches vertes .

-Le Jurassique : il est carbonaté, Affleure sur des surfaces importantes dans les monts du Hodna, il est surtout développé à l'est d'Ain Azel. Il comprend :

- **Le Lias :** il s'agit de formations à dominance carbonatée constituée à la base d'une série d'épaisses couches de calcaires dolomitiques de couleur gris foncé, qui se termine par une surface de ravinement traduisant un ralentissement de sédimentation.
- **Le Dogger :** il est représenté par des calcaires marneux à lits de silex, et sections de Bélemnites et Ammonites Vila, (1980).
- **Le Malm :** il est constitué par des calcaires fins, à la base il est caractérisé par des faciès marneux à intercalation de micrites, Ostracodes et Radiolaires Guiraud (1990).

-Le Crétacé : il affleure largement dans la région. Il comprend, de la base vers le sommet les termes suivants :

- **Le Néocomien :** ce sont des pélites à intercalation marno-calcaires à la base, pour devenir pélitiques en bancs épais à mince intercalations gréseuses vers le sommet.
- **Le Valanginien :** il est essentiellement détritique, constitué à la base par des calcaires noirs, marnes calcaires et calcaires fins, au-dessus desquelles surmonte une série d'argiles et marnes vertes à intercalation de bancs de grès et de pélites

vertes. D'après (Glaçon, 1967), l'Hauterivien et le Barrémien constituent un ensemble défini entre deux niveaux argileux. La série valangienne atteinte près de 200 mètres d'épaisseur.

- **L'Hauterivien** : il comprend des dolomies massives et rouges, alternant avec des grès, des dolomies gréseuses et des argiles. Ces dolomies sont fréquemment minéralisées (Pb-Zn-Fe -Ba) Guiraud (1990). La série hauterivienne atteinte près de 150 mètres d'épaisseur.
- **Le Barrémien** : il s'agit d'une série complexe et très variée, on y rencontre des calcaires, des dolomies, des grès et des minces intercalations argileuses ou marneuses. La série barrémienne atteinte près de 750 mètres d'épaisseur (Guiraud, 1975).

L'Aptien: il est composé d'une formation marneuse et d'une formation carbonatée.

- **Aptien marneux** ; c'est une série de marnes gréseuses jaunes ou vertes avec des intercalations des calcaires à Orbitolines pouvant dépasser les 100 mètres d'épaisseur.
- **Aptien Carbonaté** ; il commence par une barre dolomitique de 10 à 15 mètres d'épaisseur, se poursuit par des calcaires en gros bancs bien lités. L'épaisseur de l'ensemble varie de 300 à 350 mètres
- **Albien-Cénomaniens** ; il est constitué par un ensemble de calcaires en petites dalles de grès et de marnes gréseuses jaunes. Au dessus, on a des intercalations de calcaires marneux en plaquettes et enfin au sommet, le Cénomaniens marneux épais de 250 à 300 mètres avec une très riche faune de Lamellibranches et de débris d'Echinides.

Dans le Hodna, l'Aptien supérieur débute par une barre massive calcaro-dolomitique (Glaçon, 1967 et Guiraud, 1973), repère stratigraphique minéralisé à l'échelle régionale. Elle est surmontée par une formation d'alternance calcaires-argiles et marnes sur 270 mètres à lumachelles (Boutaleb, 2001)

-Le Crétacé supérieur :

- **Le Cénomaniens supérieur et Turonien** : à la base des calcaires dolomitiques à rognons de silex clairs et à lits de chailles blanches ou beiges, c'est le Cénomaniens supérieur (100 m).
- **Le Turonien** : il est également carbonaté, représenté par des marnes et des calcaires dolomitiques à débris d'hippuritidés, (Glaçon, 1967). dont l'épaisseur ne dépasse pas 100 mètres. Constitué par des dolomies et des calcaires à silex ou milliolidés.
- **Le Sénonien** :

-Sénonien Inférieur : il est constitué de marnes sableuses ou à petits galets roulés (grés, silex), et une barre de quelques mètres de calcaires à galets dans les marnes avec une épaisseur qui ne dépasse pas les 150 mètres.

-Sénonien supérieur : le Campanien débute par une série marneuse avec des intercalations lumachelliques, puis vient le Maestrichtien avec des calcaires. L'ensemble ne dépasse pas 350 à 400 mètres.

-Le Tertiaire :

- **Dano-Paléocène à Yprésien** : la série est formé par des marnes argileuses noirâtres à nodules pyriteux isolés, à la base il est constitué par des intercalations de calcaire pyriteux, tandis qu'au sommet la série devient azoïque. (Laffite, 1939)
- **Yprésien-Lutétien inférieur**: ce sont des formations constituées essentiellement par des calcaires gris à silex, la partie inférieure est caractérisée par des calcaires durs Phosphatés (Glaçon, 1967), gréseux à galets de silex et grains de phosphate. L'épaisseur de l'ensemble varie de 70 à 100 mètres.
- **Lutétien supérieur** : il s'agit de séries d'argiles gypsifères, à intercalation de calcaires organogènes jaunâtres dont l'épaisseur ne dépasse pas 30 mètres.

-Le Miocène : il est marin transgressif et représenté le plus souvent de formations continentales et lagunaires, est composé de conglomérats, grés, marnes et argiles rouges.

-Le Pliocène: Généralement concordant sur le Miocène, est constitué de formations détritiques, marneuses et conglomératiques.

- Le Plio-quaternaire : il est concordant et en continuité sédimentaire avec les terrains sous-jacents. Il est caractérisé par les faciès détritiques et marneux avec des nouveaux apports conglomératiques au sommet (Boutaleb, 2001)

PARTIE. I- GEOLOGIE

COLONNE STRATIGRAPHIQUE GENERALE DE LA REGION DES MONTS DU HODNA ET DE LA PARTIE EST DES HAUTS PLATEAUX																		
Système	Section	Etage	Sous-étage	Colonne	Épaisseur (m)	Brève composition lithologique	Emplacement et paramètres des corps de minerais (à la verticale la puissance est à l'échelle 1/1000, à l'horizontale la longueur est à l'échelle 1/250 000).	Formations métallifères		morphologie des corps de minerais	Caractère de la minéralisation	composition minéralogique de minerais	Teneurs maximales en métaux, %		Indices de minerais et gisements typiques			
								galenite-sphalérite-barytique	galenite-sphalérite-carbonates				Pb	Zn				
NEOGENE	MIOCENE	PLIOCENE	sup	inf sup	130	Calcaires lacustres, marnes.												
				inf	75	Conglomérats, grès à grains fins, limons sableux, limons.												
				sup	120	Argiles rouges, limons, limons sableux, conglomérats.												
		MIOCENE	TORTOLIEN	supérieure	sup	280	Argiles gypseuses, lits rares de grès.											
					inf	500	Grès quartzeux, à grains grossiers, gravillites, lits rares d'argilles.											
				moyenne	sup	250	Argiles, argiles calcaireuses, grès quartzeux.											
					inf	500	Argiles, argiles calcaireuses gypseuses, grès, conglomérats.											
				inférieure	sup	70	Conglomérats calcaireux, calcaires organogènes, coquillards.											
					inf	200	Argiles rouges, limons calcaireux, limons sableux, marnes, grès, gravillites, conglomérats à galets menus.	+				Filons, nids	Filonien	Pbs Pbco, Baso ₁				Kef Sennar, Bou Ich ouest.
				PALEOGENE	Eocene	Pliocène	sup	inf	200	Argiles calcaireuses, marnes argileuses, calcaires argileux.								
inf	50	Grès calcaireux, calcaires organogènes gréseux.																
Pliocène	inf	sup	50			Calcaires organogènes, gréseux, marnes, silex.												
		inf	40			Calcaires, marnes, silex, phosphorites.												
Pliocène	inf	sup	80			Marnes, argiles calcaireuses.												
		inf	20			Argiles calcaireuses.												
Pliocène	inf	sup	150			Calcaires gréseux organogènes coquillards.												
		inf	150			Argiles calcaireuses, marnes, calcaires argileux.												
Pliocène	inf	sup	30			Calcaires, marnes.												
		inf	130			Calcaires, marnes.												
CRETACE	Supérieur	Cenomanien	sup	inf	120	Calcaires, marnes.												
				inf	40	Calcaires argileux, organogènes.												
		Cenomanien	inf	sup	330	Argiles calcaireuses, calcaires argileux.												
				inf	50	Calcaires organogènes, calcaires argileux.												
		Aldien	sup	inf	250	Argiles calcaireuses, marnes, calcaires argileux.												
				inf	150	Calcaires recifogènes, organogènes, argiles calcaireuses.												
		Aptien	sup	inf	140	Argiles calcaireuses, marnes, calcaires organogènes, grès calcaireux.												
				inf	200	Dolomies calcaireuses, calcaires organogènes.												
		Aptien	inf	sup	150	Argiles calcaireuses, marnes, calcaires argileux, grès calcaireux.												
				inf	320	Calcaires argileux, organogènes, gréseux, grès calcaireux, marnes argileuses.												
Barremien	sup	inf	380	Grès quartzeux, calcaireux, à couches obliques.														
		inf	130	Calcaires dolomitiques, marnes.														
JURASSIQUE	Supérieur	Kimmeridgien	sup	inf	120	Calcaires argileux, marnes.												
				inf	290	Calcaires organogènes, argileux, argiles calcaireux, chailles de silex.												
		Kimmeridgien	inf	sup	380	Argillites, calcaires argileux, calcaires.												
				inf	120	Calcaires recifogènes dolomités.												
		Moyen	Bathonien	sup	inf	150	Calcaires, calcaires argileux, marnes.											
					inf	45	Calcaires avec chailles de silex.											
		Moyen	Bathonien	inf	sup	20	Marnes, argiles calcaireuses, calcaires argileux.											
					inf	750	Calcaires dolomitiques, dolomies calcaireuses, calcaires.											
		Inférieur	Valanginien	sup	inf	400	Argiles calcaireuses, grès calcaireux, calcaires argileux.											
					inf	120	Calcaires argileux, marnes.											
Inférieur	Valanginien	inf	sup	290	Calcaires organogènes, argileux, argiles calcaireux, chailles de silex.													
			inf	380	Argillites, calcaires argileux, calcaires.													
Inférieur	Valanginien	inf	sup	120	Calcaires argileux, marnes.													
			inf	290	Calcaires organogènes, argileux, argiles calcaireux, chailles de silex.													
Inférieur	Valanginien	inf	sup	380	Argillites, calcaires argileux, calcaires.													
			inf	120	Calcaires recifogènes dolomités.													
Inférieur	Valanginien	inf	sup	150	Calcaires, calcaires argileux, marnes.													
			inf	45	Calcaires avec chailles de silex.													
Inférieur	Valanginien	inf	sup	20	Marnes, argiles calcaireuses, calcaires argileux.													
			inf	750	Calcaires dolomitiques, dolomies calcaireuses, calcaires.													
Supérieur	Trias	sup	inf	300	Marnes bariolées, argiles, gypses.													

Fig9.- Colonne stratigraphique générale des monts de Hodna (ORGM,2013)

I.- 3. - TECTONIQUE REGIONALE

Dans les Monts du Hodna, on distingue deux unités tectoniques séparées par le front sud sétifien (Vila 1980 et Boutaleb, 2001) (Fig. 10).

- L'allochtone sud sétifien au Nord, constitué d'un vaste empilement d'écailles limitées par des cisaillements.
- L'autochtone hodnéen au Sud, dont fait partie le Djebel Hadjar Labiod qui est affecté essentiellement par une tectonique assez complexe liée à l'orogénèse alpine.

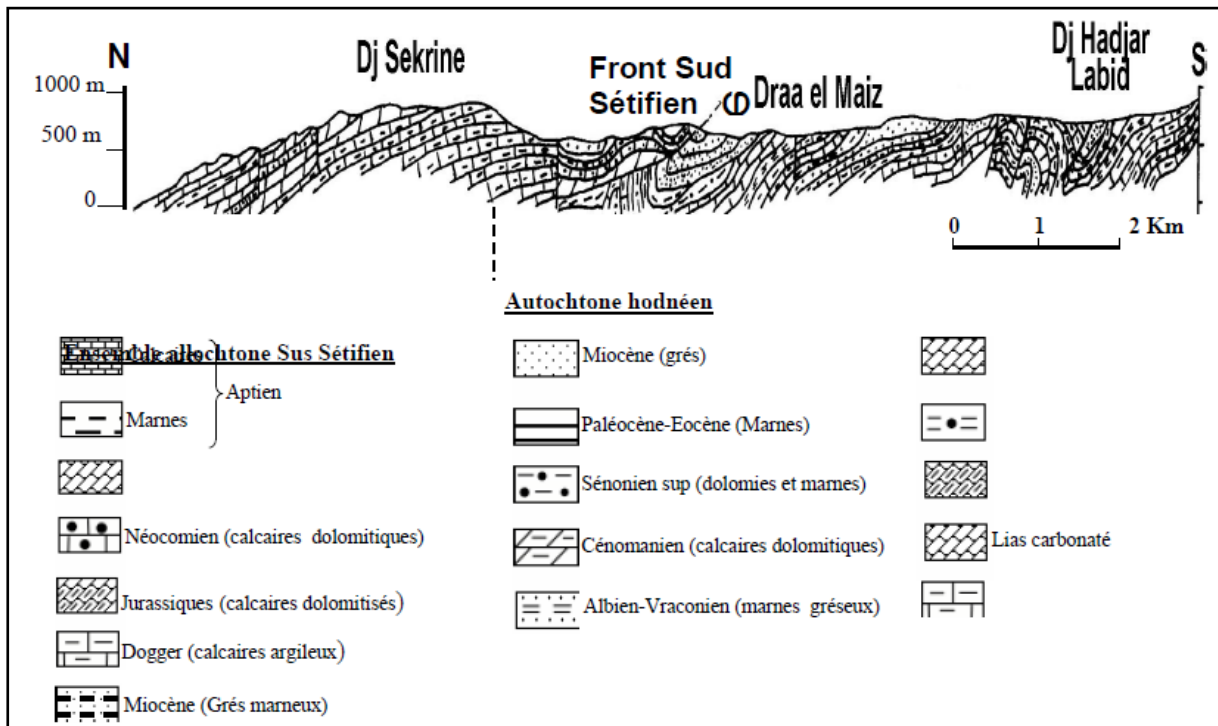


Fig. 10-Coupe géologique montrant le chevauchement de l'autochtone sud sétifien sur l'autochtone hodnéen (Vila, 1977)

a. Les failles

L'analyse du réseau de failles permet de distinguer plusieurs familles d'accidents tectoniques qui affectent les terrains carbonatés du Jurassique et du Crétacé. Ainsi on distingue :

- Des failles de direction NE-SW et NW-SE très nettes au Djebel Boutaleb et Djebel Hadjar Labiod (Fig. 11).
- Des failles de direction EW de plus grande importance affectent surtout les formations de Djebel Hadjar Labiod et Djebel Foughal. Elles se sont formées lors du plissement au moment de la formation du grand anticlinal du Hodna. D'après Bertraneu (1955) cet événement se place dans la phase tectonique emschérienne.

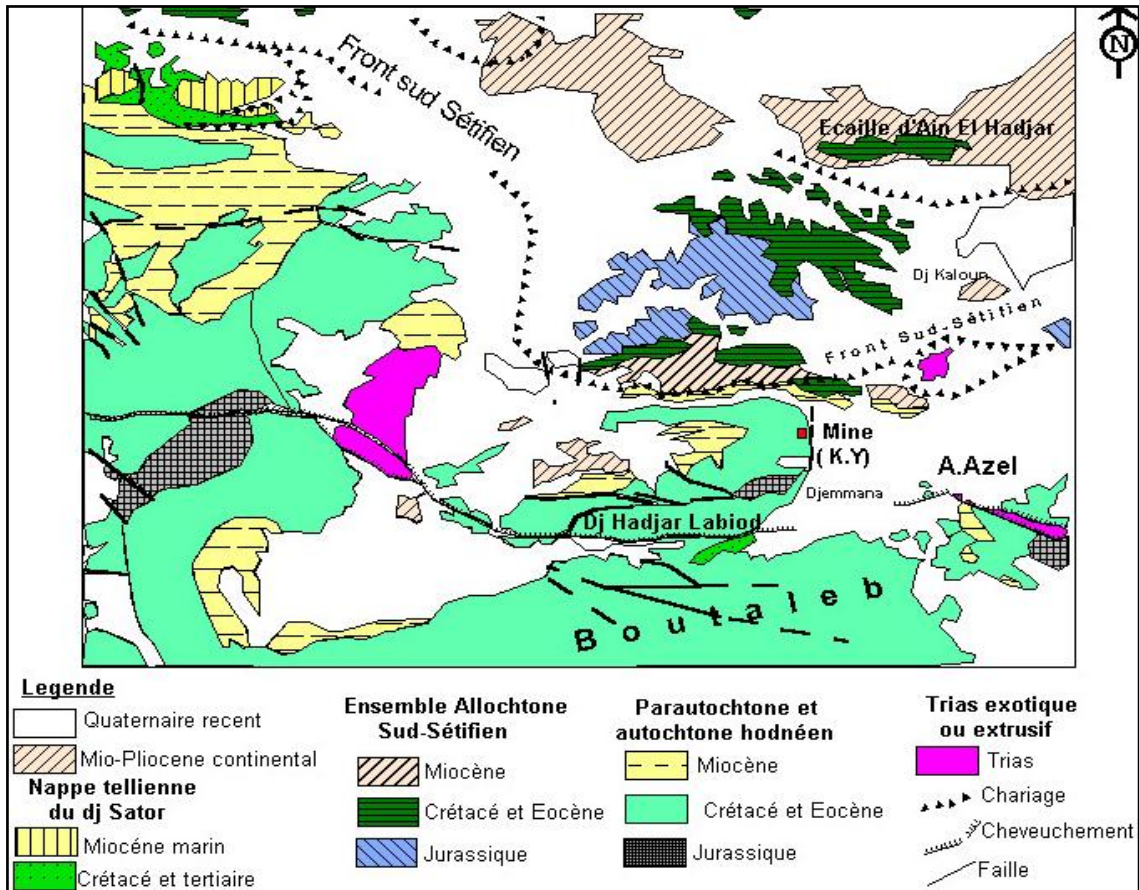


Fig. 11-Schéma structural simplifié du Dj.Hadjar Labiod extrait de la carte de Ain Azel (Vila, 1977)

-Une faille importante de direction N-S (faille de Kherzet Youssef) affecte le Crétacé du Djebel Hadjar Labiod sur son flanc Est (Fig. 11).

b. Les plis

Les plis ont généralement une orientation E-W à WSW-ENE. La direction WNW-ESE correspond à des synclinaux à larges rayons de courbure, représentant l'ensemble de hauts reliefs avec des axes de directions :

-NW-SE tels que ceux observés au niveau de Djebel Sekrine, Djebel Kalaoun, Djebel Gouzi et Djebel Foural.

-NE-SW rencontrés au niveau de Djebel Hadjar Labiod et Djebel Boutaleb.

c. Les Structures diapiriques

Les affleurements du Trias diapirique se situent généralement dans la zone de convergence de deux directions de fractures (E-W et NW-SE ou NE-SW).D'après Guiraud (1973), la mise en place du Trias est liée principalement à des contraintes compressives, c'est à dire à la phase priabonienne et la phase tortonienne.

I. - 4. - MINERALISATIONS

Le Hodna, de par sa grande extension (environ 120 km d'Est en Ouest et 50 km du Nord au Sud) recèle les minéralisations à Pb-Zn en milieu carbonaté les plus économiques du NE algérien. (Tableau 2) (Fig. 12).

Tableau 2- Les gisements polymétalliques les plus connus dans le Hodna (ORGM,2013)

Secteur et domaine		Roche encaissante + âge	Minéralisation	Type de minéralisation	Réserve en minerais
HADJER	Kherzet Youssef	Dolomie à grains fins poreuse d'âge Barrémien (Crétacé inf)	Galène, sphalérite, marcasite, pyrite, calcite, barytine et anhydrite	Stratiforme Caverneux pour minerais zinc et massive ou veinés pour minerais en Pb	1.6 MT avec 18.4% de Zn et 3.6 % Pb
	LBIOD Para-autochtone Ain kahla	Dolomie du Lias et du Dogger	-Minerais mixtes de baryte – galène argentifère - blende+ cadmium - oxyde Baryte-plomb+argent - oxyde zincifère	remplissage décollement interstratifiée des zones de broyage suivant les flexures. -en lentille.	7,08 MT dont 134,6 KT en Zn (Teneur moy1,9%) et 83,8 milles de tonnes en Pb (1,18 %teneur moyenne).
FOURAL ANZA-	Chaabet hamra	Dolomie poreuse ou bréchique de Hauterivien (inf)	Blende, galène et marcasite	Sous forme de lentilles.	5,207 MT avec une teneur moyenne de 5,3% en Zn.
BAHLOUL Para-Autochtone	Anza bahloul	Calcaire dolomitique de l'Aptien	Galène et blende	liée spatialement à des accidents NW	Teneur dans un échantillon 0,4%Pb et 1% BaSO ₄
SEKRINE Allochtone	Sékrine	Dolomie du jurassique moyen	Galène et blende		Dans zone d'oxydation, teneurs d'ordre 0,1%Pb, 1,26%Zn.
BOUTALEB (Oriental) Autochtone	Kef omar	Dolomie de l'Hauterivien	Smithsonite, blende et galène.	Remplissage de vides veinules ou filonnets	1900-1920, production Zn-471t smithsonite45-52%

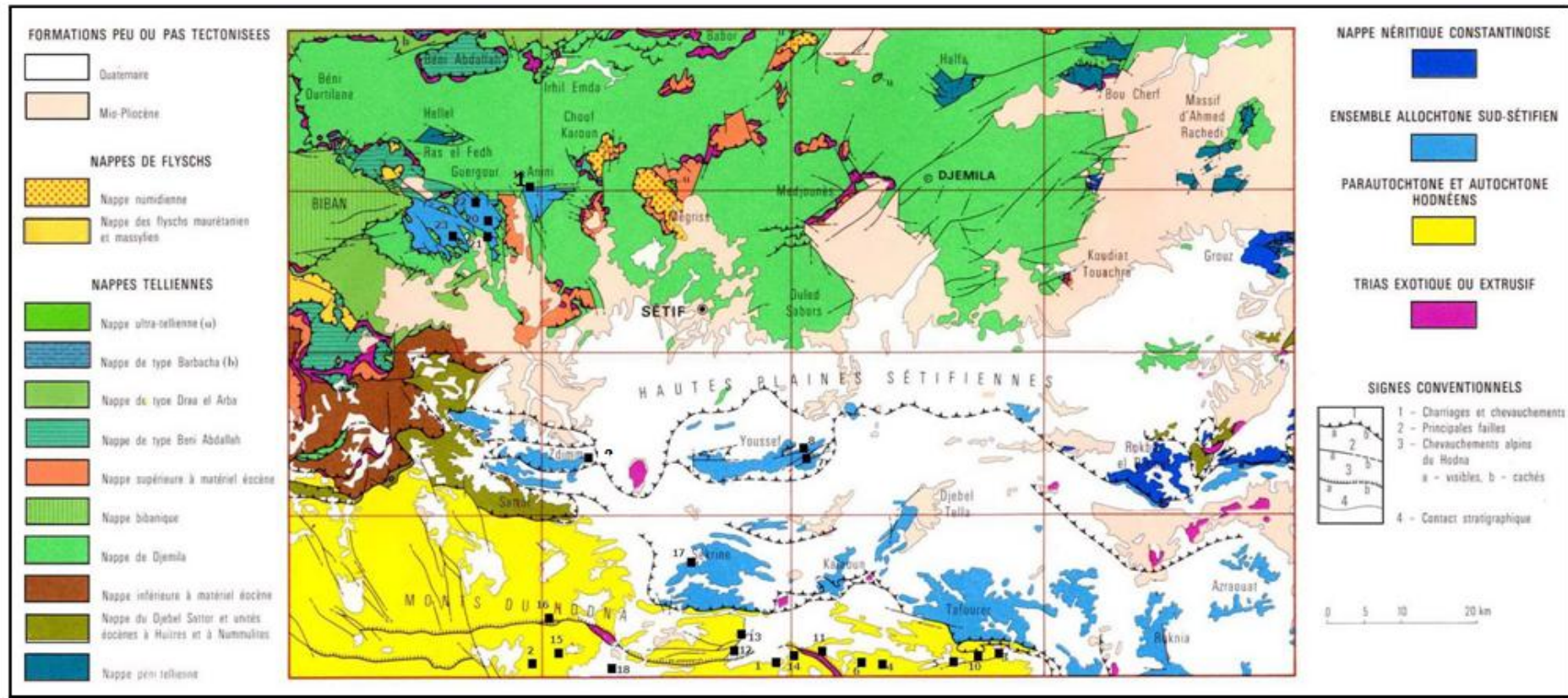


Fig. 12 – Carte structurale avec la répartition des gisements et des gites à travers les différentes entités structurales Sud Sétifienne, et Hodnéenne (Vila, 1980) modifiée.

Légende

• **Domaine allochtone sud sétifien**

19 : Ain Roua ; 20 : Ain Sedjera ; 21 : Tafet Sud ; 22 : Kef Semmah
23 : Boukhdimia ; 8 : Sekkaken ; 9 : Zdimmi ; 17 : Sekrine.

• **Domaine parautochtone et autochtone Hodnéenne**

10 : Talkhempt ; 11 : Gouzi ; 12 : Ain Kahla ; 13 : Kherzet Youcef ;
14 : Chaabet El Hamra ; 15 : Kef Semmar ; 16 : Kender ; 18 : Bouhlal ;

**II.- CADRE GEOLOGIQUE LOCAL
II. 1.-SECTEUR DE CHAABET EL HAMRA**

Le gisement de Chaâbet- El- Hamra est situé à environ 250 km au Sud-Est d’Alger et à 50 km au Sud de Sétif à 4,5 km au Sud-Est du village d’Ain Azel et à 12 km de la mine de Kherzet Youssef (Fig.13). Il fait partie de la zone métallogénique des monts du Hodna qui renferme d’importantes minéralisations en Pb-Zn localisées dans la région d’Ain Azel. Le gisement de Chaabet El Hamra appartient au bloc de la plateforme d’Ain M’lila associé au horst de Rahbat. (Pogrennoi et al.1992).

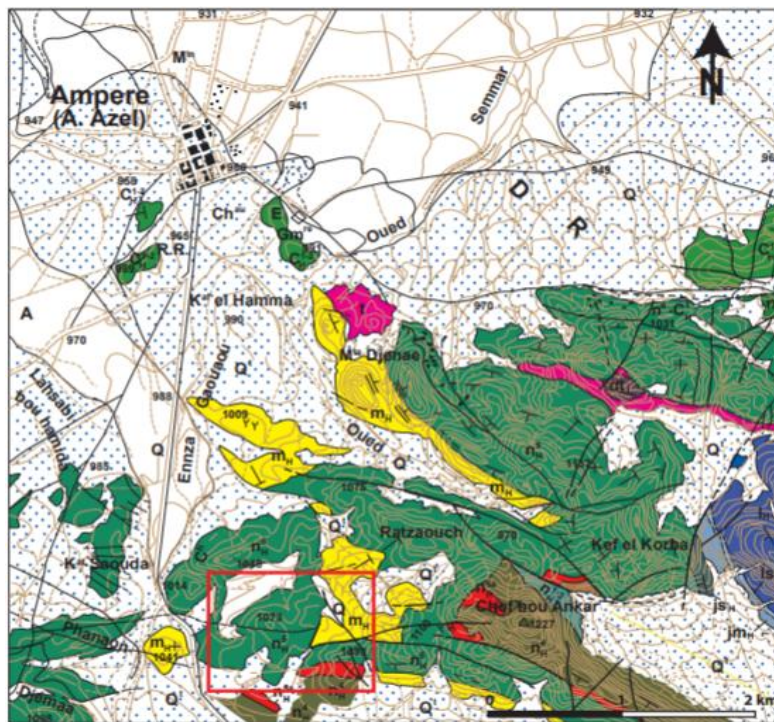
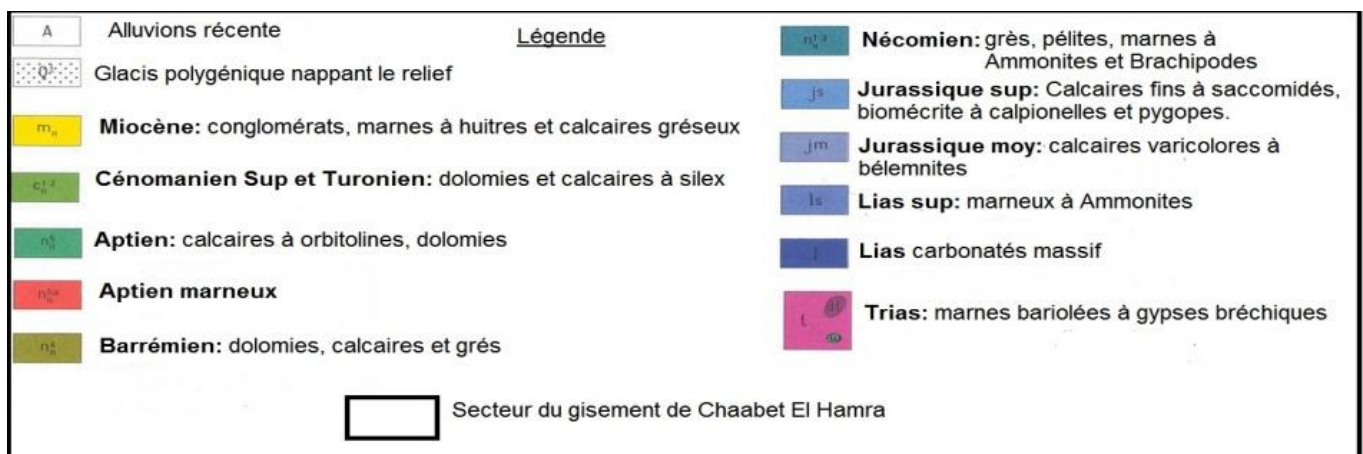


Fig.13- Carte géologique des environs de la mine de Chaabet El-Hamra (D’après la carte géologique 1/50.000 d’Ain Azel et d’Ain Lahdjar, Sonatrach, 1977)



II.1.1. – Stratigraphie

Le gisement est composé d'une séquence de roches sédimentaires carbonatées et terrigènes caractéristique d'un milieu de plate forme. L'âge de ces roches varie du Crétacé au Miocène (Figs. 14 et 15). La stratigraphie du gisement réunit des dépôts du Valanginien, de l'Hauterivien inférieur et supérieur, du Barrémien inférieur et supérieur, du Miocène et du Quaternaire.

Valangénien

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.

Hauterivien

La minéralisation zincifère d'intérêt industriel est localisée dans la partie inférieure de l'Hauterivien, Cet étage est subdivisé en deux (02) niveaux :

Hauterivien inférieur (HI) : L'Hauterivien inférieur représente l'horizon porteur des minéralisations à Zn-Pb du gisement de Chaabet El Hamra. Ce dernier, d'une puissance totale variant de 70 à 120 m, est constitué essentiellement de dolomies même si certains auteurs (Pogrennoi et al.1992) l'ont divisé en trois (03) termes:

- **HI- a:** Ce terme est 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 supérieure de 2 à 5 m du toit. Ce terme est discontinu et son épaisseur varie de 1 à 2 m.
- **HI- b:** Il est représenté par une superposition, de bas en haut, de marnes grises verdâtres (0,5 à 2 m), siltite grise-brunâtres (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).
- **HI- c:** Ce dernier terme est également caractérisé par des dolomies à grains fins de couleur brunâtre ou fortement hématitisées.

Hauterivien supérieur (HS) : Ce niveau est subdivisé en cinq (05) termes :

-HS-a : Formé de **grès**, 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.

-HS-b : Représenté par des **dolomies massives** à grains fins plus ou moins hématitisés.

-HS-c : Représenté par un calcaire gris argileux (parfois renfermant des passées argilo-marneuses ou siliceuses).

-HS-d : Constitué de dolomies à grains fins, de couleur gris-brun, souvent argileuses.

-HS-e : représenté essentiellement par des calcaires gris en alternance grossière avec des marnes et des aleurolites.

Le Barrémien

La série Barrémienne couvre la majeure partie du terrain d'étude, elle affleure largement dans les parties Sud et Nord-Ouest du champ minier, et recouvre en concordance la série dolomitique de l'Hauterivien supérieur est subdivisée en deux formations :

Le Barrémien inférieur

Formée de deux unités lithologiques différentes ; une première unité à dominante gréseuse surmontée par une deuxième unité à dominante calcaro-dolomitique. Il repose en concordance sur les dolomies de l'Hauterivien par un niveau terrigène constitué de grès souvent zonés présentant des figures d'altérations, en alternance avec des argiles sombres et des marnes.

Le Barrémien supérieur

Cette formation dont l'épaisseur est de 50 à 150m montrant une remarquable diminution à l'Est, repose en concordance sur le Barrémien inférieur par l'intermédiaire d'un niveau argileux, une série qui présente une épaisseur variant de 50 à 60m de grès marquée par des intercalations de minces bancs de dolomies gréseuses de couleur gris à rouge se présentant sous forme de petits bancs décimétriques intercalés dans les grès, des marnes et des calcaires marneux (Fig.14).

Aptien

Elles sont représentées par une alternance de calcaires gréseux et grès calcareux avec des passés de calcaires très fins et des grès friables.

Le Miocène

Les formations Miocène n'affleurent que sur une partie du bord nord du champ minier et reposent en discordance sur les formations sous-jacentes Barrémiennes. Il est représenté par une brèche sédimentaire constituée de dolomies, calcaires à la base, suivi par un niveau de calcaires gréseux au sommet.

Quaternaire

Se sont des débris de roches en place sous forme des dolomies, calcaires, grès avec un ciment argileux.

Age		Lithologie
Miocène		Calcaires gréseux à pectens discordance
Barrémien	Sup	Grès à intercalation de dolomie gréseuse
	Inf	Dolomies gréseuses Marnes Calcaires marneux
Hauterivien	Sup	Dolomies massives et cavernueuses Grès à débris ligneux
	Inf	Dolomies massives minéralisées Dolomies massives grises- sombres minéralisées
Valangnien		Grès et marnes argileuses

Fig.14- Colonne lithostratigraphique du gisement de Chaabet El Hamra (Boutaleb, 2001)

II.1.2.-Tectonique

Se caractérise par une structure complexe en plis faillés. Il apparait sous forme d'un dôme recoupé par deux grands accidents de direction orientée Est-Ouest donnant ainsi naissance trois blocs principaux (Pogrennoi et al.1992): un bloc central, un bloc méridional et un bloc occidental. Chacun de ces blocs est caractérisé par un système de faille (Fig.15).

a) Le Bloc Est

Trois (3) côtés de ce bloc sont limités par des failles, 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° SO. Sur le fond général du pli, il existe des complications locales sous forme de dômes, gradins, etc. 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 $65-75^{\circ}$.

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

b) 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.

c) Le Bloc Ouest

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

- 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°.

-La faille Ouest : cette faille normale se dégage du dessous du dépôt quaternaire, bordant le flanc Sud-Est du brachyantoclinal 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° tandis que les rejets verticaux atteignent 10 m.

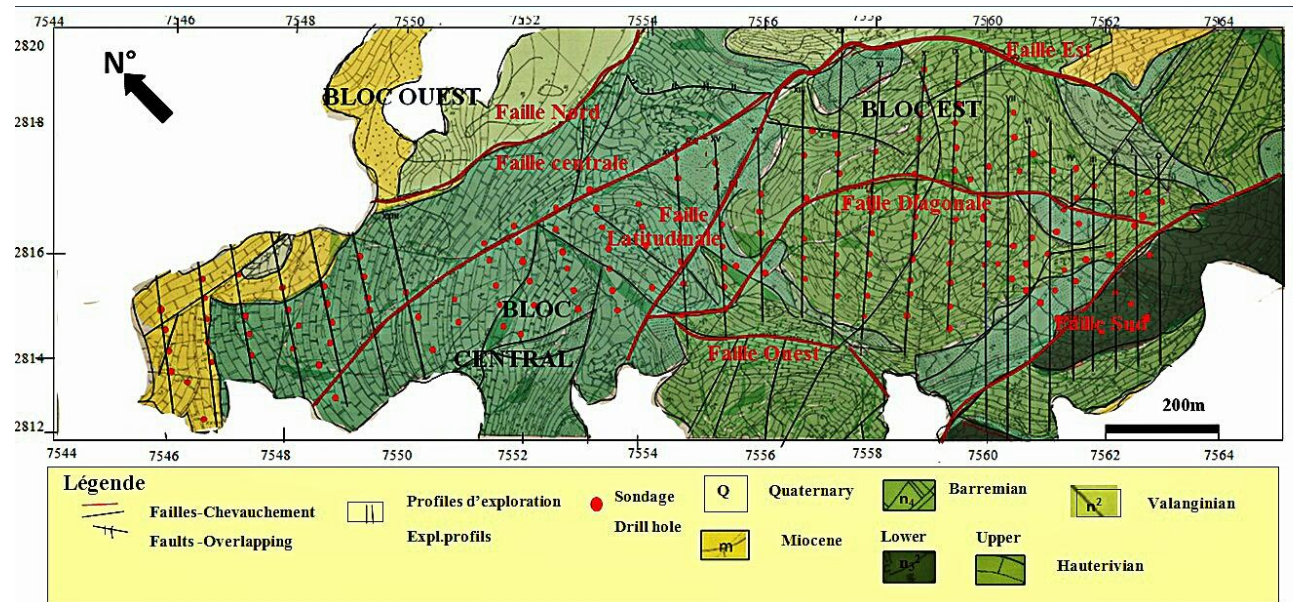


Fig.15- Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra (Kourichi et al, 1992) avec implantation des profiles d'exploration

II.1. 3. - Minéralisation

Les minéralisations à Zn-Pb du gisement de Chaabet El Hamra sont localisées dans la couche de l'Hauterivien inférieur (crétacé inférieur) (Pogrennoi et al.1992). Les corps de minerais ont une forme lenticulaire (Fig. 16). Ces lentilles ont une épaisseur moyenne de 3m et se superposent généralement dans le sens de l'épaisseur de la couche de l'Hauterivien inférieur intercalées par des dolomies stériles. Cependant le nombre des lentilles n'est pas systématiquement égal à six (06) le long de la couche porteuse comme énoncé par Pogrennoi et al en 1992 dans la Coupe de corrélation des données des sondages du profil 11 (Fig. 16).

Les zones marquées en noir indiquent des teneurs faibles en Zn qui correspondraient au fond géochimique. Les zones marquées en vert et en rouge correspondraient à des lentilles de minerais. Dans cette coupe le nombre de lentilles minéralisées à Zn et inférieur à 6.

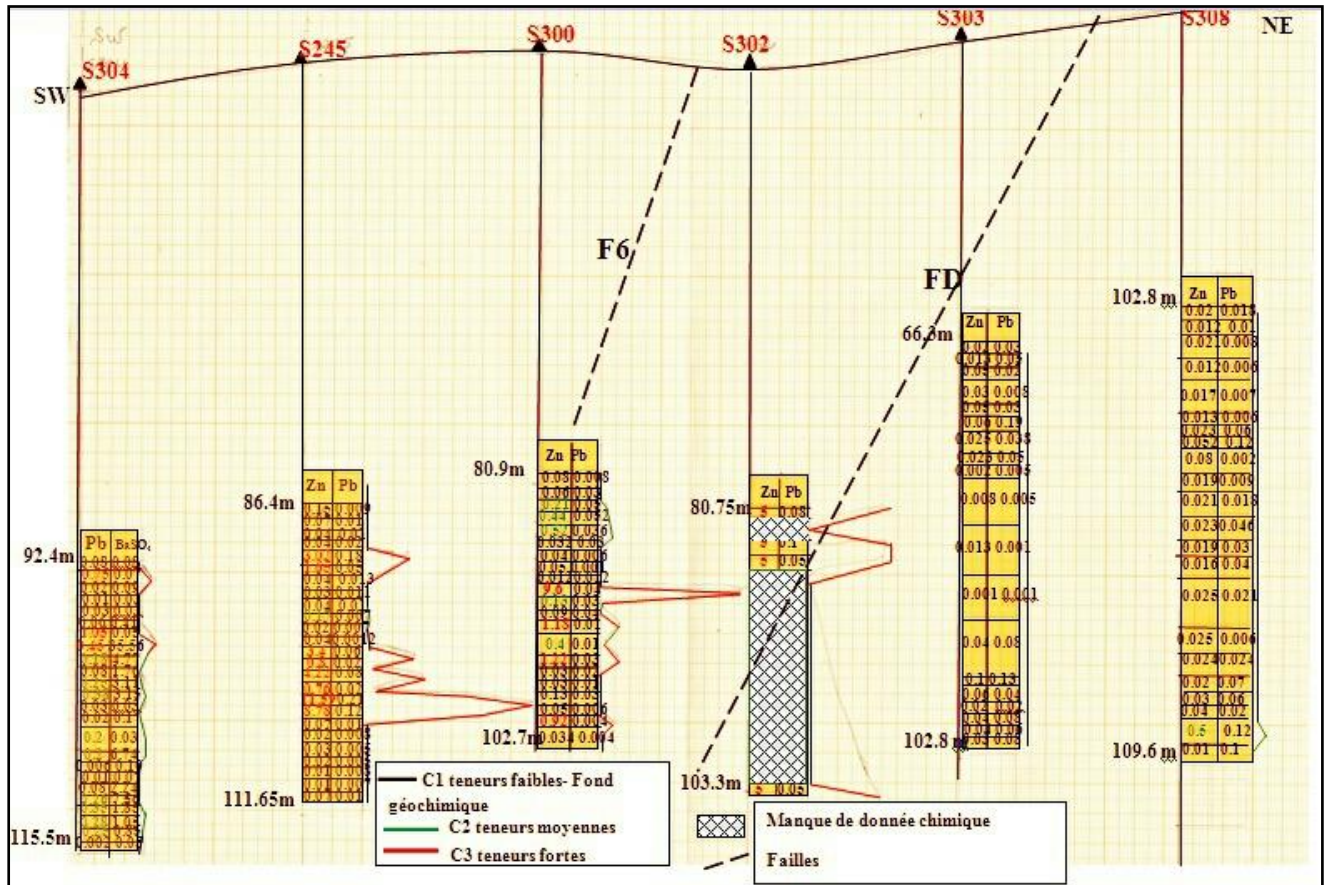


Fig.16- Coupe de corrélation des données des sondages du profil 11 du gisement de Chaabet El Hamra

Dans le but de préciser éventuellement la composition minéralogique de la gangue, dix (10) échantillons ont été prélevés dans la galerie, de la partie inférieure du gisement de Chaabet El Hamra (Fig. 17). Ces échantillons ont été analysés par la méthode de diffraction au rayon X effectuée au laboratoire pétro-minéralogie-ORGM- Boumerdes. Ces analyses confirment la composition minéralogique signalée par Glaçon, (1967); Pogrennoi et al. (1992) et Boutaleb, (2001). Cette dernière montre une paragenèse principalement constituée de sphalérite, galène, pyrite et marcassite. Les minéraux de gangue sont la dolomite, la calcite, la barytine et plus rarement le quartz et le gypse (Pogrennoi et al.1992). (Figs. 18, 19 et 20).

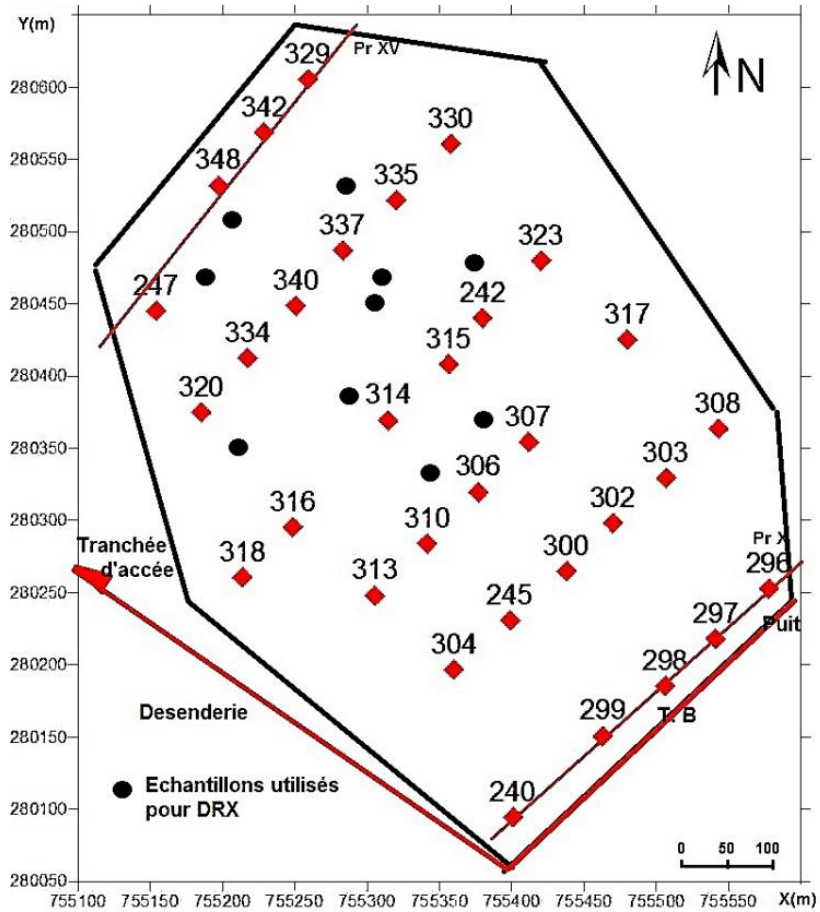


Fig. 17- Gisement de Chaabet El Hamra-localisation des échantillons utilisés pour DRX

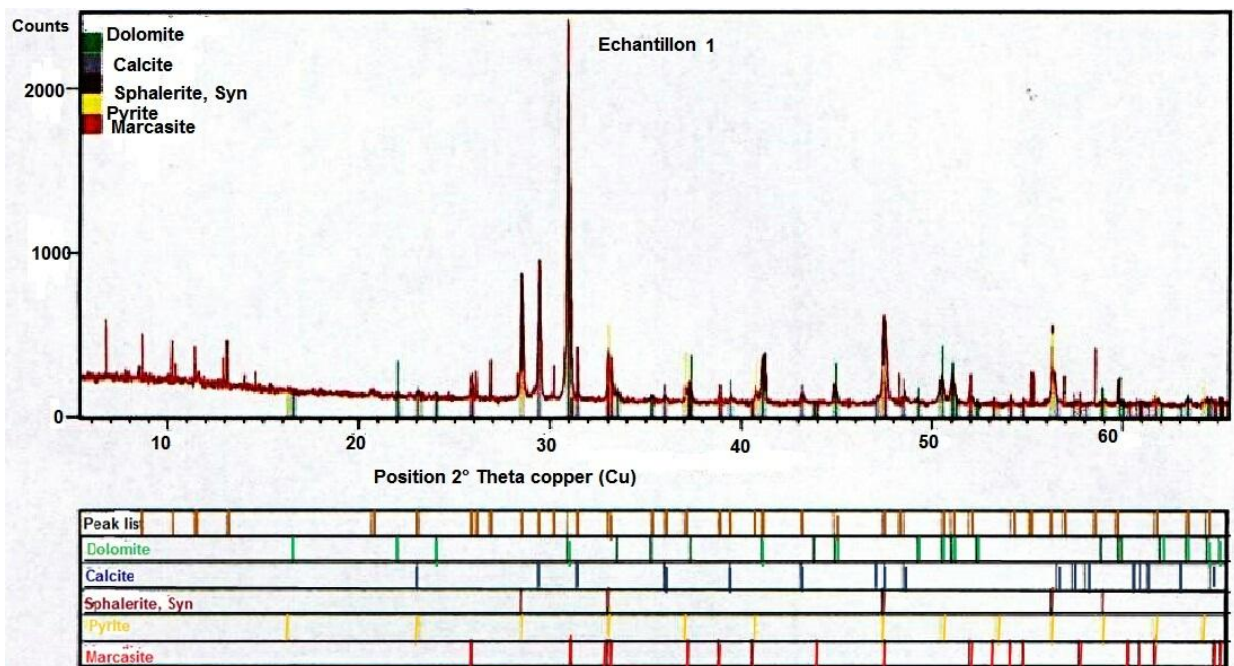


Fig. 18- Diffractogramme de l'échantillon N°01 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX

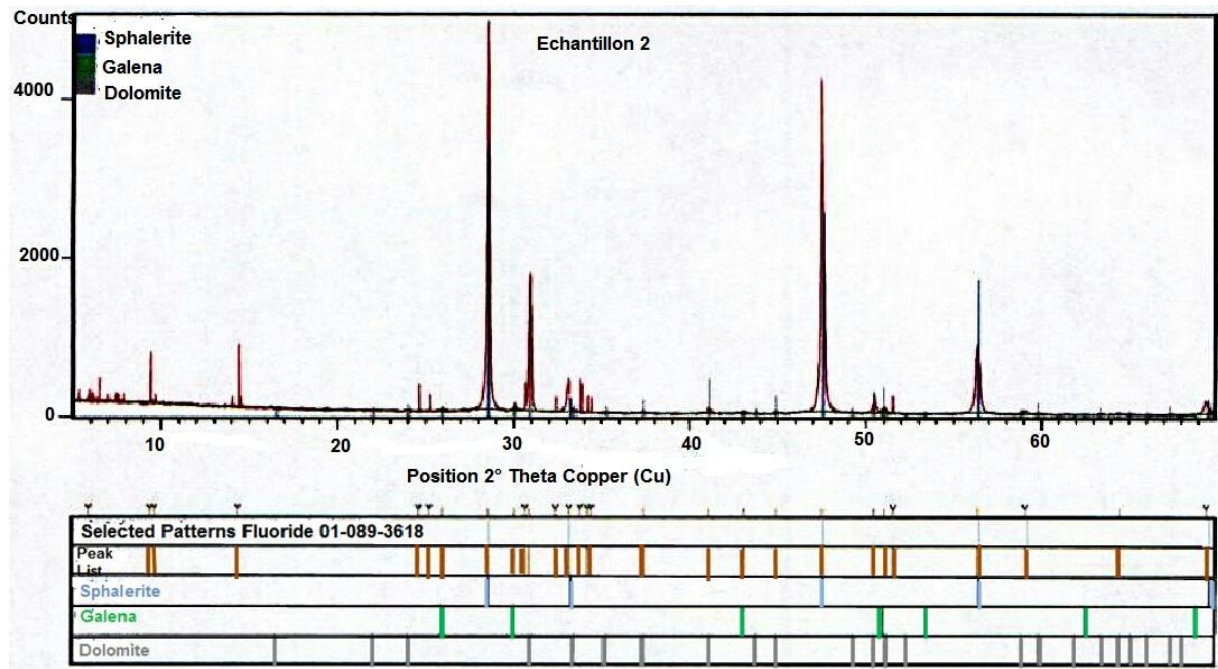


Fig. 19- Diffractogramme de l'échantillon N°02 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX

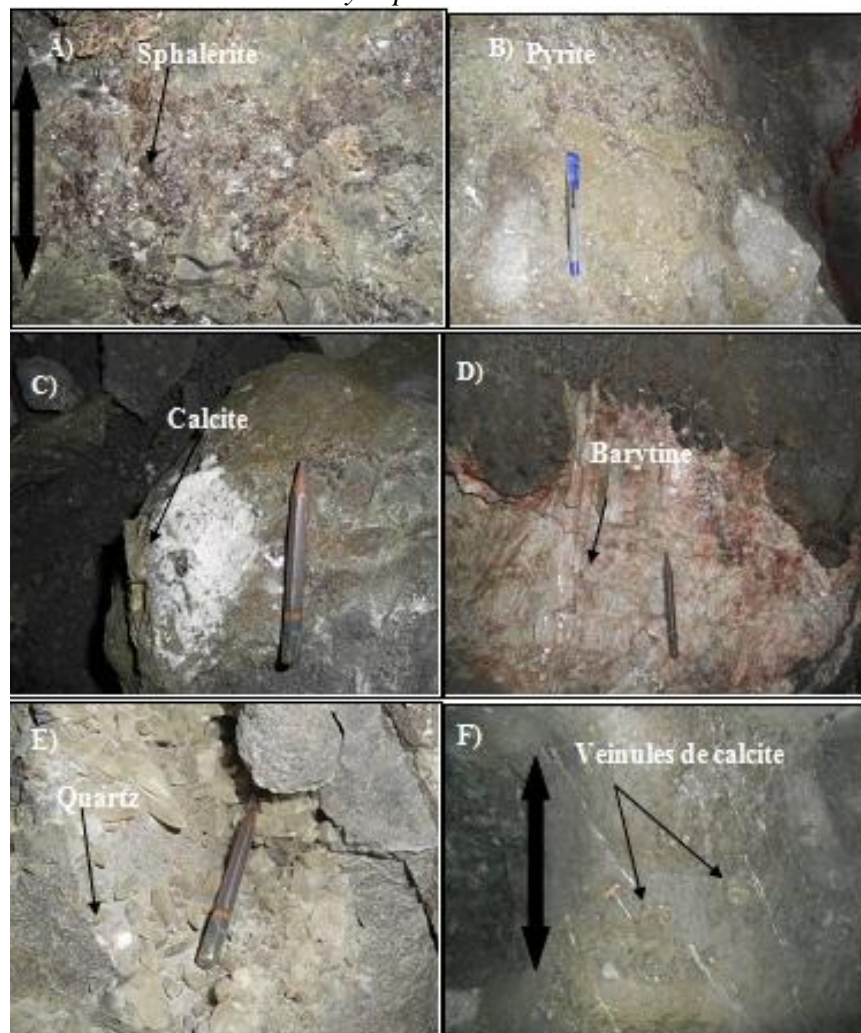


Fig. 20- Minéralisations: A) Sphalérite; B) Pyrite; C) et F) Calcite; D) Barytine et E) Quartz

II. 2. – SECTEUR DE DJ.ZDIMM

Le territoire du secteur Dj. Zdimm est situé dans la partie orientale du chaînon intermédiaire des formations allochtones sud-sétifiennes, à environ 25 km au SW de Sétif (Fig.21). Les coordonnées géographiques sont 36°1'0" N et 5°10'60" E. Il couvre une superficie de 15 Km².



Fig. 21 - Carte de situation géographique de secteur de Dj. Zdimm (Google map, 2018)

II. 2. 1. - Stratigraphie

Les formations constituant le site sont d'âge Aptien carbonaté, Aptien marneux, Hauterivien marneux et Barrémien carbonaté. On observe aussi un développement important de dépôts quaternaires dunaires (ORMG, 2013). La stratigraphique du secteur est assez simple, elle est constituée de bas en haut par (Fig.24):

- Hauterivien : marnes feuilletées schisteuses et azoïques.
- Barrémien : alternance des calcaires et marnes à ostracés et gastéropodes (Fig.22).



Fig. 22- Calcaire porteur de faune (gastéropodes)

- Aptien inférieur : puissante assise dolomitique et des calcaires souvent lités gris bleuâtres ; l'assise dolomitique renferme l'horizon minéralisé dans un niveau de dolomie cristalline de teinte rosâtre à gris noirâtres.
- Aptien Supérieur : Marnes et calcaires à orbitolines (Fig.23).

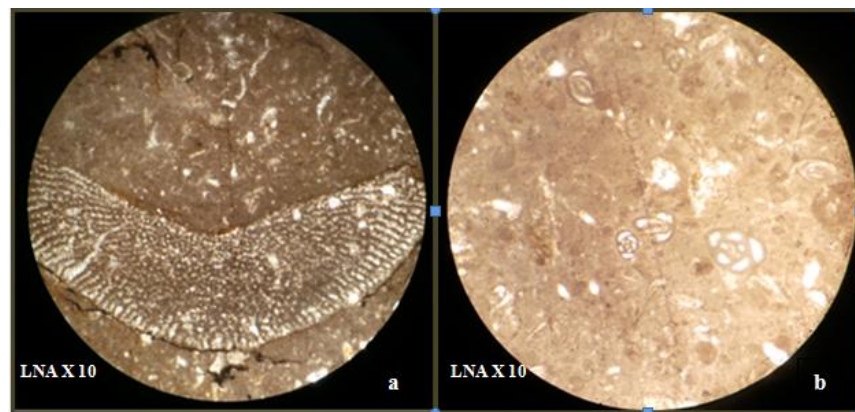


Fig.23- Photographies des lames minces de calcaire porteur de faunes dans le Dj. Zdim
a-Orbitoline; b - Miliolae

- Albien- CénoManien : gros bancs de calcaire à nodules de silex puis des calcaires et lits de marnes (recouvertes par le Quaternaire au Nord)

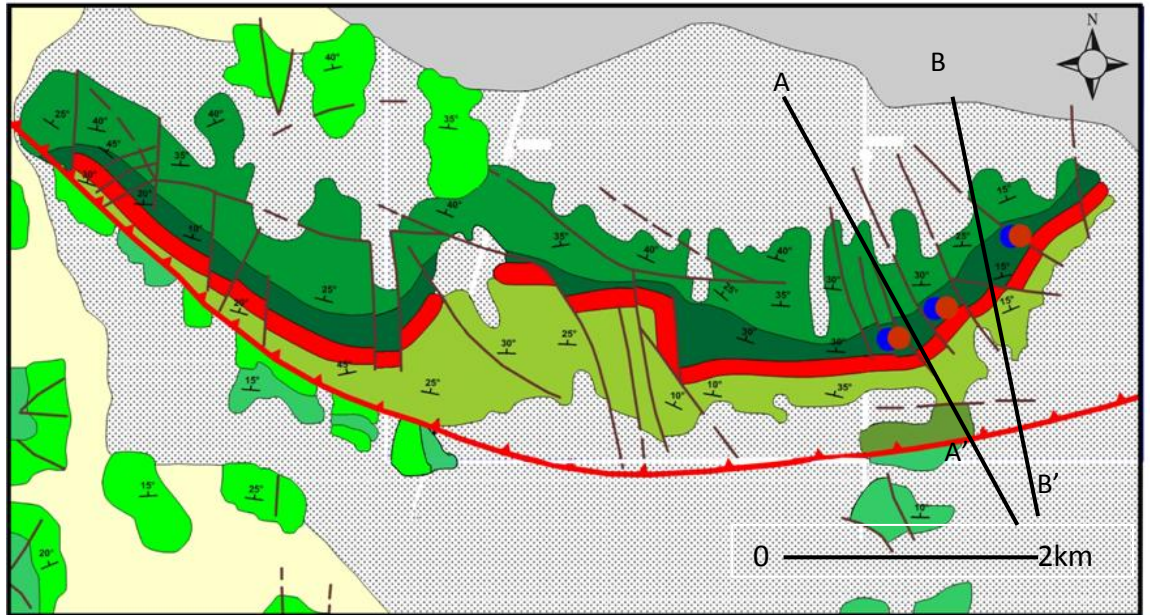
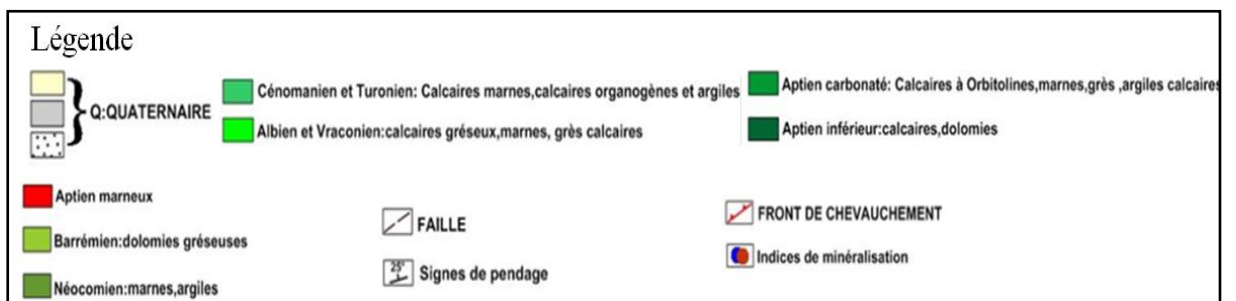


Fig.24-Carte géologique schématique de Djebel Zdimm(ORGM,2013)



II. 2. 2. - Tectonique

Le secteur de Dj.Zdimm , du point de vue structural, il appartient à l'ensemble allochtone Sud Sétifien qui se dresse en un chaînon bien individualisé sous forme de crête allongée sur une longueur de 08Km et orientées Est-Ouest en définissant une structure anticlinale à flanc Nord bien conservé (Fig.25). La voûte et le flanc Sud sont rompus et érodés. Sa largeur est de l'ordre de 1,50 à 02 Km. L'ensemble est imbriqué dans une zone de chevauchement de direction Est-Ouest, plongeant vers le Nord. Sur la crête et une partie du revers septentrional du chaînon, affleure une puissante assise de gros bancs dolomitiques dont l'un est porteur de la minéralisation (Glaçon, 1967) (Fig.26).



Fig.25- Relief du secteur Dj. Zdimm - vu du sommet (Vers le nord Est) montrant la bonne conservation du flanc Nord.

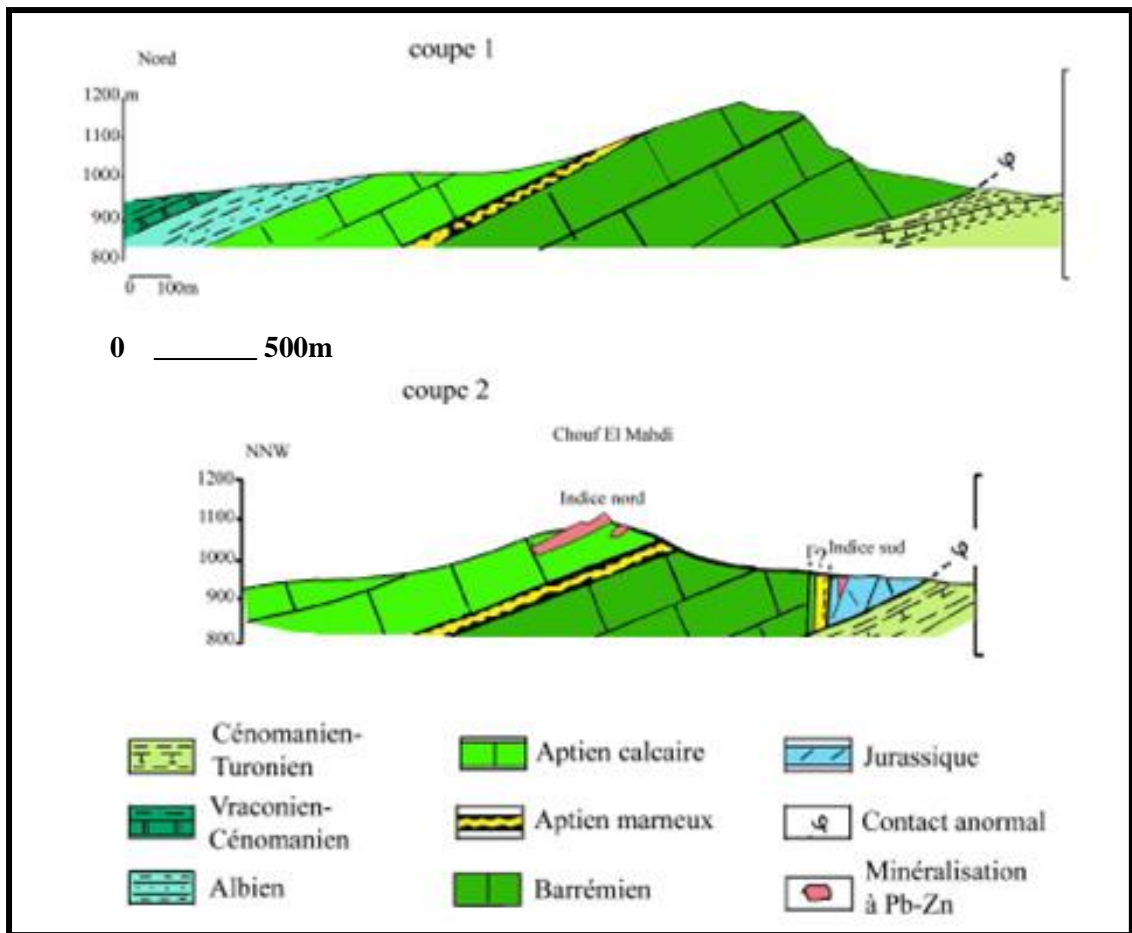


Fig. 26- Coupes géologiques schématiques à travers la partie orientale de Dj.Zdimm avec position de la minéralisation dans les deux indices « Nord, Sud » (d'après Sami, 1991 modifiée) suivant les lignes AA' et BB de la figure 24.

La tectonique est relativement intense et traduite par de nombreuses failles de direction Est-Ouest, Nord-ouest-Sud-est, caractéristiques de la tectonique régionale. Les couches carbonatées sont redressées dans la partie sommitale de Dj. Zdimm (Fig.27).

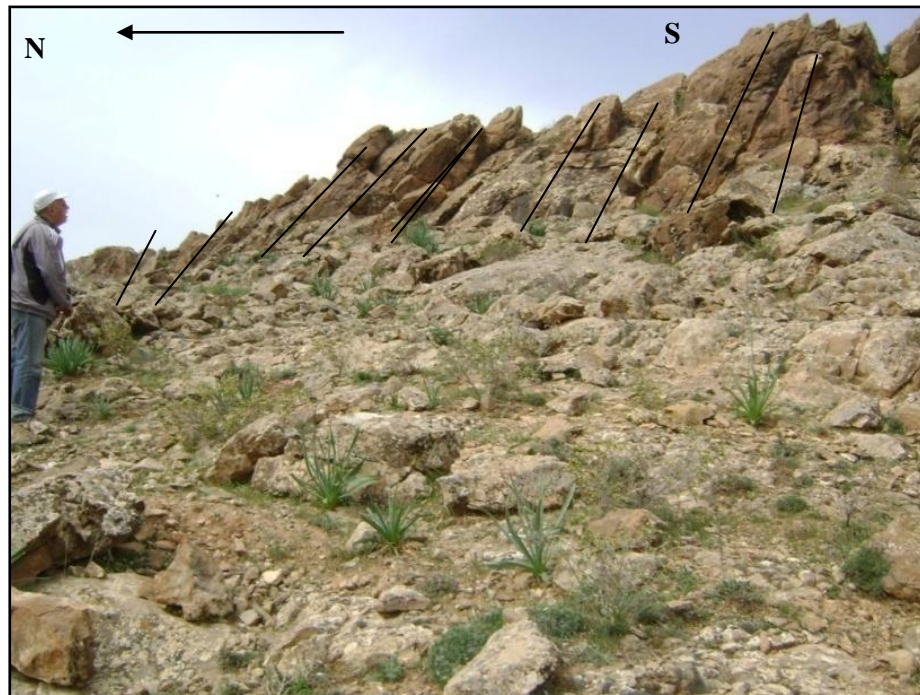


Fig.27-Redressement des couches carbonatées dans la partie sommitale de Dj. Zdimm.

II. 2. 3. – Minéralisation

Le chaînon de Dj. Zdimm fait partie d'un vaste domaine dit ensemble allochtone sud sétifien d'orientation E-W. Ce chaînon renferme des indices minéralisés de Zn/Pb. Cette minéralisation se trouve dans les dolomies du Jurassique moyen-supérieur au sud de la montagne « indice sud ». Dans cet indice des minéraux sulfurés galène, blende, pyrite - ont été rencontrés. La minéralisation zincifère est surtout rencontrée dans la partie Nord sous forme d'oxyde de zinc – Smithsonite et calamine encaissée dans les dolomies aptiennes (Indice nord) (Glaçon, 1967) (Fig.28).



Fig.28- Banc dolomitique porteur de minéralisation (Indice Nord)

Les lames minces et sections polies confectionnées et étudiées, ont montré que la gangue est représentée essentiellement par des carbonates - dolomie et calcaire .La minéralisation en Zinc est représentée par des minéraux d'oxydes – Calamine – probablement de la Smithsonite et l'hémimorphite (Figs 29 et 30).

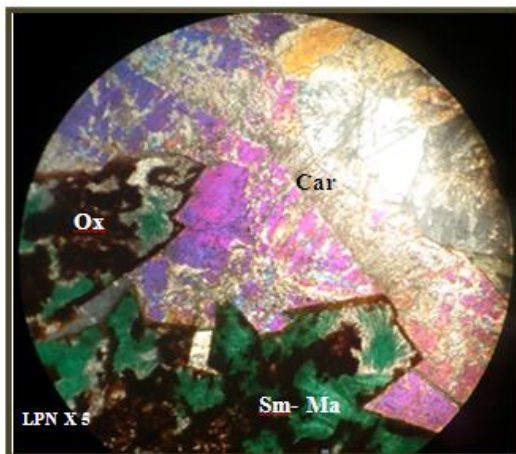


Fig. 29-Minéraux constituant le minerai de Zinc de Dj. Zdim
Sm- Ma (Smithsonite – Malachite), 2 – Car -Carbonate (calcaire, Dolomie).



Fig. 30- Calamine – Smithsonite et Hémimorphite

De nombreuses hypothèses sur la nature et l'origine des minéralisations ont été proposées :

- Selon Rudis (1965), « la minéralisation de teneurs variant de 15 à 20% en Zn et d'un pourcentage réduit de Pb est liée à un niveau dolomitique de l'Aptien et à des failles de direction

Nord-Ouest. Le gîte concordant avec les dolomies encaissantes plonge de 15 à 20° vers le Nord-Ouest. Cette minéralisation est liée à des zones tectoniques (contrôle structural), donc d'origine très probablement hydrothermale. » Cependant il existe un contrôle stratigraphique : la minéralisation est encaissée dans un niveau dolomitique à grains grossiers d'âge Aptien inférieur.

- Selon Savornin (1920), la minéralisation à Pb –Zn est associée aux calcaires intensément broyés de l'Aptien inférieur renferment aussi des gîtes calaminaires irréguliers, souvent avec galène et blende. Ces roches dolomitisées, barytisées, localisées au cœur d'un anticlinal, formaient un bloc de 80 m de large.

-Pour Glaçon (1967), la minéralisation est liée à un milieu générateur de dolomie (diagénétique). De nombreux produits superficiels d'exploitation concentrés en colonnes riches ont été exploités. Les observations géologiques faites sur sites (Fig.31) militent en faveur d'une minéralisation concordante.



Fig.31- Niveau porteur de minéralisation allongé suivant les couches sédimentaires dolomitiques

II. 3. – SECTEUR KHERZET YOUSSEF

Le secteur minier de Kherzet Youssef est situé dans N-E algérien sur les hauts plateaux sétifiens à 41 km au sud de la wilaya de sétif et à 5.5 km N-W du village Ain Azel à la limite entre Hadjar Labiod promontoire de la chaîne des monts de Hodna, et la dépression d’Ain Azel (Fig.32)

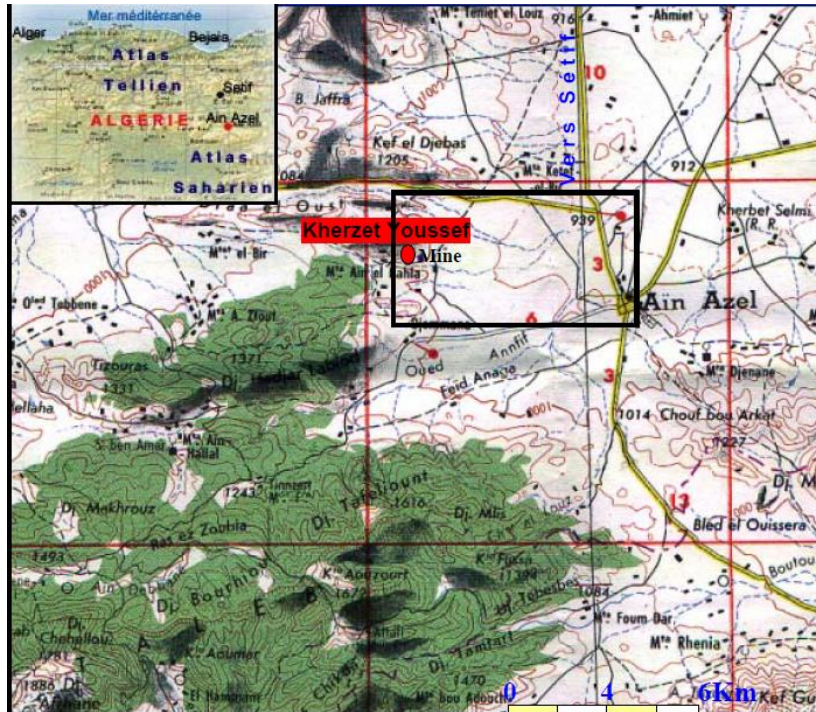


Fig.32-Localisation du secteur de Kherzet Youssef

II. 3.1.- Stratigraphie

La géologie est basée sur les travaux de Rudis, 1964-1965 Glaçon, 1967 Benzerga, 1974, Henni, A. 1984 Khaldi , 1987 ORGM, 1992. Dans la région de Kherzet Youssef, affleurent des terrains allant du Trias au Plio-Quaternaire (Fig.34). Ces formations de Kherzet Youssef constituant le flanc Nord Est de l’anticlinal de Hadjar Labiod sont de nature carbonatée et essentiellement d’âge crétacé (Vila, 1977).

-Trias

Dans les limites du champ minier, les dépôts du Trias n’affleurent pas. Ils sont recoupés par le sondage structural n°39 à la profondeur de 593m. Ces dépôts sont représentés par les argilites litées, gris sombre, à intercalations de marnes.

-Jurassique

Le jurassique est représenté par tous les sous systèmes et forme les noyaux des bombements de Hadjar Labiod et de Rahbat. Dans ce dernier, les roches jurassiques ont été reconnues sur 14 km en direction pour une largeur de 0,2 – 1 km.

-Crétacé supérieur

Il représenté par le Cénomaniens et le Turonien qui sont développés dans les parties marginales des dépressions intramontagneuses et bordent les massifs montagneux.

-Crétacé inférieur

Le crétacé inférieur est développé dans les flancs des bombements et se présentent en totalité (du Berriasien à l'Albien)

• Barrémien

Barrémien renfermant la minéralisation est représenté par une alternance de calcaires marneux et de dolomies à marnes. Les variations lithologiques sont visibles dans les parties latérales. La minéralisation se trouve exclusivement dans les roches dolomitiques du barrémien supérieur. La coupe présentée dans la figure 33 relevée immédiatement à l'ouest de la mine ou les couches sont les plus dénudées. L'épaisseur des couches du Barrémien supérieur est de 308m environ. L'épaisseur totale des couches du Barrémien inférieur et supérieur atteint dans son ensemble presque 800m.(Rudis, 1964)

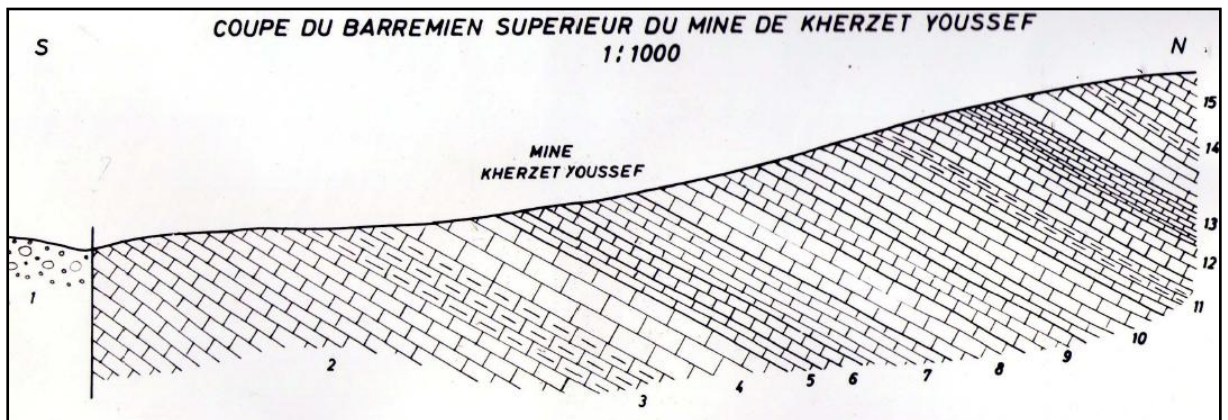


Fig.33- Coupe du Barrémien supérieur de la mine de kherzet youssef D'après (Rudis, 1964)

- 1- Tertiaire- poudingues
- 2- calcaire gris avec lits minces de marne
- 3- calcaire gris et compact avec une mince couche de grés désagrégé, 9m.
- 4- Marno-calcaire en alternance avec minces couches marneuses, 11m.
- 5- Calcaire avec traces de limonite, 3m.
- 6-Calcaire

gréseux ou compact avec nombreux restes des petites Echinoides, dans la partie supérieure cristallisée, en partie calcaire désagrégé, 4m. 7-Calcaire gris très compact, partiellement avec patine jaunâtre, 8m. 8-Alternance de marne, grés et calcaire. Marne gréseuse, avec restes d'Exogyrae, Cardiums et Gastéropodes, 8m. 9-Calcaire jaune, désagrégé à Orbitolines, 7m. 10-Calcaire gris et compact avec ostreides, avec un lit de marne gréseuse, 11m. 11- Calcaire gris et compact avec lits de marne avec Exogyrae, 8m. 12-Calcaire gris, désagrégé en plaquettes, avec huitres, 8m.

13-Calcaire gris compact avec Nerineidea, 6.5m. 14- Plaquettes de calcaire gris et compact avec lits de marne, 12m. 15-Calcaire jaunâtre cristallisé, 10m.

- **Aptien**

Les sédiments de l'étage aptien comprennent la crête de Kherzet Youssef et les parties les plus élevées de Hadjer el Labiod

- **Albien**

Dans l'étage albien, l'évolution marno-calcaire prédomine en général. Les marnes sont communément de couleur gris-clair, presque blanche et pleine des restes d'ammonites.

- **Cénomanién**

Alternance de couche de marnes et calcaires marneux apparaissant au SE de la mine Kherzet Youssef.

- **Néogène**

Il est constitué essentiellement de dépôts terrigènes-carbonatés du Miocène qui comblent, dans la plupart des cas, les dépressions intramontagneuses.

- **Pliocène-Quaternaire**

Il est représenté par des terrains lacustres salifères, des éluvions et éboulis de pente, des dépôts torrentiels et alluvions constitués de fragments de roches mères et de limons.

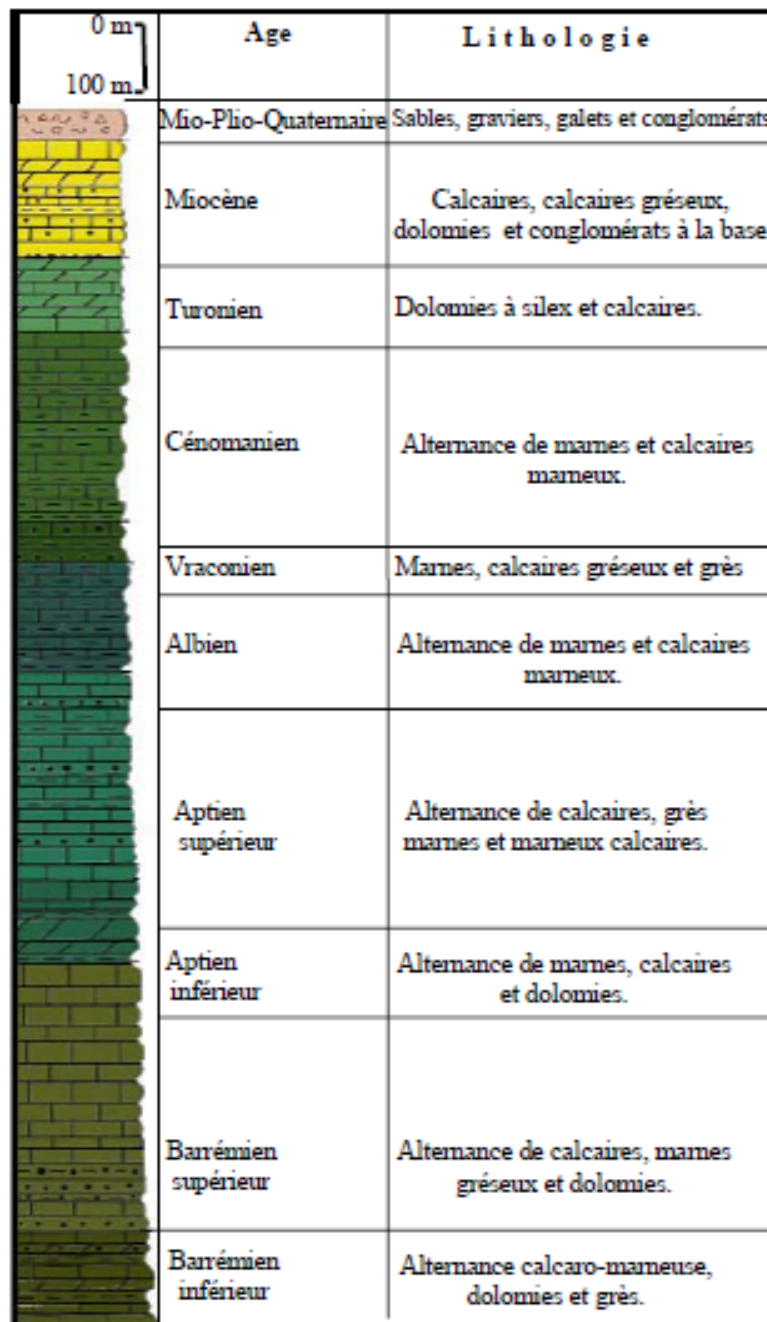


Fig.34-Colonne stratigraphique de Kherzet Youssef(ENOF.1990)

II.3.2.- Tectonique

Dans la région de Kherzet Youssef, la série formant la limite occidentale de l’effondrement d’Ain-Azel est coupée par la faille de Kherzet Youssef de direction Nord Sud avec une pente de 60° Est (Fig.35). Le flanc oriental est recouvert de sédiments tertiaires et quaternaires (Glaçon, 1967). La tectonique dans cette région est liée à deux phases Emchirienne et post Burgalienne (Vila, 1977).

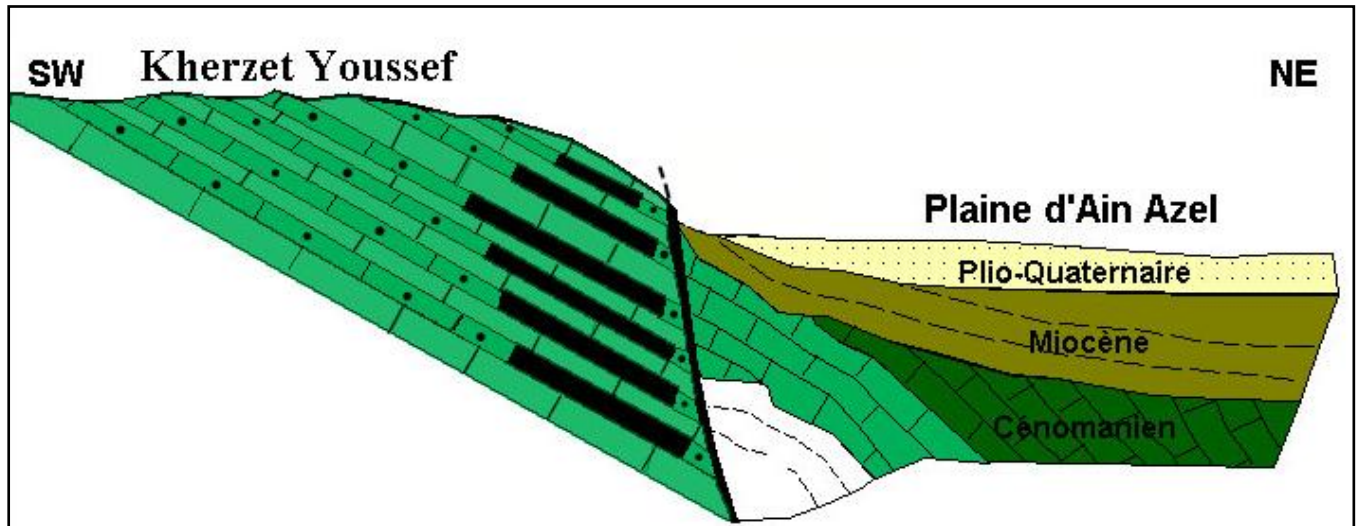
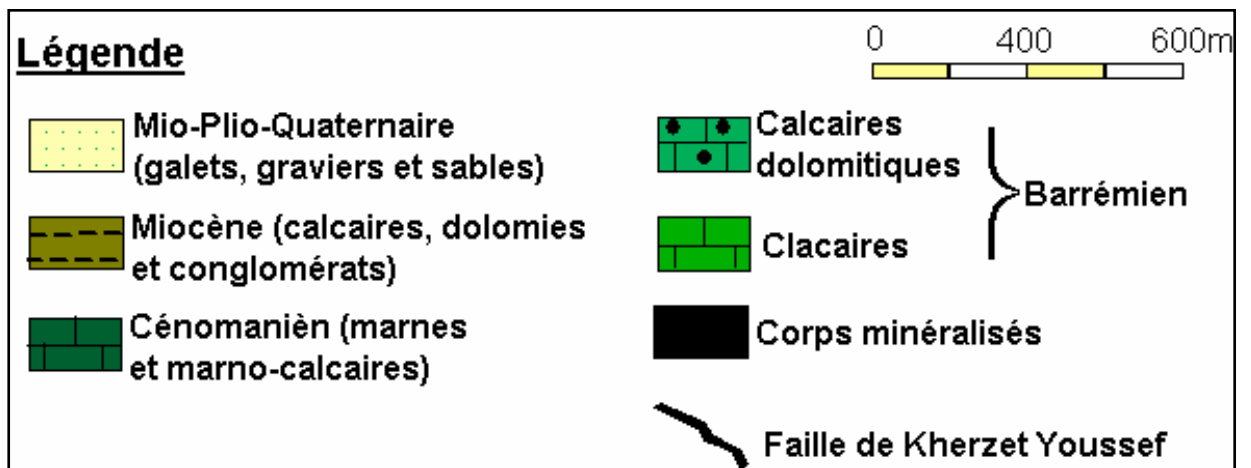


Fig. 35- Coupe géologique schématique de la région de Kherzet Youssef (Glaçon, 1967)



II.3. 3.- Minéralisation

Le secteur minier de Kherzet Youssef renferme une minéralisation plombo-zincifère représentée par la sphalérite, galène, marcasite, pyrite, quartz, dolomite, calcite et barytine. Ce secteur renferme un gisement qui a été de longue date exploités dont la minéralisation à Pb/Zn est de forme stratiforme encaissée dans la dolomie grise du Barrémien (Crétacé inférieur), le long du flanc ouest de la faille de Kherzet Youssef de direction N-S.

II. 4. – SECTEUR AIN KAHLA

Le secteur minier d’Ain-Kahla est située à une dizaine de kilomètres à l’Ouest d’Ain Azel(Fig.36), elle occupe une superficie 2x0.5Km² elle se trouve au cœur de la demi-boutonnière de l’anticlinal de Hadjer Labiod ou on note une forte manifestation de l’activité tectonique.

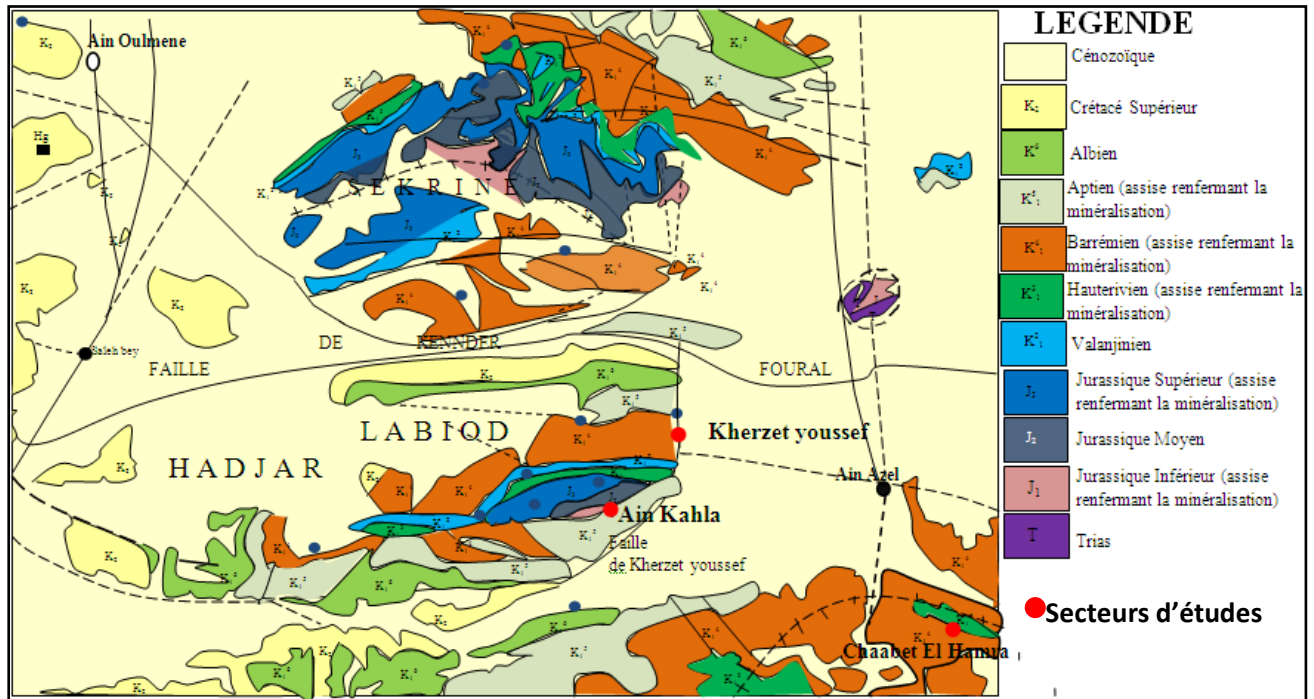


Fig.36- Carte géologique de l’ensemble de la région d’Ain Kahla (Aitbelkacem et al, 1988)

II.4.1. – Stratigraphie

Le secteur d’Ain Kahla est constitué par des affleurements allant de Trias à Malm (Figs .37, 38) (EREM, 1985) :

a. Trias (T)

Argiles gypsifères grises (jusqu’à 15%) légèrement pyritisées s’observent au centre du gisement, à côté de la mine et accusent un contact tectonisé avec les terrains jurassiques.

b. Jurassique (J)

La coupe est représentée par toutes les 3 séries jurassiques (Fig. 42)

1. Lias (J1)

Ces formations apparaissant à la surface du sol, dans la partie préaxiale de la

structure minéralisée sur une étendue de 1200m jusqu'à 100m de large. D'après la lithologie se distinguent 4 séries (de bas en haut).

Série (J¹) : Dolomies tachetées, hétérogènes (0,009 à 0,08mm), riches en magnésium et peu chargées de débris organiques. Ces dolomies renferment des niveaux oncolitiques puissantes jusqu'à 4m qui indiquent un milieu peu profond. Des variétés oncolitiques (20-25%) ont une taille de 3 à 5m, se distinguent par une structure zonale et s'accompagnent par une imprégnation fine et rare de galène-sphalérite.

Série (J²) : Alternance de dolomies à litage fin, grains de 0,15 à 0,01mm, localement ployées en plis, de teinte grise due à la présence de matière bitumineuse dispersée souvent en association avec pyrite glauconite.

Série (J³) : C'est la partie productive de la coupe liasique qui se subdivise en 3 niveaux A, B, C ayant chacun une structure à 2-3 termes, le Terme inférieur (productif) se distingue partout par une structure faciale complexe de 10 à 50m d'épaisseur. Ce terme est généralement représenté par une alternance de dolomies versicolores à matériel terrigène. Des faciès à prédominance de sable envahissent le centre du gisement. Plus à l'Est augmentent la pélite et surtout le bitume, interviennent des intercalations fines d'argilites et de calcaires. Le bitume est en association intime avec de la pyrite, cette dernière sous forme de dissémination en points pulvérulents.

Des conglomérats brèches sont caractéristiques du niveau "C". Des débris de taille et émoussés variés (2,5 à 0,1mm) sont consolidés par dolomies chlorotiques (0,1mm et moins). On y observe également des structures stillolitique accusées par la présence de bitume à matériel de sable longeant des fissures fines subparallèles au litage. Ceci témoigne en faveur des processus de ravinement intraformationnel au stade de sédimentation-diagenèse

Systeme	Série	Étage	Signe	Epaiss. m	Légende	Lithologie, Repères, Minéralisations
Jurassique	Sup - Malm	Néo gène	N	>5		Présentent les calcaires gris clair pélitomorphes avec conglomérats à la base.
		J3	430		Faisceau supérieur: alternance dolomies différemment grenues, avec une couche de grès à la base du faisceau.	
					Faisceau moyen: 70% des calcaires argileux avec des intercalations des dolomies et des grès. On voit une couche typique de calcaires tachetés, lités.	
	Moy - Dogger	J3	20-70		Partie productive du Dogger (niveau supérieur) Rythmes à plusieurs séquences, changement des faciès. prévalent les dolomies différemment grenues souvent bitumineuses. On voit aussi les dolomies gréseuses, argileuses et les grès. Ici se localise le gîte 1.	
					Horizon marqueur Calcaires grès- clair prélitomorphes souvent avec nodules de silex.	
		J2	20-70		Partie productive du Dogger (niveau inférieur) Rythmes à plusieurs séquences, changement des faciès et des épaisseurs prévalent les dolomies gris foncé bitumineuses, différemment grenues les dolomies argileuses et gréseuses, les grès et les calcaires. Ici se localise le gîte 2.	
	Inf - Lias	J3	170		Horizon marqueur: Marnes, calcaires argileux, dolomies. Partie productive du Lias se compose de 3 rythmes (niveau A,B et C) Epais de 10 à 50 m chacun composé de 2-3 séquences. la séquences productive inférieure de chaque rythme possède une structure faciale compliquée: les dolomies gréseuses encaissant la minéralisation sont développées à l'ouest vers l'est. Elle sont substituées par la variété bitumineuses. Ici se localisent les gîtes 3,4,5,6 et 7. la séquence supérieure du rythme est constituée habituellement des dolomies aphanitiques.	
		J2	180		Horizon marqueur Dolomies grises à gris-foncé finement litées souvent plissotées.	
	J1	110		Dolomies tachetées grises hétérogrenues avec des variétés oncolitiques		
Triassique		T	>10		Argiles gypsifères rarement avec la pyrite.	

Fig. 37- Log litho-stratigraphique du gisement d'Ain Kahla, (EREM, 1985, Modifié).

PARTIE. I- GEOLOGIE

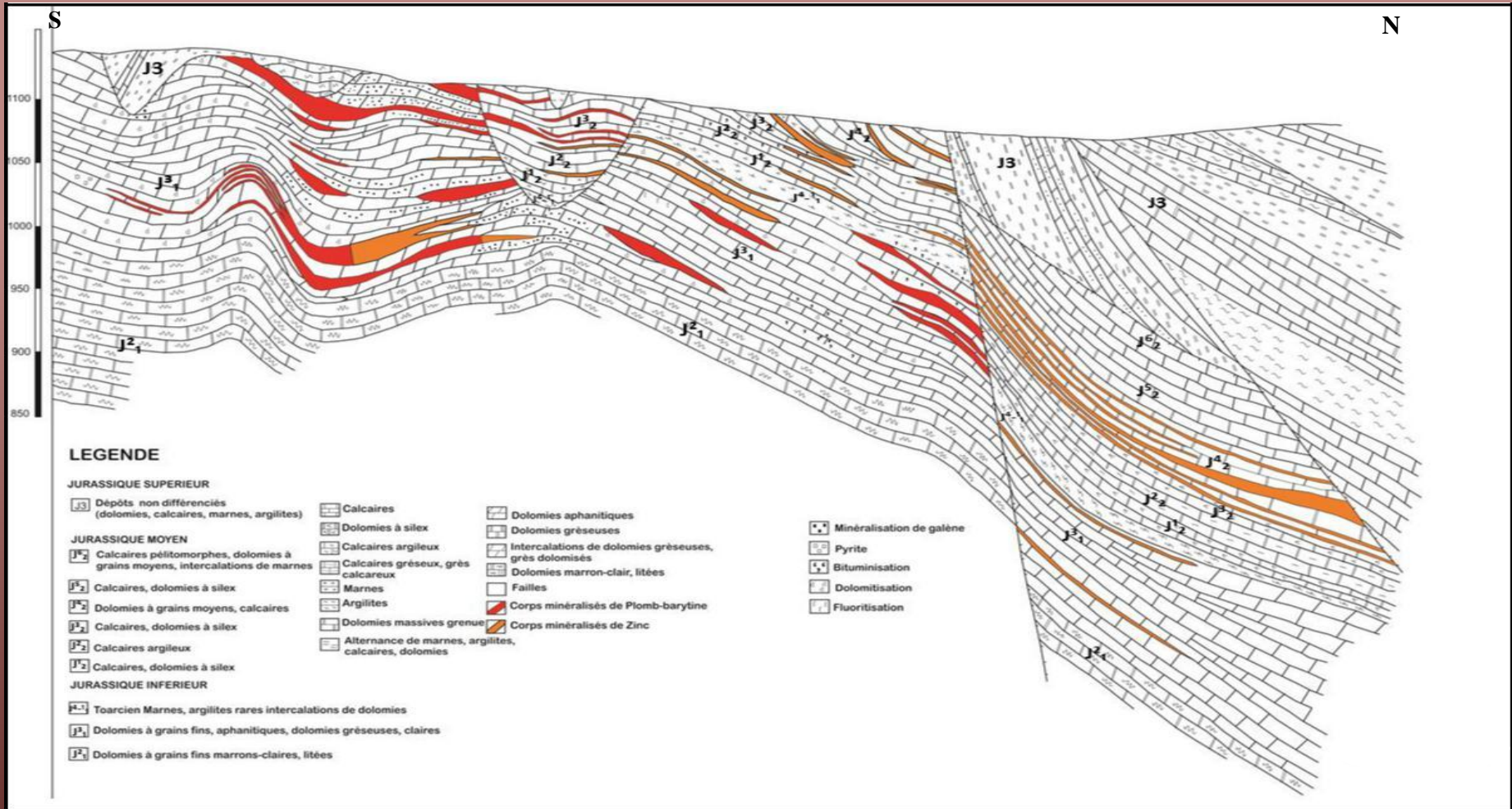


Fig. 38 - Coupe longitudinale suivant l'axe de la structure anticlinale de gisement d'Ain Kahla, (EREM, 1985, Modifié).

- Le niveau "B" (dans un degré moindre "C") :

Le caractère particulier est la présence d'intercalations de dolomies bitumineuses à litage fin de teinte gris. Ces roches se présentent une alternance fine d'intercalations plus ou moins cristallines: de dolomicrite (0,002à 0,003mm) à dolomies à grains moyen (0,30 à 1,0mm). Le litage relativement continu consiste en passées épaisses de 1à 1,5 cm.

- Le niveau « A » se distingue par la présence dans son toit de dolomies grenues puissantes de 1à 2m avec association antigène de sidérose-pyrite-glaucosite. La glaucosite est dispersée assez régulièrement sous forme de grains fins.
- Le sommet des niveaux B et C est représenté par des dolomies aphanitiques massives de teinte gris claire et puissantes de 5 à 30m.

Série (J³₁) : la série représente essentiellement des marnes avec intercalations de calcaires, argilites, moins souvent de dolomies. Interviennent également la pyrite et la glaucosite authigène. La série puissante au maximum de 20m accuse un contact généralement tectonisé avec les roches sous-jacentes.

2. Dogger (Jr)

Ses roches apparaissent à la surface du sol sur le flanc Nord de la structure minéralisée et sont suivies jusqu'à 450m de large. D'après les caractères lithologiques se distinguent 3 séries (Fig .42) (de bas en haut)

Série (J¹₂) : cette série productive (niveau inférieur) reposé en concordance sur les dépôts toarciens et se distingue par une structure complexe, variations contrastées des faciès et des épaisseurs. La coupe montre une prédominance de dolomies bitumineuses à grains fins et de teinte gris foncé. A l'ouest et au centre du gisement les dolomies renferment des nodules à silex orientés dans le sens du litage. Ici la série est puissante de 10 à 20m. Puis à l'est les puissances augmentent nettement de vont jusqu'à 90m, apparaissent des niveaux de calcaires argilo-gréseux et de dolomies, grés argileux.. La coupe montre des rythmes transgressifs de bas en haut : dolomies, grés, dolomies gréseuses, dolomies grenues bitumineuses, calcaires : les épaisseurs des

macrorhythmes varient de quelques cm aux premiers mètres. La minéralisation tend à s'associer à des faciès bitumineux.

Série (J² 2) : la série est représentée par des calcaires pélitomorphes partiellement ou entièrement dolomités en parties périclinales. Des nodules à silex sont présents dans le toit et à la base.

Série (J³ 2) : cette série productive (niveau supérieur) est caractérisée elle aussi par une structure complexe. A la base se trouve en continuité un niveau représenté par des séquences fines de dolomies argilo-gréseuses et de calcaires argileux intercalés de grès et accompagnés de glauconite. Ce niveau est puissant jusqu'à 10m, Pas de minéralisation Pb-Zn syngénétique. Plus haut viennent des séquences plurirhythmiques de dolomies bitumineuses à grain fin à moyen de teinte gris foncé accompagnées de leurs faciès et de grès. C'est la partie la plus productive généralement accompagnée de nodules à silex.

La coupe est couronnée de séquences plurirhythmiques à gradient peu important constituées de dolomies gréseuses (moins souvent de grès et de dolomies grises). La série est puissante au minimum de 110m. La puissance totale de la coupe doggérienne fait au maximum 270m.

3. Malm (J³)

Les dépôts du jurassique supérieur frangent la structure minéralisée du gisement, se localisent dans le rayon d'influence des chevauchements central et sud et accusent un contact tectonique avec les dolomies du Dogger (pour cette raison est difficile d'obtenir une coupe détaillée). On y distingue 3 niveaux :

Le niveau inférieur constitué de marnes (80-90%) reconnu uniquement sur le flanc Ouest et plus à l'Est recouper par les chevauchements central et Sud. Puissances environs 150m ;

Le second niveau le plus puissant (190m) représenté par des calcaires argileux gris-clair intercalés de grès, dolomies gréseuses, marnes. Y interviennent également des calcaires dolomités tachetés qui servent de niveau marqueur au cours de la composition de la coupe ; Le niveau supérieur qui consiste en alternance de dolomies hétérogrenues accompagnées de grés à la base. Puissance - 90m.

II.4.2. - Tectonique

Ain-Kahla se trouve dans la partie Sud-Est de la structure de Hadjar Labiod, où on a une forte manifestation de l'activité tectonique. On observe l'affleurement des dépôts du Jurassique inférieur au cœur de l'anticlinal. On note aussi quelques accidents disjonctifs à rejets verticaux atteignant quelques centaines de mètres. Ces facteurs déterminent la structure assez compliquée plissée et en bloc du champ métallifère. Ces accidents tectoniques ont favorisé la circulation des solutions hydrothermales et les processus de formation la minéralisation. Sur le territoire en question, on distingue trois zones minéralisées qui sont contrôlées par les accidents disjonctifs et par des unités stratigraphiques :

-Zone Sud reposant dans la l'assise du jurassique inférieur, à proximité de la faille Sud (Fig.39).

-Zone Nord liée avec les dépôts du jurassique moyen et associée à la faille centrale.

-Zone Est, englobe les formations du jurassique moyen à inférieur dans le domaine de la jonction des deux failles évoquées ci-dessus. Cette zone est délimitée par la faille diagonale à l'Ouest.



Fig.39-Vue de la faille Sud du site (NE-NW)

II.4.3. – Minéralisation

La minéralisation dans le secteur d'Ain Kahla est représentée par des minéraux minéraux qui sont la sphalérite, la galène et la barytine et des minéraux secondaires qui sont: pyrite, marcassite, antimonite, sidérose, glauconite et les minéraux d'oxydations sont la smithsonite,

cérusite, hématite, hydroxydes de fer et de manganèse. (Boutaleb, 2001). Au sein du gisement la minéralisation est présente dans la structure englobant pratiquement toute la coupe du troisième terme du Lias et des dépôts du Dogger (Fig.40). Elle se distingue par 11 niveaux minéralisés ayant une position stratigraphique et un contrôle lithologique bien déterminés. Chaque niveau minéralisé est représenté par 1 à 3 corps de minerai (Rudis 1963-1964)

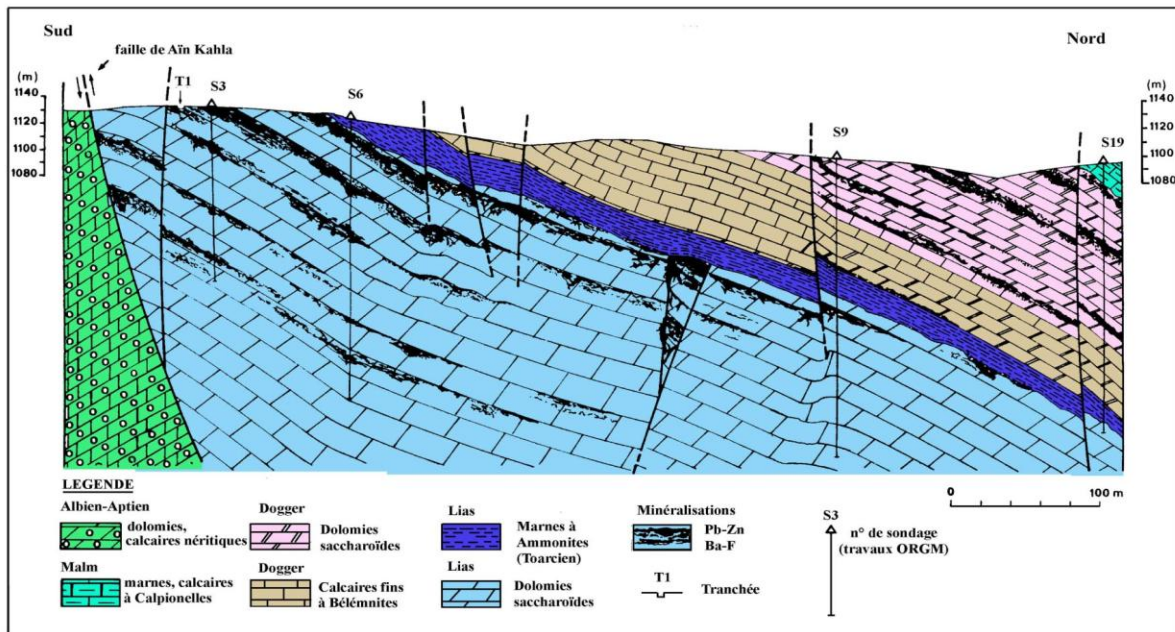


Fig.40-Coupe géologique montrant la distribution des corps minéralisés dans le Lias et le Dogger (Beyoud, 1990 et travaux d'ORGM)

CONCLUSIONS

Les secteurs d'études Dj.Zdim, Chaabet El Hamra, Kherzet Youssef et Ain Kahla appartiennent au domaine sétifien et hodnéen qui recèlent un grand nombre de gîtes à Pb-Zn (Ba-F) encaissé dans des horizons dolomitiques d'âge Jurassique et Crétacé inférieur (Hauterivien, Barrémien et accessoirement l'Aptien). La minéralisation dans ces secteurs se caractérise principalement, par une morphologie en filons, strates et amas encaissés dans les formations et par remplissage des cassures. Les minéralisations sont représentées principalement par la sphalérite et la galène, mais on y trouve aussi de la pyrite-marcasite, de la chalcopryrite, du cuivre gris, et parfois de la barytine et de la fluorite. La tectonique dans la région est assez intense représentée par de nombreuses failles, des anticlinaux coupés par des failles et un redressement des couches (Tableau.3).

PARTIE. I- GEOLOGIE

Tableau.3- Tableau récapitulatif sur la géologie des différents secteurs étudiés

Secteurs	stratigraphie	tectonique	Minéralisation
Chaabet el Hamra	Le gisement est composé d'une séquence de roches sédimentaires carbonatées et terrigènes caractéristique d'un milieu de plate forme. La stratigraphie du gisement réunit des dépôts du Valanginien, de l'Hauterivien inférieur et supérieur, du Barrémien inférieur et supérieur, du Miocène et du Quaternaire.	Le gisement est sous forme d'un dôme recoupé par deux grands accidents de direction orientée E-W donnant ainsi naissance trois blocs principaux : un bloc central, un bloc méridional et un bloc occidental. Chacun de ces blocs est caractérisé par un système de faille	Les minéralisations à Zn/Pb sont localisées dans la couche de l'Hauterivien inf. Les corps de minerais ont une forme lenticulaire d'une épaisseur moyenne de 3m et se superposent dans le sens de l'épaisseur de la couche intercalées par des dolomies stériles
Zdim	Les formations sont d'âge Aptien inf carbonaté minéralisée, Aptien marneux, Hauterivien marneux et Barrémien carbonaté. Dépôts quaternaires dunaires	traduite par de nombreuses failles de direction Est-Ouest, Nord-ouest-Sud-est, Les couches carbonatées sont redressées dans la partie sommitale de Dj. Zdim	indice sud: La minéralisation à Zn/Pb se trouve dans les dolomies du Jurassique moy-sup Les minéraux sulfurés galène, blende, pyrite Indice Nord sous forme d'oxyde de zinc –Smithsonite et calamine encaissée dans les dolomies aptiennes
Kherzet Youssef	La stratigraphie varie du Trias au Plio-Quaternaire. Les formations nature carbonatée et d'âge crétaé de Kherzet Youssef constituant le flanc NE de l'anticlinal de Hadjar Labiod	Dans la région du gisement, la série formant la limite occidentale de l'effondrement d'Ain-Azel est coupée par la faille de Kherzet-Youssef de direction Nord Sud avec une pente de 60° E.	La minéralisation plombo-zincifère du gisement de KY, de forme stratiforme se trouve dans les roches dolomitiques du Barrémien, le long du flanc ouest de la faille de KY de direction N-S. Les minéraux sont : blende, galène, marcasite, pyrite, quartz, dolomite, calcite, barytine et anhydrite
Ain Kahla	Dans la région d'Ain Kahla, affleurent des terrains allant du Trias au Plio-Quaternaire	On note des accidents disjonctifs à rejets verticaux atteignant quelques centaines de mètres dans le cœur de l'anticlinal	La minéralisation en profondeur et en surface est composée des lentilles plombo-zincifère encaissée dans les dolomies Lias et du Dogger

I. – METHODES ET LOGICIELS UTILISES POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES GEOCHIMIQUES

La caractérisation géochimique et géostatistique des quatre secteurs d'étude - Chaabet El Hamra, Zdimm, Kherzet Youssef et Ain Kahla ainsi que le gisement de Chaabet El Hamra a été faite à l'aide de méthodes statistiques monovarié, bivarié et multivarié (ACP) (Annexe.I) et géostatistiques variographie et krigeage ordinaire (Annexe. II). Les approches statistiques et géostatistiques ont été effectuées à l'aide d'un certain nombre de logiciels parmi lesquels : Statgeo, Statistica, Surfer, Surpack et Variowin.

I. 1. – Analyse de données

a. –Analyse monovariée

Ce traitement permet de déterminer les paramètres statistiques de la distribution des variables étudiées (paramètres de position centrale et de dispersion). Il permet aussi de résumer graphiquement les caractéristiques essentielles de la distribution de chaque variable.

L'histogramme d'une variable donnée visualise la répartition des effectifs dans un certain intervalle de variation prise par cette variable. L'allure générale de l'histogramme et/ou de la courbe des fréquences cumulées permet d'apprécier l'homogénéité ou l'hétérogénéité des données; ainsi que la loi de distribution des variables. La classification monovariée a été faite à l'aide de la méthode du « passage par zero » potentiels en utilisant le logiciel Statgeo (Mezghache, 1989).

b. – Analyse bivariée

Le traitement statistique bivarié consiste à étudier deux variables aléatoires simultanément et de déterminer la relation qui existe entre elles, à l'aide du calcul des coefficients de corrélations linéaires simples.

c. - Analyse multivariée : Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse des données multivariées désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de collecter, d'organiser, d'analyser et de présenter les données. Ces méthodes utilisent des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogènes, des liens entre individus et variables, des ressemblances ou des dissemblances entre variables et surtout de représenter les données initiales d'un Tableau R (n.p) par un nombre plus petit sans perdre l'information.

I.2. – Géostatistique

Matheron (1971) définit la géostatistique de la façon suivante : "*la géostatistique est l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et à l'estimation des phénomènes naturels*". Une fonction aléatoire (F.A) $Z(x)$ est un ensemble de variable aléatoire $Z(x_i)$, définie en chaque point x_i du gisement G :

$$Z(x) = \{Z(x_i), \forall x_i \in G\}$$

Un phénomène minéralisé peut être caractérisé par la répartition dans l'espace d'un certain nombre de grandeurs mesurables appelés "*variables régionalisées*" (V.R). Ces variables ont une structure d'auto-corrélation qui dépend du module et de la direction du vecteur séparant deux points de mesure. Mathématiquement, une variable régionalisée est une fonction du point spatial x (Ploner et Dutter, 2000). Cette fonction est généralement irrégulière et montre deux aspects complémentaires (Matheron, 1973) :

- Un aspect aléatoire qui explique les irrégularités locales
- Un aspect structuré qui reflète les tendances du phénomène à grande échelle.

Le choix constitutif de la géostatistique minière consiste à interpréter chaque valeur de la variable régionalisée $z(x)$ comme une réalisation particulière d'une variable aléatoire $Z(x_i)$ implanté au point x_i , donc plusieurs réalisations sont possibles. C'est *la géostatistique Intrinsèque* (Chauvet, 1999). L'outil de base de cette géostatistique est le variogramme qui est utilisé pour le calcul et la mise en œuvre d'un certain nombre de procédure tel que la variance d'estimation et le krigeage. Les principaux outils de cette théorie utilisés sont présentés en Annexe2.

I.3. -LOGICIELS

I.3.1.- Statgeo

Ce logiciel a été développé par Mezghache, H. (1989). Il a été utilisé essentiellement dans la gestion des données et le traitement statistique monovarié, bivarié et multivarié (Calcul des matrices de corrélation, calcul des facteurs de charge et valeurs propres - ACP) pour les quatre secteurs d'études.

I.3.2.- Statistica

Ce logiciel a été utilisé pour le traitement statistique bivarié et multivarié.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

I.3.3.- Surfer 8

Ce logiciel a été développé par Golden software. Il a été utilisé essentiellement pour l'établissement des plans d'échantillonnage, la variographie et le krigeage ordinaire. Ce logiciel a été acquis par le Laboratoire de Géologie – UBMA (LRG, 2009).

I.3.4.- Geostatistical toolbox

Ce logiciel a été créé par Froidevaux, R(1990). Il a été utilisé pour le traitement statistique des données et le calcul des variogrammes verticaux.

I.3.5. Surpack version 4.1.M

Ce logiciel version 4.1M acquis par le laboratoire de métallurgie physique et propriété des matériaux, université Badji Mokhtar-Annaba. Il a été utilisé pour le calcul et l'ajustement des variogrammes expérimentaux.

I.3.6- Varowin 2.21M

Ce logiciel a été créé par Pannatier, Y(1996). Il a été utilisé pour le calcul des variogrammes à 2D pour les deux secteurs Kherzet Youssef et Ain Kahla.

II. – ANALYSE ET GEOSTATISTIQUE DES DONNEES GEOCHIMIQUE DU GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA

II.1. –METHODOLOGIE DE PROSPECTION

Les secteurs d'études ont été prospectés à l'aide de plusieurs méthodes de prospection géochimiques avec des mailles variant de 100x100, 100x20, 20x25 et 20x20 (Figs.41 et 42. Tableau.4)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau.4 –Méthodologie de prospection des différents secteurs d'étude

Secteurs		Compagnie de prospection	Type d'échantillonnage	maille	Nombres d'échantillons	Méthodes d'analyses
Chaabet El Hamra	Gisement	ORGM-ENOF 1991-1992	Sondages carottés	100mx100 m dans la partie centrale 50mx70 m dans la partie orientale	252 carottés totalisant 53 927 m	fluorescence X sur les éléments Zn, Pb et les éléments accessoires Ag, Cu, Cd, BaSO ₄ et CaF ₂
	Surface	ENOF 2013	échantillons lithogéochimique par la méthode des saignés	100mx20m	2184 échantillons	fluorescence X sur les éléments Zn, Pb
Zdim		ORGM Année 2013	Lithogéochimie-Roche en place	100mx20m	5888 échantillons	ICP-MS Zn, Pb, Cu et Ag
Kherzet Youssef		une assistance technique yougoslave (1963-1965) et soviétique à partir de 1966	Lithogéochimie-Roche en place	25mx20m	1767 échantillons ont été prélevés sur 40 profils d'une longueur totale de 34560m	. analysés sur les deux éléments Zn, Pb par ditisonique (chromatographie ionique) avec une précision de quelques 10ppm
Ain Kahla		une assistance technique yougoslave –Rudis (1963-1964).	lithogéochimique roche-en-place par	20mx20m	231 échantillons sur 13 profils d'une longueur totale de 4360m	analysés sur les deux éléments Zn, Pb par ditisonique avec une précision de quelques 10ppm

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

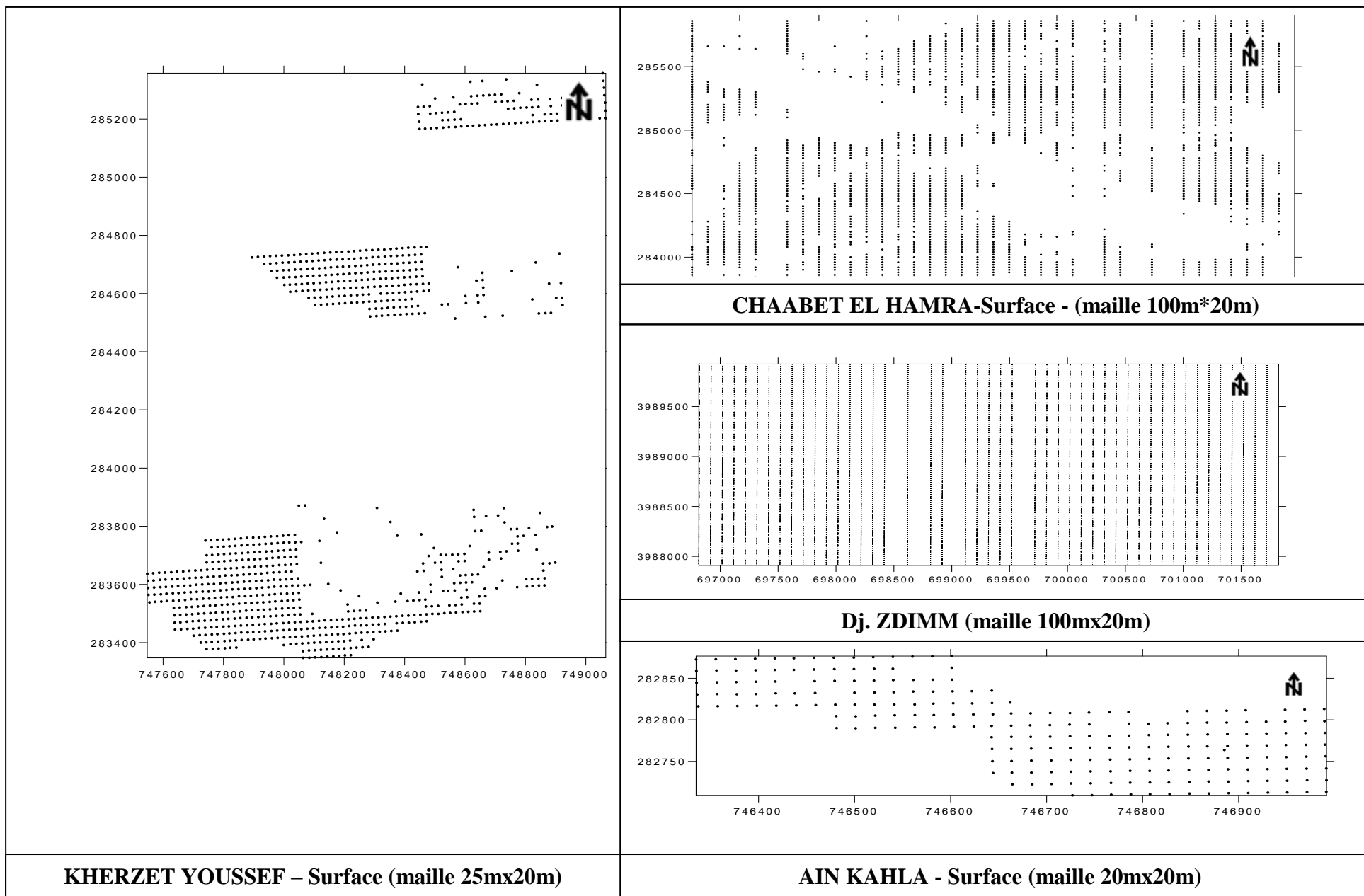


Fig.41- Plans d'échantillonnages des secteurs d'étude

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

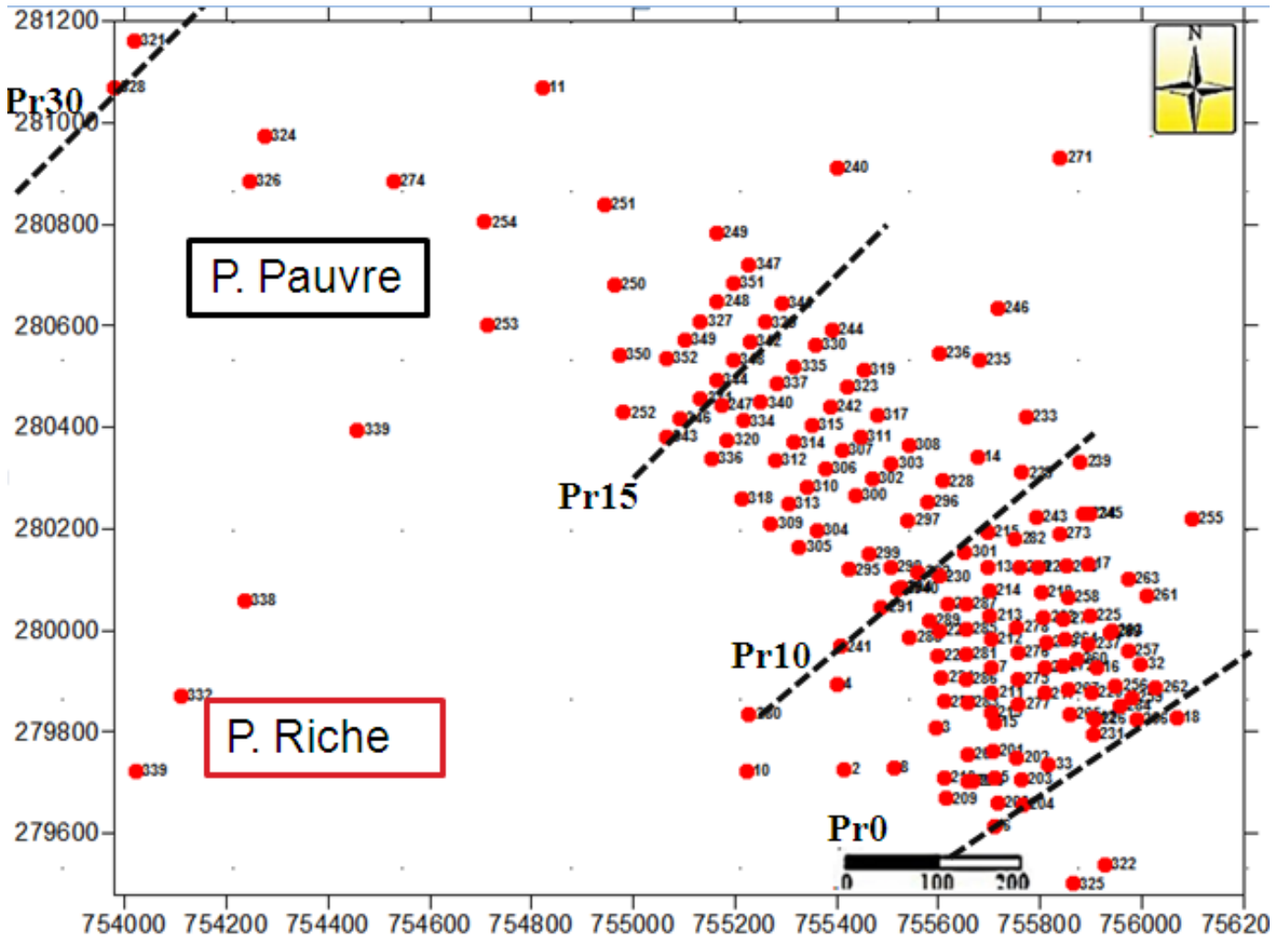
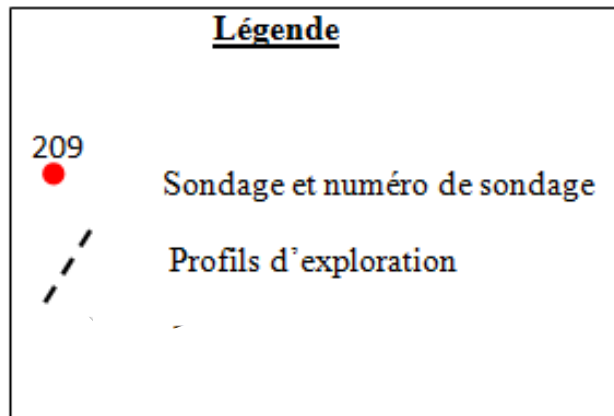


Fig.42- Plan de sondage d'exploration du gisement de Chaabet El Hamra



PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Le gisement de Chaabet El Hamra a été exploré à l'aide d'une trentaine de profils (de 0 à 30) (Fig.42). Cependant, le gisement a été subdivisé en deux parties, la première localisée dans la partie Sud-est et s'étalant du Pr 0 au Pr15 c'est la partie riche du gisement et la deuxième partie du Pr15 au Pr 30 est la partie de faible teneur avec seulement 10% des échantillons qui ont une teneur supérieure à 0.2%.

II.2.- STATISTIQUE DES DONNEES DE LA PARTIE SUD-EST DU GISEMENT (DU PR0 AU PR15).

Cette partie du gisement a été explorée à l'aide de 15 profils (Fig.42). Les résultats de cette partie à fait l'objet d'un article dans la revue du bulletin de l'Agence du service géologique de l'Algérie.

II. 2.1.- Statistiques élémentaires

Les paramètres statistiques des éléments chimiques Zn, Pb, Ag, BaSO₄, CaF₂ et Cd ont été calculés sur un nombre de 2044 échantillons (Tableau. 5). Les fortes valeurs des coefficients de variations pour les éléments chimiques Zn, Pb, Cd, CaF₂ et BaSO₄ montrées dans le tableau ci-dessous laissent suspecter une hétérogénéité de données géochimiques provenant de différents faciès où origine. Pour Ag, la faible valeur de coefficient de variation 87,83% indique qu'il s'agit d'un seul type de faciès où origine. Il n'y a pas d'enrichissement relatif de l'Ag.

Tableau. 5- Paramètres statistiques de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

	Zn (%)	Pb(%)	Ag (g/t)	BaSO ₄ (%)	CaF ₂ (%)	Cd (%)
N. d'éch	2044	2004	1621	1205	1025	1616
Min	0,0001	0,0009	0,0010	0,0025	0,0025	0,0001
Max	38,0000	5,2500	23,0000	85,0800	8,5100	1,0000
Moy	0,9800	0,0570	2,6300	0,9900	0,0940	0,0080
E-type	3,1300	0,2500	2,3100	5,2000	0,4200	0,0540
% Coeff- Variation	318,99	435,08	87,83	525,25	446,80	675,00

II.2.2.- Classification monovariée

La classification monovariée a montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en trois (03) sous-populations (Tableau.6). L'exemple pour le Zn la sous-

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

population 1 représente de faibles teneurs en Zn 0,039% de moyenne avec un taux de 57% de l'ensemble des échantillons. La sous-population 2 qui représente 25% de l'ensemble de données avec une teneur moyenne de Zn de 0,26%. La sous-population 3 qui représente 18 % de l'ensemble des teneurs avec une teneur moyenne de Zn qui est égale à 4,96%.

Tableau .6- Paramètres statistiques de la classification monovariée de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

	Nombre d'éch	% d'éch	Min	Max	Moy	E.Type	Coef. variation
Zn1 (%)	1172	57.36	0.0001	0.1064	0.0390	0.0260	65.06
Zn2 (%)	503	24.62	0.1070	0.6800	0.2620	0.1460	55.43
Zn3 (%)	368	18.01	0.7000	38.0000	4.9600	5.9100	119.27
Pb1 (%)	1917	95.71	0.0009	0.1500	0.0246	0.0254	103.24
Pb2 (%)	56	2.80	0.1670	0.5300	0.3060	0.0990	41.52
Pb3 (%)	30	1.50	0.6200	5.2500	1.6900	1.1260	66.65
Ag1 (g/t)	1211	74.75	0.0100	3.4000	1.5400	0.9500	61.73
Ag2 (g/t)	323	19.94	3.5000	6.2000	4.9700	0.2900	5.84
Ag3 (g/t)	86	5.31	6.2500	23.0000	9.2400	2.5300	27.44
BaSO ₄ 1 (%)	1000	82.92	0.0025	0.3600	0.0370	0.0460	122.04
BaSO ₄ 2 (%)	75	6.22	0.3600	0.9500	0.6050	0.17700	29.41
BaSO ₄ 3 (%)	131	10.86	0.9860	85.0850	8.4900	13.6800	161.54
CaF ₂ 1 (%)	82	8.01	0.0025	0.0250	0.0045	0.0026	57.26
CaF ₂ 2 (%)	918	89.65	0.0075	0.3500	0.0520	0.0350	67.24
CaF ₂ 3 (%)	24	2.34	0.4000	8.5100	1.9900	1.4800	74.37
Cd1 (%)	1498	92.64	0.00005	0.0082	0.0014	0.0016	109.50
Cd2 (%)	73	4.51	0.0081	0.0280	0.0155	0.0058	37.44
Cd3 (%)	46	2.84	0.0290	1.0000	0.2020	0.2580	127.46

Zn1= Classe1, Zn2= Classe2 et Zn3= Classe3.

Les fonctions indicatrices ou probabilités d'appartenance à une sous-population composante ont été calculées (Mezghache, 1989). Au total, 18 sous-populations composantes ont été obtenues: Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Ag1, Ag2, Ag3, BaSO₄ (1), BaSO₄(2), BaSO₄(3), CaF₂(1), CaF₂(2), CaF₂(3), Cd1, Cd2 et Cd3.

II.2.3. - Analyse en composantes principales normées – ACP-

Trois ACP ont été faites: Une ACP sur l'ensemble de données chimiques et deux ACP sur les résultats des fonctions indicatrices.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

a. -ACP sur l'ensemble des données chimiques

L'établissement de la matrice de corrélation (Tableau. 7) montre une corrélation linéaire positive entre les éléments Pb, Zn, Ag et Cd.

Tableau.7- Matrice de corrélation linéaire simple de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

	Pb	Zn	Ag	BaSO ₄	CaF ₂	Cd
Pb	1.00					
Zn	0.46x	1.00				
Ag	0.11x	0.14x	1.00			
BaSO ₄	-0.01	-0.02	0.03	1.00		
CaF ₂	0.02	-0.02	0.16x	-0.07x	1.00	
Cd	0.02	0.12x	-0.01	-0.01	-0.02	1.00

x- Coefficient de corrélation significatif.

Pour N (Nombre d'échantillon) =2044; $Cs \leq -0.04$ pour les valeurs négatives et $Cs \geq +0.04$ pour les valeurs positives.

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charge (Tableau.8). Les cercles de corrélations ont été tracés et interprétés (Fig. 43).

Tableau.8 Les facteurs de charge de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

	Pb	Zn	Ag	BaSO ₄	CaF ₂	Cd	Val. prop
F1 (25.77%)	0.80	0.83	0.41	-0.04	0.12	0.21	1.55
F2 (19.05%)	0.12	0.20	-0.56	0.20	-0.79	0.34	1.14
F3 (17.06%)	0.02	-0.02	0.29	0.89	-0.14	-0.35	1.02

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 44,82 % (F1= 25,77 %, F2 = 19,05%) (Fig.43) montrent la présence de trois associations chimiques (Fig.43. a), la première association composée de Zn et Pb corréllée positivement au facteur F1. La deuxième association composée de BaSO₄ et Cd corréllée positivement au facteur F2, cependant BaSO₄ est corréllé positivement au F3 alors que Cd est corréllé négativement au même facteur (Fig43.b). La troisième association composée de CaF₂ et Ag corréllée négativement au Facteur F2 et une association chimique (Fig43. b) composée de Pb, Zn, Cd, CaF₂ et Ag corréllée positivement avec F1.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

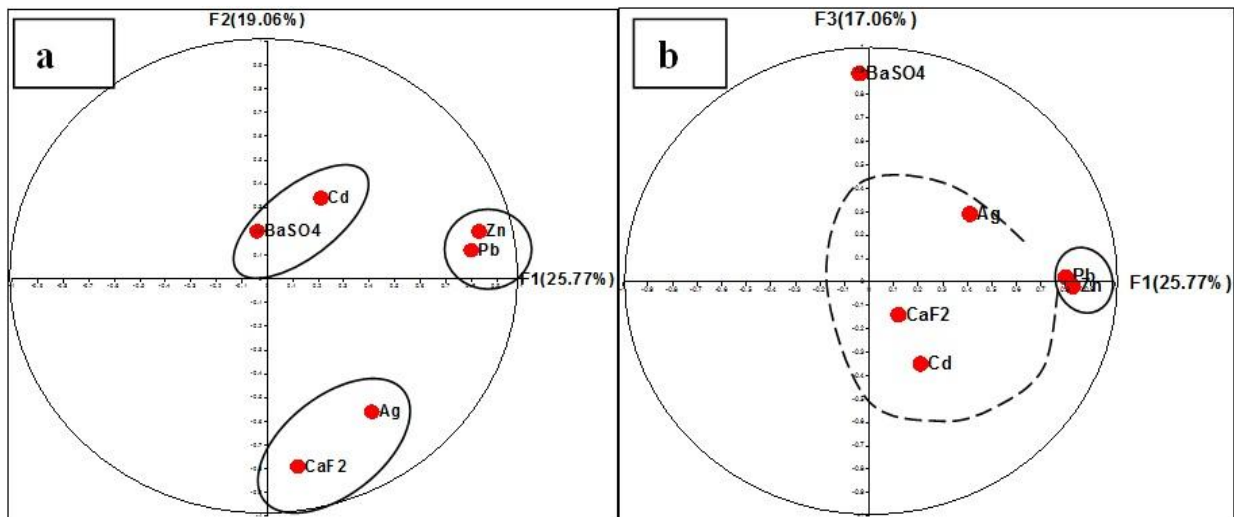


Fig. 43- Cercles de corrélation de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra du Pr0 au Pr15.

b.- ACP des fonctions indicatrices

Afin de déterminer les relations entre les dix huit (18) sous-populations composantes, une matrice de corrélation linéaire simple a été calculée et une ACP a été effectuée (Tableau. 9). La matrice de corrélation linéaire simple montre une corrélation positive entre Zn1, Pb1, Cd1, Ag1 et BaSO₄(2). Ces faibles teneurs en Zn, Pb, Ag et Cd caractérisent le fond géochimique-faciès Hauterivien inférieur par contre le BaSO₄ (2) indique que les sulfates de baryum existent initialement avec de fortes teneurs dans les dépôts de l'Hauterivien inférieur. Zn2 est corrélé positivement à Pb2, Ag2 et Cd1, c'est le minerai type 1. Dans ce minerai le Cd est faible il n'a pas subi un enrichissement. Zn3 est corrélé positivement avec Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, BaSO₄(1) et CaF₂(3), c'est le minerai type 2. Dans ce minerai les teneurs en Pb peuvent être aussi bien faibles qu'élevées.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

*Tableau. 9- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (18 variables)-
Nombre total d'échantillons N=907*

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	BaSO ₄ 1	BaSO ₄ 2	BaSO ₄ 3	CaF ₂ 1	CaF ₂ 2	CaF ₂ 3	
Zn1	1.00																		
Zn2	-0.72	1.00																	
Zn3	-0.52	-0.23	1.00																
Pb1	0.35	-0.14	-0.32	1.00															
Pb2	-0.24	0.18	0.12	-0.80	1.00														
Pb3	-0.19	-0.06	0.33	-0.36	-0.27	1.00													
Ag1	0.11	-0.10	-0.04	0.08	-0.04	-0.06	1.00												
Ag2	-0.10	0.08	0.04	-0.09	0.05	0.06	-0.95	1.00											
Ag3	-0.05	0.06	-0.01	0.01	-0.02	0.01	-0.40	0.10	1.00										
Cd1	0.26	0.10	-0.48	0.18	-0.11	-0.11	0.03	-0.04	0.03	1.00									
Cd2	-0.23	-0.10	0.44	-0.17	0.10	0.12	-0.02	0.03	-0.02	-0.91	1.00								
Cd3	-0.13	-0.03	0.22	-0.07	0.05	0.03	-0.03	0.04	-0.01	-0.50	0.09	1.00							
BaSO ₄ 1	-0.08	0.02	0.09	-0.04	-0.02	0.09	-0.07	0.07	0.01	-0.09	0.08	0.04	1.00						
BaSO ₄ 2	0.07	-0.06	-0.03	0.11	-0.07	-0.05	0.09	-0.08	-0.05	0.06	-0.05	-0.03	-0.65	1.00					
BaSO ₄ 3	0.04	0.03	-0.09	-0.04	0.09	-0.07	0.01	-0.02	0.03	0.07	-0.06	-0.03	-0.74	-0.03	1.00				
CaF ₂ 1	0.01	0.02	-0.04	0.01	0.01	-0.02	0.01	-0.02	0.03	0.04	-0.03	-0.03	-0.31	0.15	0.27	1.00			
CaF ₂ 2	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.03	-0.04	0.03	0.03	0.30	-0.15	-0.26	-0.98	1.00		
CaF ₂ 3	-0.06	-0.03	0.13	-0.05	-0.05	0.16	-0.11	0.11	0.01	0.01	0.01	-0.01	0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.16	1.00	

Les coefficients de corrélations écrits en gras sont significatifs.

Sur la base des résultats de la matrice de corrélation linéaire simple, une analyse en composantes principales a été effectuée, les vecteurs et les valeurs propres calculés (Tableau.10) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig.44).

Tableau. 10- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (18 variables)

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	BaSO1	BaSO2	BaSO3	CaF1	CaF2	CaF3
F1 17,49%	-0,62	0,15	0,67	-0,57	0,37	0,34	-0,27	0,27	0,05	-0,71	0,64	0,36	0,43	-0,31	-0,29	-0,30	0,27	0,11
F2 13,88%	0,29	-0,16	-0,21	0,32	-0,30	-0,06	0,09	-0,08	-0,06	0,19	-0,17	-0,09	0,67	-0,34	-0,58	-0,75	0,76	-0,10
F3 12,01%	-0,17	0,42	-0,27	-0,10	0,12	-0,04	-0,82	0,75	0,40	0,44	-0,40	-0,20	0,12	-0,19	0,01	-0,01	-0,02	0,10

Valeurs propres: F1 (3.15), F2 (2.50) et F3 (2.16).

La représentation graphique des corrélations entre 18 variables d'une part et les facteurs de charge F1 et F2 d'autre part, qui représentent le maximum de variance cumulée de 31,37 % (F1= 17,49 %, F2 = 13,88%) (Fig.44) montre la présence de deux principales associations chimiques: la première constituée de Zn1, Pb1, Cd1 et Ag1 avec la présence de BaSO₄(2et 3) caractérisant le faciès Hauterivien inférieur- Fond géochimique. Cette association révèle que

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

BaSO₄ existe initialement avec de fortes teneurs dans les dépôts de l'Hauterivien inférieur. La deuxième association constituée par Zn₂, Zn₃, Pb₂, Pb₃, Cd₂, Cd₃, Ag₂, Ag₃, CaF₂(2), CaF₂(3) et BaSO₄(1) caractérise les minéralisations localisées dans l'Hauterivien inférieur.

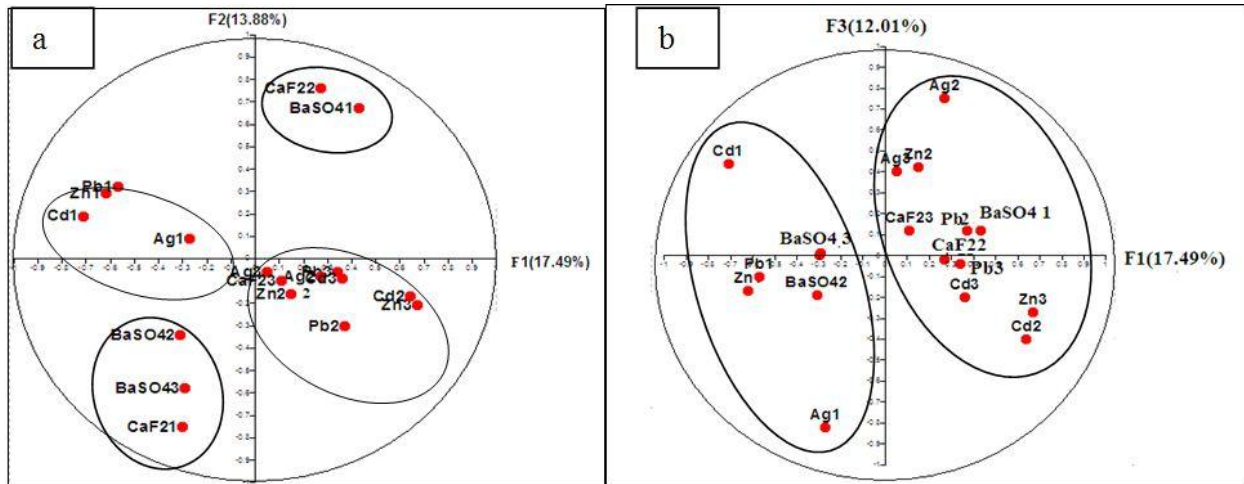


Fig.44- Cercles de corrélation de l'ensemble des sous-populations composantes (18 variables)

Afin de discriminer les types des minerais de la minéralisation à Zn-Pb, une ACP a été refaite en éliminant les deux éléments BaSO₄ et CaF₂. Seul 12 variables ont été pris en considération (Zn₁, Zn₂, Zn₃, Pb₁, Pb₂, Pb₃, Ag₁, Ag₂, Ag₃, Cd₁, Cd₂ et Cd₃). La matrice de corrélation calculée (Tableau.11) a permis de montrer trois corrélations positives celle Zn₁ avec Pb₁, Cd₁ et celle de Zn₂ avec Pb₂ et celle de Zn₃ avec Zn₂, Pb₃, Cd₂ et Cd₃.

Tableau.11- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (12 variables).
Nombre total d'échantillons N=1526

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Cd1	Cd2	Cd3	Ag1	Ag2	Ag3
Zn1	1,00											
Zn2	-0,66	1,00										
Zn3	-0,55	-0,27	1,00									
Pb1	0,44	-0,16	-0,38	1,00								
Pb2	-0,27	0,23	0,10	-0,77	1,00							
Pb3	-0,26	-0,10	0,44	-0,39	-0,28	1,00						
Cd1	0,25	0,13	-0,47	0,16	-0,03	-0,21	1,00					
Cd2	-0,25	-0,13	0,46	-0,18	0,03	0,23	-0,81	1,00				
Cd3	-0,09	-0,05	0,18	-0,04	0,01	0,05	-0,63	0,05	1,00			
Ag1	0,15	-0,07	-0,11	0,07	-0,02	-0,08	0,08	-0,09	-0,01	1,00		
Ag2	-0,15	0,08	0,10	-0,11	0,06	0,08	-0,05	0,06	-0,01	-0,88	1,00	
Ag3	-0,03	-0,01	0,06	0,05	-0,07	0,03	-0,09	0,08	0,04	-0,47	-0,01	1,00

Les coefficients de corrélations écrits en gras sont significatifs

Les facteurs de charge ont été calculés (Tableau .12) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig.45).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau.12- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (12 variables)

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	Val. propre
F1 (26,07%)	-0,68	0,11	0,76	-0,63	0,33	0,43	-0,36	0,33	0,15	-0,72	0,66	0,35	3,13
F2 (16,74%)	-0,43	0,70	-0,23	-0,44	0,60	-0,21	-0,27	0,33	-0,04	0,52	-0,41	-0,35	2,08
F3 (15,82%)	0,18	-0,12	-0,09	0,36	-0,39	0,02	-0,88	0,74	0,48	0,06	-0,03	-0,06	1,90

La représentation graphique des corrélations entre 12 variables après élimination des deux éléments chimiques BaSO₄ et CaF₂ avec les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 42,77 % (F1= 26,07 %, F2= 16,74%) (Fig.45) montre clairement l'existence de trois associations chimiques, dont la première est constituée de Zn1, Pb1, Ag1 et Cd1, est corrélée négativement à F1. La deuxième association, formée par Zn2, Pb2 et Ag2 est corrélée positivement à F1 et F2. La troisième association, formée par Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2, est corrélée positivement à F1. L'association 1 caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur: fond géochimique, l'association 2 caractérise le premier type de minerai et l'association 3 caractérise le deuxième type de minerai-minerai riche. Ces associations permettent de conclure que Cd existe à de faibles teneurs dans le fond géochimique, pour ensuite s'enrichir dans le 2ème type de minerai (présence de Cd2 et Cd3).

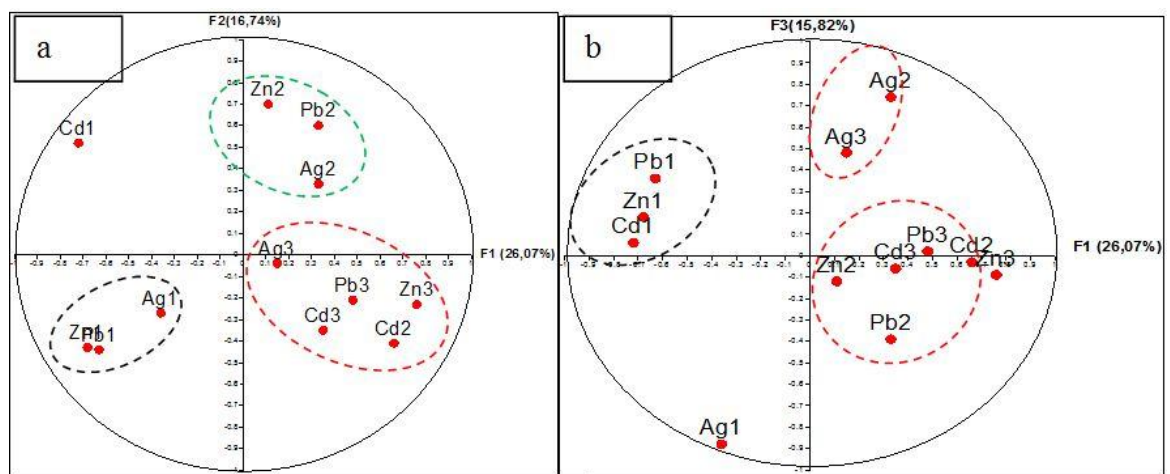


Fig. 45-Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12variables)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

II.3.- TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES DE LA PARTIE PAUVRE DU GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA (PR15-PR30).

Cette partie est localisée dans la partie occidentale du gisement, elle a été explorée à l'aide de 15 profils du Profil 15 au Profil 30 (Fig.42).

II.3.1. – Statistiques élémentaires

Les données chimiques mises à notre disposition par l'ENOF concernent seulement les éléments Pb, Zn, Ag et Cd pour cette partie. Les statistiques des quatre éléments chimiques totalisant un nombre d'échantillons de 983 ont été calculées. (Tableau.13)

Tableau. 13- Paramètre statistique de l'ensemble de données de sondage de la partie du Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

	Zn (%)	Pb (%)	Ag (g/t)	Cd (ppm)	Cu (ppm)
Nombre	983	971	945	887	610
T min	0.001	0.0025	0.002	25	10
T max	25.25	8	6.250	5000	1100
T moy	0.572	0.519	1.167	68.3	37.8
E. Type	1.965	0.276	1.967	441	68
C.V%	343.36	531.41	160.50	645.59	179.97

Les coefficients de variations sont très forts. Ceci montre que les données sont hétérogènes, les échantillons ont été prélevés de différents faciès lithologiques.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

II.3.2.- Traitement monovariée des données de sondage du gisement Chaabet El Hamra (Pr15-Pr30)

La classification monovariée a été faite sur un ensemble de 983 échantillons pour les Six éléments chimiques qui sont Pb, Zn, Cu, Cd, et Ag. (Tableau. 14)

Tableau.14- Paramètres statistiques de la classification monovariée des données de Sondage de la couche hauterivienne du gisement de Chaabet El Hamra (Pr15-Pr30)

élément	Pb (%)			Zn(%)			Cu(ppm)		Cd (ppm)		Ag (g/t)	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Intervalle des teneurs	0 à 0.086	0.086 à 0.155	>0.155	0 à 0.273	0.273 à 1.04	>1.04	0 à 2050	>2050	0 à 140	>140	0 à 0.005	>0.005
% d'échantillon	89.42	5.08	5.39	79.04	9.97	10.99	97.96	2.23	97.96	2.03	8.95	91.04
Nombre d'échantillon	879	50	53	777	98	108	963	22	963	20	88	895
Moyenne (%)	0.018	0.11	0.42	0.020	0.56	4.51	50	350	30	700	0.002	1.12
Ecart-Type (%) ²	0.027	0.02	1.48	0.075	0.20	4.53	4	1600	50	860	0.0006	1.02
Coefficient de variation(%)	150,00	18.18	352.38	357.14	35.71	100.44	80,00	457,00	166.66	122.85	30	91.07

P1= Fond géochimique

P2= Minerai moyen

P3= Minerai riche

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

II.3.3.-Analyse en composantes principales normées-ACP

Deux ACP ont été établies. Une ACP sur l'ensemble de données chimiques et une ACP sur les résultats des fonctions indicatrices des sous populations.

a.-ACP sur l'ensemble des données chimique

La matrice de corrélation linéaire simple a été calculée, il en ressort (Tableau.15) que comme dans la première partie du gisement : Pb est corrélé positivement avec le Zn et négativement à Cd, Zn est corrélé négativement avec Ag.

Tableau. 15- Matrice de corrélation linéaire simple de l'ensemble des données de sondage du. Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

	Pb	Zn	Ag	Cd	Cu
Pb	1,00				
Zn	0.26	1,00			
Ag	-0.05	-0.07	1,00		
Cd	-0.08	0,03	-0.06	1,00	
Cu	0.01	0.05	-0.03	0.02	1,00

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charge (Tableau.16).

Tableau. 16- Facteurs de Charge de l'ensemble de l'ensemble des données de sondage du Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

	F1(26,41%)	F2(20,43%)	F3(19.78%)
Pb	0,73	-0,32	0.01
Zn	0,73	-0,25	0.24
Ag	-0,35	-0,53	0.24
Cd	0,33	0,43	-0.60
Cu	0,15	0,63	0.72

La représentation graphique des corrélations entre les cinq (5) variables avec les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 46,84 % (F1= 26,41 %, F2= 20.43%) (Fig.50) montre clairement l'existence de deux associations chimiques. La première association composée de Zn et Pb corrélé positivement au facteur F1. La deuxième association composée de Cu et Cd corrélé positivement au facteur F2.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

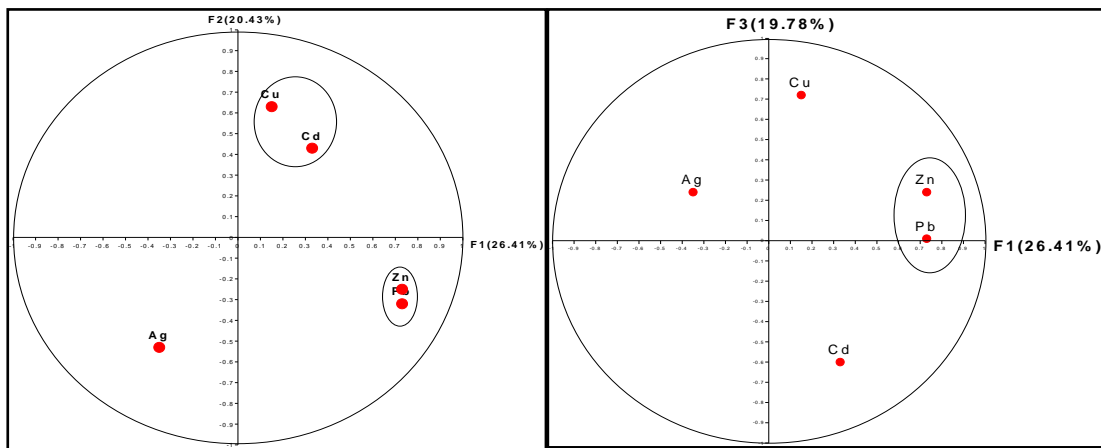


Fig.46- Cercle de corrélation de l'ensemble des données de sondage du Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

b.- ACP des fonctions indicatrices

Afin de déterminer les relations entre les douze (12) sous-populations composantes (Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Cu1, Cu2, Cd1, Cd2, Ag1 et Ag2). Les fonctions d'indicateurs ont été calculées. La matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 34) montre une corrélation positive entre Zn1, Pb1, Ag1 et Ag2. Ces faibles teneurs en Zn, Pb, Ag et Cd caractérisent le fond géochimique- faciès Hauterivien inférieur. Zn2 est corrélé positivement à Ag1, Ag2, Cd1 et Cu2. Zn3 est corrélé positivement avec Pb2 et Pb3 c'est la minéralisation à Zn/Pb.

Tableau.17- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (12 variables).
Nombre total d'échantillons 983

	Pb1	Pb2	Pb3	Zn1	Zn2	Zn3	Ag1	Ag2	Cd1	Cd2	Cu1	Cu2
Pb1	1.00											
Pb2	-1.00	1.00										
Pb3	-0.34	-0.60	1.00									
Zn1	0.24	-0.16	-0.09	1.00								
Zn2	-0.01	0.02	0.01	-1.00	1.00							
Zn3	-0.16	0.14	0.20	-0.96	-0.51	1.00						
Ag1	0.31	-0.30	0.12	0.01	0.36	-0.24	1.00					
Ag2	0.22	-0.14	0.06	0.01	0.08	-0.06	0.01	1.00				
Cd1	0.03	-0.01	-0.18	0.01	0.10	-0.19	0.01	0.01	1.00			
Cd2	-0.15	-0.14	0.38	0.01	1.00	-0.48	0.01	0.01	-0.91	1.00		
Cu1	0.06	-0.02	0.05	-0.01	-0.05	0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.20	1.00	
Cu2	-0.18	0.20	-0.97	-0.28	0.23	-0.53	0.01	0.01	0.05	-0.44	-0.91	1.00

Les valeurs en gras désignent une corrélation significative

Les facteurs de charge ont été calculés (Tableau .18) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig.51).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau.18- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (12 variables)

	Pb1	Pb2	Pb3	Zn1	Zn2	Zn3	Ag1	Ag2	Cd1	Cd2	Cu1	Cu2	Val. propre
F1 (25.55%)	-0,48	0,74	0,63	-0,18	-0,12	0,54	-0,19	-0,09	-0,3	0,26	0,5	-0,8	3,07
F2 (22.78%)	0,03	0,17	-0,26	0,39	-0,97	0,35	-0,28	-0,07	0,51	-0,97	0,19	-0,08	2,73
F3 (18.68%)	0,57	-0,33	0,29	0,89	-0,3	-0,55	0,23	0,15	-0,18	0,27	0,37	-0,48	2,24

La représentation graphique des corrélations entre 12 variables avec les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 49.44 % (F1= 26,66 %, F2= 22.78%) (Fig.47) montre clairement l'existence de trois associations chimiques, dont la première est constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Ag3, Cu2 et Cd1 corrélée négativement à F1. La deuxième association, formée par Zn2 et Cd2 corrélée négativement à F2. La troisième association, formée par Zn3, Pb2, Pb3 et Cu1 corrélée positivement à F1. L'association 1 : caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur: fond géochimique. L'association 2 : marque un enrichissement en Zn et Cd. L'association 3 : caractérise la minéralisation à Zn/Pb dans le gisement avec un appauvrissement en Cu. Les mêmes relations des éléments chimiques ont été trouvées dans les deux parties du gisement.

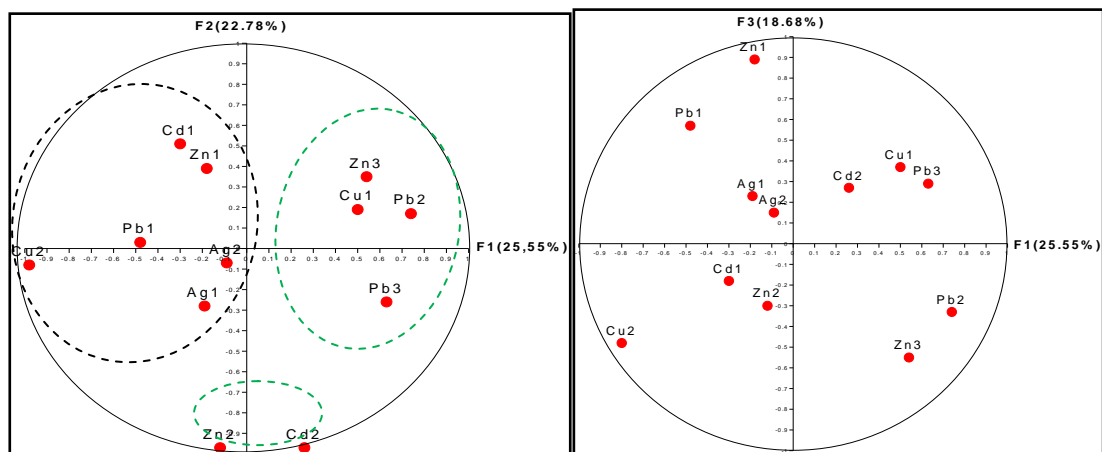


Fig. 47-Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12variables)

II.4. – GEOSTATISTIQUES DES DONNEES D’EXPLORATION DE LA PARTIE SUD-EST DU GISEMENT CHAABET EL HAMRA

L’objectif de la géostatistique étant la caractérisation des différents types de minerai, pour cela seule la partie riche (du Pr 0 au Pr 15) a été concerné par l’étude. Le traitement géostatistique est basé essentiellement sur la variographie du Zn afin d’analyser sa continuité spatiale et donc celle de la minéralisation zincifère. Les variogrammes directionnels, dans la direction verticale et les directions N130° et N220° (Figs. 48, 49 et 50), ainsi que le variogramme de surface (Fig.51) ont été calculés et ajustés pour l’ensemble des données de sondages du Pr0 au Pr15 (Tableaux 19,20 et 21) à l’aide du logiciel Surpack. La couche minéralisée, explorée et prise en compte pour l’étude géostatistique, a une longueur moyenne de 1500m et une largeur moyenne de 500m.

a. Variogramme vertical

Le variogramme vertical expérimental des teneurs en Zn pour un ensemble de 2040 données ayant une teneur moyenne de 0,79 % et un écart type de 1,48% a été construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 4,51$ m, d’un effet de pépité $C_0 = (0,39 \%)^2$, et d’un palier $C = (1,91 \%)^2$. La tolérance angulaire est 20° (Fig. 48, Tableau. 19).

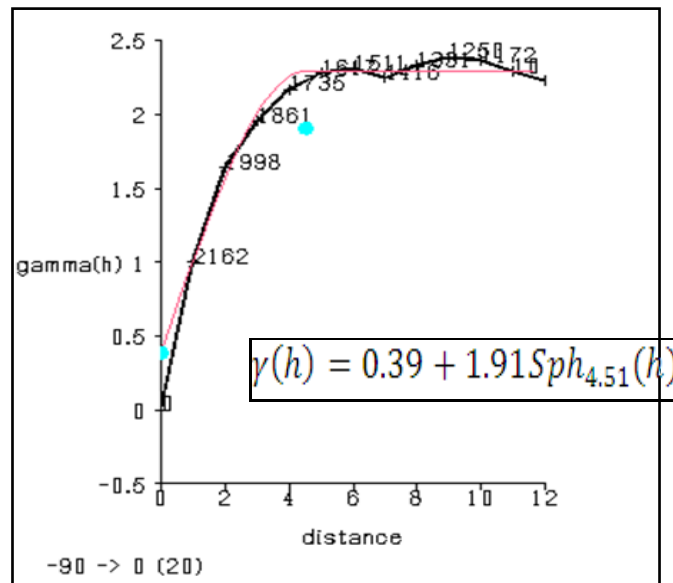
Tableau. 19 – Données du variogramme vertical des teneurs en Zn

Distance du Pas (m)	Nombre de Couples - n	$\gamma(h) - (\%)^2$
1	2162	1,001
2	1998	1,640
3	1861	1,954
4	1735	2,167
5	1617	2,278
6	1511	2,312
7	1416	2,247
8	1331	2,332
9	1250	2,388
10	1172	2,363
11	1094	2,291
12	1019	2,235

Le variogramme vertical (Fig.48) ne présente pas d’effet de trou. La pseudo périodicité n’est donc pas systématique; ceci exclue l’hypothèse selon laquelle le gisement de Chaabet El Hamra est constitué de six (06) lentilles qui se superpose dans l’Hauterivien inférieur

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

(Pogrennoi et al.1992). Le gisement est constitué de lentilles minéralisées certes, mais ces dernières ne sont pas régulièrement réparties comme le montre la figure 16 de la page 33.



-90° : angle de pendage vertical vers le bas;
0 : direction du pendage; 20° : tolérance angulaire du pendage.

Fig. 48- Variogramme vertical des données de sondages du Pr0 au Pr15

b. Variogrammes directionnels dans le plan de la couche minéralisée

- Direction N130°- direction de la couche minéralisée- Perpendiculaire aux profils d'exploration

Le variogramme dans la direction N130° des teneurs en Zn pour un ensemble de 1559 données ayant une teneur moyenne de 0,71% et un écart type de 1,68% a été construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 446,561$ m, d'un effet de pépité $C_0 = (0,63 \%)^2$, et d'un palier $C = (3,28 \%)^2$. La tolérance angulaire directionnelle est de 5° et un pendage 12° (Fig. 49, Tableau. 20).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau. 20 – Données du variogramme du Zn dans la direction N130°

Distance du Pas (m)	Nombre de Couples - n	Distance moyenne (m)	$\gamma(h)$ - (%) ²
104,00	3480	107,294	1,798
208,00	6534	206,794	2,633
312,00	4926	312,468	3,550
416,00	4371	390,103	4,325
520,00	1708	500,067	3,546
624,00	1474	610,025	3,029
728,00	178	712,990	2,835

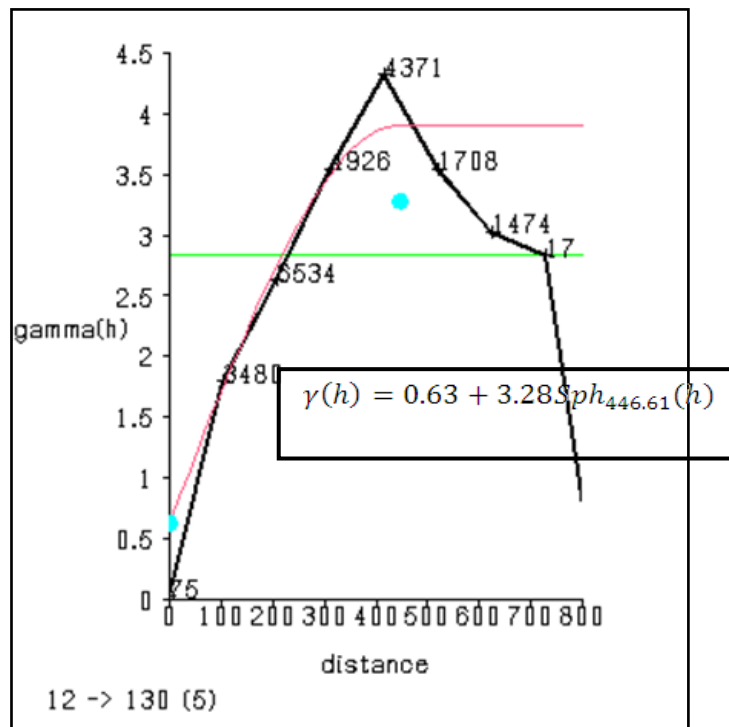


Fig. 49- Variogramme du Zn direction N130°

- Direction N220°- perpendiculaire à la direction de la couche minéralisée-parallèle aux profils d'exploration.

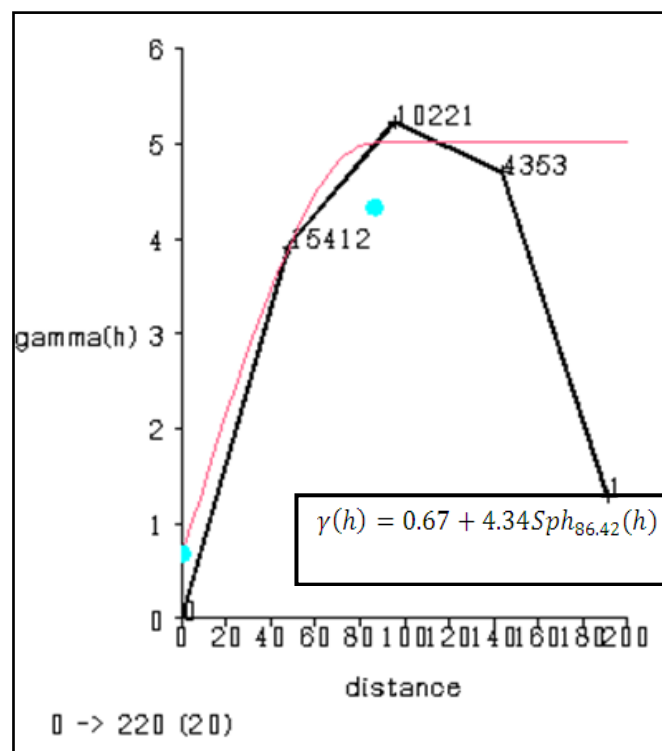
Le variogramme de direction N220° des teneurs en Zn a été construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 86,42$ m, d'un effet de pépité $C_0 = (0,67 \%)^2$, et d'un palier

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

$C = (4,34 \%)^2$. La tolérance angulaire directionnelle est 20° et un pendage 12° (Fig. 50, Tableau. 21).

Tableau. 21– Données du variogramme du Zn- direction $N220^\circ$

Distance du Pas (m)	Nombre de Couples - n	Distance moyenne (m)	$\gamma(h) - (\%)^2$
48,00	15412	53,068	3,918
96,00	10221	96,709	5,229
144,00	4353	147,432	4,705
192,00	1074	190,038	1.295



0° : angle de pendage du plan ;
 220° : direction du pendage; 20° : tolérance angulaire dans la direction.

Fig. 50- Variogramme du Zn direction $N220^\circ$

Le calcul des variogramme directionnels montre l'existence d'une anisotropie géométrique dont le grand axe orienté $N130^\circ$ avec une portée de 446,61m. Cette direction est celle de la continuité maximale de la minéralisation à Zn-Pb et le petit axe de direction $N220^\circ$ a une portée de 86,42m (Fig.51)

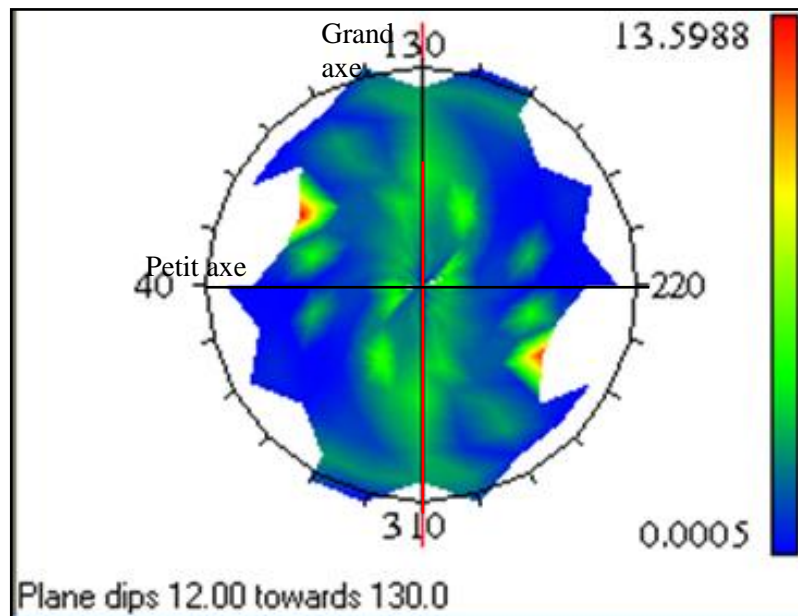


Fig. 51- Variogramme de surface du Zn

II.5. - CONCLUSION

Le gisement de Chaabet El Hamra a été exploré à l'aide d'une trentaine de profils (de 0 à 30) (Tableau.22). Ce dernier est subdivisé en deux parties, la première s'étalant du Pr 0 au Pr15 c'est la partie riche du gisement et la deuxième partie du Pr15 au Pr 30 est la partie faible avec seulement 10% des échantillons qui ont une teneur supérieure à 0.2%.

Dans la partie riche du gisement du Pr 0 au Pr 15, l'analyse monovariée et l'ACP ont permis de déterminer trois (3) associations. Chacune de ces associations expriment un type de faciès où phénomène géologique.

- La première association constituée des éléments chimiques: Zn1, Pb1, Ag1, Cd1, Ag1 et BaSO₄ (2 et 3), représente la sous-population de faibles teneurs sauf pour BaSO₄. Elle représente le faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - fond géochimique.

-La deuxième association constituée par Zn2, Pb2, Ag2, CaF₂ (2), CaF₂ (3) et BaSO₄ (1) représente la sous-population de teneurs moyennes en Zn, cette association caractérise le minerais moyen- minerais type 1.

-La troisième association constituée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2 représente la sous-population de fortes teneurs en Zn minerais riche; elle correspond à un autre type de minerais- minerais type 2.

Pour la deuxième partie du gisement du Pr 15 au Pr30 –la partie classée pauvre pareil à la première partie du Pr 0 au Pr15 trois associations chimiques ont été trouvées, dont la

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

première est constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Ag3, Cu2 et Cd1, est corrélée négativement à F1. La deuxième association, formée par Zn2 et Cd2 corrélée négativement à F2. La troisième association formée par Zn3, Pb2, Pb3 et Cu1, est corrélée positivement à F1. L'association 1 caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur: fond géochimique, l'association 2 marque un enrichissement en Zn et Cd la troisième association caractérise la minéralisation à Zn/Pb dans le gisement avec un appauvrissement en Cu. Les mêmes relations des éléments chimiques ont été trouvées dans les deux parties du gisement. Du point de vue géologique, les résultats des deux parties suggèrent donc l'existence de trois phases:

Phase 1: caractérisée par la sous-population1 qui correspond au faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - Fond géochimique et qui est donc d'origine diagénétique. Ce faciès est caractérisé par une dolomie avec amas de pyrite, de dissémination de marcassite, de blende précoce et de teneurs élevées en BaSO₄.

Phase 2: sous-population2. Ayant des teneurs relativement plus élevées, la formation de cette sous-population ne peut être expliquée que par un apport supplémentaire grâce à des phénomènes de migration Elle représente le minerai type 1 qui est donc de formation épigénétique.

Phase 3: sous-population3. Formée plus tardivement, elle est due à la mise en place du minerai riche en Zn- minerai type 2. Les teneurs en Cd de cette sous-population montrent un enrichissement relatif en cet élément. Cette phase serait liée à un nouvel épisode de circulations de fluides minéralisateurs aidé par des processus tectoniques donc épigénétique tardive. Pour BaSO₄ dans cette sous population, elle ne peut être que d'origine hydrothermal comme signalée par Boutaleb (2001). De par sa morphologie, le gisement a été classé comme stratiforme par Pogrennoi et al. (1992).

Le traitement géostatistique est basé essentiellement sur la variographie du Zn dans la partie riche du gisement du Pr0 au Pr15 dans le but de caractériser la minéralisation à Zn/Pb Les variogrammes directionnels du Zn calculés dans les différentes directions ne sont pas, non plus, à effet de trou, Ils montrent l'existence d'une anisotropie géométrique avec le grand axe orienté N130° avec une portée de 446,61m. Cette direction est celle de la continuité maximale de la minéralisation à Zn-Pb. Le petit axe de direction N220° a une portée de 86,42m. Les valeurs des portées de cette anisotropie correspondraient aux dimensions moyennes des lentilles minéralisées. Ces résultats géostatistiques peuvent être utilisés pour optimiser la maille D'exploration de ce type de gisement.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau.22- Tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats d'Analyse de donnée des deux parties du gisement de Chaabet El Hamra

		Pr0-Pr15	Pr15-Pr30
Classification monovariée		Zn: 42.63 % des échantillons ont une teneur sup à 0.12% dont 18% sup à 0.7% Pb : 4.3% des échantillons ont une teneur sup à 0.17% avec un nombre de donnée 2044	Zn: 21% des échantillons ont une teneur sup à 0.2% Pb : 10% des échantillons ont une teneur sup à 0.086 % Avec un nombre de donnée 984
Classification bivariée		Zn C+ avec Pb, Ag et Cd.	Pb est corrélé positivement avec le Zn et négativement à Cd, Zn est corrélé négativement avec Ag.
Classification	ACP de l'ensemble de donnée géochimique	Trois associations chimiques : - association composée de Zn et Pb C+. au F1. -Association composée de BaSO ₄ et Cd C+ F2. -Association composée de CaF ₂ et Ag C(-) à F2	Deux associations chimiques. -Association composée de Zn et Pb C+ au facteur F1. -Association composée de Cu et Cd corrélé positivement au facteur F2.
	ACP des fonctions indicatrices	Deux principales associations chimiques: -Association constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Cd1 et Ag1 avec la présence de BaSO ₄ (2et 3). Caractérise le faciès Hauterivien inférieur -Association constituée par Zn2, Zn3, Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, Ag2, Ag3, CaF ₂ (2), CaF ₂ (3) et BaSO ₄ (1) caractérise les minéralisations localisées dans l'Hauterivien inférieur.	Trois associations chimiques, -Association constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Ag3, Cu2 et Cd1, C(-) à F1. caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur association, formée par Zn2 et Cd2 C(-) à F2 marque un enrichissement en Zn et Cd association, formée par Zn3, Pb2, Pb3,et Cu1 C+ à F1. la caractérise la minéralisation à Zn/Pb dans le gisement
Classification multivariée			

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

III. ANALYSE ET GEOSTATISTIQUE DES DONNEES GEOCHIMIQUES DE SURFACE DE DIFFERENTS SECTEURS

III.1. - SECTEUR CHAABET EL HAMRA

Le secteur de chaabet el Hamra a été prospecté par la méthode des saignées à l'aide d'une maille de 100mx20m

III.1.1.- Statistique des données de surface du secteur de Chaabet El Hamra

III.1.1.1.- Statistiques élémentaires

Les statistiques des éléments chimiques suscités ont été calculées pour l'ensemble des données mesuré. Les fortes valeurs des coefficients de variations laissent suspecter une hétérogénéité de données géochimiques provenant de différents faciès (Tableau. 23).

Tableau.23-Paramètres statistiques des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El Hamra

	Zn (%)	Pb (%)	Ag (g/t)
N. d'éch	2184	2094	2105
Min	0.0025	0.0025	0.0025
Max	0.30	0.155	19.54
Moy	0.00536	0.0029	2.42
E-type	0.0114	0.0046	1.59
Coef. Variation	214	161.15	65.73

III.1.1.2.-Statistique bivariée

L'établissement de la matrice de corrélation (Tableau. 24) a permis de détecter une forte corrélation positive entre les éléments Pb, Zn et Ag.

Tableau. 24- Paramètres statistiques des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El Hamra

	Zn	Pb	Ag
Zn	1.00	0.35	0.06
Pb	0.35	1.00	0.05
Ag	0.06	0.05	1.00

$$Cs=2/\sqrt{2183}=0.04$$

$$-0.04\leq Cs\leq 0.04$$

III.1.1.3. - Analyse en Composantes Principales normées – ACP

D'après les résultats de la matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 24) une analyse en composantes principales a été effectuée, les vecteurs et les valeurs propres ont été calculés (Tableau. 25) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig.52).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau. 25-Facteurs de charges des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El Hamra

	F1 (45.65%)	F2 (33.24%)	F3 (21.54%)
Zn	0.81	0.14	0.57
Pb	0.81	0.15	-0.57
Ag	0.24	-0.97	-0.01
Val.propre	1.36	0.98	0.65

La représentation graphique des corrélations entre 3 variables d'une part et les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 78.89 % (F1= 45.65 %, F2 = 33.24%) (Fig.52) montre la présence d'une association formée par Zn, Pb et Ag corrélée positivement au facteur F1.

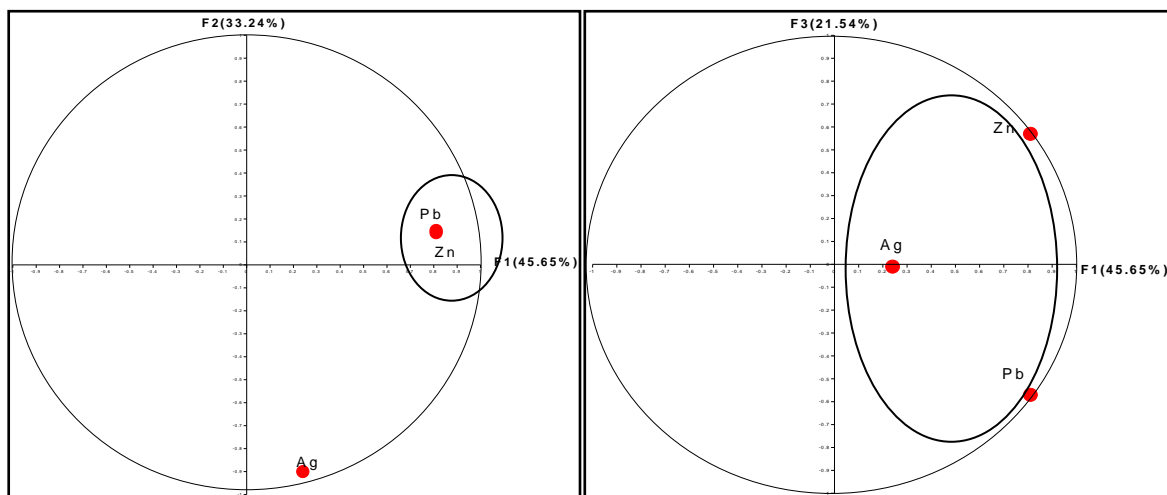


Fig.52- Cercle de corrélations des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El Hamra

III.1.1.4.-Traitement Statistique monovariée

Le traitement statistique mono variable a été porté sur les trois éléments chimiques Pb, Zn, et Cu, avec un nombre de 2184 données lithogéochimiques montre que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en des sous populations composantes (Tableau. 26)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau.26- Paramètres statistiques des sous-populations des données lithogéochimique du secteur de Chaabet El Hamra

	Nombre d'éch	% d'éch	Min	Max	Moy	E.Type	Coef. variation
Zn1 (%)	1581	72.29	0.0025	0.00275	0.00233	$8.12 \cdot 10^{-5}$	3.468
Zn2 (%)	580	26.52	0.00275	0.0345	0.00962	0.00799	83.05
Zn3 (%)	26	1.18	0.0345	0.30	0.0681	0.0502	73.72
Pb1 (%)	2067	98.71	0.0025	0.0075	0.0025	0.00227	90.80
Pb2 (%)	19	0.91	0.0075	0.033	0.0124	0.00519	41.85
Pb3 (%)	7	0.33	0.033	0.155	0.0584	0.0194	33.22
Ag1 (g/t)	526	24.94	0.0025	1.47	0.675	0.399	59.11
Ag2 (g/t)	474	22.51	1.47	2.405	0.244	1.979	811.06
Ag3 (g/t)	1103	52.39	2.405	19.54	2.77	3.083	111.30

- Zinc (Zn)

Les données sur **Zn** ont été discriminées en trois sous classes. La première sous population est formée des teneurs inférieures à **0.00275%**, elle représente **72%** de l'ensemble des données ; tandis que la deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **0.00275%** et elle représente **27%**. Enfin, la dernière représente **1%** de l'effectif total, elle est composée des teneurs supérieures à **0.0345%**. (Fig.53).

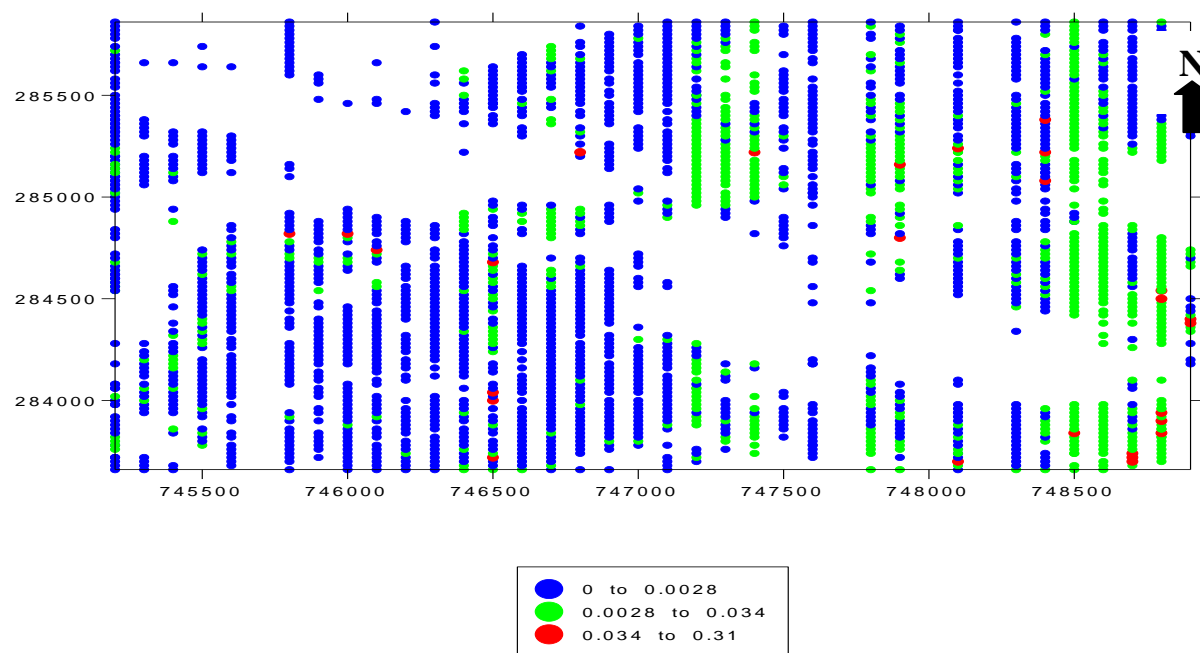


Fig.53- Plan d'échantillonnage Zn

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

• Plomb (Pb)

Les données sur **Pb** ont été discriminées en trois sous classes. La première sous population est formée des teneurs inférieures à **0.0075%**, elle représente **98.71%** de l'ensemble des données ; tandis que la deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **0.0075%** et elle représente **0.91%**. Enfin, la dernière représente **0.33%** de l'effectif total, elle est composée des teneurs supérieures à **0.033%**. (Fig.54).

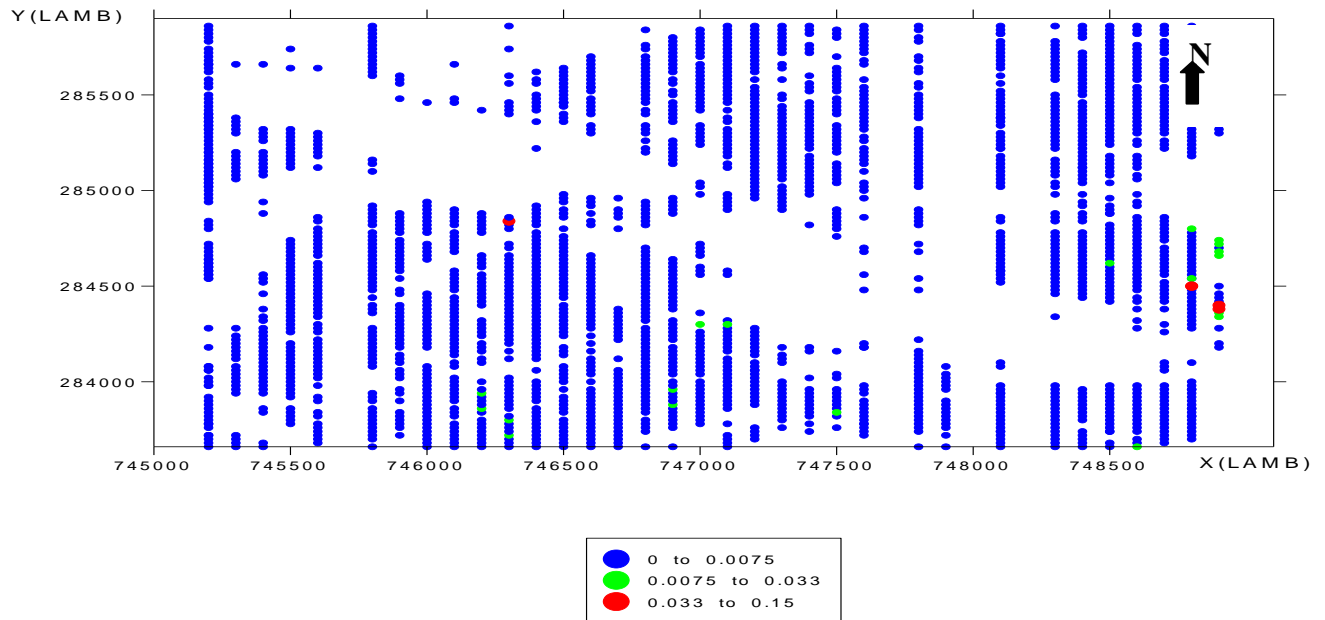


Fig.54- Plan d'échantillonnage Pb

• Argent (Ag)

Les données sur **Ag** ont été discriminées en trois sous classes. La première sous population est formée des teneurs inférieures à **1.47%**, elle représente **25%** de l'ensemble des données ; tandis que la deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **1.47%** et elle représente **23%**. Enfin, la dernière représente **52%** de l'effectif total, elle est composée des teneurs supérieures à **2.405g/t**. (Fig.55).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

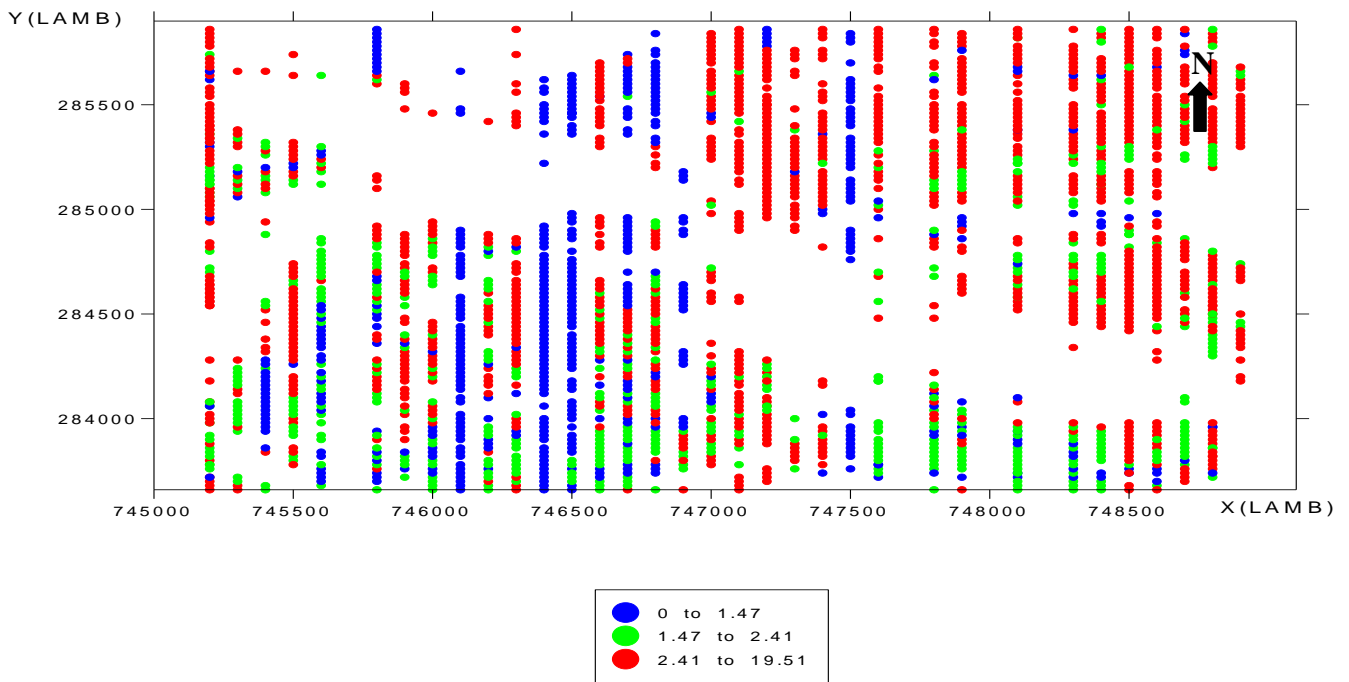


Fig.55- Plan d'échantillonnage Ag

III.1.1.5.- Traitement statistique multivariée-Analyse en Composantes Principale des sous-populations géochimiques (ACP)

D'après la matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 27)

-Zn1 est corrélé positivement au Pb1 et Ag1 et négativement au Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3.

-Pb1 est corrélé positivement avec Zn1 et négativement avec Zn2, Zn3, Pb2 et Pb3.

-Ag1 est corrélé positivement avec Zn1 et négativement avec Zn2, Ag2 et Ag3

Tableau. 27- Matrice de corrélation linéaire simple des données lithogéochimiques des sous populations du secteur de Chaabet El Hamra

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3
Zn1	1.00	-0.97	-0.23	0.12	-0.10	-0.06	0.14	-0.01	-0.10
Zn2	-0.97	1.00	-0.02	-0.07	0.10	-0.02	-0.14	0.01	0.10
Zn3	-0.23	-0.02	1.00	-0.19	0.04	0.34	-0.02	0.01	0.01
Pb1	0.12	-0.07	-0.19	1.00	-0.88	-0.52	0.04	0.00	-0.04
Pb2	-0.10	0.10	0.04	-0.88	1.00	0.07	-0.03	0.01	0.02
Pb3	-0.06	-0.02	0.34	-0.52	0.07	1.00	-0.03	-0.03	0.05
Ag1	0.14	-0.14	-0.02	0.04	-0.03	-0.03	1.00	-0.30	-0.57
Ag2	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.03	-0.30	1.00	-0.61
Ag3	-0.10	0.10	0.01	-0.04	0.02	0.05	-0.57	-0.61	1.00

$$Cs=2/\sqrt{2010}=0.044$$

$$-0.044 \leq Cs \leq 0.044$$

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

D'après les résultats de la matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 27) une analyse en composantes principales a été effectuée, les vecteurs et les valeurs propres ont été calculés (Tableau. 28) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig. 56)

Tableau.28-Facteurs de charges des données lithogéochimiques des sous-populations du secteur Chaabet El Hamra

	F1 (26,051%)	F2 (20,98%)	F3 (18,09%)
Zn1	-0,7	-0,58	-0,36
Zn2	0,63	0,64	0,36
Zn3	0,35	-0,17	0,02
Pb1	-0,75	0,63	0,05
Pb2	0,63	-0,51	0,01
Pb3	0,45	-0,42	-0,13
Ag1	-0,3	-0,34	0,29
Ag2	-0,06	-0,13	0,72
Ag3	0,3	0,39	-0,86

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 44,60 % (F1= 26.51 %, F2 = 18.09%) (Fig.56) montrent la présence de deux associations chimiques (Fig.56), la première association composée de Zn1, Pb1 et Ag1 corrélée négativement au facteur F1. La deuxième association composée de Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3 corrélée positivement au facteur F1. La première association correspond à celle du fond géochimique et la deuxième association correspond à la minéralisation à Zn/Pb. Pour Ag2 il peut se trouver aussi bien dans le fond géochimique et dans le minéral.

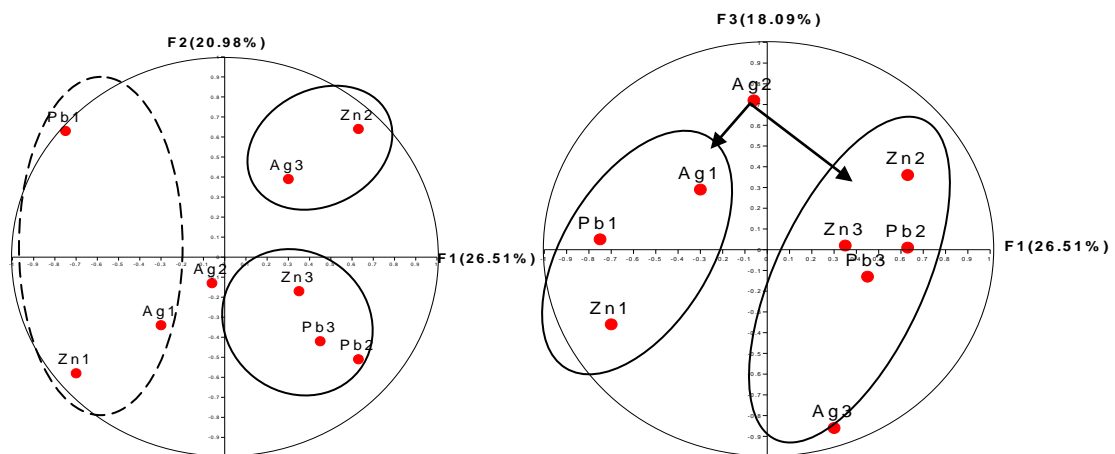


Fig.56- Cercles de corrélation des données lithogéochimiques des sous-populations du secteur de Chaabet El Hamra

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

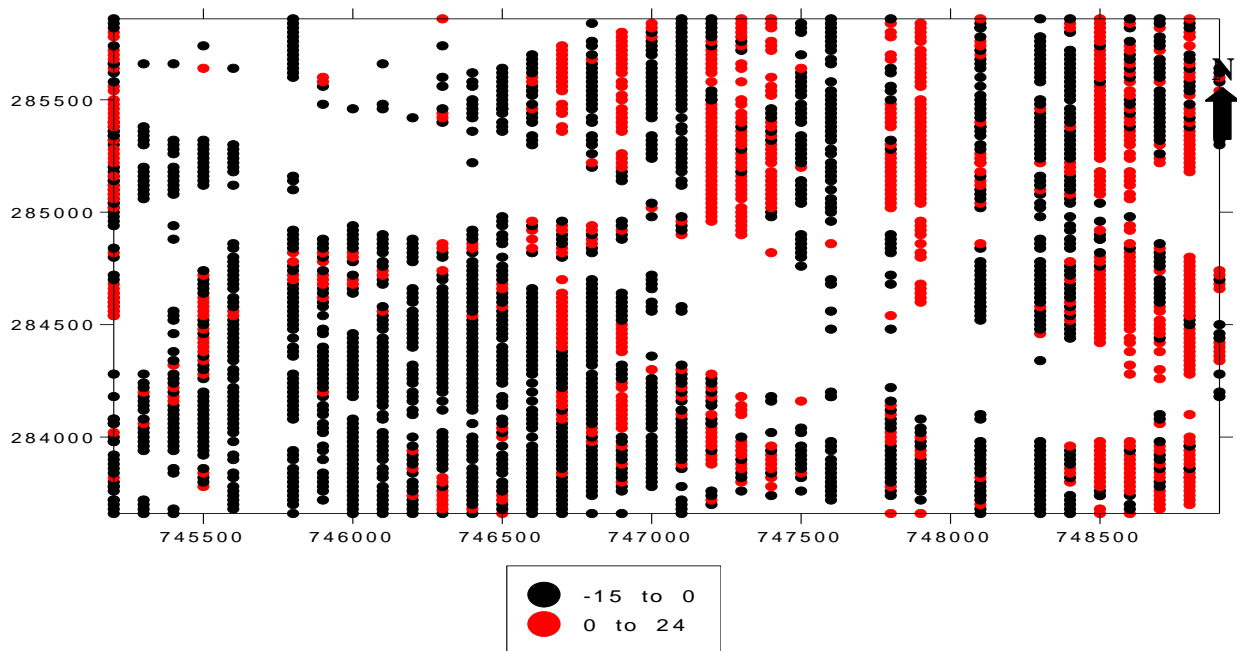
- Paramètre statistique du facteur F1

L'ensemble des valeurs du facteur score 1 avec le quel la minéralisation à Zn/Pb est positivement corrélé a subi un traitement statistique (Tableau. 29) suivie d'une cartographie du facteur (Fig. 57).

Tableau.29- Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP des données lithogéochimiques des sous populations du secteur de Chaabet El Hamra)

Éléments	Nombre De données	Valeurs des facteurs scores			S	Cv (%)
		Moyenne	Minimum	Maximum		
F1	2185	-0.33	-0.2	2.17	0.71	-216.26

La cartographie des facteurs F1 a permis de localiser les anomalies multi-élémentaires des associations chimiques. Association 1 composée de Zn1, Pb1, Ag1 et Ag2- Fond géochimiques et association 2 composée de Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3-minéralisation à Zn/Pb (Fig. 57)



● Association 1 : Zn1, Pb1, Ag1 et Ag2

● Association 2 : Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3

Fig. 57 – Carte des valeurs des facteurs scores F1 de l'ACP de l'ensemble des données lithogéochimiques des sous populations montrant les différentes associations multiélémentaires dans du secteur de Chaabet El Hamra.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

III.1. 2.- Conclusion

L'étude de surface du secteur de Chaabet el Hamra montre la même para genèse retrouvée dans le gisement, il s'agit globalement de deux associations chimiques: la première représentant le fond géochimique est composée de Zn1, Pb1 et Ag1 et la deuxième association représentant le minerai à Zn/Pb est composée de Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3. Les teneurs chimiques en surface sont très faibles par rapport la profondeur (Tableau. 30). Les faibles teneurs enregistrées sont probablement dues aux phénomènes d'altération de migration et de mobilité des métaux.

Tableau.30- Tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats d'Analyse de donnée des deux parties du gisement de Chaabet El Hamra et de la surface du secteur

	Pr0-Pr15	Pr15-Pr30	Surface
Statistique	Zn: 42.63 % des échantillons ont une teneur sup à 0.12% dont 18% sup à 0.7% Pb : 4.3% des échantillons ont une teneur sup à 0.17% avec un nombre de donnée 2044	Zn: 21% des échantillons ont une teneur sup à 0.2% Pb : 10% des échantillons ont une teneur sup à 0.086 % Avec un nombre de donnée 984	Zn: 27,70% des échantillons ont une teneur sup à 0.00275% Pb : 1% des échantillons ont une teneur sup à 0.0075 % Avec un nombre de donnée 2184
ACP Des indicatrices	Deux principales associations chimiques: -Association constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Cd1 et Ag1 avec la présence de BaSO ₄ (2 et 3). Caractérise le faciès Hauterivien inférieur -Association constituée par Zn2, Zn3, Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, Ag2, Ag3, CaF ₂ (2), CaF ₂ (3) et BaSO ₄ (1) caractérise les minéralisations localisées dans l'Hauterivien inférieur.	Trois associations chimiques, -Association constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Ag3, Cu2 et Cd1, C(-) à F1. caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur association, formée par Zn2 et Cd2 C(-) à F2 marque un enrichissement en Zn et Cd association, formée par Zn3, Pb2, Pb3 et Cu1 C+ à F1. Elle caractérise la minéralisation à Zn/Pb dans le gisement	deux associations chimiques la première association composée de Zn1, Pb1 et Ag1 C(-) au F1. La deuxième association composée de Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3 C(+)F1. La première association correspond à celle du fond géochimique et la deuxième association correspond à la minéralisation à Zn/Pb

III.2.- SECTEUR Dj. ZDIMM

III.2.1.- Traitement statistique du secteur Dj. Zdimm

III.2.1.1.-Statistiques élémentaires

Les paramètres statistiques des éléments chimiques Zn, Pb, Cu et Ag ont été calculés sur un nombre de 2690 échantillons (Tableau. 31). L'exemple du Zn, les teneurs varient de 0.005% à 8.03% avec une moyenne de 0.0236%et un coefficient de variation de 831%. Les fortes valeurs des coefficients de variations laissent suspecter une hétérogénéité de données géochimiques provenant de différents faciès.

Tableau.31-Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le secteur de Zdimm

	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (g/t)
Min	<0.0050	<0.0005	<0.0050	0.4400
Max	8.0300	1.1700	0.0600	4.3600
Moyenne	0.0236	0.00726	0.0051	2.3000
Ecart type	0.1960	0.0280	0.0019	0.8500
Valeurs manquantes – VM	0	115	1841	2292
Coeff- Variation	830.51	385.67	37.25	36.95

III.2.1.2. - Classification monovariée

La classification monovariée « passage par Zéro » (Mezghache, 1989) a été appliquée à sur 2690 données lithogéochimiques roche en place. Elle a montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent des sous populations composantes (Tableau.32). Les sous populations anormales du Zn (%), le Pb (%), et l'Ag (g/t) sont respectivement ($> 0.07\%$ $> 0.04\%$ et > 2.55 (g/t)). Pour le Cu la valeur basse ne montre aucun potentiel minier.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau.32- Paramètres statistiques de la classification monovariée des données lithogéochimiques roche en place du secteur de Dj. Zdimm

	Nombre d'éch	% d'éch	Min	Max	Moy	E.Type	Coef. variation
Zn1 (%)	1319	49.02	0.000	0.005	0.005	0.00002	0.40
Zn2 (%)	1276	47.43	0.005	0.070	0.012	0.01800	150.00
Zn3 (%)	96	3.55	0.070	>0.070	0.230	1.42000	617.39
Pb1 (%)	2326	90.32	0.000	0.005	0.005	0.00004	0.80
Pb2 (%)	226	8.77	0.005	0.040	0.020	0.00900	45.00
Pb3 (%)	23	0.91	0.040	>0.040	0.160	0.19000	118.75
Cu1 (g/t)	846	99.70	0.000	0.007	0.002	0.001	50.00
Cu2(g/t)	3	0.30	0.007	>0.007	0.009	0.013	144.40
Ag1 (%)	165	41.34	0.00	1.99	1.46	0.38	26.03
Ag2 (%)	89	22.31	1.99	2.55	2.25	0.14	6.22
Ag3 (%)	145	36.36	2.55	>2.55	3.22	0.42	13.04

- Zinc (Zn)

Les données sur **Zn** ont été discriminées en trois sous classes. La première sous classe est formée des teneurs inférieures à **0.005%**, elle représente **70%** de l'ensemble des données ; tandis que la deuxième sous classe est composée des teneurs supérieures à **0.005%** et elle représente **16%**. Enfin, la dernière représente **14%** de l'effectif total, elle est composée des teneurs supérieures à **0.07%**.(Fig. 58).

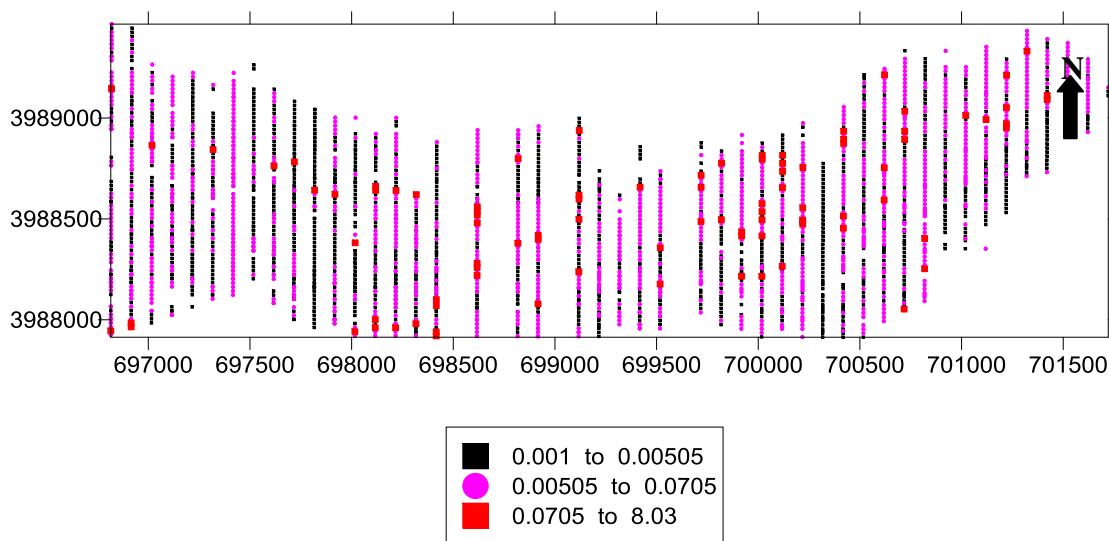


Fig. 58- Plan d'échantillonnage de Zn

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

- Plomb (Pb)

Les données sur **Pb** ont été discriminées en trois sous classes. La première sous classe est formée des teneurs inférieures à **0.005%** et elle représente **90%** de l'ensemble des données qui compte **2575** échantillons. Tandis que, la deuxième sous population est composée des teneurs supérieures **0.005%** et elle représente **8%**. Enfin, la dernière sous classe représente **1%**, elle est composée des teneurs supérieures à **0.04%**.(Fig.59)

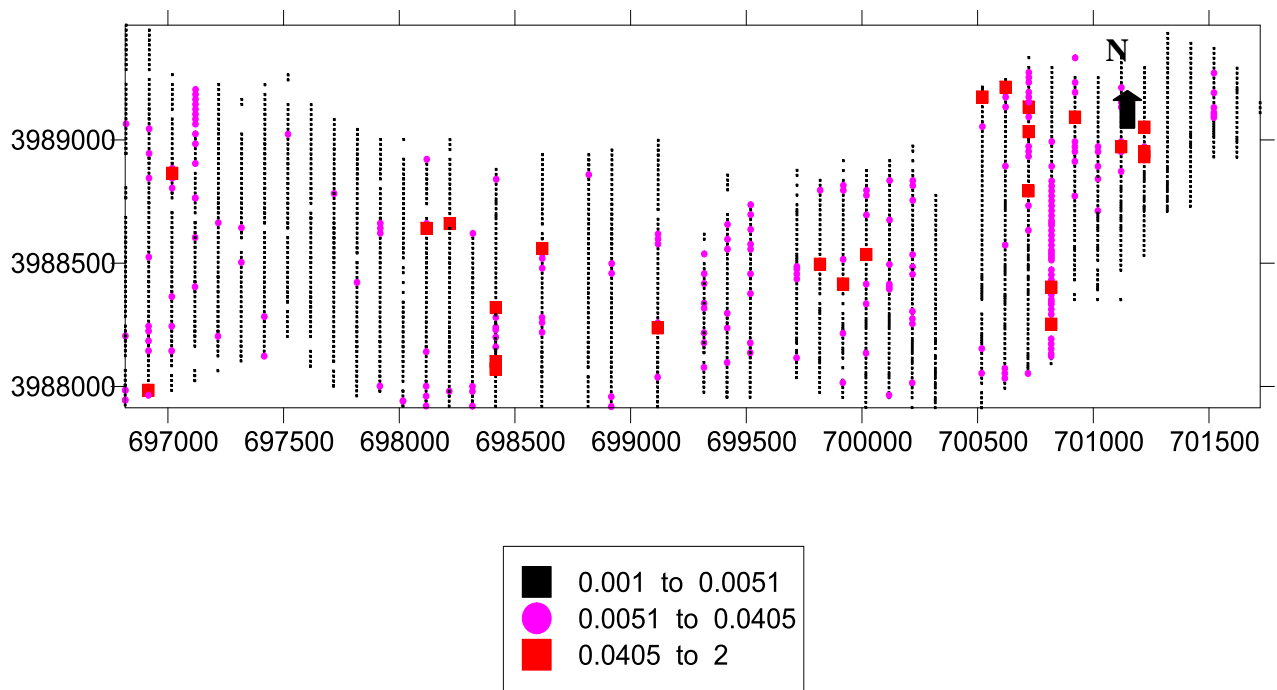


Fig. 59 - Plan d'échantillonnage de Pb

- Cuivre (Cu)

Les données sur **Cu** ont été discriminées en deux sous classes, la première sous classe est formée des teneurs inférieures à **0.007 %** et elle représente **99.7 %** de l'ensemble des données qui compte **849** échantillons. Tandis que, la deuxième sous classe est formée des teneurs supérieures à **0.007%** et elle représente **0.3%** de l'effectif total (Fig. 60)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

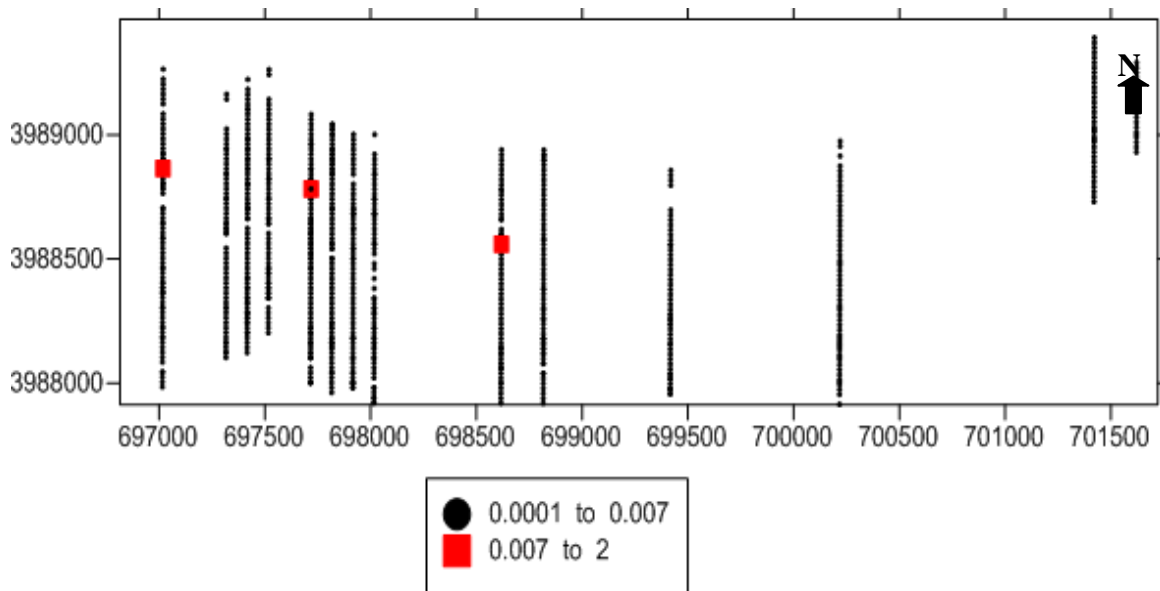


Fig.60 – Plan d'échantillonnage Cu

- Argent (Ag)

Les données sur **Ag** ont été discriminées en trois sous classes. La première sous classe est formée des teneurs inférieures à **1.99%** et elle représente **49%** de l'ensemble des données qui compte **398** échantillons. Tandis que, la deuxième sous population est composée des teneurs supérieures **1.99%** et elle représente **47%**. Enfin, la dernière représente **4%** de l'effectif total, elle est composée des teneurs supérieures à **2.55%**.(Fig.61)

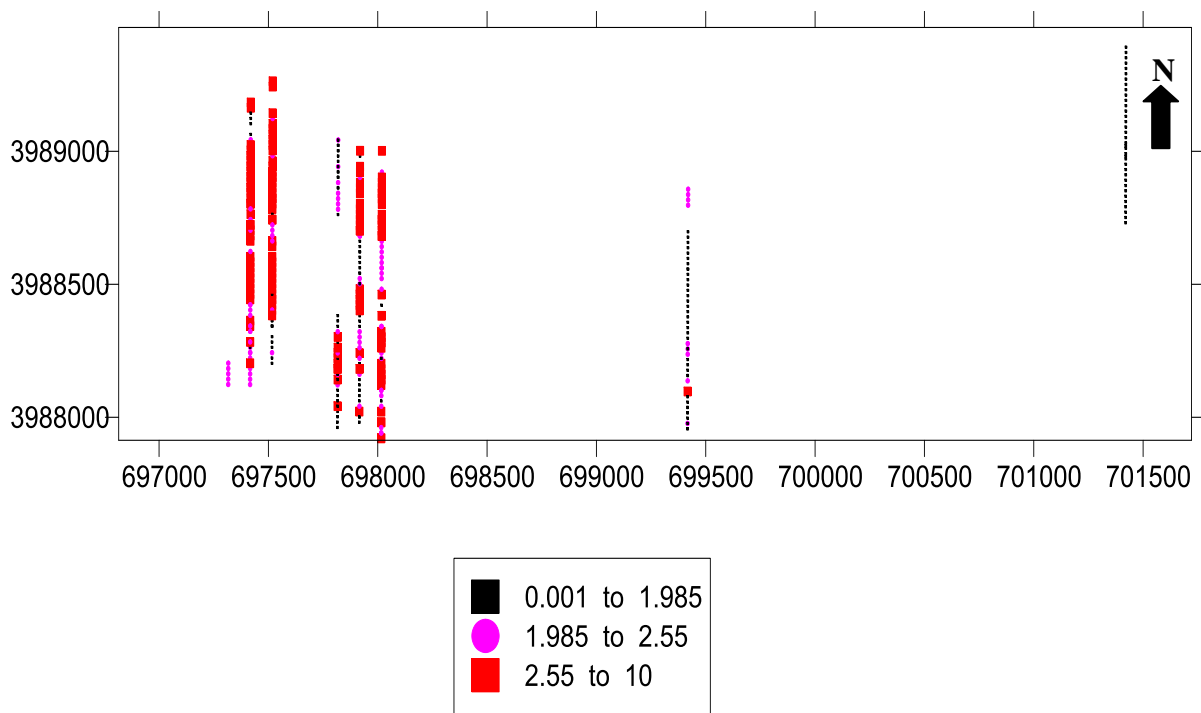


Fig. 61 -Plan d'échantillonnage d'Ag

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

III.2.1.3. -Analyse en Composantes Principales normées – ACP

Deux ACP ont été effectuées

a- ACP sur l'ensemble simples des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdim

La matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 33) montre une forte corrélation positive entre les éléments Pb, Zn, Ag et Cu.

Tableau.33- Matrice de corrélations linéaires simples des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdim

	Pb	Zn	Cu	Ag
Pb	1.00			
Zn	0.35x	1.00		
Cu	0.61x	0.17x	1.00	
Ag	0.01	-0.005	0.01	1.00

(x)Seuil de signification

Pour N (Nombre d'échantillon)=398. $+0.1 \leq Cs \leq -0.1$

D'après les résultats de la matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 33) une analyse en composantes principales a été effectuée, les vecteurs et les valeurs propres ont été calculés (Tableau. 34) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig.62).

Tableau. 34- Facteurs de charges des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdim

	F1	F2
Pb	0.89	-0.06
Zn	0.57	0.24
Cu	0.81	-0.12
Ag	-0.02	-0.97
Val.prop	1.78	1.01

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

La représentation graphique des corrélations entre 4 variables d'une part et les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 69.81 % (F1= 44.64 %, F2 = 25.35%) (Fig.62) montre la présence d'une association formée par Zn, Pb et Cu corrélée positivement au facteur F1.

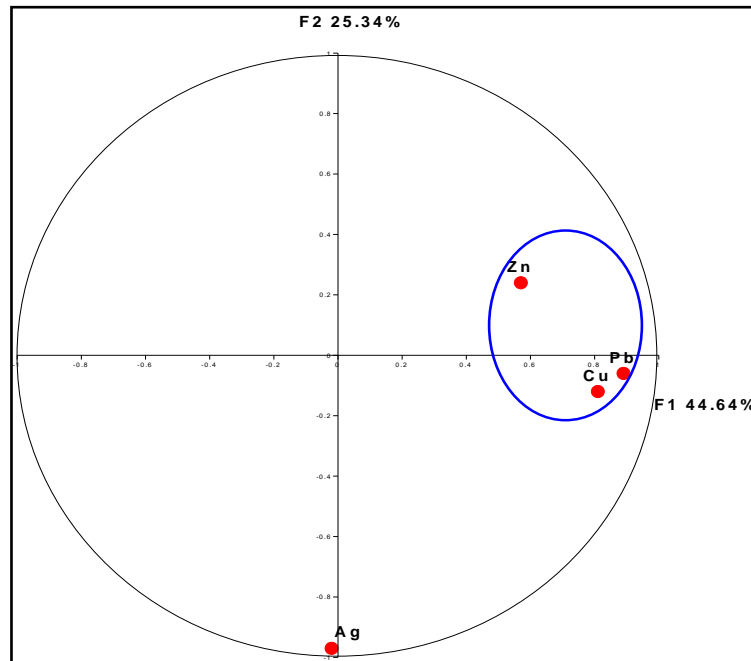


Fig.62- Cercle de corrélation des données lithogéochimiques roche en place du secteur Zdimm

- **Paramètre statistique du facteur F1**

Suite au résultat de l'ACP ci-dessus (Fig. 62) qui montre une corrélation positive des éléments Zn, Pb et Cu au Facteur scores F1 un traitement statistique a été effectué (Tableau.35) suivi d'une cartographie Pour l'ensemble des valeurs du F1 (Fig.63).

Tableau.35 - Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdimm)

Éléments	Nombre De données	Valeurs facteurs scores			S	Cv (%)
		Moyenne	Minimum	Maximum		
F1	2690	$2.23 \cdot 10^{-5}$	-0.2	9.7	0.32	14699

La cartographie du facteur F1 a permis de localiser trois (03) anomalies multi-élémentaires à Zn, Pb et Ag (Fig. 63)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

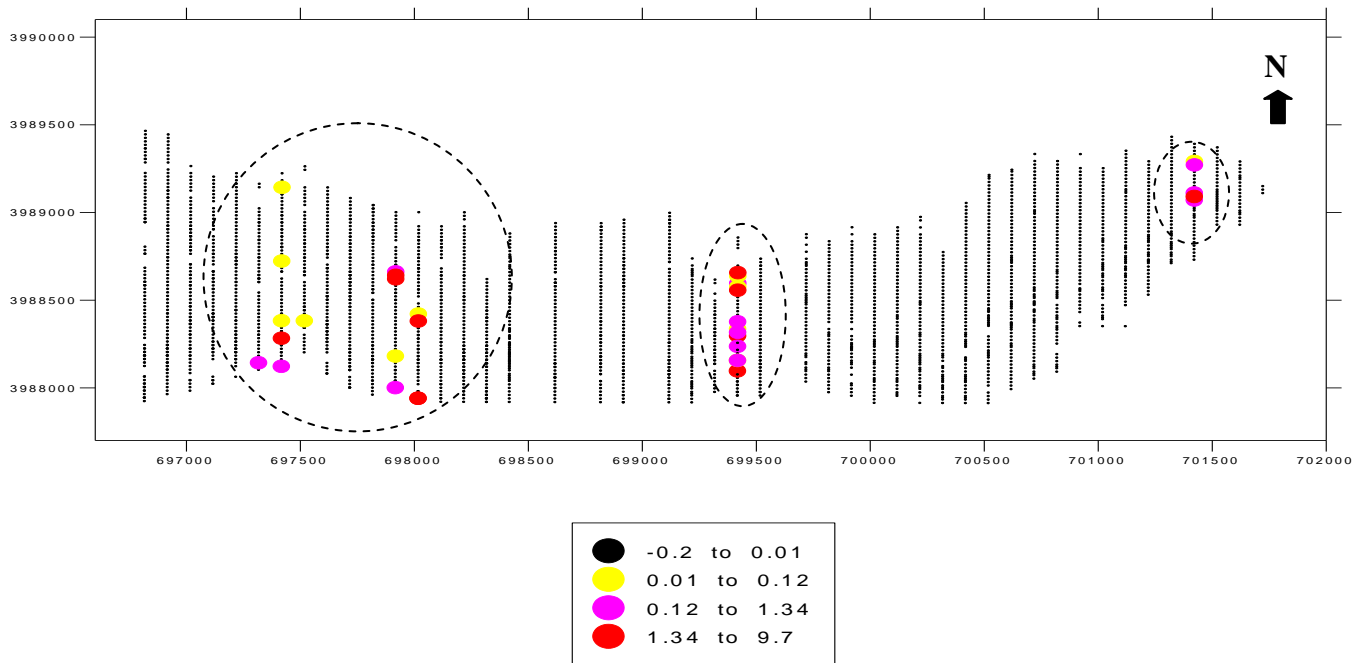


Fig.63- Carte des valeurs des facteurs scores F1 (ACP des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdim)

b- ACP des fonctions indicatrices des sous populations composantes

Afin de déterminer les relations entre les douze (12) sous-populations composantes (Pb1, Pb2, Pb3, Zn1, Zn2, Zn3, Cu1, Cu2, Ag1, Ag2 et Ag3). Les fonctions d'indicateurs ont été calculées. La matrice de corrélation linéaire simple (Tableau. 36) a été calculée, elle montre une corrélation positive entre Zn1, Pb1, Ag1, Ag2, Ag3, Cu1 et Cu2 et Zn2 avec Pb2, Pb3, et Zn3.

Tableau.36- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (11 variables).
Nombre total d'échantillons 2690

	Pb1	Pb2	Pb3	Zn1	Zn2	Zn3	Ag1	Ag2	Ag3	Cu1	Cu2
Pb1	1.00										
Pb2	-0.95	1.00									
Pb3	-0.31	0.86	1.00								
Zn1	0.33	-0.25	-0.29	1.00							
Zn2	-0.21	0.20	0.06	-0.80	1.00						
Zn3	-0.27	0.15	0.40	-0.59	0.90	1.00					
Ag1	0.15	-0.13	-0.10	0.11	-0.10	-0.04	1.00				
Ag2	0.09	-0.07	-0.06	0.12	-0.10	-0.08	-0.35	1.00			
Ag3	0.23	-0.22	-0.08	0.26	-0.23	-0.12	-0.74	-0.37	1.00		
Cu1	0.18	-0.2	-0.08	0.16	-0.81	-0.4	0.09	0.1	0.2	1.00	
Cu2	0.08	-0.06	-0.06	0.11	-0.1	-0.07	-0.4	0.07	0.28	0.74	1.00

CS=0.1

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Les facteurs de charge ont été calculés (Tableau .37) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (Fig.64).

Tableau.37 - Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (12 variables)

	F1 (31,31%)	F2 (19,19%)	F3 (15,96)
Pb1	-0,8	0,14	0,55
Pb2	0,69	-0,1	-0,68
Pb3	0,43	-0,14	0,33
Zn1	-0,82	0,02	-0,48
Zn2	0,6	0,03	0,32
Zn3	0,57	-0,08	0,37
Ag1	-0,05	0,95	0,06
Ag2	-0,1	0,03	-0,26
Ag3	-0,39	-0,88	0,14
Cu1	-0,58	0,21	0,48
Cu2	-0,2	0,08	0,32

La représentation graphique des corrélations entre les onze(11) variables avec les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 46,84 % (F1= 31.31 %, F2= 19.19%) (Fig.64) montre clairement l'existence de deux associations chimiques. La première association composée de Zn1, Pb1, Cu1, Cu2, Ag1, Ag2 et Ag3 corrélié négativement au facteur F1. La deuxième association composée de Pb3, Zn3, Zn2, Pb2 corrélié positivement au facteur F1. La première correspond au fond géochimique tandis que la deuxième correspond à la minéralisation à Zn/Pb.

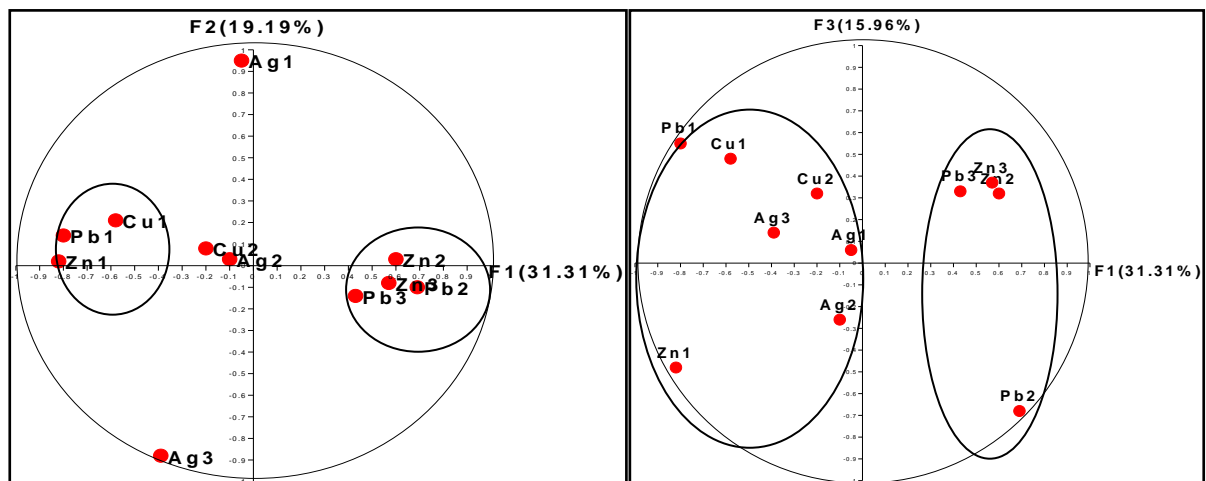


Fig. 64-Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12variables)

III. 2. 2. – Géostatistique des données lithogéochimiques du secteur Dj. Zdimm

Une étude géostatistique a été établie pour l'élément Zn.

III. 2. 2.1. -Variographie

Les variogrammes omnidirectionnels et directionnels expérimentaux des teneurs en Zn ont été calculés dans les différentes directions: 0°, 45°, 90° et 135°. Les graphes de variogrammes ont été tracés (Figs. 65 et 66) et ajustés. Les résultats d'ajustement des variogrammes directionnels (Tableau. 38) montrent l'existence d'une anisotropie géométrique dont le grand axe d'anisotropie est orienté vers 45° tandis que le petit axe est orienté vers 135° (Fig.67). L'effet de pépite est très fort par rapport au palier dû au fait que le signal géochimique est très faible par rapport au bruit de fond; ce ci est dû, en grande partie, à la faible précision des données d'analyses chimiques. La rose des portées a été tracée (Fig.67).

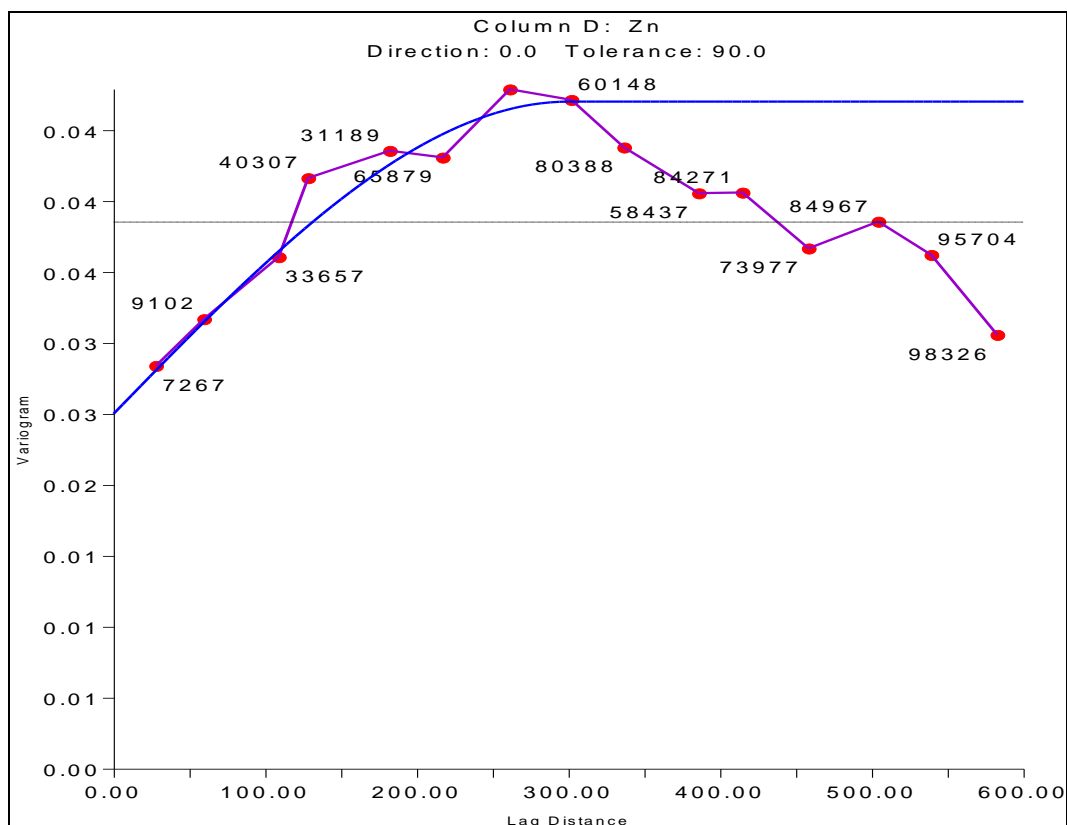


Fig.65-Variogramme omnidirectionnel de Zn

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

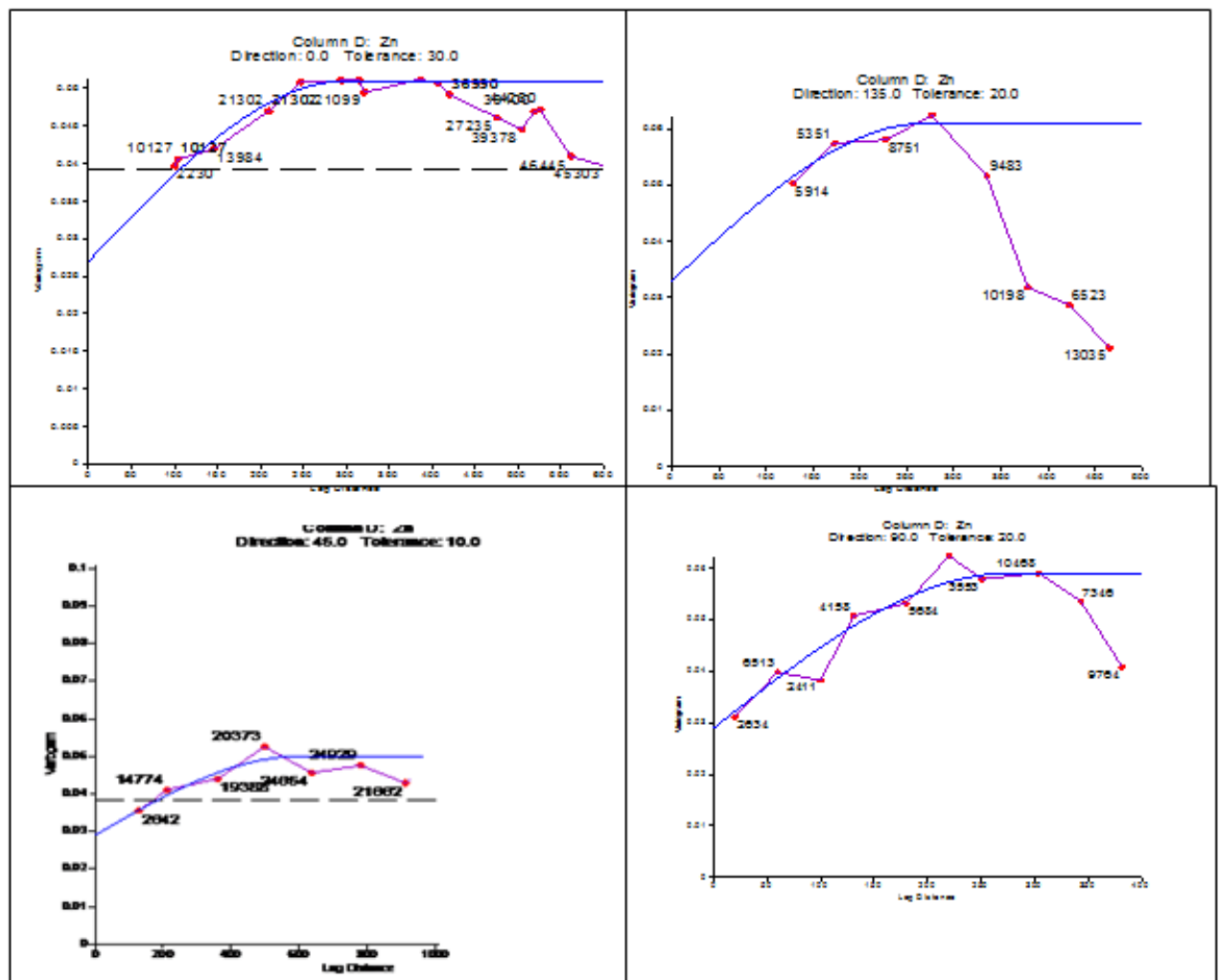


Fig.66-Variogrammes expérimentaux directionnels de Zn et leurs ajustements

Tableau.38- Paramètre d'ajustement des variogrammes du Zn (lithogéochimie de Dj. Zdim)

Direction	Modèle	Effet de pépité C_0 (%)	Palier C (%)	Portée A (m)	C_0/C
Omni	Sphérique	0.025	0.022	300	1.14
0°	Sphérique	0.027	0.024	300	1.13
45°	Sphérique	0.029	0.021	600	1.38
90°	Sphérique	0.029	0.03	275	0.97
135°	Sphérique	0.033	0.028	270	1.18

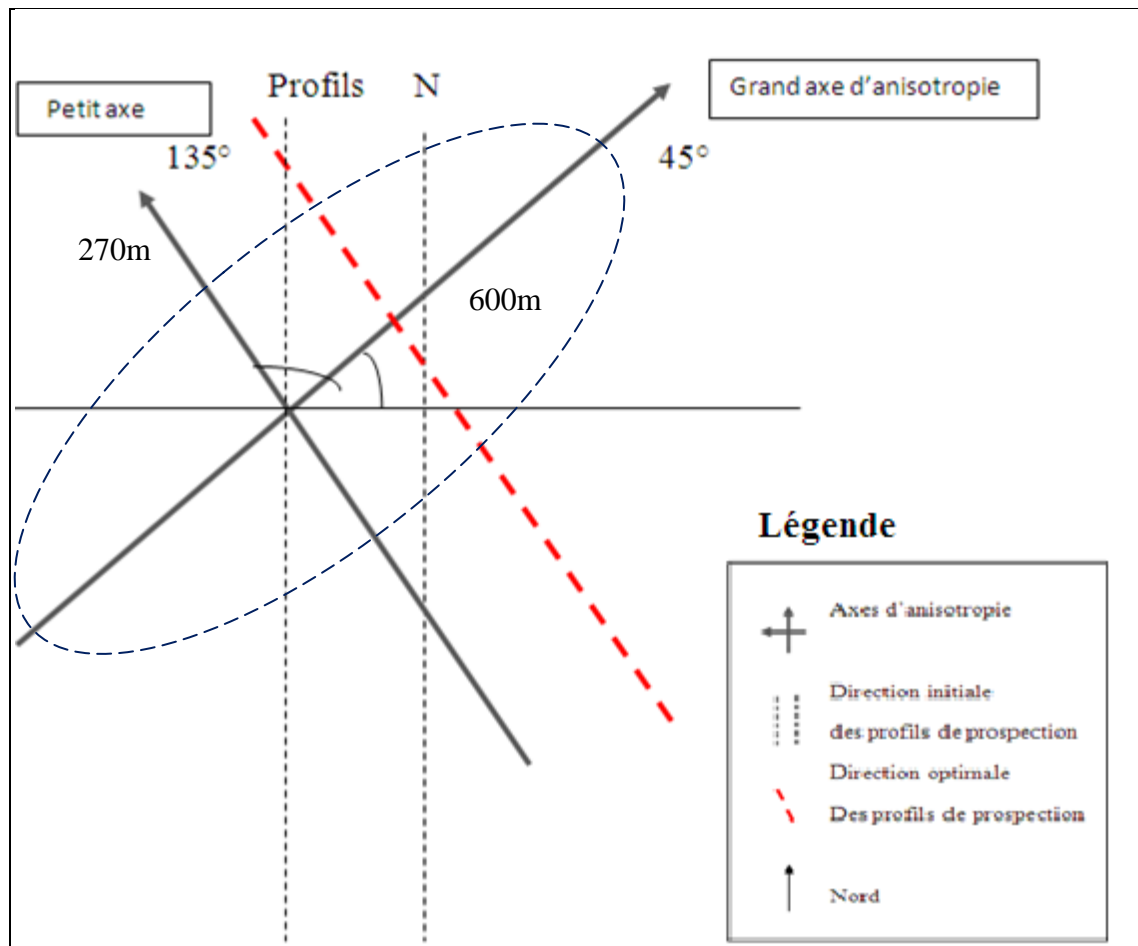


Fig.67- Position des axes d'anisotropie (45° et 135°) et des profils de prospection dans le secteur de Dj.Zdim

Les résultats de la variographie de Zn permettent de conclure que la principale structure géologique est orientée suivant la direction N45°, et par conséquent les profils de prospection du secteur de Zdim auraient dû être perpendiculaires à la direction du grand axe d'anisotropie (45°), au lieu d'une direction N90° choisie précédemment. Cette anisotropie confirme encore une fois l'hypothèse géologique, selon laquelle la minéralisation est concordante avec les couches et les sous-couches.

III. 2.2.2. -Krigage ordinaire et localisation des anomalies de Zn

a.-Paramètre de krigage

Ce krigage à l'aide du modèle d'ajustement suivant : $C_0=0.033 (\%)^2$, $A= 270 \text{ m}$ et $C= 0.028(\%)^2$. Il a été effectué avec une maille (bloc) de 100mX20m en utilisant le logiciel Surfer 8.

b. -Cartographie des valeurs : krigées, et leurs variances.

L'ensemble des résultats du krigage sont enregistrés dans un fichier informatique pour déterminer les points des minéralisations zincifères et l'erreur relative des anomalies zincifères. Trois cartes ont été établies :

- La carte des isovaleurs krigées (Fig.68)
- La carte des classes de variance de krigage (Fig.70)
- La carte des classes des erreurs d'estimation (Fig.71 et 72)

La carte des teneurs krigées en Zn par maille de 100m x20m (Figs.68 et 69) a révélé une importante anomalie géochimique (A), suivie par quatre d'autres anomalies (B),(C),(D) et (E), ces anomalies sont alignées suivant la direction NE-SW (N45°E) concordante avec la direction des couches et sous couches (Fig72). Les deux cartes des erreurs relatives et de variance sur les teneurs krigées de Zn (Figs.70 et 71), montre que dans les zones classées comme anomaes l'erreur et la variance sont moindres qu'ailleurs. Ce qui confirme l'existence des zones de minerais dans les zones A, B, C et D.

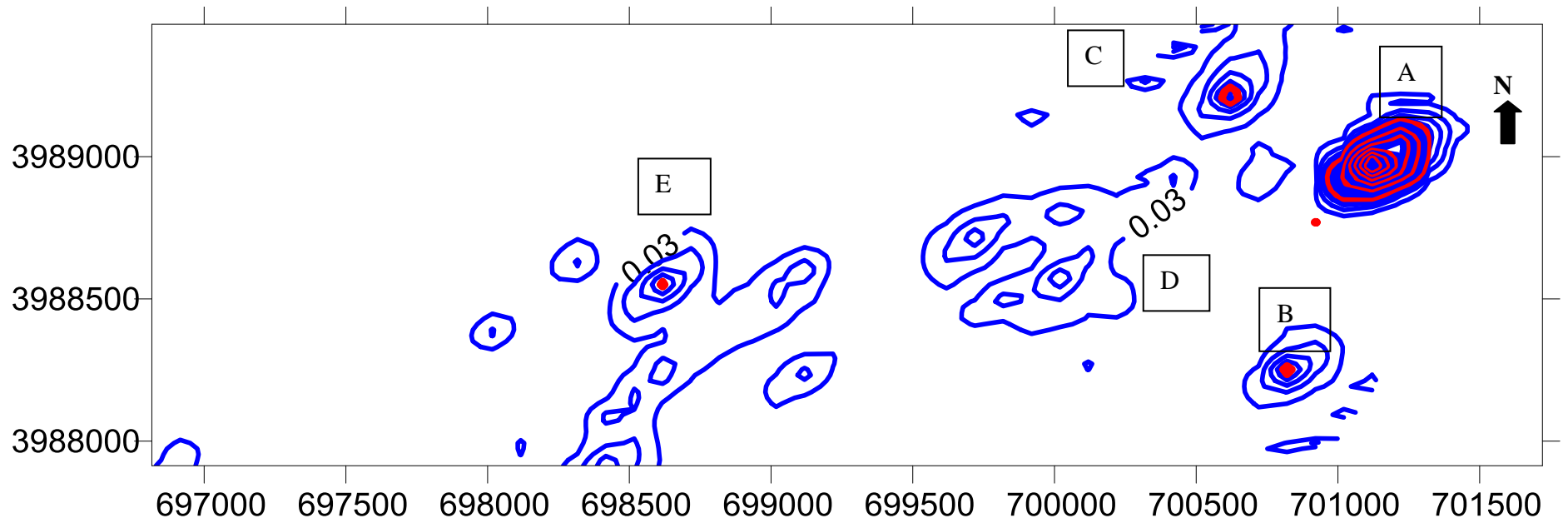


Fig.68 –Carte des isovaleurs krigées de Zn (%)

**PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE,
ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE**

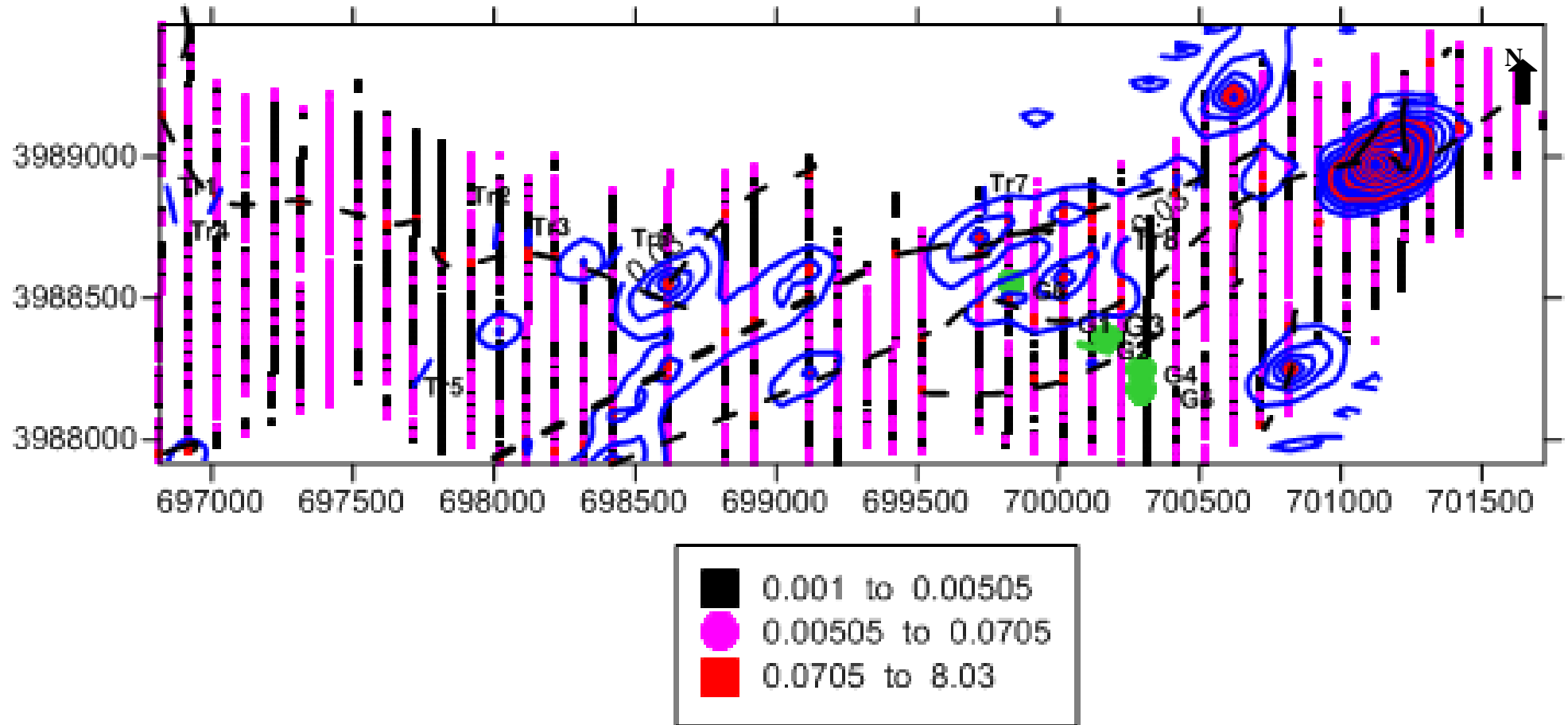


Fig. 69 – Carte des isovaleurs de Zn krigées et répartition des teneurs de Zn dans les échantillons géochimiques

**PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE,
ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE**

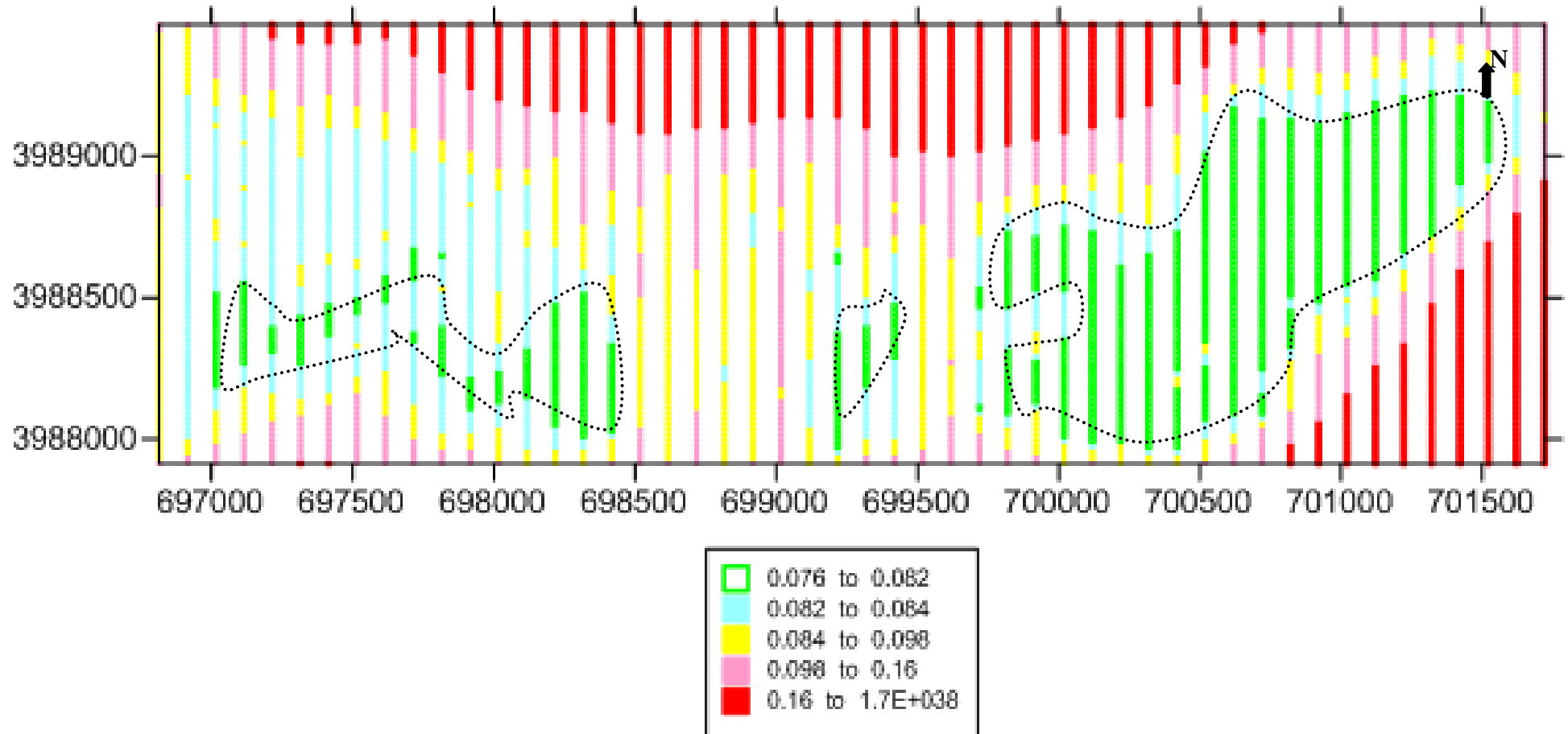


Fig.70– Carte des classes de variance de krigeage de Zn (%) par maille de 100x20 m² -Secteur Dj.Zdim (Sétif).

**PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE,
ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE**

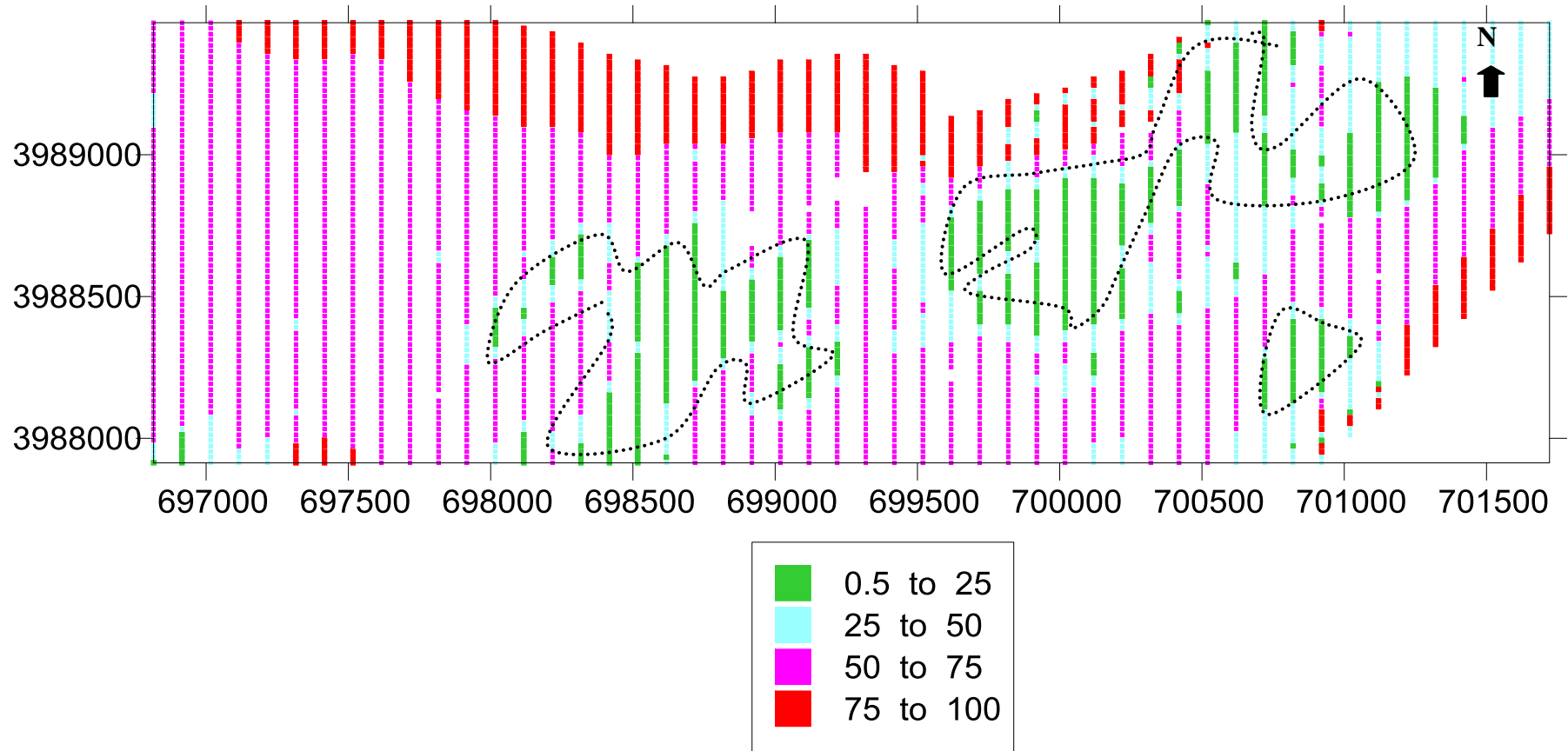


Fig.71-Carte des classes des erreurs relatives sur les teneurs krigées de Zn (%poids)-Secteur Dj.Zdim (Sétif).

$$E_r R = \left(tc * \frac{\sqrt{\sigma^2_{est}}}{T_{moy}} \right) * 100$$

- Où **tc** : est l'inverse de Gauss pour un niveau de confiance donné (un niveau de confiance 95% tc = 2.)

$\sqrt{\sigma^2_{est}}$: La variance

Tmoy : teneur moyenne

**PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE,
ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE**

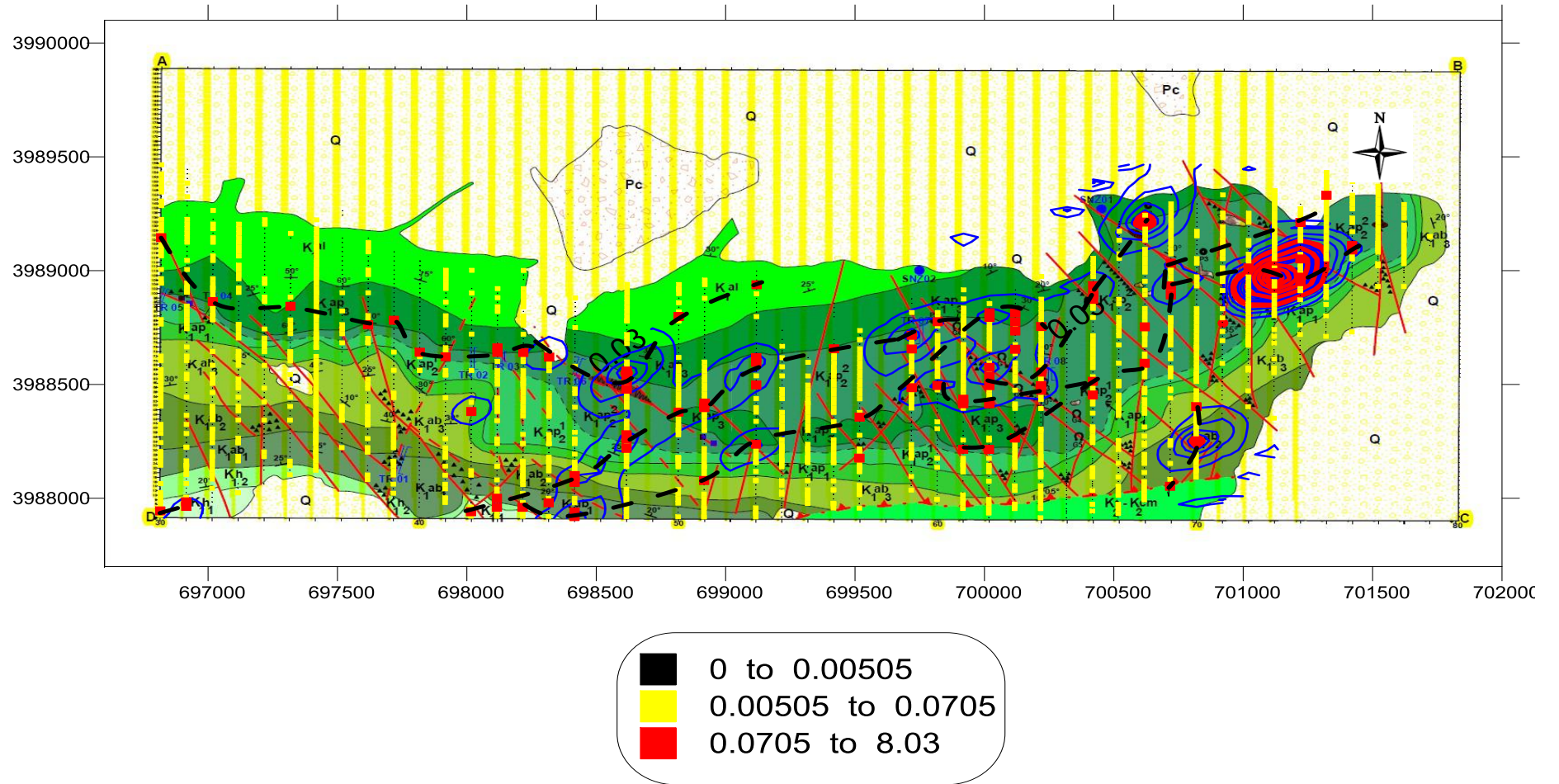


Fig .72- Carte géologique avec plan d'échantillonnage et localisation des anomalies en Zn à Dj.Zdimm(Sétif)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE



III. 2. 3.- Conclusions et recommandations

Les études faites par les différents géologues montrent que la minéralisation est constituée essentiellement de minéraux d'oxydes de zinc – Smithsonite et calamine. Cette dernière a été confirmée par notre étude pétro-minéralogiques des lames et des sections polies confectionnées.

L'analyse statistique des données sur les quatre éléments Pb, Zn, Cu et Ag de Dj. Zdimm a été effectuée en se basant sur trois méthodes statistiques : Statistique monovariée, bivariée et multivariée.

Le traitement monovarié a permis de discriminer les échantillons en sous classes dont celle des valeurs significativement anormales. Il en ressort que pour les éléments Zn, Pb et Ag, le début de leurs teneurs significativement anormales sont **0.07%**, **0.04%** et **2.5g/t**. Le traitement multivarié (ACP) des fonctions indicatrices des données lithogéochimiques dans Dj. Zdimm a permis la détermination de deux associations chimiques. La première association composée de Zn1, Pb1, Cu1, Cu2, Ag1, Ag2 et Ag3 corrélée négativement au facteur F1. La deuxième association composée de Pb3, Zn3, Zn2, Pb2 corrélé positivement au facteur F1. La première correspond au fond géochimique tandis que la deuxième correspond à la minéralisation à Zn/Pb. Le principal métal recherché dans le secteur de Dj. Zdimm est Zn d'où son étude géostatistique. Les résultats d'ajustement des variogrammes directionnels du Zn montrent l'existence d'une anisotropie géométrique avec un grand axe de direction N45°E et une portée de 600m. Le coefficient d'anisotropie est de 0.45. Le fort effet de pépite $C_0/C=1.14$ montre qu'il y a une forte variabilité locale qui confirme la présence d'anomalies géochimiques. La cartographie automatique a montré que les anomalies mises en évidence à l'aide de méthodes statistiques et géostatistiques, sont alignées et allongées suivant la direction N45 qui est celle du grand axe mais aussi celle des couches sédimentaires. Ce résultat vient conforter l'hypothèse de concordance de la minéralisation polymétallique. Il est donc recommandé que les profils de prospection des minéralisations type Zdimm doivent être perpendiculaires à la direction du grand axe d'anisotropie (N45°) au lieu d'une direction N90° choisies précédemment.

II.3. – SECTEUR KHERZET YOUSSEF

II.3.1.- Statistique du secteur minier de Kherzet Youssef

II.3.1.1.-Statistiques élémentaires

Les paramètres statistiques des deux éléments chimiques Zn et Pb ont été calculés sur un nombre de 847 échantillons (Tableau. 39).

Tableau. 39- Paramètres statistiques de l'ensemble des données du secteur Kherzet Youssef

	Zn (ppm)	Pb (ppm)
N. d'éch	847	714
Min	5	5
Max	1500	500
Moy	73.42	34.32
E-type	125.94	46.40
Coeff. Variation	171.53	135.17

III.3.1.2.- Traitement statistique bivariée

Le coefficient de corrélation simple entre 02 variables Zn et Pb ρ ; il est égal au rapport de la covariance de Zn et Pb, sur le produit de leurs écart types σ_{Zn} et σ_{Pb} .

$$\rho_{ZnPb} = \frac{\text{cov}(ZnPb)}{\sigma_{Zn} \cdot \sigma_{Pb}} = \frac{M (Zn*Pb) - (M Zn *M Pb)}{\sigma_{Zn} \cdot \sigma_{Pb}}$$

$$\rho_{ZnPb} = \frac{996.60}{125.94 * 46.40} = 0.17$$

Le coefficient de corrélation montre une corrélation positive entre Zn et Pb

La signification du coefficient de corrélation $Cs = 2/\sqrt{847-1} = 0.07$ $-0.07 \leq Cs \leq 0.07$

III.3.1.3.- Traitement statistique monovariée

La classification monvariée a montré que les teneurs des deux éléments chimiques Zn et se subdivisent en deux (02) sous-populations (Tableau. 40).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Tableau. 40- Paramètres statistiques de la classification monovariée de l'ensemble des données du secteur de Kherzet Youssef

	Nombre d'éch	% d'éch	Min	Max	Moy	E.Type	Coef. variation
Zn1 (ppm)	792	93.64	5	265	74.64	55.12	71.92
Zn2 (ppm)	54	6.39	265	1500	469.85	221.04	47.04
Pb1 (ppm)	703	98.57	5	235	44.23	48.60	109.88
Pb2 (ppm)	10	1.42	235	500	325.37	44.46	13.66

- Zinc (Zn)

Les données de **Zn** ont été discriminées en deux sous populations. La première sous population est formée des teneurs inférieures à **265 ppm** elle représente **93.64%** de l'ensemble des données. Elle représente la classe de faible teneurs en **Zn** fond géochimique. La deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **265ppm** elle représente **6.39%**. Cette classe représente la classe anormale avec des valeurs élevées en **Zn**.

- Plomb (Pb)

Les données de **Pb** ont été discriminées en deux sous populations. La première sous population est formée des teneurs inférieures à **235 ppm** elle représente **98.57%** de l'ensemble des données. Elle représente la classe de faible teneurs en **Pb**- fond géochimique. La deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **235ppm** elle représente **1.42%**. Cette classe représente la classe anormale avec des valeurs élevées en **Pb**.

a.-Localisation des zones anormales

D'après les deux plans d'échantillonnages (Figs. 73 et 74), la classe anormale est localisée dans la partie Ouest du secteur minier de Kherzet Youssef soit pour le Pb soit pour le Zn. La grande dispersion du Zn est due à sa mobilité car le zinc est considéré comme un métal facilement soluble par rapport aux autres métaux dans le sol par contre le plomb est lié aux phases solide du sol par adsorption, précipitation est formations des complexe ionique.ces interactions contribuent à la faible mobilité de cet élément par rapport par rapport aux autres minéraux, les concentrations faible de ce métal confirme cette hypothèse. En effet Zn est le meilleur indicateur est plus migratoire, il a causé des zones anormales plus étendue. Cependant, le Pb a cause de sa faible dissolubilité donne des petites zones anormales indiquant ainsi mieux les centres des anomalies partie est du secteur de Kherzet Youssef. Les valeurs

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

anomales représentées en rouge sont concentrées au SW de la mine de Kherzet Youssef à proximité de la faille de Kherzet Youssef dans sa partie Ouest et la couche encaissante de la minéralisation est les dolomies du Barrémien.

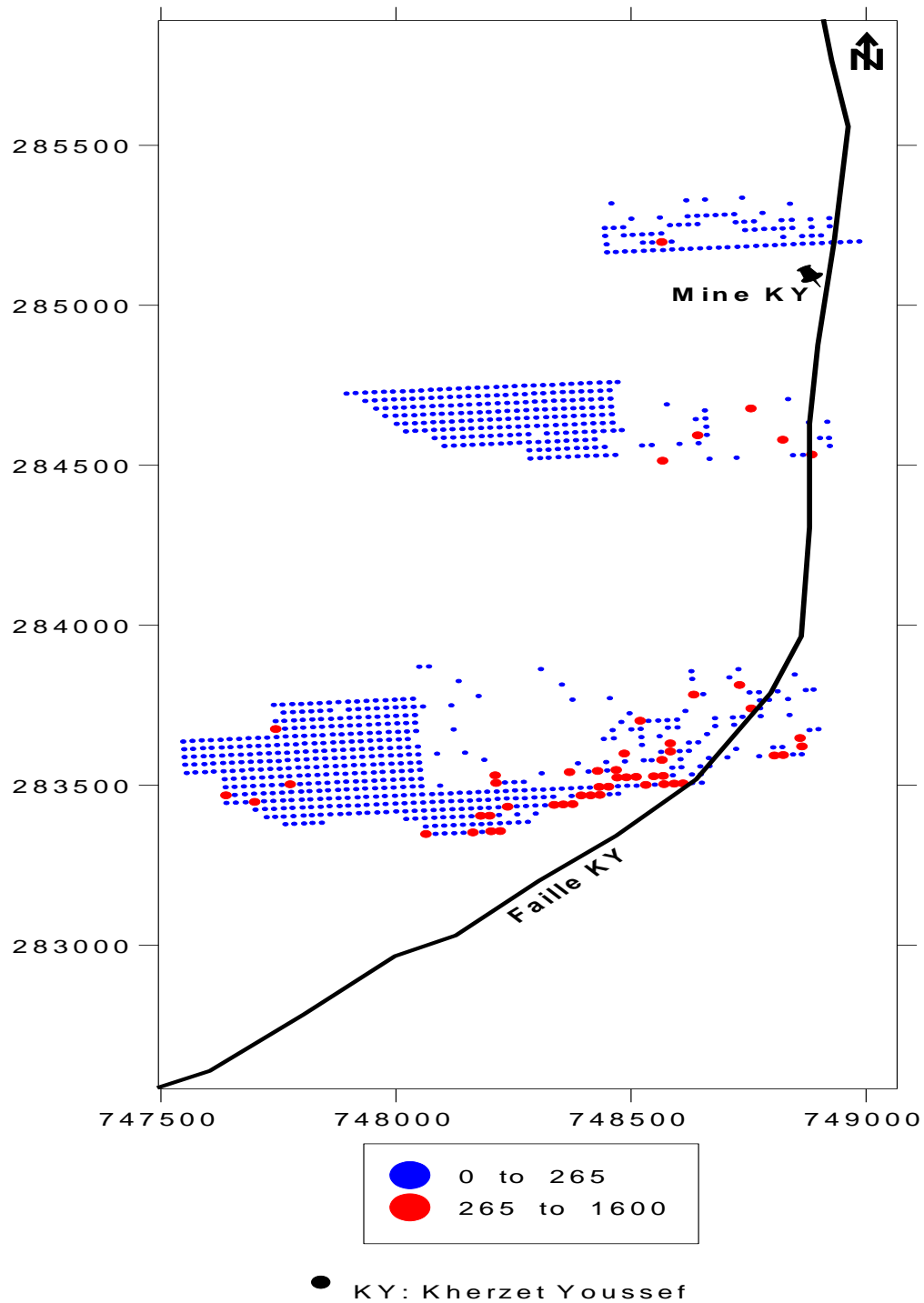


Fig.73-Plans d'échantillonnages lithogéochimiques de Zn dans le secteur de Kherzet Youssef

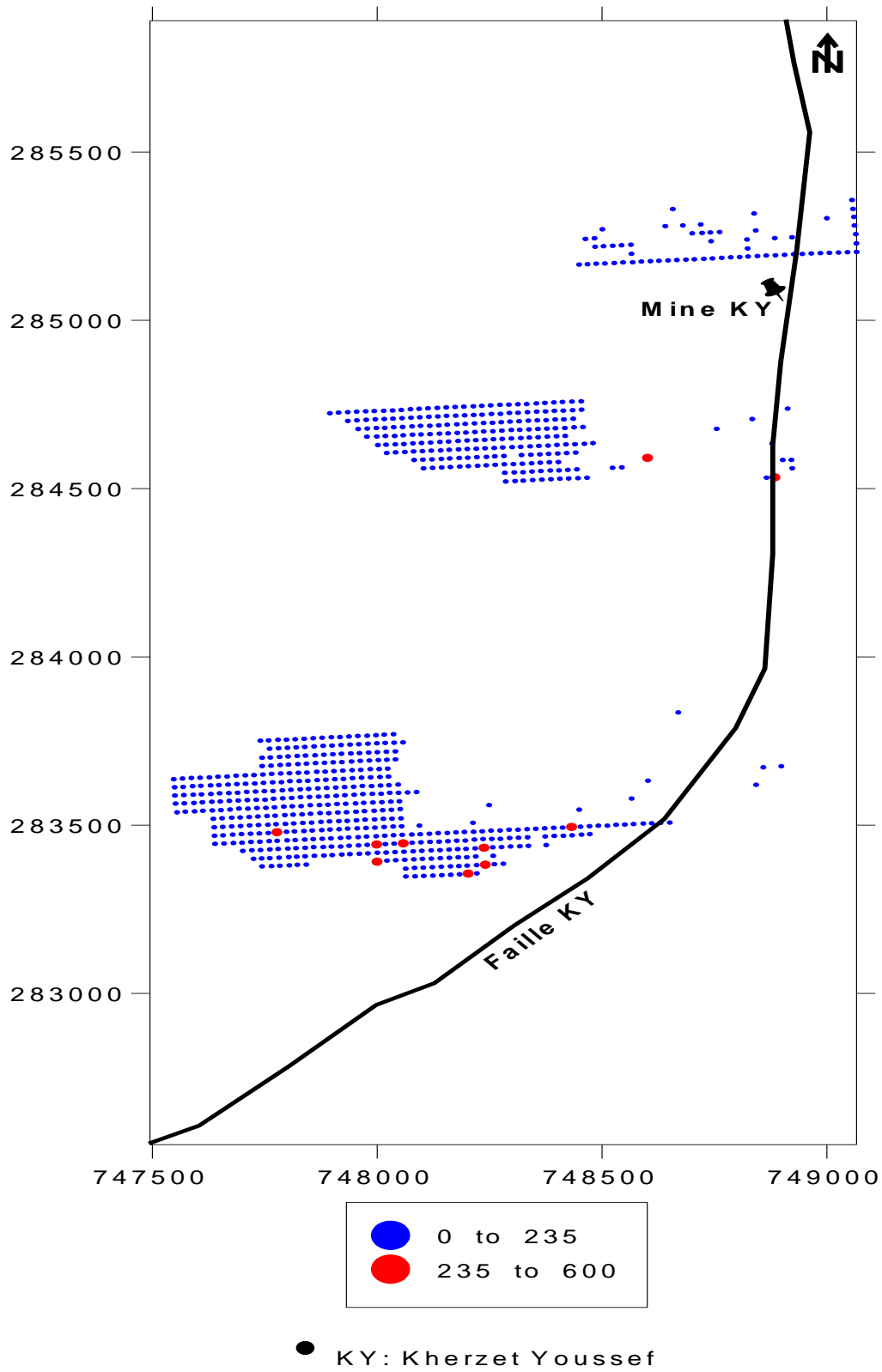


Fig.74-Plans d'échantillonnages lithogéochimiques de Pb dans le secteur de Kherzet Youssef

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

III.3.1.4.-Traitement statistique multivariee-Analyse En Composante Principale (ACP)

La matrice de corrélation linéaire simple (Tableau.41) a été calculée pour les sous populations composantes. Elle a permis de démontrer que le Zn1 est corrélé positivement à Zn2, et que Zn2 est corrélé positivement à Pb2. Les facteurs de charges ont été calculés à partir de cette matrice de corrélation. Les facteurs de charge (Tableau.42) ont été calculés et les cercles de corrélations ont été tracés (Fig.75).

Tableau.41– Matrice de corrélation des sous populations composantes du secteur de Kherzet Youssef

	Zn1	Zn2	Pb1	Pb2
Zn1	1.00			
Zn2	0.20	1.00		
Pb1	-0.48	0.01	1.00	
Pb2	-0.85	0.59	0.01	1.00

$$C_s = 2 / \sqrt{N-1} \quad 2 / \sqrt{846} = 0.20$$

$$-0.20 \leq C_s \leq 0.20$$

Tableau .42- Les facteurs de charge de l'ensemble des données du secteur de Kherzet Youssef

	F1 (50.94%)	F2 (33.80%)	F3 (20.42%)
Zn1	-0.90	-0.44	0.27
Zn2	0.37	-0.83	0.45
Pb1	0.42	0.59	0.70
Pb2	0.95	-0.35	-0.23
Valeurs.propres	2.04	1.35	0.82

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 84,70 % (F1= 50.90 %, F2 = 33.80%) (Fig.75) montrent la présence d'une seule association chimique composée de Zn2, Zn1 et Pb2 qui représente la minéralisation polymétallique corrélée positivement au F1(50.90%).

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

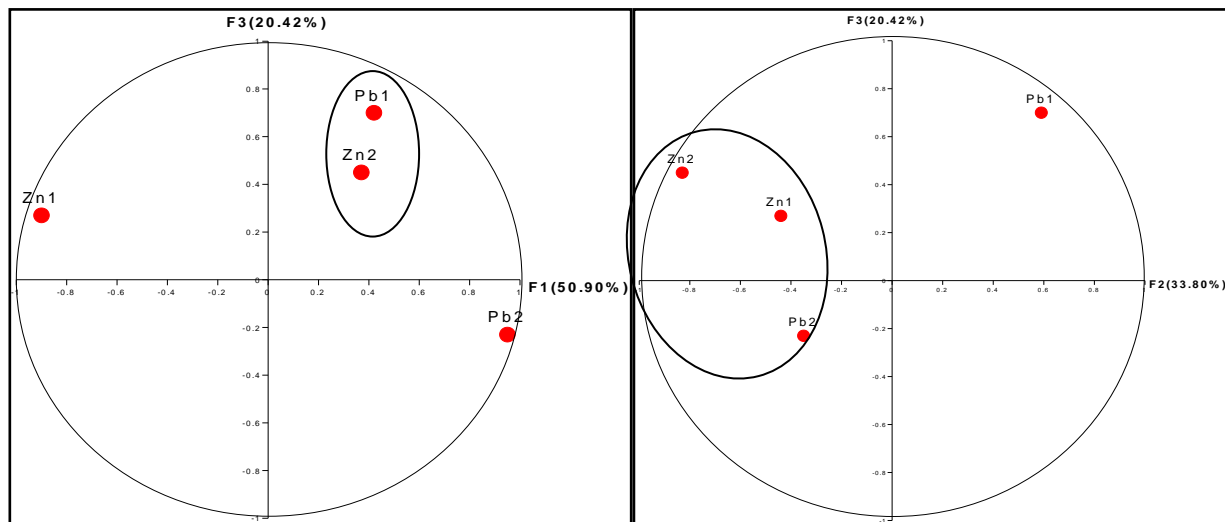


Fig.75-Cercles de corrélation de l'ensemble des données du secteur de Kherzet Youssef

D'après les résultats de traitement des données géochimiques Zn1, pb1 ne sont pas initialement mises ensembles et que la minéralisation en Zn/Pb et de nature épigénitique confirmée par l'association de classe anormale de Zn avec celle du fond géochimique du Zn et la classe anormale de Pb.

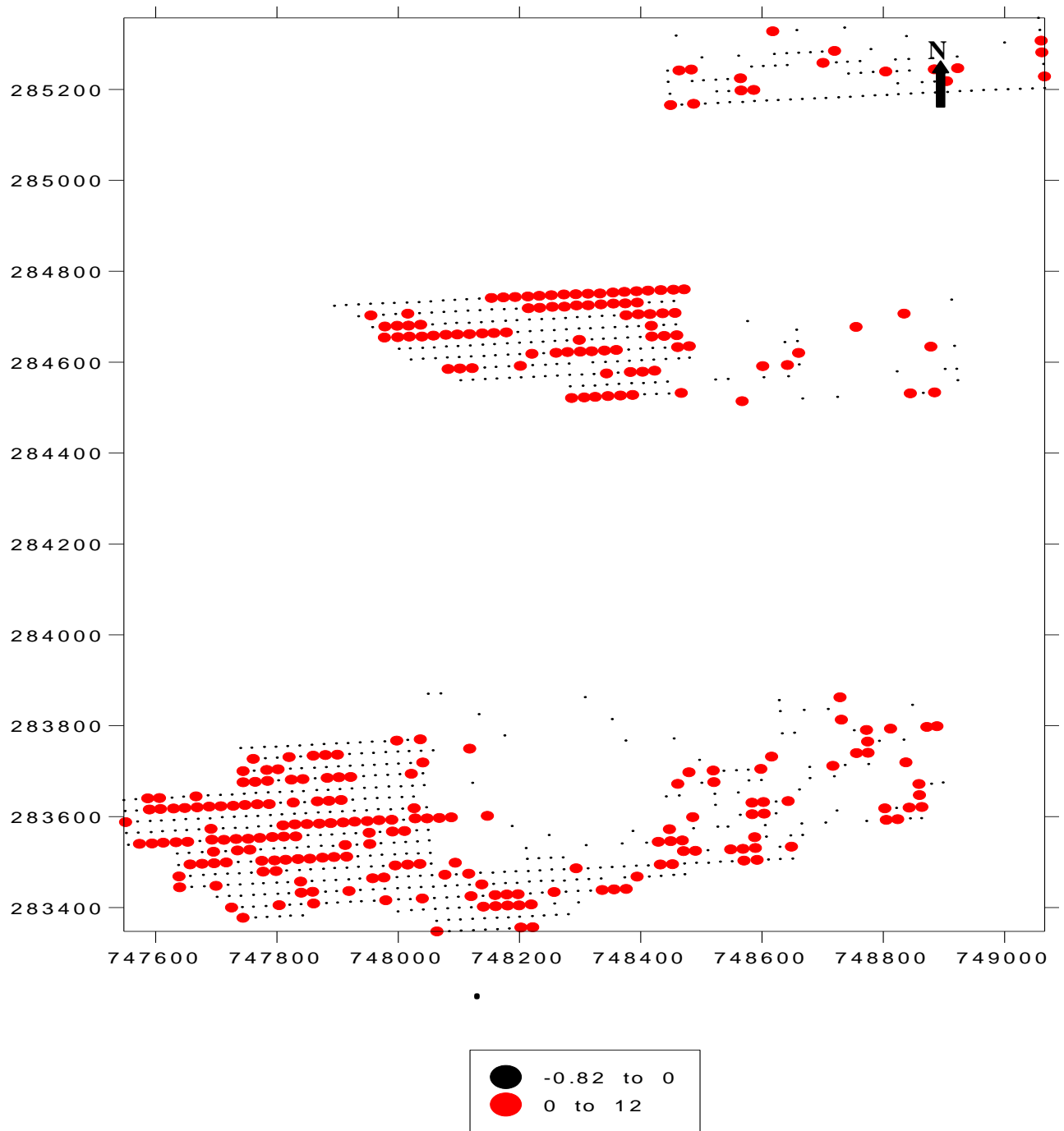
- **Paramètre statistique du facteur F1**

Un traitement statistique et une cartographie de l'ensemble des valeurs facteurs scores F1 ont été effectués (Tableau. 43) (Fig.76).

Tableau.43- Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP de l'ensemble des données du secteur Kherzet Youssef)

Éléments	Nombre De données	Valeurs facteurs scores F1			S	Cv (%)
		Moyenne	Minimum	Maximum		
F1	870	-0.042	-0.82	11.44	1.05	-2538.37

La cartographie des facteurs F1 a permis de localiser les anomalies multi-élémentaires composées de Zn2, Zn1 et Pb2 (Fig.76).



● Association composée de Zn2, Zn1 et Pb2

Fig. 76– Carte des valeurs des facteurs scores F1 de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant une association multi-élémentaires dans le secteur de Kherzet Youssef

III.3.2.- Géostatistique des données lithogéochimiques de surface du secteur de Kherzet Youssef

III.3.2.1.- Variographie de Zn

Le variogramme de surface ainsi que les variogrammes omnidirectionnels et directionnels expérimentaux des teneurs en Zn ont été calculés dans les différentes directions: 0°, 45°, 90° et 135°. Les graphs de variogrammes ont été tracés (Fig 77, 78 et 79) et ajustés.

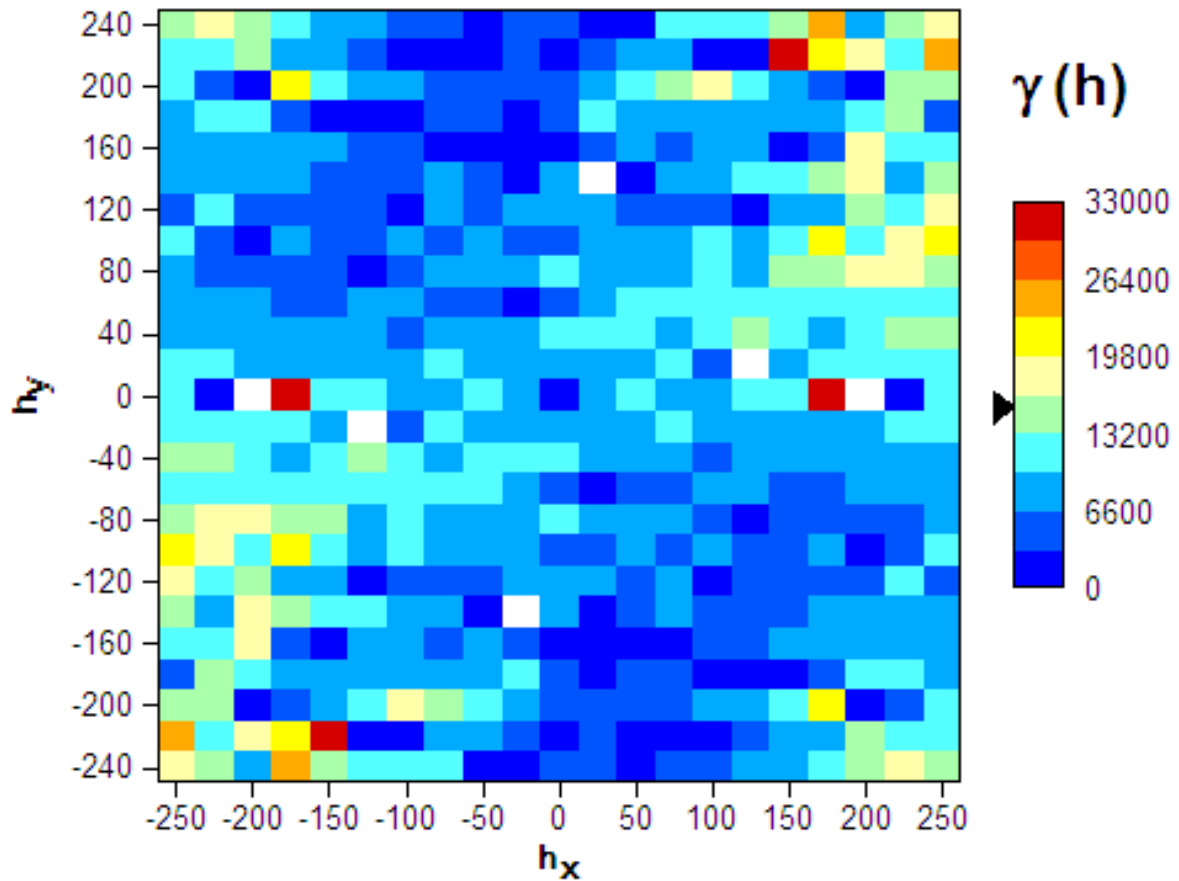


Fig. 77-Variogramme de surface de Zn - secteur de Kherzet Youssef-

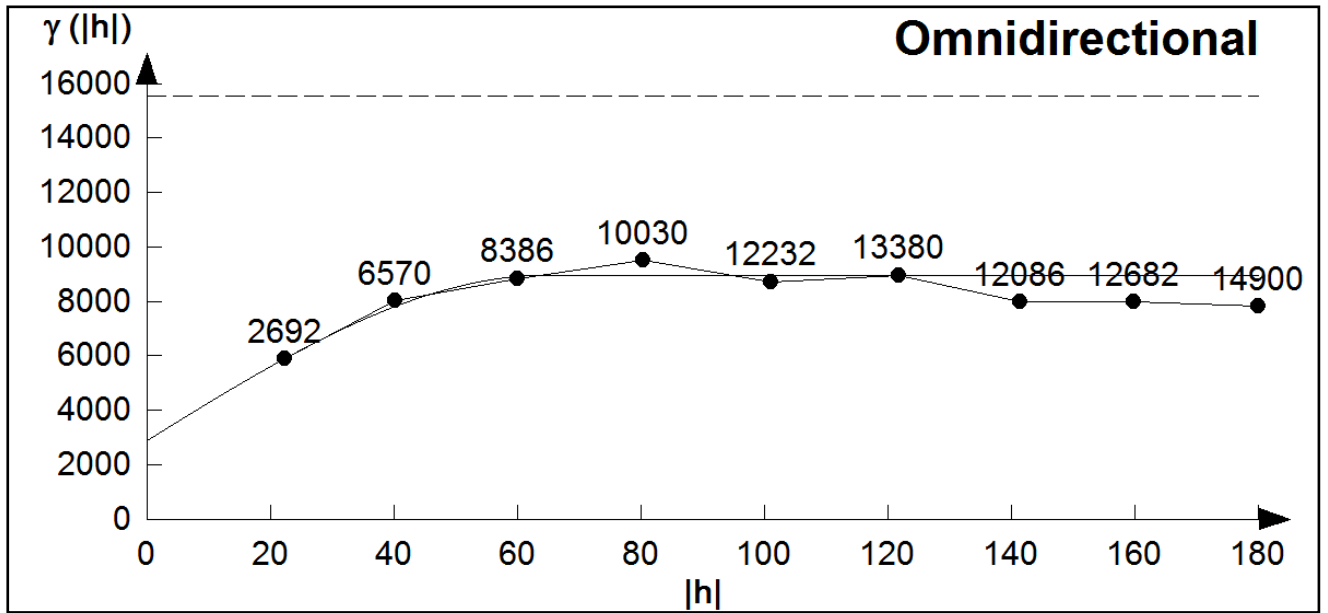


Fig. 78-Variogramme omnidirectionnel de Zn du secteur de Kherzet Youssef

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

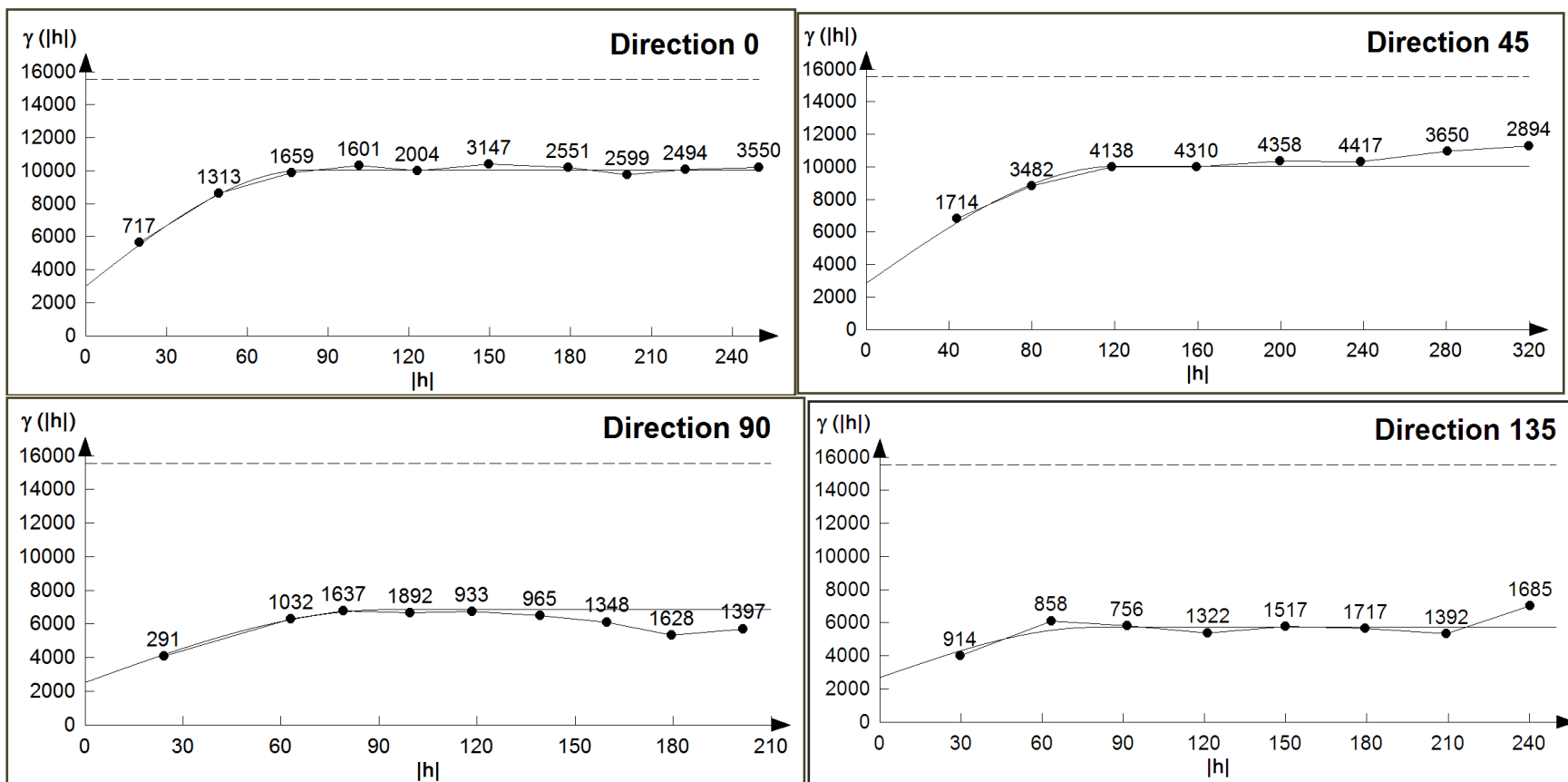


Fig.79-Variogrammes directionnels de Zn du secteur de Kherzet Youssef avec leurs ajustement

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

Les résultats d'ajustement des variogrammes directionnels (Tableau. 44) montrent l'existence d'une anisotropie zonale (paliers et portées différents) dont le grand axe d'anisotropie est orienté vers 45° avec une portée de 121.60m tandis que le petit axe est orienté vers 135 avec une portée de 80m (Fig.79). Donc la principale structure géologique est orientée suivant la direction N45°, pour cela les profils de prospection du secteur de Kherzet Youssef auraient dû être perpendiculaires à la direction du grand axe d'anisotropie c.a.d dans la direction 135° au lieu 0° EW choisis précédemment (Fig.80). Dans les différents variogrammes l'effet de pépite est faible par rapport au palier indiquant que les données de la méthode analytique (ditisonique) utilisées sont fiables.

Tableau. 44- Paramètre d'ajustement des variogrammes du Zn

Direction	Model	Effet de pépite C_0 (ppm)²	Palier C (ppm)²	Portée A (m)	C_0/C
Omni	Sphérique	2920	6080	64.80	0.54
0°	Sphérique	3040	7040	82.50	0.43
45°	Sphérique	2880	7200	121.60	0.40
90°	Sphérique	2560	4320	92.40	0.59
135°	Sphérique	2720	3040	80.00	0.84

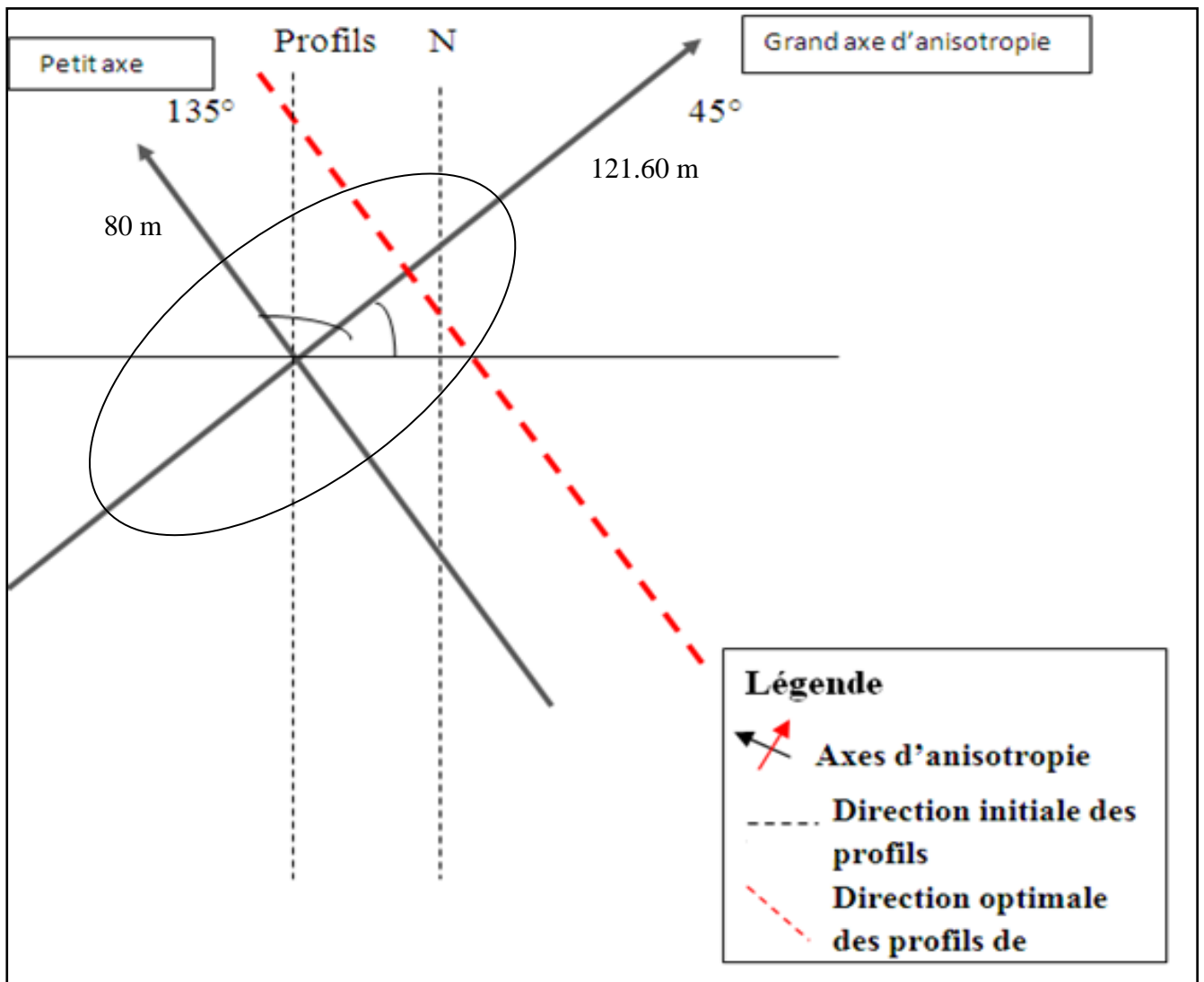


Fig.80- Position des axes d'anisotropie (45° et 135°) et des profils de prospection dans le secteur de Kherzet Youssef

III.3.2.2.-Krigage ordinaire et cartographie

a.- Krigage de Zn

Ce krigage à été établie à l'aide du logiciel Surfer8, on utilisant le modèle d'ajustement suivant : $C0=2720 \text{ (ppm)}^2$, $A= 80\text{m}$ et $C= 3040\text{(ppm)}^2$. Il a été effectué avec une maille (bloc) de $20\text{m}\times 25\text{m}^2$. La carte des valeurs krigées (Fig.81) a révélé une importante anomalie géochimique (a) sur la grande faille de Kherzet Youssef.

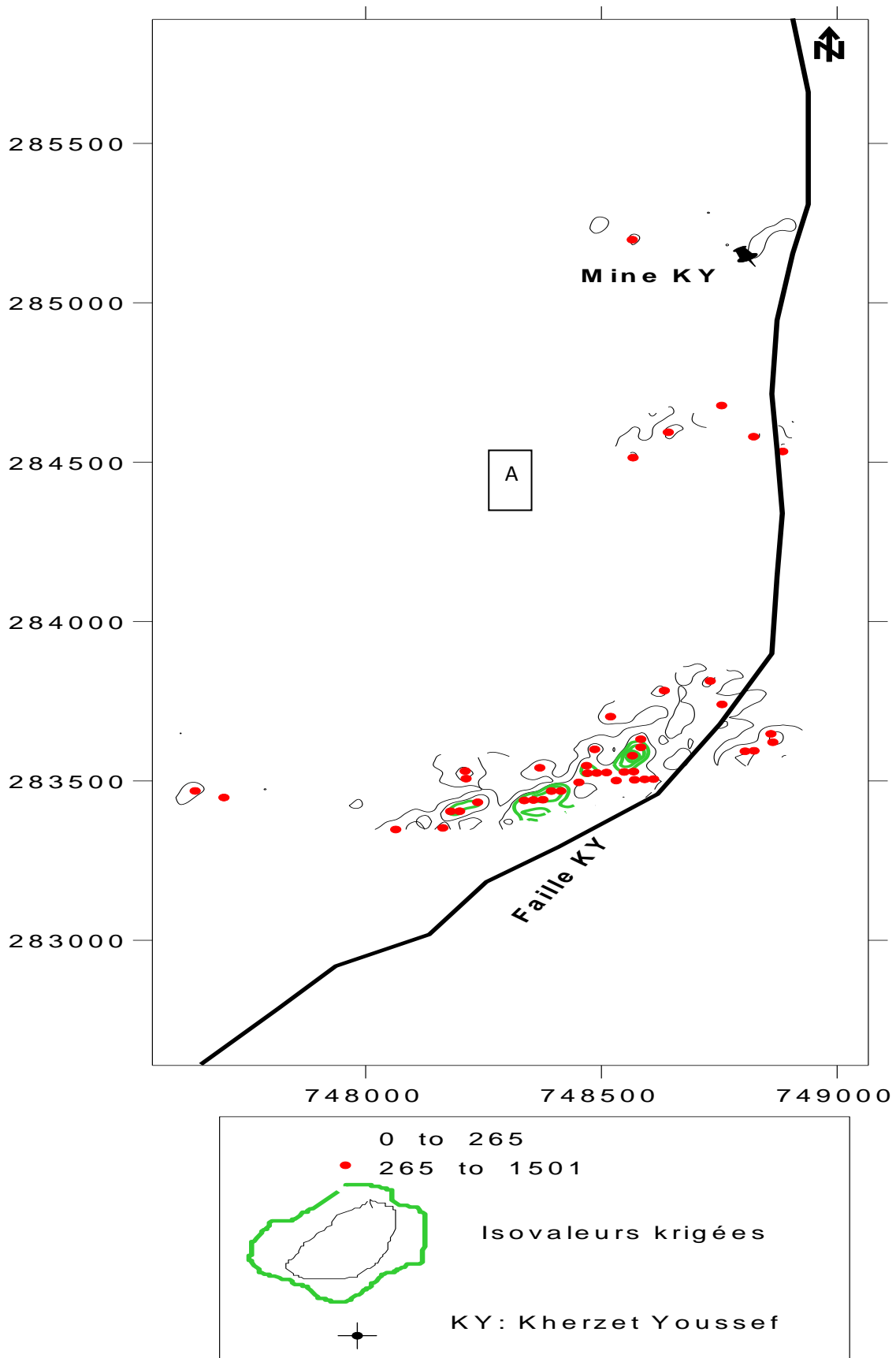


Fig. 81- Carte des isovaleurs krigées de Zn (%)

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

III.3.3.- Conclusion

Le traitement des données lithogéochimiques de surface montre que pour les éléments **Zn** et **Pb** les débuts de leurs teneurs significativement anormales sont respectivement de **265ppm** et **235ppm**. La sous-population anormale qui représente la minéralisation en **Zn** et **Pb** est localisée dans la partie Ouest de la mine de Kherzet Youssef.

L'étude géostatistique faite sur les données lithogéochimiques de l'élément **Zn** montre l'existence d'une anisotropie zonale avec paliers et portées différents dont le grand axe d'anisotropie est orienté vers **45°** avec une portée de **121.60m** tandis que le petit axe est orienté vers **135°** avec une portée de **80m**. Dans les différents variogrammes, l'effet de pépité est faible par rapport au palier indiquant que les données de la méthode analytique (ditisonique) utilisées sont fiables. La cartographie automatique ordinaire par krigeage ordinaire a révélé une importante anomalie géochimique sur la grande faille de Kherzet Youssef.

Recommandation : D'après les résultats de la variographie les profils de prospection du secteur de Kherzet Youssef auraient dû être perpendiculaires à la direction du grand axe d'anisotropie c.a.d dans la direction **135°** au lieu **0° EW** choisie précédemment.

III.4. – SECTEUR AIN KAHLA

III.4.1.-Statistique du secteur minier d'Ain Kahla

III.4.1.1.-Traitement Statistique élémentaire

Les paramètres statistiques des deux éléments chimiques **Zn** et **Pb** ont été calculés sur un nombre de 220 échantillons (Tableau.45).

Tableau .45-Paramètres statistiques des données lithogéochimiques du secteur d'Ain Kahla

	Zn (ppm)	Pb (ppm)
N. d'éch	220	218
Min	25	25
Max	1000	400
Moy	93.73	37.09
E-type	178.81	46.89
Coef. Variation	190.78	126.44

III.4.1.2.-Traitement statistique bivariée

Le coefficient de corrélation linéaire (ρ) entre les deux variables Zn et Pb a été calculé, il est égal à 0.34 montrant une corrélation positive entre ces deux variables.

$$\rho_{ZnPb} = \frac{\text{cov}(ZnPb)}{\sigma_{Zn} \cdot \sigma_{Pb}}$$

$$\rho_{ZnPb} = \frac{2905.7}{178.81 \cdot 46.89} = 0.34$$

$$\rho_{ZnPb} = \frac{\text{cov}(ZnPb)}{\sigma_{Zn} \cdot \sigma_{Pb}} = \frac{M(Zn \cdot Pb) - (M Zn \cdot M Pb)}{\sigma_{Zn} \cdot \sigma_{Pb}}$$

La signification du coefficient de corrélation $C_s = 2/\sqrt{220-1} = 0.07$ $-0.18 \leq C_s \leq +0.18$

III.4.1.3.-Traitement statistique monvariée

Le traitement statistique monvariée sur 230 données géochimiques a montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en deux (02) sous-populations (Tableau. 46).

Tableau.46- Paramètres statistiques des sous-populations des données lithogéochimique du secteur d'Ain Kahla

	Nombre d'éch	% d'éch	Min	Max	Moy	E.Type	Coef. variation
Zn1 (ppm)	206	93.60	25	260	21.34	77.49	363.12
Zn2 (ppm)	14	6.39	260	1000	448.20	118.24	26.38
Pb1 (ppm)	187	85.77	25	27.5	22.98	0.87	3.78
Pb2 (ppm)	31	14.23	27.5	400	106.92	66.40	62.10

- Zinc (Zn)

Les données de **Zn** ont été discriminées en deux sous populations (Fig.82). La première sous population est formée des teneurs inférieures à **260 ppm** elle représente **93.60%** de l'ensemble des données. Elle représente la classe de faible teneurs en **Zn** fond géochimique. La deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **260 ppm** elle représente **6.39%**. Cette classe représente la classe anormale avec des valeurs élevées en **Zn**.

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

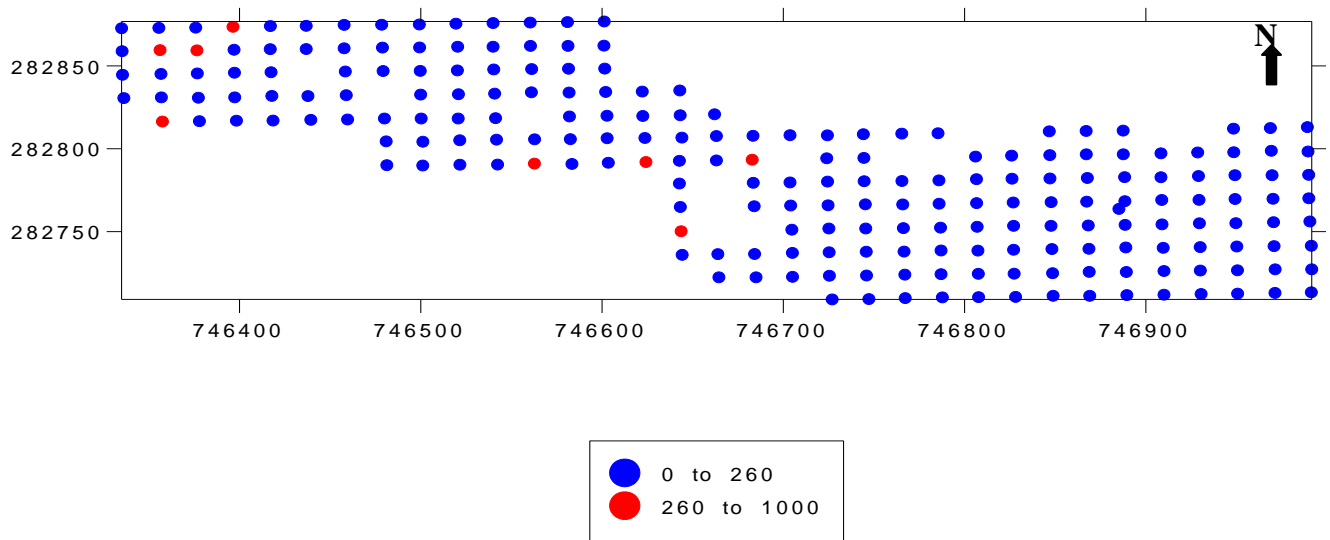


Fig.82- Plan d'échantillonnage Zn

- Plomb (Pb)

Les données de **Pb** ont été discriminées en deux sous populations (Fig.83). La première sous population est formée des teneurs inférieures à **27.5 ppm** elle représente **85.77%** de l'ensemble des données. Elle représente la classe de faibles teneurs en **Pb**- fond géochimique. La deuxième sous-population est composée des teneurs supérieures à **27.5ppm** elle représente **14.23 %**. Cette classe représente la classe anormale avec des valeurs élevées en **Pb**.

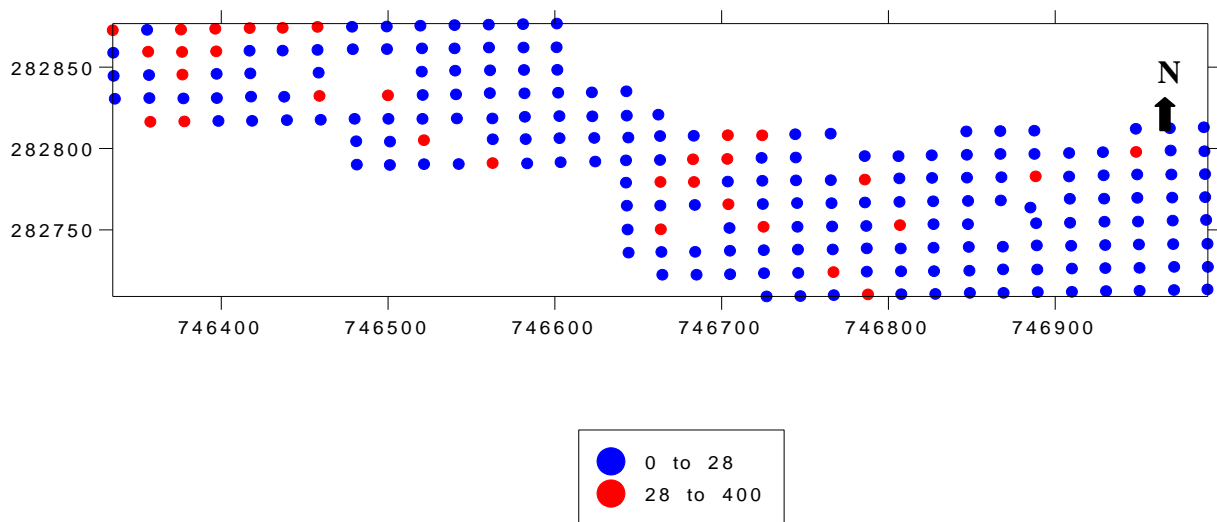


Fig.83- Plan d'échantillonnage Pb

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

III.4.1.4.-Traitement statistique multivariee-Analyse En Composante Principale (ACP)

La matrice de corrélation linéaire simple (Tableau.47) a permis de démontrer que le Zn1 est corrélé négativement à Zn2, et Pb2. Zn2 est corrélé positivement à Pb2. Les facteurs de charges ont été calculés à partir de cette matrice de corrélation (Tableau. 48). Les cercles de corrélations ont été tracés (Fig.84).

Tableau.47– Matrice de corrélation des sous populations composantes du secteur d'Ain Kahla

	Zn1	Zn2	Pb1	Pb2
Zn1	1.00	-0.58	0.00	-0.18
Zn2	-0.58	1.00	0.00	0.36
Pb1	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb2	-0.18	0.36	0.00	1.00

$$Cs=2/\sqrt{219}= 0.13$$

$$-0.13 \leq Cs \leq 0.13$$

Tableau.48 Les facteurs de charge de l'ensemble des données du secteur d'Ain Kahla

	F1 (59,21%)	F2 (27,96%)	F3 (12,83)%
Zn1	-0,8	-0,46	0,39
Zn2	0,88	0,12	0,46
Pb1	0,00	0,00	0,00
Pb2	0,6	-0,78	-0,16

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 87.17% (F1= 59.21 %, F2 = 27.96%) (Fig.84) montrent la présence d'une seule association chimique composée de Zn2 et Pb2

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

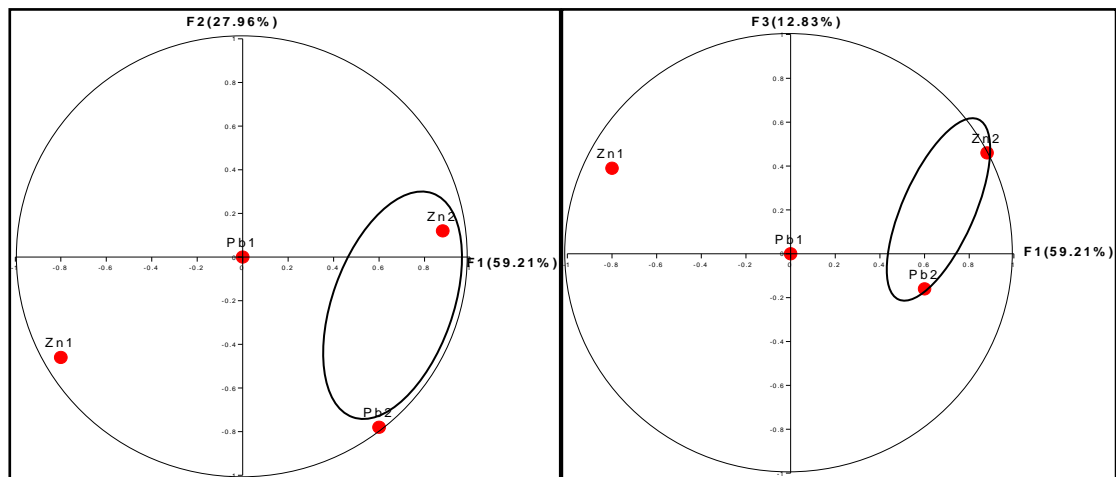


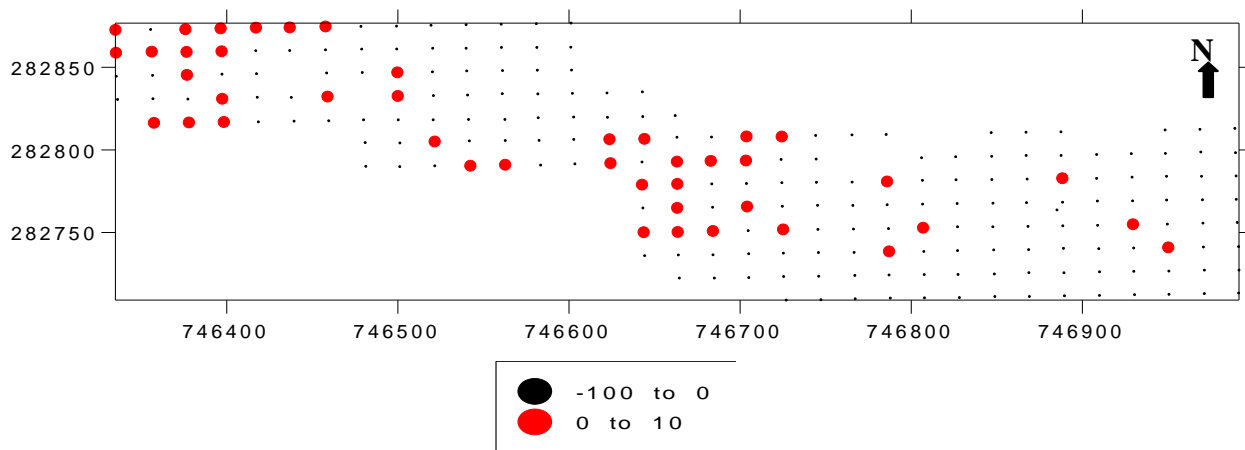
Fig.84-Cercles de corrélation de l'ensemble des données du secteur d'Ain Kahla

- **Paramètre statistique du facteur F1**

L'ensemble des valeurs des facteurs scores F1 ont subi un traitement statistique (Tableau. 49) et une cartographie qui a permis de localiser les anomalies multi-élémentaires composées de Zn2 et Pb2 (Fig. 85)

Tableau. 49- Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP de l'ensemble des données du secteur d'Ain Kahla)

Éléments	Nombre De données	Valeurs facteurs scores			S	Cv (%)
		Moyenne	Minimum	Maximum		
F1	222	-1.77	-0.84	9.33	1.19	-6694.20



- Association composée de Zn2 et Pb2

Fig. 85– Carte des valeurs des facteurs scores F1 de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant une association multiélémentaires dans le secteur Ain Kahla

III.4.2. –Géostatistique des données lithogéochimiques de surface du secteur d’Ain Kahla

III.4.2.1.- Variographie de Zn

Le variogramme de surface (Fig.86) ainsi que Les variogrammes omnidirectionnels et directionnels expérimentaux des teneurs en Zn ont été calculés dans les différentes directions: 0°, 45°, 90° et 135°. Les graphs de variogrammes ont été tracés (Figs 87et 88) et ajustés. Les résultats d’ajustement des variogrammes directionnels (Tableau. 50) montrent l’existence d’une anisotropie géométrique (même paliers et portées différents) dont le grand axe d’anisotropie est orienté vers 0° tandis que le petit axe est orienté vers 90°. Dans les différents variogrammes l’effet de pépite est faible par rapport au palier indiquant que les données la méthode analytique (ditisonique) utilisées sont fiables.

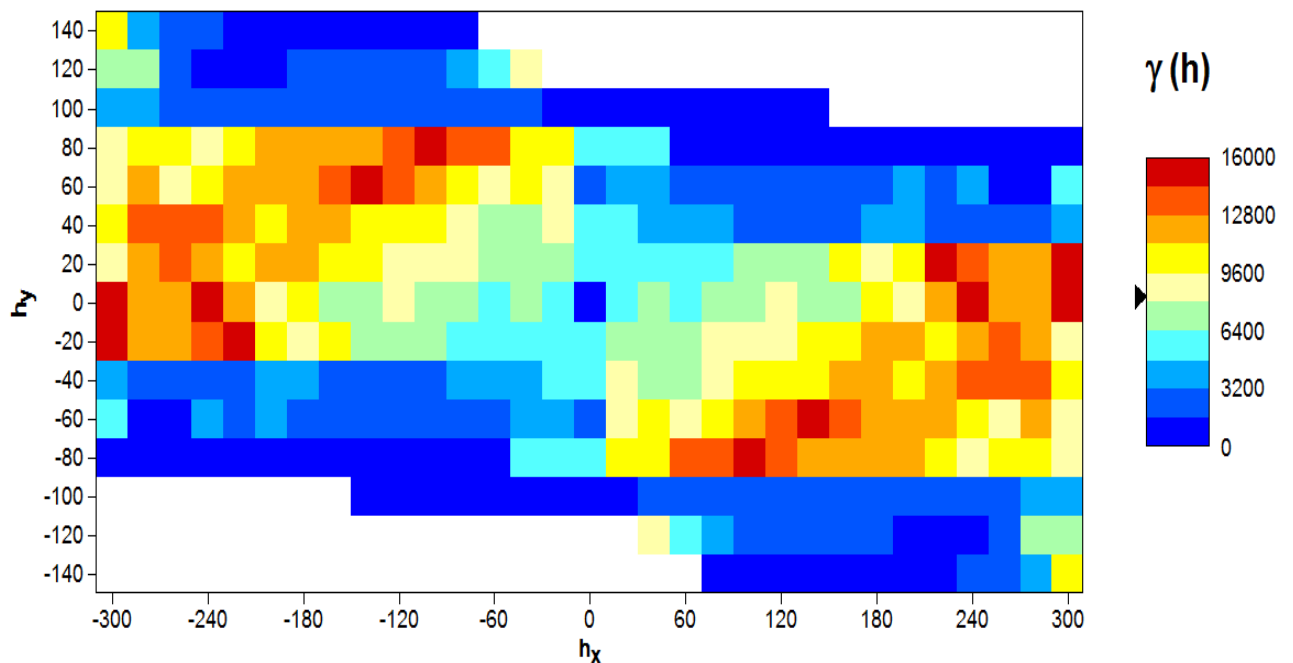


Fig.86- Variogramme de surface de Zn du secteur d’Ain Kahla

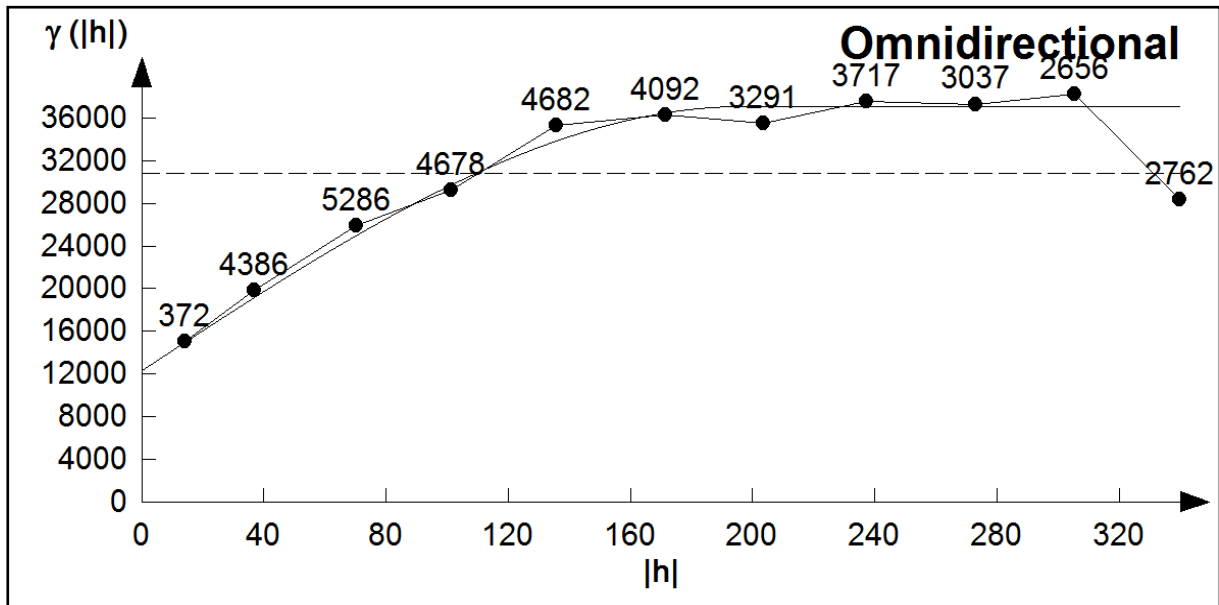


Fig.87- Variogramme omnidirectionnel de Zn du secteur d'Ain Kahla

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

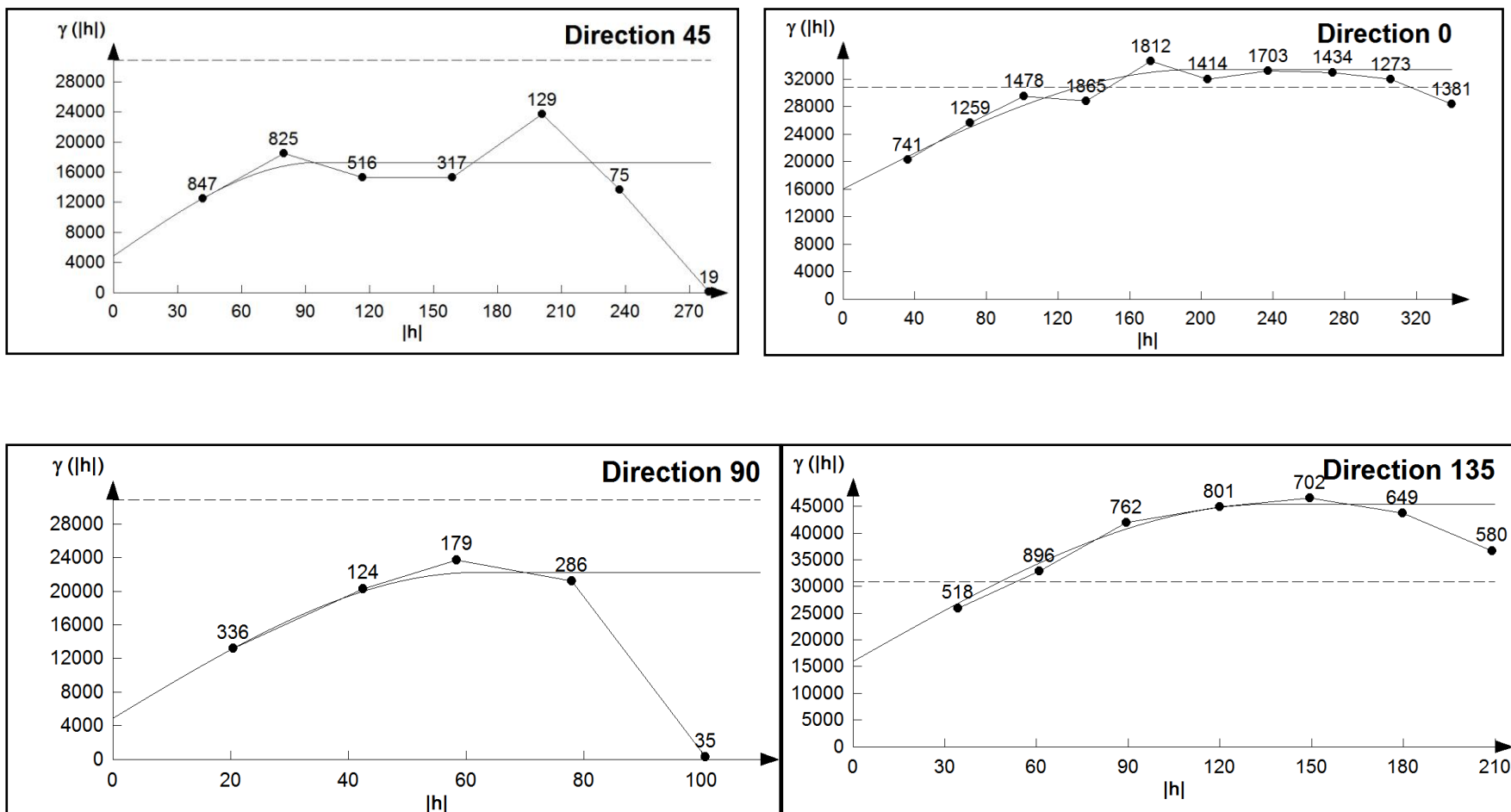


Fig.88- Variogrammes directionnels de Zn du secteur d'Ain Kahla avec leurs ajustements

Tableau. 50- Paramètre d'ajustement des variogrammes du Zn

Direction	Model	Effet de pépite C₀ (ppm)²	Palier C (ppm)²	Portée A (m)	C₀/C
Omni	Sphérique	10619.60	30070.00	200.59	0.35
0°	Sphérique	16120.00	17360.00	197.16	0.93
45°	Sphérique	4960.00	12400.00	95.20	0.40
90°	Sphérique	4960.00	17360.00	61.59	0.29
135°	Sphérique	16430.00	29450.00	136.49	0.56

III.4.2.2.-Krigage ordinaire et cartographie

a. - Krigage de Zn

Ce krigage à été établie avec les paramètres d'ajustement suivante : C₀=4960 (ppm)² , A= 61.59m et C= 17360(ppm)². Il a été effectué avec une maille (bloc) de 20mX20m². La carte des valeurs krigées a révélé une importante anomalie géochimique (A), suivie par deux autres anomalies (B et C). Ces deux anomalies sont alignées suivant la direction 0° EW (Fig .89).

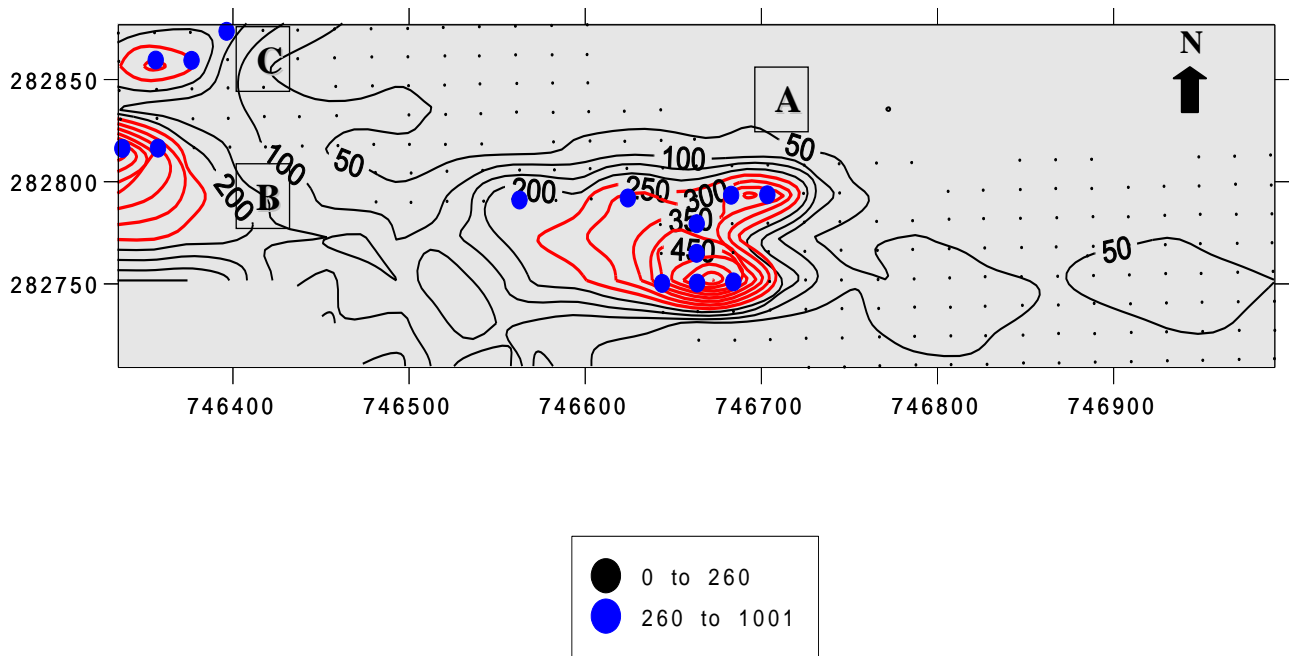


Fig.89 – Carte des isovaleurs de Zn krigées et répartition des teneurs de Zn dans les échantillons géochimiques

III.4.3.-Conclusion

L'analyse statistique des données lithogéochimiques de surface sur les deux éléments Pb et Zn du secteur minier d'Ain Kahla a été effectuée en se basant sur trois méthodes statistiques : Statistique monovariée, bivariée et multivariée. Le traitement monovarié a permis de discriminer les échantillons en deux sous classes la première celle des teneurs faibles en Zn et Pb- Fond géochimique et la deuxième classe correspond à celle de fortes teneurs qui représente la minéralisation à Zn/Pb . Il en ressort que pour les éléments Zn et Pb le début de leurs teneurs significativement anormales est 260ppm et 27.5ppm. L'Analyse En Composante Principale montre la présence d'une seule association chimique composée de Zn₂ et Pb₂ qui pourraient être d'origine épigénitique. Similairement au secteur minier de Kherzet Youssef les teneurs en Zn de la classe anormale-qui représente la minéralisation en Zn/Pb sont plus élevée que le Pb (respectivement de 448.20ppm pour Zn et 106.92ppm pour le Pb) est du à la grande dispersion du Zn le résultat de sa mobilité.

L'étude géostatistique établie sur les données lithogéochimique de Zn est basée sur la variographie et estimation par krigeage ordinaires

PARTIE. II- METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE, ANALYSE DE DONNEES ET GEOSTATISTIQUE

- Les résultats d'ajustement des variogrammes directionnels, montrent l'existence d'une anisotropie géométrique (même paliers et portées différents) dont le grand axe d'anisotropie est orienté vers 0° avec une portée de 197.16m tandis que le petit axe est orienté vers 90° avec une portée de 61.59m. Dans les différents variogrammes l'effet de pépite est faible par rapport au palier ($C_0/C \leq 1$) indiquant que les données la méthode analytique (ditisonique) utilisées sont fiables.

-La cartographie automatique des teneurs de Zn krigées a permis de révéler une importante anomalie géochimique (A), suivie par deux anomalies B et C, alignées suivant la direction 0° EW . Au final, la prospection lithogéochimique du secteur minier d'Ain Kahla a mis en lumière des possibilités de découvrir par des recherches ultérieures des prolongements du gisement reconnu.

Recommandation :

Les résultats de la variographie de Zn permettent de conclure que la principale structure géologique est orientée à la direction $N0^\circ$, il est recommandé que les profils de prospection du secteur d'Ain Kahla aurait dû être perpendiculaire à la direction du grand axe d'anisotropie c-a-d implantés dans la direction $N^\circ 90^\circ$ au lieu d'une direction 0° EW choisie précédemment.

Les secteurs d'études Dj.Zdimm, Chaabet El Hamra, Kherzet Youssef et Ain Kahla appartiennent au domaine sétifien et hodnéen qui recèlent un grand nombre de gîtes à Pb-Zn (Ba-F) encaissé dans des horizons dolomitiques d'âge Jurassique et Crétacé inférieur (Hauterivien, Barrémien et accessoirement l'Aptien). La minéralisation dans ces secteurs se caractérise principalement, par une morphologie en filons, strates et amas encaissés dans les formations et par remplissage des cassures. Les minéralisations sont représentées principalement par la sphalérite et la galène, mais on y trouve aussi de la pyrite-marcasite, de la chalcopryrite, du cuivre gris, et parfois de la barytine et de la fluorite. Les minéraux de gangue sont constitués par de la dolomite anté et post-minéralisation sulfurée, de la calcite et du quartz épigénétique. L'analyse statistique des données géochimiques des quatre (04) secteurs a été effectuée à l'aide de trois approches statistiques : Statistique monovariée, bivariée et multivariée. Les résultats obtenus sont :

1- Secteur de Chaabet El Hamra

Deux types de données –données géochimiques d'exploration totalisant un nombre de 3027 échantillons de carotte et données de prospection lithogéochimique roche en place surface totalisant un nombre de 2184

Pour le gisement ce dernier est subdivisé en deux parties, la première s'étalant du Pr 0 au Pr15 c'est la partie riche du gisement et la deuxième partie du Pr15 au Pr 30 est la partie faible avec seulement 10% des échantillons qui ont une teneur supérieure à 0.2%.

Dans la partie riche du gisement du Pr 0 au Pr 15, l'analyse monovariée et l'ACP ont permis de déterminer trois (3) associations. Chacune de ces associations expriment un type de faciès où phénomène géologique.

- La première association constituée des éléments chimiques: Zn1, Pb1, Ag1, Cd1, Ag1 et BaSO₄ (2 et 3), représente la sous-population de faibles teneurs sauf pour BaSO₄. Elle représente le faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - fond géochimique.

-La deuxième association constituée par Zn2, Pb2, Ag2, CaF₂ (2), CaF₂ (3) et BaSO₄ (1) représente la sous-population de teneurs moyennes en Zn, cette association caractérise le minerais moyen- minerais type 1.

-La troisième association constituée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2 représente la sous-population de fortes teneurs en Zn minerais riche; elle correspond à un autre type de minerais-minerais type 2.

CONCLUSION GENERALE

Pour la deuxième partie du gisement du Pr 15 au Pr30 –la partie classée pauvre pareil à la première partie du Pr 0 au Pr15 trois associations chimiques ont été trouvées, dont la première est constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Ag3, Cu2 et Cd1, est corrélée négativement à F1. La deuxième association, formée par Zn2 et Cd2 corrélée négativement à F2. La troisième association formée par Zn3, Pb2, Pb3 et Cu1, est corrélée positivement à F1. L'association 1 caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur: fond géochimique, l'association 2 marque un enrichissement en Zn et Cd la troisième association caractérise la minéralisation à Zn/Pb dans le gisement avec un appauvrissement en Cu. Les mêmes relations des éléments chimiques ont été trouvées dans les deux parties du gisement.

Du point de vue géologique, les résultats des deux parties suggèrent donc l'existence de trois phases:

Phase 1: caractérisée par la sous-population1 qui correspond au faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - Fond géochimique et qui est donc d'origine diagénétique. Ce faciès est caractérisé par une dolomie avec amas de pyrite, de dissémination de marcassite, de blende précoce et de teneurs élevées en BaSO₄.

Phase 2: sous-population2. Ayant des teneurs relativement plus élevées, la formation de cette sous-population ne peut être expliquée que par un apport supplémentaire grâce à des phénomènes de migration Elle représente le minerai type 1 qui est donc de formation épigénétique.

Phase 3: sous-population3. Formée plus tardivement, elle est due à la mise en place du minerai riche en Zn- minerai type 2. Les teneurs en Cd de cette sous-population montrent un enrichissement relatif en cet élément. Cette phase serait liée à un nouvel épisode de circulation de fluides minéralisateurs aidé par des processus tectoniques donc épigénétique tardive.

En surface, Le traitement monovarié a permis de discriminer les échantillons en sous populations dont celle des valeurs significativement anormales. Il en ressort que pour les éléments **Zn, Pb et Ag**, le début de leurs teneurs significativement anormales sont respectivement de **0.0345%**, **0.033%** et **2.405g/t**. Et le traitement multivarié –ACP des fonctions indicatrices des données lithogéochimiques du surface montre la même para genèse retrouvée dans le gisement, il s'agit globalement de deux associations chimiques: la première représentant le fond géochimique est composée de Zn1, Pb1 et Ag1 et la deuxième association représentant le minerai à Zn/Pb est composée de Zn2, Zn3, Pb2, Pb3 et Ag3. Les teneurs chimiques en surface sont très faibles par rapport la profondeur. Les faibles teneurs

CONCLUSION GENERALE

enregistrées sont probablement dues aux phénomènes d'altération de migration et de mobilité des métaux.

Le traitement géostatistique est basé essentiellement sur la variographie du Zn dans la partie riche du gisement du Pr0 au Pr15 dans le but de caractériser la minéralisation à Zn/Pb. Les variogrammes directionnels du Zn calculés dans les différentes directions ne sont pas, non plus, à effet de trou, Ils montrent l'existence d'une anisotropie géométrique avec le grand axe orienté N130° avec une portée de 446,61m. Cette direction est celle de la continuité maximale de la minéralisation à Zn-Pb. Le petit axe de direction N220° à une portée de 86,42m. Les valeurs des portées de cette anisotropie correspondraient aux dimensions moyennes des lentilles minéralisées. Ces résultats géostatistiques peuvent être utilisés pour optimiser la maille d'exploration de ce type de gisement

2-Secteur de Zdim

Le traitement de données dans ce secteur, montre que pour les éléments Zn, Pb et Ag, le début de leurs teneurs significativement anormales sont respectivement de **0.07%**, **0.04%** et **2.5g/t**. Le traitement multivarié (ACP) des fonctions indicatrices des données lithogéochimique dans Djebel Zdim a permis la détermination de deux associations chimiques. La première association composée de Zn1, Pb1, Cu1, Cu2, Ag1, Ag2 et Ag3. La deuxième association composée de Pb3, Zn3, Zn2, Pb2. La première correspond au fond géochimique tandis que la deuxième correspond à la minéralisation à Zn/Pb.

L'étude géostatistique a été faite sur les données lithogéochimiques de l'élément **Zn**. Les variogrammes expérimentaux directionnels et leurs ajustements montrent l'existence d'une anisotropie géométrique avec un grand axe de direction **N45°E** et une portée de **600m**. Le coefficient d'anisotropie est de **0.45**. Le fort effet de pépite $C_0/C=1.14$ montre qu'il y a une forte variabilité locale. Cette dernière confirme la présence d'anomalies géochimiques. La cartographie automatique a montré que les anomalies mises en évidence à l'aide de méthodes statistiques et géostatistiques, sont alignées et allongées suivant la direction N45 qui est celle du grand axe mais aussi celle des couches sédimentaires. Ce résultat vient conforter l'hypothèse de concordance de la minéralisation polymétallique

3. Secteur de Kherzet Youssef

Le traitement des données lithogéochimiques de surface montre que pour les éléments **Zn** et **Pb** le début de leurs teneurs significativement anormales sont respectivement de **265ppm** et **235ppm**. La sous-population anormale qui représente la minéralisation en **Zn** et **Pb** est localisée dans la partie Ouest de la mine de Kherzet Youssef.

L'étude géostatistique faite sur les données lithogéochimiques de l'élément Zn montre l'existence d'une anisotropie zonale avec paliers et portées différents dont le grand axe d'anisotropie est orienté vers **45°** avec une portée de **121.60m** tandis que le petit axe est orienté vers **135°** avec une portée de **80m**. Dans les différents variogrammes, l'effet de pépité est faible par rapport au palier indiquant que les données de la méthode analytique (ditisonique) utilisées sont fiables. La cartographie automatique ordinaire par krigeage ordinaire a révélé une importante anomalie géochimique sur la grande faille de Kherzet Youssef.

4. Secteur d'Ain Kahla

Le traitement monovarié des données lithogéochimiques de surface a permis de déterminer le début des teneurs anormales en **Zn** et **Pb** qui correspond respectivement à **260ppm** et **27.5ppm**.

L'ACP montre la présence d'une seule association chimique composée des sous populations statistique de **Zn2** et **Pb2**.

L'étude géostatistique sur les données lithogéochimiques du l'élément Zn montre l'existence d'une anisotropie géométrique (même paliers et portées différents) dont le grand axe d'anisotropie est orienté vers **0°** avec une portée de **197.16m** tandis que le petit axe est orienté vers **90°** avec une portée de **61.59m**. Dans les différents variogrammes l'effet de pépité est faible par rapport au palier ($C_0/C \leq 0.40$) indiquant que les analyses faites par la méthode analytique (ditisonique) sont précises. La cartographie automatique des teneurs de Zn krigées a permis de révéler trois anomalies géochimiques, alignées suivant la direction EW.

RECOMMANDATION

1- Utilisation des différents résultats trouvés dans le gisement de chaabet el Hamra pour guider de future exploitation.

2-Dans les deux secteurs Zdimm et Kherzet Youssef la minéralisation est allongée dans la direction N45° la direction du grand axe d'anisotropie, Pour cela les profils de prospection doivent être réorienté dans la direction N130° c.a.d perpendiculaires à la direction du grand axe d'anisotropie au lieu d'une direction N90° choisie par ORGM.

3- A Ain Kahla, la principale structure géologique est orientée vers la direction EW, les profils de prospection du secteur d'Ain Kahla doivent être perpendiculaire à la direction du grand axe d'anisotropie c-a-d doivent être implantés dans la direction N° 90° au lieu d'une direction 0°EW choisie précédemment.

4- Les anomalies trouvées dans les secteurs étudiés nécessitent d'être prospectées et explorées en détail.

Abramowitz, M. and Stegun, A. (1965)-(eds), Handbook of Mathematical fonctions. Dover Publications Inc, New York, 443p.

A.Ait belkacem, V.Flerov,M, Tourqui and B. Amirouche , 1988 Carte géologique de l'ensemble de la région du gisement d'Ain Kahla Echelle 1/50.000

ANPM- 2008. Fiche Technique de gisement d'Ain Kahla

Benzerga., M., (1974) - Première contribution à l'étude géologique et métallogénique des chaînons intermédiaires. Sud sétifien (Algérie). Thèse 3ème cycle. Univ. Nancy

Bertraneu J. (1955) – Contribution à l'étude géologique des Monts du Hodna :1) le massif du Bou Taleb. Thèse ès-sciences Alger. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N.S., Bull. n° 4, 190p. 4 pl. h. t, Alger

Beyoud, Z., (1990) - Les tidalites carbonatées et les minéralisations à Pb-Zn-B a-F du Jurassique inf. et moy. de Ain Azel (Hodna-Algérie). Thèse de docteur de l'INPL. Nancy 162 p.

Bouillin J. P (1986) – Nouvelles hypothèses sur la structure des Maghrébides. C.R.Acad. Sc. Paris, t. 296, Série II, p. 1329-1332.

Bouillin J. P (1992) – Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. Bull. Soc. Géol. France, (8), t. II. n°4, p. 547-558.

Boutaleb A.; Afalfiz A. ;Aïssa D. E. Kolli O.; Marignac CH. & Touahri B. – (2000) – Métallogénie et évolution géodynamique de la chaîne tellienne en Algérie. *Bull. du Service Géologique de l'Algérie. Vol. 11, n°1, pp3 – 27 , 7 fig., 2 pl*

- **Boutaleb, A. 2001:** Les minéralisations à Pb-Zn du domaine Sétifien-Hodna : Gîtologie, pétrographie des dolomies, micro thermométrie et implications métallogéniques. Thèse doctorat USTHB, 350 p.

Caia, J., Hutchings, J.M., Kostelka, L., MacArdle, P., Michaud, J.G., Tyler, P. (1980) : Gisements de plomb et zinc en milieu sédimentaire carbonaté et détritique en Europe occidentale. Chronique de la Recherche Minière, 454 : p5-64

Chauvet, P. 1999. Aide mémoire de géostatistique linéaire application du domaine minier. Les presses de l'école des mines de Paris, 140p.

Dubourdiou G. (1956) – Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens). Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n° 10, 659 p.,

Durand-Delga M. (1969) – Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbère. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, nouv. Série, n°39, p. 89-131

Durand Delga M. et Fontbote J. M. (1980) - Le cadre structural de la méditerranée occidentale. Colloque C5. Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys, 26° CGI, BRGM.

Enof (1995): Rapport géologique des travaux miniers du gisement de Chaâbet El-Hamra.

Enof (2015): Rapport final sur le plan d'exploitation du gisement de Chaabet El Hamra, 72p.

Froidevaux, R. 1990. Geostatistical toolbox primer, version 1.30. FSS International, Troinex, Switzerland

Gelard J. P. (1969) – Les flyschs Kabyles dans le Djurdjura et le col de Chellata

- **Glaçon, J. 1967**: Recherche sur la géologie et les gites métallifères du Tell sétifien. (Algérie), thèse de doctorat. Tomes1 et 2. Publication du service géologique de l'Algérie 356p.

Guiraud R. (1973) – Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Doctorat es Sciences, Nice, 270 p.

Guiraud, R., (1990) - 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: Thèse Doct. Sci. Univ. Nice, 259 p. Mémoires n03, Publ. de l'ONIG, Alger.

Heyl, A. V.,(1982) Geologic characteristics of three major Mississippi Valley districts: jLn Kirsarsayi, Geza, and Grant, S. K. , ed., International Conference on Mississippi Valley type lead-zinc deposits: University of Missouri-Rolla, Rolla Missouri, p. 30.

Henni, a., (1984) - La minéralogie, les particularités géochimiques et la genèse du gisement de Kherzet Youssef. Résumé de Th. de 3ème cycle Univ. Lénningrad URSS. 329-336

Journal, A. & Huijbregts, G. 1978: Mining geostatistics. Academic Press, London, U. K, 600p.

-**Kessler, S.E., Jones, XX, Ruiz, J. (1988)**: Strontium isotopic geochemistry of Mississippi-Valley Type deposits, East Tennessee: Implications for age and source of mineralizing brines. Geol. Soc. Amer. Bull., 100: 1300-1307.

Kourichi, R. Belaribi, El. & Ghalem, S. Iliev, CH. Ouzouaz, S. Aoun, F. Chemaoui, Y. & Bouchareb, S. 1992: Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra Echelle 1/2000

Khaldi, A., (1987) - Le gisement de Kherzet Youssef: une minéralisation Pb-Zn-Fe-(Ba) stratiforme dans le membre médian marno-carbonaté du Barrémien de la région, de Ain Azel (Hodna, Algérie), Th. Doct; 3 cycle, ENSG Nancy, 439 p.

- Laffitte R. (1939)** – Etude géologique de l’Aurès. Bull. Serv. Géol. Algérie. 2ème série, stratigraphie description régionale. N° 15, 451 p.
- Leach, D. et Sangster, D.F., (1994)** - Mississippi Valley type lead-zinc deposits. *In: KIRKHAM, R. V. and al., EDS. Mineral deposit models, Geological Association of Canada Special Paper 40, p.289-314.*
- Leach, D.L.; Bradley, D.; Lewchuk, M.T.; Symons, D.T.A.; De Marsily, G. & Brannon, J. (2001).** Missipi Valley-type lead-zinc deposits trough geological time – implications from recent age-dating research. *Mineralium Deposita*, 36: 711-740. [doi:10.1007/s001260100208](https://doi.org/10.1007/s001260100208)
- Leikine, M, Obert, D. et Belier, J.P. (1975)** : Intégration des badors aux nappes telliennes Existence d’un métamorphisme anté-nappes. Bull. Soc. Géol. Fr –Paris. P764-772
- Mallet, J.L & Wild, P. 1984:** An analogue to correspondence analysis with fuzzy characteristic function .Sci. de la T série Inf. Géol.n°20, part 1, pp. 121-135.
- Matheron (1973)** The Intrinsic random functions and their application. In *Advances in Applied Probability. Dec. 1973, n°3, pp439-468.*
- Mezghache, H. 1989.** Cartographique automatique et interprétation géostatistique d’une campagne de prospection géo-chimique sur sol-application à la zone mer-curieuse Nord Numidique (Algérie). Thèse de Doctorat-Nouvelle; CNRS-CRPG-INPL. Nancy – France; 175p
- Morineau, A. 1988.** Analyse en Composantes Principales. Edition CISIA. Ceresta, France, 198p
- ORGM (1992)** : Rapport finale sur les travaux d’évaluation du gisements de Chaabet El Hamra . **TOME I.**
- ORGM(1992)** : Rapport finale sur les résultats de la prospection préliminaire du gisement de Chaabet El Hamra . **TOME II** . Partie 1, Partie 2
- ORGM 2013** rapport inédit Exploration préliminaire des minéralisations à Pb- Zn (Ag) dans les formations carbonatées du Crétacé (Hauterivien, Barrémien et Aptien) du Hodna (Zdim, Sekrine, Djebel Anza Bahloul et Kef Omar).
- Pannatier Y (1996).** "VARIOWIN": Software for Spatial Data Analysis in 2D". Springer Verlag, 91p. ISBN 0-387-94679-9.
- Pogrennoi, M. & Tourqui, M. & Frolov, N. & Bouzid, S. & Chennaf, A. 1992.** Rapport final de l’ORGM sur les travaux d’évaluation du gisement de Chaabet el Hamra- - Tome1 141p.
- Popov, A. (1968)** - Les types morphologiques et la répartition des gisements de zinc et de plomb en Algérie. *Ann. Mines. Géolo. Tunis*, n0 23, p. 103-203

Ploner, A. & R. Dutter (2000). New direction in geostatistics . Journal of Statistical Planning and Inference 91, 499-509.

Raoult J. F. (1969-1970) – Les flyschs de la Petite Kabylie (col. D'El Kantour).

Rudis -1963-1965- Rapport inédit sur les travaux d'exploration de la région de Hadjer Labiod -Ljubljana – Yougoslavie-Tome 1 et Tome 2. 195p et 113p

Rudis, 1965. Rapport sur les travaux de recherche à Dj. Zdim., Ljubljana, 17p.

Sami L. (1991) – Contribution à l'étude géologique et gîtologique des indices minéralisés de Zdim (Sud sétifien). Mém. Ing. IST – USTHB, 61 p.

Sangster D.F. (1990): Mississippi Valley-type and sedex lead-zinc deposits, a comparative examination. Inst. Mining and Metall., 99: B21-B42.

Savornin J. (1920) – Etude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien. Bull. n° 7, Serv. Carte Géol. Algérie, 2 ème série.

Sinclair, A. J. 1974. Sélection of thershold values in geochemical data using pro-bability graphs. Journal of Geochemical Exploration, 3, 129-149.

Sonatrach, 1977. Carte géologique d'Ain Azel au 1/50.000

Sverjensky, D.A. (1986) :Chemical evolution of basinal brines that formed sediment-hosted Cu-Pb-Zn deposits. in Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C. et Kirkham, R.V. (éditeurs) Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geological Association of Canada, Special Paper 36, p. 127-134.

Touahri B. (1983) - Le gîte de zinc-plomb d'EI Abed (Wilaya de Tlemcen, Algérie): une minéralisation "sous inconformité" en environnement dolomitique épicontinental; contribution à une recherche des guides de prospection. Thèse

Doct. ing. Univer. Paris VI

Touahri, B., (1987) - Géochimie et métallogénie des minéralisations à Pb-Zn du Nord de l'Algérie. Th. Doct. Sc. Univ. Paris VI, 380 p.

Vila J.M. (1977) – Notices explicatives des cartes au 1/200 000 de Constantine et de Sétif et des cartes au 1/50 000 de la même région.

Vila J.M. (1980) – La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doctorat ès Sciences Nat., Université Pièrre et Marie Curie, Paris VI, 2 tomes, 7 pl. h. t., 40 pl ; ph. H.t., 665 p

Wildi, W., (1983) - La chaîne tello-rifaine (Algérie – Maroc - Tunisie): Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. de géol. dynam. et de géogra. physique, Vol. 24, Numéro spécial, pp. 201-297



❖ Webographie :

<http://www.prix-metaux.com>

(www.ANAM.org.dz)

Fig.1 - Les principaux usages du Zinc (www.unctad.info/fr/infocomm/metaux-mineraux/zinc/secteurs-d'utilisation.com)

Fig. 2 - Les principaux usages du Plomb(www.unctad.info/fr/infocomm/metaux-mineraux/plomb/secteurs-d'utilisation.com)

Fig. 3. - Distribution des districts et gisement MVT (d'après Leach et Sangster, 1994)

Fig. 4- Carte géologique simplifiée de la chaîne tellienne avec localisation des principaux gîtes à Pb-Zn (Fe-Cu-Ba et F) (Boutaleb, 2001)

Fig5-. Situation géographique de la région d'Ain Azel (Sétif) avec la localisation des secteurs d'études (Feuille Ain Azel N°143 au 1/50 000 d'après sonatrach, 1977)

Fig. 6-Schéma structural des maghrébides avec localisation de la zone d'étude (d'après Durand Delga et Fontboté 1980)

Fig.7- Plan de position simplifié des formations allochtones sud-sétifiennes et leurs grandes coupures stratigraphiques (Vila, 1980).Modifié

Fig.8- Schéma structural des domaines sétifien-Hodna-Belezma-Aurès (d'après Wildi, 1983) avec localisation des principaux gites de Pb-Zn

Fig9.- Colonne stratigraphique générale des monts de Hodna (ORGM,2013)

Fig. 10-Coupe géologique montrant le chevauchement de l'autochtone sud sétifien sur l'autochtone hodnéen (Vila, 1977) modifiée

Fig. 11-Schéma structural simplifié du Dj.Hadjar Labiod extrait de la carte de Ain Azel (Vila, 1977)

Fig. 12 – Carte structurale avec la répartition des gisements et des gites à travers les différentes entités structurales Sud Sétifienne, et Hodnéenne (Vila, 1980)

Fig.13- Carte géologique des environs de la mine de Chaabet El-Hamra (D'après la carte géologique 1/50.000 d'Ain Azel et d'Ain Lahdjar, Sonatrach, 1977)

Fig.14- Colonne lithostratigraphique du gisement de Chaabet El Hamra (Boutaleb, 2001)

Tectonique

Fig.15- Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra (Kourichi, et al, 1992) avec implantation des profils d'exploration

Fig.16- Coupe de corrélation des données des sondages du profil 11 du gisement de Chaabet El Hamra

Fig. 17- Gisement de Chaabet El Hamra-localisation des échantillons utilisés pour DRX

Fig. 18- Diffractogramme de l'échantillon N°01 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX

Fig. 19- Diffractogramme de l'échantillon N°02 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX

Fig. 20- Minéralisations: A) Sphalérite; B) Pyrite; C) et F) Calcite; D) Barytine et E) Quartz

Fig. 21 - Carte de situation géographique de secteur de Dj.Zdimm (Google map, 2018)

Fig. 22- Calcaire porteur de faune (gastéropodes)

Fig.23- Photographies des lames minces de calcaire porteur de faunes dans le Dj. Zdimm

a-Orbitoline; b - Miliole

Fig.24-Carte géologique schématique de Djebel Zdimm(ORG,2013)

Fig.25- Relief du secteur Dj. Zdimm - vu du sommet (Vers le nord Est) montrant la bonne conservation du flanc Nord.

Fig. 26- Coupes géologiques schématiques à travers la partie orientale de Dj.Zdimm avec position de la minéralisation dans les deux indices « Nord, Sud » (d'après Sami, 1991 modifiée

Fig.27-Redressement des couches carbonatées dans la partie sommitale de Dj. Zdimm.

Fig.28- Banc dolomitique porteur de minéralisation (Indice Nord)

Fig. 29-Minéraux constituant le minerai de Zinc de Dj. Zdimm Sm- Ma (Smithsonite – Malachite), 2 – Car -Carbonate (calcaire, Dolomie).

Fig. 30- Calamine – Smithsonite et Hémimorphite

Fig.31- Niveau porteur de minéralisation allongé suivant les couches sédimentaires dolomitiques

Fig.32-Localisation du secteur de Kherzet Youssef

Fig.33- Coupe du Barrémien supérieur de la mine de kherzet youssef D'après (Rudis, 1964)

Fig.34-Colonne stratigraphique de Kherzet Youssef(ENOF.1990)

Fig. 35- Coupe géologique schématique de la région de Kherzet Youssef (Glaçon, 1967)

Fig.36- Carte géologique de l'ensemble de la région d'Ain Kahla (Aitbelkacem , A et al, 1988)

Fig. 37- Log litho-stratigraphique du gisement d'Ain Kahla, (EREM, 1985, Modifié).

Fig. 38 - Coupe longitudinale suivant l'axe de la structure anticlinale de gisement d'Ain Kahla, (EREM, 1985, Modifié).

Fig.39-Vue de la faille Sud du site (NE-NW)

Fig.40-Coupe géologique montrant la distribution des corps minéralisés dans le Lias et le Dogger (Beyoud, 1990 et travaux d'ORGM)

Fig.41- Plans d'échantillonnages des secteurs d'étude

Fig.42- Plan de sondage d'exploration du gisement de Chaabet El Hamra

Fig. 43- Cercles de corrélation de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra du Pr0 au Pr15.

Fig.44- Cercles de corrélation de l'ensemble des sous-populations composantes (18 variables)

Fig. 45-Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12variables)

Fig.46- Cercle de corrélation de l'ensemble des données de sondage du Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

Fig. 51-Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12variables)

Fig. 52- Variogramme vertical des données de sondages du Pr0 au Pr15

Fig. 53- Variogramme du Zn direction N130°

Fig. 54- Variogramme du Zn direction N220°

Fig. 55- Variogramme de surface du Zn

Fig.56- Cercle de corrélations des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El Hamra

Fig.57- Plan d'échantillonnage Zn

Fig.58- Plan d'échantillonnage Pb

Fig.59- Plan d'échantillonnage Ag

Fig.60- Cercles de corrélation des données lithogéochimiques des sous populations du secteur de Chaabet El Hamra

Fig. 61 –Carte des valeurs des facteurs scores F1 de l'ACP de l'ensemble des données lithogéochimiques des sous populations montrant les différentes associations multiélémentaires dans du secteur de Chaabet El Hamra.

Fig .62 - Plan d'échantillonnage de Zn

Fig. 63 - Plan d'échantillonnage de Pb

Fig.64 – Plan d'échantillonnage Cu

Fig .65 -Plan d'échantillonnage d'Ag

Fig.66-Cercle de corrélation des données lithogéochimiques roche en place du secteur Zdimm

Fig.67- Carte des valeurs des facteurs scores F1 (ACP des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdimm)

Fig. 68-Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12variables)

Fig.69-Variogramme omnidirectionnel Zn

Fig.70-Variogrammes expérimentaux directionnels de Zn et leurs ajustements

Fig.71- Position des axes d'anisotropie (45° et 135°) et des profils de prospection dans le secteur de Dj.Zdimm

Fig. 72 –Carte des isovaleurs krigées de Zn (%)

Fig. 73 – Carte des isovaleurs de Zn krigées et répartition des teneurs de Zn dans les échantillons géochimiques

Fig.74– Carte des classes de variance de krigeage de Zn (%) par maille de 100x20 m² - Secteur Dj.Zdimm (Sétif).

Fig.75 -Carte des classes des erreurs relatives sur les teneurs krigées de Zn (%poids)-Secteur Dj.Zdimm (Sétif).

Fig. 76- Carte géologique avec plan d'échantillonnage et localisation des anomalies en Zn à Dj.Zdim (Sétif)

Fig. 77- Plans d'échantillonnages lithogéochimiques de Zn dans le secteur de Kherzet Youssef

Fig. 78- Plans d'échantillonnages lithogéochimiques de Pb dans le secteur de Kherzet Youssef

Fig. 79- Cercles de corrélation de l'ensemble des données du secteur de Kherzet Youssef

Fig. 80 – Carte des valeurs des facteurs scores F1 de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant une association multi-élémentaires dans le secteur de Kherzet Youssef

Fig. 81- Variogramme de surface de Zn - secteur de Kherzet Youssef-

Fig. 82- Variogramme omnidirectionnel de Zn du secteur de Kherzet Youssef

Fig. 83- Variogrammes directionnels de Zn du secteur de Kherzet Youssef avec leurs ajustement

Fig. 84- Position des axes d'anisotropie (45° et 135°) et des profils de prospection dans le secteur de Kherzet Youssef

Fig. 85- Carte des isovaleurs krigées de Zn (%)

Fig. 86- Plan d'échantillonnage Zn

Fig. 87- Plan d'échantillonnage Pb

Fig. 88- Cercles de corrélation de l'ensemble des données du secteur d'Ain Kahla

Fig. 89 – Carte des valeurs des facteurs scores F1 de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant une association multiélémentaires dans le secteur Ain Kahla

Fig. 90- Variogramme de surface de Zn du secteur d'Ain Kahla

Fig. 91- Variogramme omnidirectionnel de Zn du secteur d'Ain Kahla

Fig. 92- Variogrammes directionnels de Zn du secteur d'Ain Kahla avec leurs ajustements

Fig. 93 – Carte des isovaleurs de Zn krigées et répartition des teneurs de Zn dans les échantillons géochimiques

Tableau.1- Caractéristiques des gisements de métaux de base de type MVT.

Tableau 2- Les gisements polymétalliques les plus connus dans le Hodna (ORGM,2013)

Tableau.3- Tableau récapitulatif sur la géologie des différents secteurs étudiés

Tableau.4 –Méthodologie de prospection des différents secteurs d'étude

Tableau. 5- Paramètres statistiques de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

Tableau .6- Paramètres statistiques de la classification monovariée de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

Tableau.7- Matrice de corrélation linéaire simple de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

Tableau.8 Les facteurs de charge de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (donnée du Pr0 au Pr15).

*Tableau. 9- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (18 variables)-
Nombre total d'échantillons N=907*

Tableau. 10- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (18 variables)

*Tableau.11- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (12 variables).
Nombre total d'échantillons N=1526*

Tableau.12- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (12 variables)

Tableau. 13- Paramètre statistique de l'ensemble de données de sondage de la partie Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

Tableau.14- Paramètres statistiques de la classification monovariée des données de Sondage de la couche hauterivienne du gisement de Chaabet El Hamra (Pr15-Pr30)

Tableau. 15- Matrice de corrélation linéaire simple de l'ensemble des données de sondage du. Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

Tableau. 16- Facteurs de Charge de l'ensemble de l'ensemble des données de sondage du Pr15-Pr30 du gisement Chaabet El Hamra

*Tableau.17- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (12 variables).
Nombre total d'échantillons 983*

*Tableau.18- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments
chimiques (12 variables)*

Tableau. 19 – Données du variogramme vertical des teneurs en Zn

Tableau. 20 – Données du variogramme du Zn dans la direction N130°

Tableau. 21– Données du variogramme du Zn- direction N220°

*Tableau.22- Tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats d'Analyse de donnée des deux parties du
gisement de Chaabet El Hamra*

*Tableau.23-Paramètres statistiques des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El
Hamra*

*Tableau. 24- Paramètres statistiques des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El
Hamra*

*Tableau. 25-Facteurs de charges des données lithogéochimiques du secteur Chaabet El
Hamra*

*Tableau.26- Paramètres statistiques des sous-populations des données lithogéochimique du
secteur de Chaabet El Hamra*

*Tableau. 27- Matrice de corrélation linéaire simple des données lithogéochimiques des sous
populations du secteur de Chaabet El Hamra*

*Tableau.28-Facteurs de charges des données lithogéochimiques des sous-populations du
secteur Chaabet El Hamra*

*Tableau.29- Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP des données lithogéochimiques des
sous populations du secteur de Chaabet El Hamra)*

*Tableau.30- Tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats d'Analyse de donnée des deux
parties du gisement de Chaabet El Hamra et de la surface du secteur*

Tableau.31-Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le secteur de Zdimm

Tableau.32- Paramètres statistiques de la classification monovariée des données lithogéochimiques roche en place du secteur de Dj. Zdimm

Tableau.33- Matrice de corrélations linéaires simples des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdimm

Tableau. 34- Facteurs de charges des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdimm

Tableau.35 - Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP des données lithogéochimiques roche en place du secteur Dj.Zdimm)

Tableau.36 Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (11 variables). Nombre total d'échantillons 2690

Tableau.37 - Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (12 variables)

Tableau.38- Paramètre d'ajustement des variogrammes du Zn (lithogéochimie de Dj. Zdimm)

Tableau. 39- Paramètres statistiques de l'ensemble des données du secteur Kherzet Youssef

Tableau. 40- Paramètres statistiques de la classification monovariée de l'ensemble des données du secteur de Kherzet Youssef

Tableau.41– Matrice de corrélation des sous populations composantes du secteur de Kherzet Youssef

Tableau .42- Les facteurs de charge de l'ensemble des données du secteur de Kherzet Youssef

Tableau.43- Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP de l'ensemble des données du secteur Kherzet Youssef)

Tableau. 44- Paramètre d'ajustement des variogrammes du Zn

Tableau .45-Paramètres statistiques des données lithogéochimiques du secteur d'Ain Kahla

Tableau.46- Paramètres statistiques des sous-populations des données lithogéochimique du secteur d'Ain Kahla

Tableau.47– Matrice de corrélation des sous populations composantes du secteur d'Ain Kahla

Tableau.48- Les facteurs de charge de l'ensemble des données du secteur d'Ain Kahla

Tableau. 49- Paramètres statistiques du facteur F1 (ACP de l'ensemble des données du secteur d'Ain Kahla)

Tableau. 50- Paramètre d'ajustement des variogrammes du Zn

Tableau51- Tableau récapitulatif des études géologiques, statistiques et géostatistiques des différents secteurs d'études

ANNEXE I: STATISTIQUE

1- LES METHODES STATISTIQUES,

1.1.- Paramètres statistiques élémentaires

A –Paramètre de position

- **Médiane** : valeur de la variable telle qu'une moitié des valeurs lui soit supérieure ou égale et l'autre moitié des valeurs lui soit inférieure ou égale. Deux cas apparaissent suivant la parité de n.

n impair :*n* pair :

$$\text{médiane} = x_{\frac{n+1}{2}} \quad \text{médiane} = \frac{1}{2} \cdot \left(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1} \right)$$

- **Moyenne** : n : effectif total

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

B- Paramètres de dispersion

Ecart-type s' : le plus utilisé des paramètres de dispersion

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Ecart type S ou σ : C'est la racine carrée de la variance**Coefficient de variation** : C'est le rapport Ecart type sur la moyenne multiplié par 100:

$$C_v = \frac{S}{x} \cdot 100 \quad - \text{Le coefficient de variation mesure la dispersion relative.}$$

1.2.- Analyse bivariée

Le traitement statistique bivarié consiste à étudier deux variables aléatoires simultanément et de déterminer la relation qui existe entre eux, à l'aide entre autre du calcul des coefficients de corrélation simples. Elles sont calculées pour chaque couple de variables, où celles-ci montrent clairement les relations mutuelles qui existent entre les variables.

Le coefficient de corrélation est calculé par la formule suivante :

$$\rho = \text{cov}(x, y) / \sigma_x \sigma_y$$

et estimée par:

$$r = \frac{\sum XY - \bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)(\sum Y^2 - n\bar{Y}^2)}}$$

Avec \bar{X} et \bar{Y} : teneurs moyenne des variables X et Y

S_X et S_Y : écarts types des variables X et Y.

Les coefficients de corrélation simples sont regroupés dans un tableau récapitulatif appelé "matrice de corrélation". Notons que le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1.

La modélisation linéaire bivariée par la méthode des moindres carrés (régression) permet de déterminer, si la dépendance existait, d'estimer la valeur d'un élément à partir de celle de l'autre.

- La régression linéaire

A partir d'une série de données bivariées et en présence d'une dépendance entre ces variables, il serait alors possible d'ajuster le nuage statistique (Fig.94) par une droite d'équation:

$$Y = a X + b$$

Avec Y: variable expliquée ou interne

X: variable explicative ou exogène.

a: coefficient de l'équation.

b: terme constant de l'équation

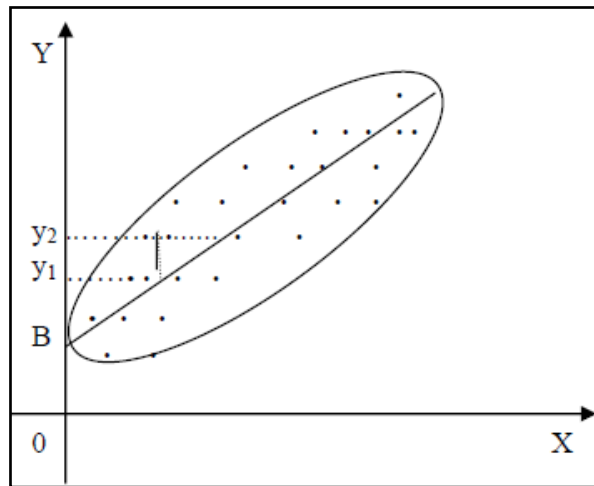


Fig. 94- Ajustement d'un nuage statistique par une droite (régression linéaire simple)

Pour l'équation de régression linéaire simple par la méthode des moindres carrés, il est démontré que le coefficient "a" est calculé par la formule :

$$a = \text{cov}(xy) / \sigma_x^2$$

et le terme constant "b" est égale: $b = Y - a X$

Dans ce cas, l'erreur qui serait faite, serait uniquement sur la variable expliquée (Y)

1.3.- Classification monovariante par la méthode de passage par zéro

Cette méthode est basée sur le principe selon lequel dans un ensemble de données, il y a autant de populations statistiques homogènes que de modes dans leur histogramme (Sinclair, 1974 ; Mezghache 1989). Elle consiste à discriminer les données hétérogènes en populations statistiques homogènes caractérisées chacune par une loi de distribution distincte. Chacune de ces populations serait due à un phénomène géologique particulier. Afin de déterminer le nombre et les paramètres des populations composantes, la courbe des fréquences cumulées est tracée sur un papier à échelle gaussienne. La courbe est ensuite décomposée en un certain nombre de parties en fonction du nombre de points d'inflexion ou la valeur correspondante à chacun de ces points représente la valeur qui limite deux populations adjacentes (Fig.95). Il l'on ressort que l'existence de K points d'inflexions indiquerait la présence de (k+1) populations composantes.

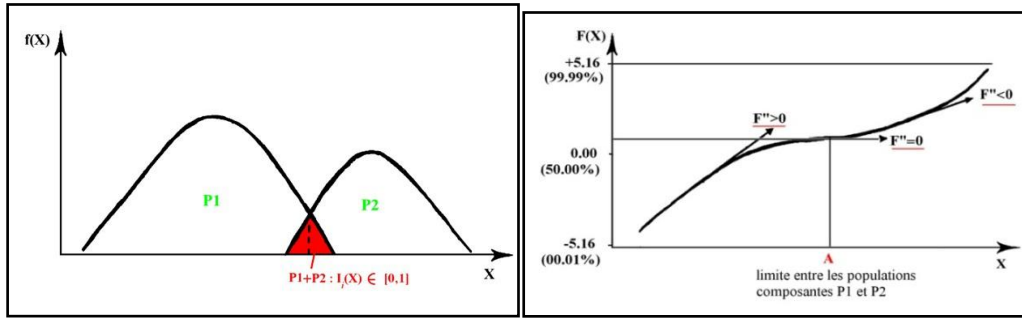


Fig.95- Représentation schématique de la classification monovariante par la méthode de passage par zéro

L'algorithme permettant la recherche et le calcul automatique des paramètres statistiques –effectif, moyennes et écart types de chacune des populations ou classes composantes- porte le nom de méthode du passage par zéro (Mezghache ,1989). La mise en œuvre de cette méthode à calculer successivement :

- a) Les fréquences cumulées de l'ensemble des données ;
- b) Les inverses de Gauss à l'aide du polynôme d'approximation D'abramowitz et Stegun (1965):

Désignons par $Q(x)$ la fonction de répartition, par p la fréquence cumulée d'une valeur et posons $Q(x)=p$ Si $p < 0.5$ et $Q(x)=1-p$ dans le cas contraire.

En posant $P(x)=1-Q(x)$, On peut écrire : $Q(x)+P(-x)=Q(x)$

En désignant par X_p l'inverse de $Q(x)$ et en posant

$$t = \sqrt{\ln(1/p^2)} \quad \text{Alors}$$

$$X_p = t - \frac{a_0 + a_1 t}{1 + b_1 t + b_2 t^2} + \varepsilon(p)$$

Où $\varepsilon(p)$ est l'erreur d'estimation et a_0, a_1, b_1, b_2 sont des coefficients

$\varepsilon(p) < 3.10^{-3}, a_0 = 2.30753 ; a_1 = 27061 ; b_1 = 0.99229$ et $b_2 = 0.04481$.

- c) Calcul des limites des populations composantes et leurs poids respectifs par la méthode de convolution (techniques de traitement d'image) : dispositif -1, +2, -1 - calcul des F'' sur les inverses de gauss. F''_m la dérivée seconde correspondante à la valeur m (teneur par exemple) et F_{m-1}, F_m et F_{m+1} , les inverses de gauss respectives des valeurs $m-1, m$ et $m+1$ ordonnées par ordres croissants :

$$F''_m = -F_{m-1} + 2.F_m - F_{m+1}$$

Si $F''_A = 0$ (lors de la transition du positif au négatif) \rightarrow A valeur limite entre deux populations

Les poids et les paramètres statistiques des populations composantes : obtenus à l'aide du graphe de probabilité (Droite de Henry) de chacune d'elles (Sinclair (1974).

$$F_n = A X + B ; A=1/\sigma \Rightarrow \sigma=1/A \quad B = \bar{X}/\sigma \Rightarrow \bar{X} = B.\sigma$$

1.4.- Calcul des fonctions indicatrices

Une fois l'ensemble des données discriminé en N classes et connaissant les poids de chacune des sous-populations composantes, on définit la fonction indicatrice (Mallet J. L & Wild P, 1984) d'appartenance d'un échantillon à une classe par :

$$\text{Classe par : } I_i[\omega(x)] = \frac{P_i f_i(x)}{\sum_{i=1}^N P_i f_i(x)}$$

Où $f_i(x)$ sont les fonctions de densités des noyaux des classes i soit :

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x-m}{\sigma_i} \right]^2}$$

La fonction indicatrice $I_i[x(\omega)]$ variera de 0 à 1. Elle sera égale à 0 si ω est loin du noyau et n'appartient pas à la classe i, égale à 1 si ω appartient à la population i et entre 0 et 1 si ω appartient au mélange des populations.

$$\sum_{i=1}^N I_i[x(\omega)] = 1$$

Toutes les données sont discriminées suivant leur appartenance à la classe i et elles sont enregistrées sous forme de fichier où les classes peuvent être visibles sur plan et sur carte

1.5.-Analyse multivariée : Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse des données multivariée désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de collecter, d'organiser, d'analyser et de présenter les données. Ces méthodes utilisent des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogènes, des liens entre individus et variables, des ressemblances ou des différences entre variables et surtout de représenter les données initiales d'un Tableau R (n,p) par un nombre

plus petit sans perdre l'information. Soit un tableau (matrice) $R(n,p)$ où n est le nombre de lignes et p le nombre de colonnes (Tableau. 51).

Tableau. 51– Exemple de données d'analyse chimique de Dj. Zdimm

N°	Pb	Zn	Cu	Ag
1	0,250	0,150	0,060	3,34
2	0,013	0,013	0,013	3,72
3	0,36	0,880	0,009	3,60
4	0,005	0,005	0,005	1,47
5	0,005	0,005	0,005	2,83

a) Représentation géométrique

Les données peuvent être représentées graphiquement en nuage de points-lignes (Représentation R_p) et/ou en nuage de point variables (Représentation dans R_n)

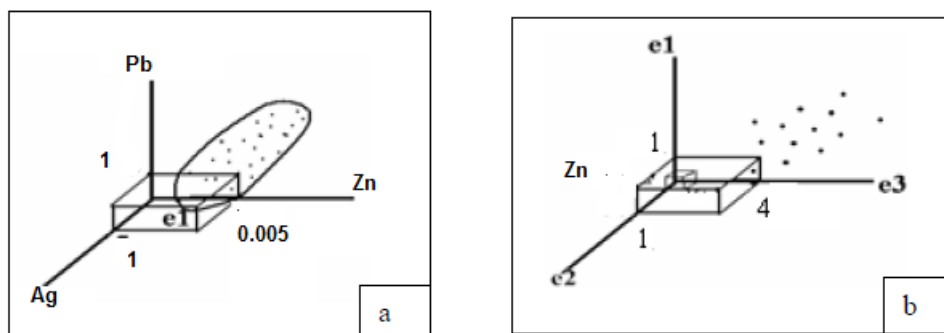


Fig. 96– Représentation géométrique des données.
a)- point-lignes R_p , b) point-variables R_n

Dans R_n , chaque point est défini par n coordonnées. Deux points-lignes apparaissent proche l'un de l'autre, si les deux lignes ont des mesures semblables des variables ou individus et éloignés l'un de l'autre si les mesures sont différentes. En présence d'un nuage de points dans un espace à n dimensions, on cherchera à saisir et comprendre la dispersion des points c'est-à-dire la signification des différents allongements des nuages de points. L'analyse en Composantes Principales (ACP) est l'une des plus anciennes méthodes de l'analyse factorielle. Elle est utilisée pour l'analyse des données qui sont représentées sous formes de tableaux de n individus et p variables. Soit $R(n,p)$, ce tableau de donnée de terme générale r_{ij} . En ACP, ce qui est important, c'est la forme du nuage des points par rapport aux axes (droites) qui passent par le centre de gravité du nuage. Il s'agit donc de rechercher les droites qui respectent au mieux l'ensemble des carrés des distances entre couples : C'est celles qui passent par le centre de gravité. D'où la nécessité de procéder à un changement de repère en centrant les variables de la matrice de données initiales. Si de plus les unités des variables sont

différentes alors il est préférables de les réduire pour supprimer l'effet unité c'est-à-dire échelle:

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - \bar{r}_j}{\sqrt{n} \cdot \sigma_j}$$

Ainsi après cette transformation (changement), la matrice d'inertie ne serait autre que la matrice de corrélation linéaire simple: $C = X^T X$

On appel inertie du point N(I) par rapport au point P (Fig. 97), où l'expression suivant:

$$InP(I) = \sum_{i=1}^n m_i \|X_i - P\|^2$$

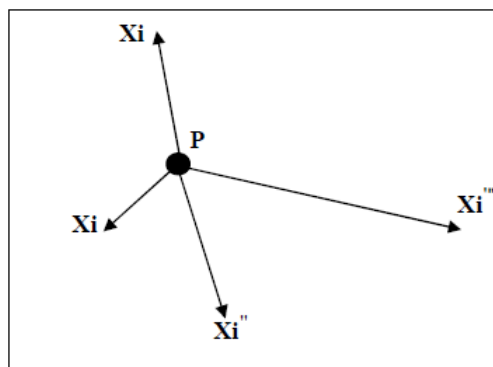


Fig. 97– Représentation géométrique d'inertie des points X_i ($i=1$ à n) par rapport au point P. Après le calcul de C, il est nécessaire de calculer l'inertie du nuage de point dans les principaux axes d'allongement désignés par F_i ($i=1$ à N) (Fig. 98) en diagonalisant – c'est à dire en recherchant les premières valeurs propres (variances) et les vecteurs propres correspondants.

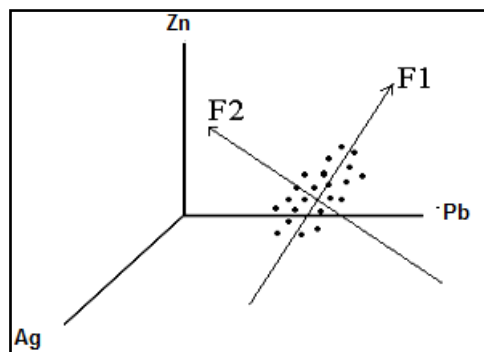


Fig. 98 – Représentation d'un nuage de points et les principaux axes d'allongement (Axes factoriels).

La diagonalisation de la matrice C (matrice d'inertie) permet d'obtenir les p vecteurs propres U_α et les p valeurs propres λ_α . Le vecteur U_α est connu par ces coordonnées dans

l'espace R_p . Les coordonnées des points X_i sur les axes factorielles qui sont obtenus par:

$$F_\alpha(i) = X^i U_\alpha$$

$$F_\alpha(i) = \sum_{j=1}^k U_{\alpha j} X_{ij}$$

$F_\alpha(i)$ est le facteur de rang α associé à l'individu i : $F_\alpha(i)$ est la coordonnée de l'individu (échantillon) i sur l'axe factoriel U_α . Ce dernier a autant de composantes que de variables j .

Dans la pratique l'inertie expliquée par l'axe factoriel:

$$T_\alpha = \frac{\lambda_\alpha}{In(I)} = \frac{\lambda_\alpha}{\sum_{\alpha=1}^p \lambda_\alpha}$$

Où $In(I)$ est l'inertie totale du nuage de points. Généralement les résultats d'une ACP sont représentés sous forme graphique.

· **Exemple**

Soit le tableau 52, qui représente les facteurs de charge, les variances : $F1 = 26.41\%$, $F2 = 20.43\%$ Variances cumulées = $F1 + F2 = 46.84\%$: Les 2 facteurs représentent 46.84% de l'information totale. (Fig.99)

Tableau. 52– Exemple de facteurs de charge

	F1(26,41%)	F2(20,43%)
Pb	0,73	-0,32
Zn	0,73	-0,25
Ag	-0,35	-0,53
Cd	0,33	0,43
Cu	0,15	0,63

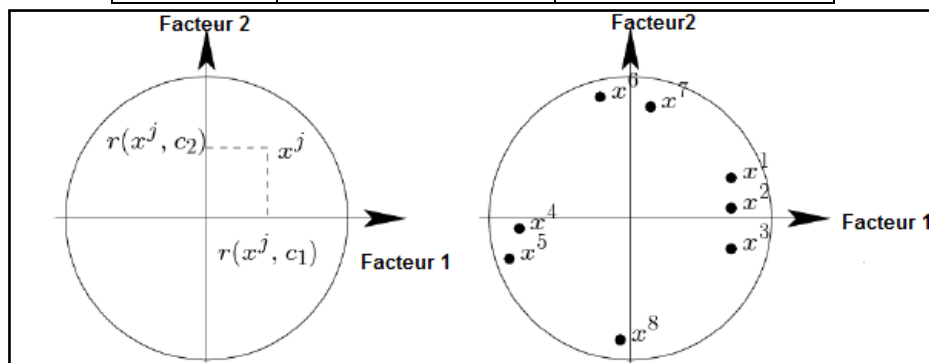


Fig. 99- Représentation de cercle de corrélation

Les facteurs des individus (facteurs scores) sont les coordonnées des individus sur les axes factoriels représentation dans R^p – Leur calcul est effectué à l'aide de la formule suivante :

$$[Fsc] = [X] \times [F] : F_{scl} = aF_{1x1} + bF_{1x2} + F_{1x3} \dots \dots \dots$$

ANNEXE II : GEOSTATISTIQUE

La géostatistique est connue depuis plus de 40 ans. Elle a commencé dans les mines d'or du Witwatersrand en Afrique du Sud lorsque Daniel Krige proposa une correction statistique à la manière traditionnelle d'estimer la teneur d'un bloc de minerai à partir d'un nombre limité d'échantillons pris au tour du bloc à exploiter. La théorie fut formulée 10 ans plus tard par George Matheron qui introduisit un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs, appelé "**variogramme**" et une méthode d'estimation basée sur le variogramme appelé "**krigeage**".

❖ *Notion de géostatistique*

Matheron (1971). Définit la géostatistique de la façon suivante : "**la géostatistique est l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et à l'estimation des phénomènes naturels**".

Une fonction aléatoire (F.A) $Z(x)$ est un ensemble de variable aléatoire $Z(x_i)$, définie en chaque point x_i du gisement G :

$$Z(x) = \{Z(x_i), \forall x_i \in G\}$$

Un phénomène minéralisé peut être caractérisé par la répartition dans l'espace d'un certain nombre de grandeurs mesurables, que nous appelons "**variables régionalisées**" (V.R). Ces variables ont une structure d'auto-corrélation qui dépend du module et de la direction du vecteur séparant deux points de mesure. Mathématiquement, une variable régionalisée est une fonction du point x (Ploner&Dutter, 2000). Cette fonction est généralement irrégulière et montre deux aspects complémentaires (Matheron, 1973) :

- Un aspect aléatoire qui explique les irrégularités locales;
- Un aspect structuré qui reflète les tendances du phénomène à grande échelle.

Le choix constitutif de la géostatistique minière consiste à interpréter chaque valeur de la variable régionalisée $z(x)$ comme une réalisation particulière d'une variable aléatoire $Z(x_i)$ implanté au point x_i , donc plusieurs réalisations sont possibles. C'est **la géostatistique Intrinsèque** (Chauvet, 1999).

1.-Variogramme

Soit deux variables aléatoires. $z(x)$ et $z(x+h)$ mesurées en 2 points "x" et "x+h" (Fig.100). la variabilité entre ces deux points se caractérise par une fonction notée $2\gamma(x,h)$ appelée **variogramme**(Journel et Huijbregts. 1978).

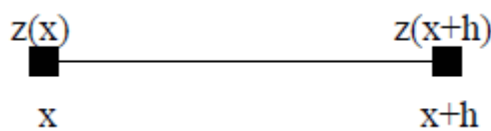


Fig.100– Représentation schématique des points de mesure de la variable.

Le variogramme théorique est défini comme étant l'espérance quadratique de la variable aléatoire $[z(x) - z(x+h)]$ soit:

$$E = \{ [Z(x) - Z(x+h)]^2 \} = 2\gamma(x, h)$$

En général, le variogramme $\gamma(x,h)$ (ou semi-variogramme) est une fonction à la fois du point x et du vecteur h (Fig. x) mais l'estimation de ce variogramme nécessite plusieurs réalisations. Or en pratique on ne dispose que d'une seule réalisation, soit le couple $[z(x) . z(x+h)]$ de mesure effectuées aux points x et x+h. d'où l'introduction de l'hypothèse intrinsèque: le variogramme ne dépend que du vecteur h en module et en direction et non du point x. En admettant cette hypothèse. Le variogramme sera estimé par la formule :

$$2\gamma(h, \theta) = \frac{1}{N(h, \theta)} \sum_{i=1}^{N(h, \theta)} [z_i(x) - z_i(x+h)]^2$$

Où $N(h, \theta)$ est le nombre de couples $[z(x) . z(x+h)]$ séparé par une distance h suivant une direction θ . Les résultats obtenus peuvent être représentés sous forme graphique (Fig.56)

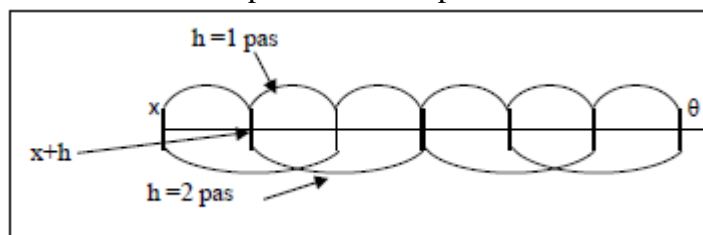


Fig.56-Estimation du variogramme.

-Propriétés du variogramme directionnel

On fixe une direction θ en partant de l'origine $h = 0$. $\gamma(x,h) = 0$. en général le variogramme croît avec le module du vecteur h . Cette croissance caractérise le degré de continuité de la variable étudiée (Fig. 101)

Généralement, la stabilisation du variogramme est marquée au-delà d'une certaine valeur de h notée est appelée **portée** du variogramme. Ce dernier reste inchangé au-delà de $h = a$ et ne dépend plus de l'interdistance entre les valeurs : les mesures ne sont plus corrélées. La portée "a" donne alors un sens à la notion de **zone d'influence** d'un échantillon ou d'un sondage. Cette portée n'est pas forcément la même dans toutes les directions de l'espace. Elle permet donc de détecter une éventuelle **anisotropie** ou **isotropie** dans la structure de la minéralisation. Dans la pratique (expérimental) quand $h=0$. $\gamma(h)=C_0$ appelée **effet de pépité**.

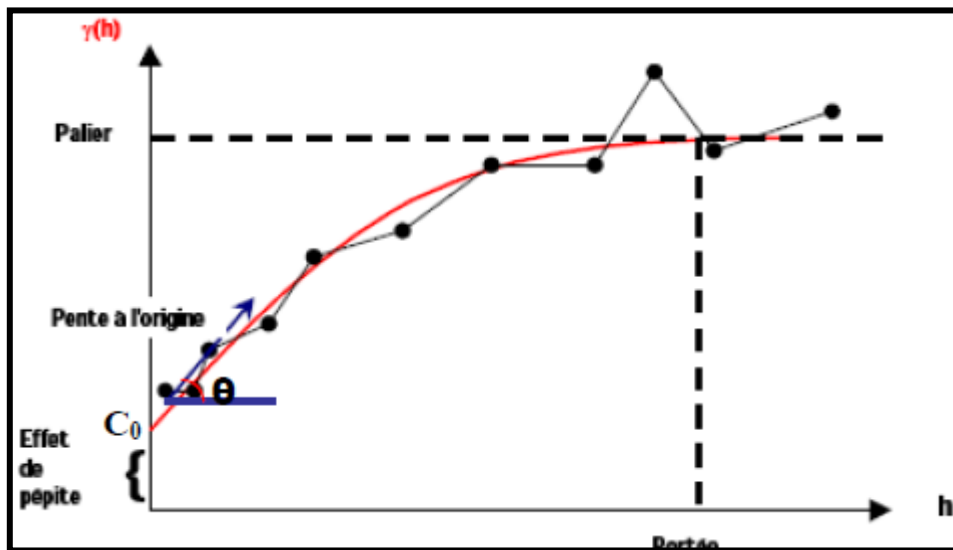


Fig. 101-Grappe d'un variogramme expérimental et son modèle d'ajustement

Le variogramme croît jusqu'à une certaine limite appelée **palier** puis s'aplatit mais il peut également croître indéfiniment (effet de dérive).

-Schéma théorique et ajustement des variogrammes

Une fois le variogramme expérimental est calculé, il faut alors déterminer un modèle mathématique qui lui correspond et qui doit être opérationnel et simple à l'emploi : C'est l'ajustement du variogramme expérimental. Les schémas théoriques d'usage courant sont classés en schémas à palier, schémas sans palier et schémas à effet de trous.

a) Schéma à palier.

Présente

➤ Un comportement linéaire à l'origine:

- Schéma sphérique:

$$\gamma(h) = \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \dots \forall h \in [0, a]$$

$$\gamma(h) = 1 \dots \text{pour} \dots h \geq a$$

- Schéma exponentiel :

$$\gamma(h) = 1 - e^{-h/a} \dots \forall h \geq 0$$

➤ Un comportement parabolique à l'origine:

- Schéma gaussien:

$$\gamma(h) = 1 - e^{-h^2/a}$$

b) Schéma sans palier

➤ Schéma en puissance

$$\gamma(h) = h^\lambda \dots \forall h > 0, \dots 0 < \lambda < 2$$

➤ Schéma logarithmique

$$\gamma(h) = a \cdot \log(h) \dots \forall h > 0, \dots a = \text{constant} > 0$$

➤ Schéma à effet de trou

$$\gamma(h) = 1 - \frac{\sin(h)}{h} \dots \forall h > 0, \quad \gamma(h) = \frac{h^2}{6} \dots h \rightarrow \infty$$

2.-La variance d'estimation

Si Z est la valeur "vraie" inconnue que l'on cherche à estimer par Z*, l'erreur commise est (Z - Z*). Les valeurs Z, Z*, Z - Z* sont prise comme des réalisations particulières de V.A (variable aléatoire) ou F.A (fonction aléatoire) Z, Z*, Z - Z*.

L'erreur aléatoire Z - Z* est alors caractérisée par ses deux premiers moments.

Moyenne b = E(Z - Z*)

Variance d'estimation $\sigma^2 E = E(Z - Z*)^2 - b^2$

Si b = 0. on dit que l'estimateur Z* est sans biais. si non l'estimateur est biaisé.

Le formalisme géostatistique permet de déduire la variance d'estimation élémentaire d'une teneur moyenne ZV par une autre teneur moyenne Zv est Avec :

$\bar{\gamma}(V.v)$: La valeur moyenne du variogramme entre un point appartenant au domaine V et un autre au domaine v ;

$\bar{\gamma}(v.v)$: La valeur moyenne du variogramme entre deux points appartenant au même domaine v.

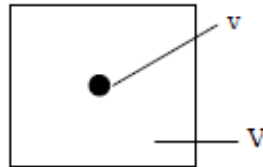


Fig. 102- Estimation élémentaire d'une teneur moyenne ZV par une autre teneur moyenne Zv

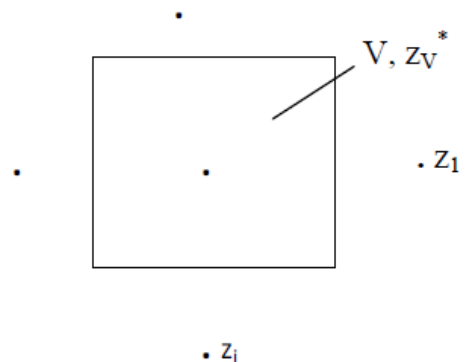
La qualité d'une estimation de V par v dépend alors :

- de la géométrie du domaine à estimer : terme $\gamma(V.V)$;
- de la distance entre l'estimé et l'estimant : terme $\gamma(V.v)$;
- de la géométrie interne de l'estimant : terme $\gamma(v.v)$;
- du degré de régularité du phénomène étudié : utilisation de la caractéristique Structurale γ .

La formule générale précédente s'étend à la variance d'estimation de la teneur moyenne ZV d'un panneau V par une combinaison linéaire z_v^* des informations disponibles (Journel. 1978).

Par exemple si l'on dispose de N informations z_i de teneurs moyennes $z(x_i)$. λ_i étant le pondérateur associé à l'information z_i . L'estimateur est :

$$z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$



La variance d'estimation s'écrit alors :

$$\sigma^2_{E(v,v)} = 2 \sum_i \lambda_i \bar{\gamma}(V, v_i) - \bar{\gamma}(V, V) - \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \bar{\gamma}(v_i, v_j)$$

Le krigeage consiste à déterminer les pondérateurs λ_i

-L'estimation par la méthode géostatistique

- **Système de krigeage ordinaire**

Ce système permet donc de retrouver les N pondérateurs λ_i . Ces derniers. Dit pondérateurs de krigeage donnent la variance d'estimation la plus petite possible et elle est appelée variance de Krigeage. Ce système est le suivant :

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(v_i, v_j) + \mu = \bar{\gamma}(v_j, V) \\ \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \end{array} \right\} \forall i = 1..N \dots et .. j = 1..N$$

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(v_i, V) + \mu - \bar{\gamma}(V, V)$$

1 - Le système de krigeage ordinaire est un système à N+1 équations à N+1 inconnues qui sont les N pondérateur i

λ et μ qui est le paramètre de Lagrange.

2 - Le krigeage ordinaire est un estimateur linéaire sans biais. C'est un interpolateur exact.

3 - Le système et la variance de krigeage rendent compte des 4 faits suivants :

- de la géométrie du domaine à estimer - terme de $\gamma(V, V)$.
- de la géométrie entre estimant et estimateur - terme de $\gamma(V, v_i)$
- de la géométrie interne de l'information - terme de $\gamma(v_j, v_i)$
- de la structure sous-jacente - terme de $\gamma(h)$.

Rappelons que le calcul des pondérateurs λ_i peut être fait à l'aide de plusieurs méthodes parmi lesquels : le Krigeage.

Le choix de la maille de prospection dépend de la variance d'estimation est donc du degré de continuité

GÉOCHIMIE ET GÉOSTATISTIQUE DE L'HAUTERIVIEN INFÉRIEUR ET DES MINÉRALISATIONS À ZN-PB ASSOCIÉES DANS LE GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA - BASSIN DU HODNA-ALGÉRIE.

Nour El Houda TOUBI* et Hamid MEZGHACHE*

RÉSUMÉ

Les Monts du Hodna présentent un grand potentiel en Zn-Pb. Le gisement de Chaabet El Hamra, situé au sud de Sétif, en fait partie. Ce gisement a été exploré par l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) et est en cours d'exploitation par l'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux (ENOF). La minéralisation à Zn-Pb est encaissée dans l'Hauterivien inférieur.

Des échantillons prélevés dans les galeries du gisement ont été analysés par diffraction aux rayons X au Laboratoire Pétro-Minéralogie de l'ORGM- Boumerdès. Cette analyse a confirmé la composition minéralogique signalée par Pogrennoi *et al.* (1992) et Boutaleb (2001). L'étude géochimique et géostatistique a été faite sur 2044 données chimiques de carottes de sondages. La très forte variabilité des teneurs en Zn, Pb et Ag est due à une hétérogénéité des données géochimiques d'où la nécessité de procéder à une discrimination de celles-ci par faciès ou origine. La classification monovariée a permis de discriminer trois (03) sous-populations: la première correspond au fond géochimique, la deuxième et la troisième correspondent respectivement au minerai type 1: minerai moyen et minerai type 2: minerai riche. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a confirmé le résultat précédent. Elle montre la présence de trois (03) associations, la première donne les caractéristiques géochimiques de l'Hauterivien inférieur - diagenétique - et les deux autres caractérisent les deux types de minerais qui se seraient formés tardivement par la circulation de fluides - épigénétiques. Le variogramme vertical du Zn qui a été ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 4\text{m}$ ne montre aucun effet de trou. L'alternance des lentilles minéralisées avec le stérile dans le sens de l'épaisseur de l'Hauterivien inférieur n'est pas systématique. L'absence de l'effet de trou dans les autres variogrammes directionnels du Zn prouve que ces lentilles minéralisées sont irrégulièrement réparties dans tout le gisement. La variographie du Zn dans le plan de la couche de l'Hauterivien inférieur montre une anisotropie géométrique avec un grand axe orienté N130°, et d'une portée de 446m et un petit axe orienté N220°, d'une portée de 86m. Les valeurs des portées correspondraient aux dimensions moyennes des lentilles minéralisées.

Mots-clés - Zn/Pb - Chaabet El Hamra - Géochimie - Géostatistique.

* Université Badji Mokhtar, Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Laboratoire de Recherche de Géologie (LRG), BP. 12, Annaba, Algérie ; E-mail: toubihouda@hotmail.fr ; mezghache.hamid@univ-annaba.org.

GEOCHEMISTRY AND GEOSTATISTICS OF LOWER HAUTERIVIAN AND ASSOCIATED ZN-PB MINERALIZATION IN CHAABET EL HAMRA ORE DEPOSIT-HODNA BASIN-ALGERIA

ABSTRACT

The Mounts of Hodna have a great Zn-Pb potential. Chaabet El Hamra ore deposit which is located in the South of Setif, belongs to it. This deposit was explored by the Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) and currently under exploitation by Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux (ENOF). The Zn-Pb mineralization is hosted in the Lower Hauterivian.

Ten (10) samples taken from the galleries of Chaabet El Hamra ore deposit were analyzed by X-rays diffraction at the Petro-Mineralogy Laboratory of ORGM-Boumerdès. This analysis confirmed the mineralogical composition announced by Pogrennoi and *al.*, 1992 and Boutaleb, 2001. The geochemical and geostatistic study was made on 2044 chemical data of drill-cores. The high variability of Zn, Pb and Ag contents is caused by the heterogeneity of the data that is why it is necessary to carry out a discrimination of those data by facies or origin. The monovariated classification made it possible to discriminate three (03) sub-populations: the first corresponds to the geochemical background, the second and the third correspond to the ore type 1: average ore and ore type 2: rich ore respectively. The Analysis in Principal Components (ACP) confirms the preceding result: It shows the presence of three (03) associations - the first characterizes the background of the Lower Hauterivian - diagenetic and the two others characterize the two types of ores which have been formed tardily by the circulation of fluids - epigenetic. The vertical Zn variogram was adjusted by a spherical model with range equal to 4m; and it does not show any hole effect. The alternation of the mineralized lenses with the sterile one in the thickness direction of Lower Hauterivian is not systematic. The absence of hole effect in the others directional variograms of Zn proves that these mineral-bearing lenses are irregularly distributed in all ore deposit. The Zn variography in the plan of the Lower Hauterivian shows a geometrical anisotropy with a large axis directed N130°, with a reach of 446m and a small axis directed N220° with a reach of 86m. The values of the quoted ranges would correspond to average dimensions of the mineral-bearing lenses.

Keywords - Zn/Pb - Chaabet El Hamra - Geochemistry - Geostatistics.

1. INTRODUCTION

Les Monts du Hodna constituent un ensemble montagneux localisé entre deux chaînes de l'Atlas: l'Atlas saharien au sud et l'Atlas tellien au nord de l'Algérie. Ces monts présentent un grand potentiel minier en Zn et Pb qui est généralement localisé dans les roches sédimentaires carbonatées. Parmi les étages contrôlant cette minéralisation, il y a

l'Hauterivien inférieur au niveau du gisement de Chaabet El Hamra. Ce dernier a été étudié par plusieurs chercheurs notamment Glaçon (1967) et Boutaleb (2001).

La présente étude a pour but la caractérisation géochimique et géostatistique de l'horizon porteur d'âge hauterivien inférieur et des minéralisations à Zn-Pb associées dans ce gisement. Elle se fera essentiellement à l'aide

des méthodes géo-informatiques. Ces études ont été menées avec le concours de l'ORGM et l'ENOF qui ont mis à notre disposition l'ensemble des données géologiques et géochimiques obtenues lors de différentes campagnes de prospection et d'exploration.

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le gisement de Chaabet El Hamra est situé à environ 250km au sud-est d'Alger, à 50km au sud de Sétif, à 4,5km au sud-est du village d'Aïn Azel et à 12km de la mine de Kherzet Youcef (fig.1).

3. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION ET DU GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA

Le gisement de Chaabet El Hamra, fait partie de la zone métallogénique des Monts du Hodna qui renferme d'importantes minéralisations en Pb-Zn localisées dans la région d'Aïn Azel. Il appartient au bloc de la plateforme d'Aïn M'lila et est associé au horst de Rahbat. (fig. 2) (Pogrennoi et *al.*, 1992).

3.1. Stratigraphie du gisement de Chaabet El Hamra

Le gisement est composé d'une séquence de roches sédimentaires carbonatées et terrigènes caractéristique d'un milieu de plate forme. L'âge de ces roches varie du Crétacé au Miocène (figs. 3 et 4). La stratigraphie du gisement réunit des dépôts du Valanginien, de l'Hauterivien inférieur et supérieur, du Barrémien inférieur et supérieur, du Miocène et du Quaternaire. L'Hauterivien inférieur représente l'horizon porteur des minéralisations à Zn-Pb du gisement de Chaabet El Hamra. Ce dernier, d'une puissance totale variant de 70 à 120m, est constitué essentiellement de dolo-

mies même si certains auteurs (Pogrennoi et *al.*, 1992) l'ont subdivisé en trois (03) termes:

- **HI- a:** ce terme est 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 supérieure (2 à 5m du toit). Ce terme est discontinu et son épaisseur varie de 1 à 2m.

- **HI- b:** il est représenté par une superposition, de bas en haut, de marnes grises verdâtres (0,5 à 2m), siltites grise-brunâtres (2 à 5m), de dolomies grises (2 à 10m), de dolomies gréseuses (3 à 8m) et de marnes bariolées (5 à 10m).

- **HI- c:** ce dernier terme est également caractérisé par des dolomies à grains fins de couleur brunâtre et fortement hématitisées.

3.2. Structure géologique du gisement

Le gisement de Chaabet El Hamra se caractérise par une structure complexe en plis faillés. Il apparaît sous forme de dôme recoupé par deux grands accidents de direction orientée E-O donnant ainsi, naissance à trois blocs principaux: un bloc central, un bloc méridional et un bloc occidental. Chacun de ces blocs est caractérisé par un système de faille (fig. 4).

3.3. Les minéralisations du gisement de Chaabet El Hamra

Les minéralisations à Zn-Pb du gisement de Chaabet El Hamra sont localisées dans la couche de l'Hauterivien inférieur (Crétacé inférieur) (Pogrennoi et *al.*, 1992). Les corps de minerais ont une forme lenticulaire. Ces lentilles ont une épaisseur moyenne de 3m et se superposent généralement dans le sens de l'épaisseur de la couche de l'Hauterivien inférieur, intercalées par des dolomies stériles.



Fig.1- Situation géographique du gisement de Chaabet El Hamra.

Geographic situation of Chaabet El Hamra ore deposit.

Pendant, le nombre des lentilles n'est pas systématiquement égal à six (06) le long de la couche porteuse comme énoncé par (Pogrennoi et al., 1992). Dans la coupe géologique tracée à travers les sondages du profil 11 (fig. 5), les zones marquées en noir indiquent des teneurs faibles en Zn qui correspondraient au fond géochimique. Les zones marquées en vert et en rouge correspondraient à des lentilles de minerais. Dans cette coupe, le nombre de lentilles minéralisées à Zn est inférieur à 6.

Dans le but de préciser éventuellement la composition minéralogique de la gangue, dix (10) échantillons ont été prélevés dans la galerie, de la partie inférieure du gisement de Chaabet El Hamra (fig. 6). Ces échantillons ont été analysés par la méthode de diffraction aux rayons X effectuée au Laboratoire Pétro-Minéralogie de l'ORGM- Boumerdès. Ces analyses confirment la composition minéralogique signalée par Glacon (1967); Pogrennoi et al., (1992) et Boutaleb (2001).

Cette dernière montre une paragenèse principalement constituée de sphalérite, galène, pyrite et marcassite. Les minéraux de gangue sont la dolomite, la calcite, la barytine et plus rarement le quartz et le gypse (Pogrennoi et al., 1992). (figs. 7, 8 et 9).

4. DONNÉES ET MÉTHODES UTILISÉES

4.1. Données chimiques des carottes de sondages

Entre 1991 et 1992, EREM, ORGM et ENOF ont procédé à plusieurs campagnes d'exploitation dans le gisement à Zn-Pb de Chaabet El Hamra. Au final, 252 sondages carottés ont été effectués sur 31 profils (fig.4), totalisant 53 927 mètres linéaires de carotte, avec des mailles de 100 x100m et de 50x70m dans la partie orientale du profil 0 au profil 15. La partie occidentale du profil 15 au profil 31, quant à elle, s'est avérée stérile.

GÉOCHIMIE ET GÉOSTATISTIQUE DE L'HAUTERIVIEN INFÉRIEUR ET DES MINÉRALISATIONS À
Zn-Pb ASSOCIÉES DANS LE GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA- BASSIN DU HODNA-ALGÉRIE.

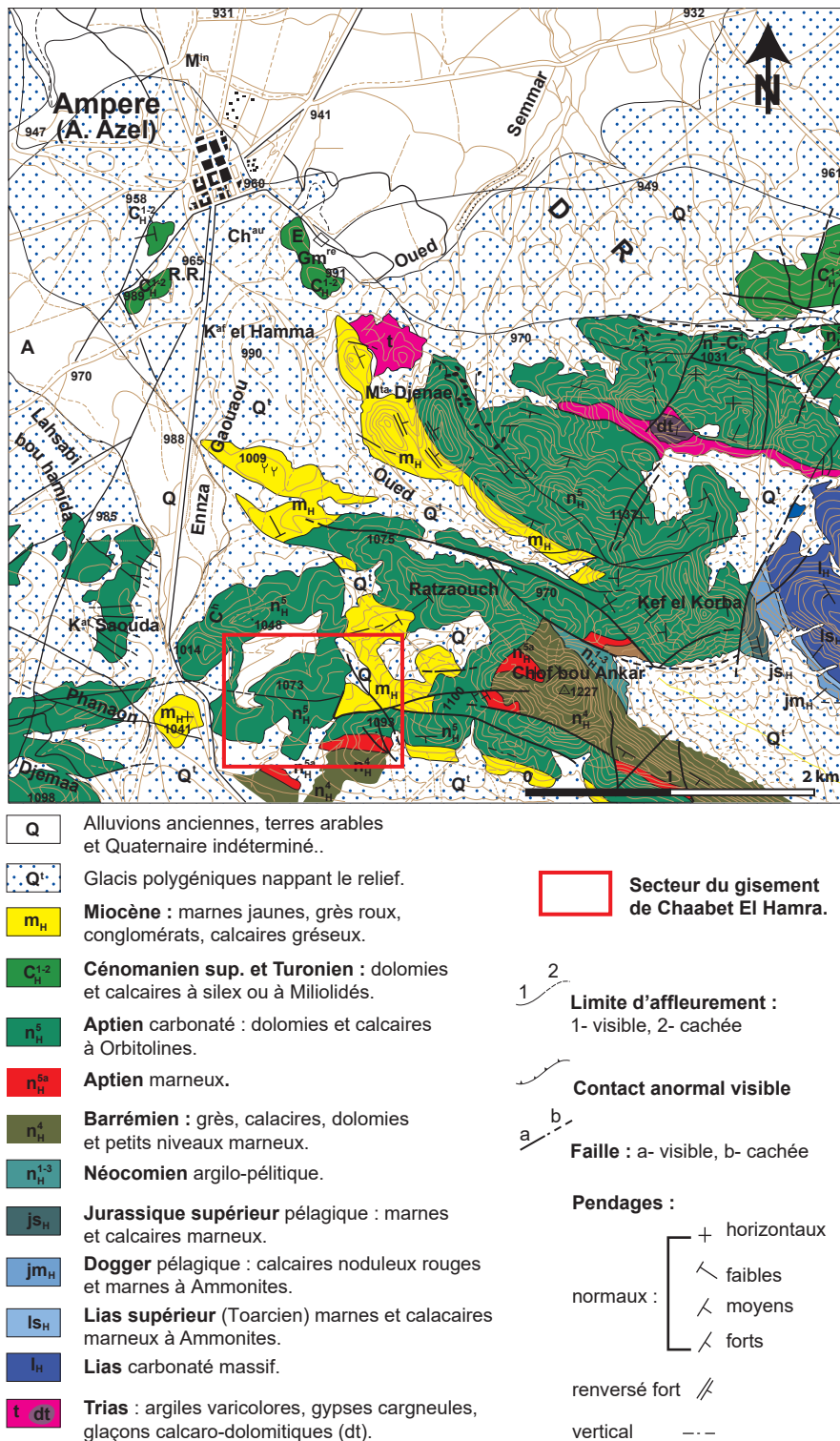


Fig. 2- Carte géologique des environs de la mine de Chaabet El Hamra (d'après les cartes géologiques au 1/50 000 d'Ain Azel et Ain Lahdjar, Sonatrach, 1977).

Geological map of Chaabet El Hamra mine surroundings (after the geological maps of Ain Azel and Ain Lahdjar on 1/50 000 scale, Sonatrach, 1977).

Colonne stratigraphique (Stratigraphic column)		Description lithologique (Lithological description)
Miocène		Calcaires gréseux à pectens Discordance
Barrémien	Sup.	Grès à intercalations de dolomies gréseuses
	Inf.	Dolomies gréseuses Marnes Calcaires marneux Marnes et dolomies massives
Hauterivien	Sup.	Dolomies massives cavernieuses Grès à débris ligneux Dolomies massives minéralisées
	Inf.	Dolomies massives grises-sombres minéralisées
Valanginien		Grès et marnes argileuses

Fig. 3- Colonne lithostratigraphique du gisement de Chaabet El Hamra (Boutaleb, 2001).
Lithostratigraphical column of Chaabet El Hamra ore deposit (Boutaleb, 2001).

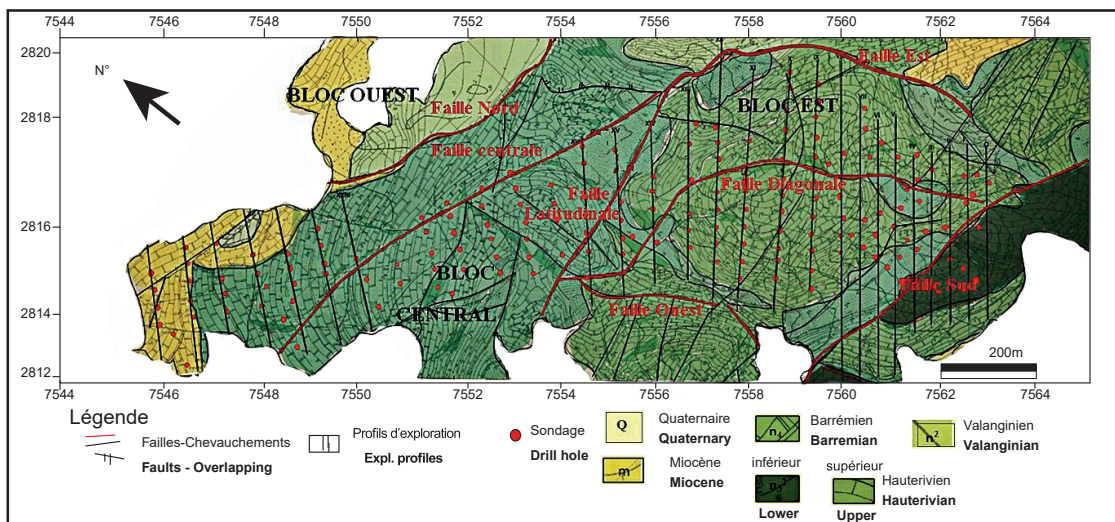


Fig. 4- Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra (Kourichi et al., 1992) avec implantation des profils d'exploration.

Geological map of Chaabet El Hamra ore deposit (Kourichi and al., 1992) with establishment of exploration profiles.

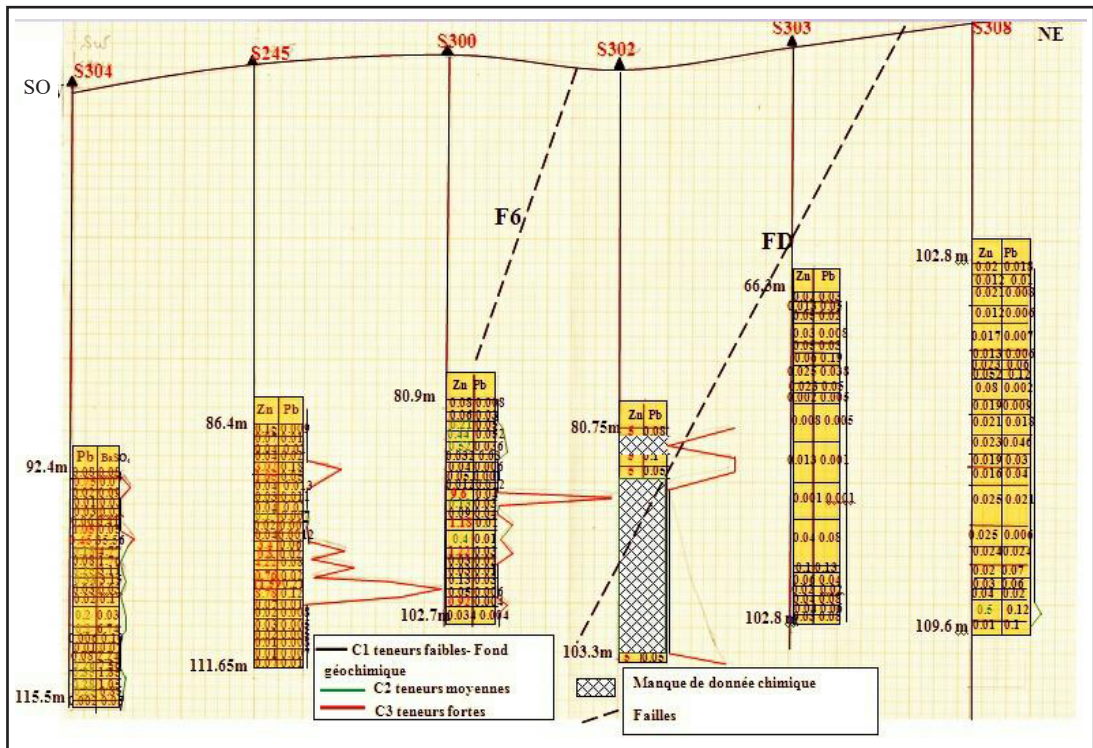


Fig. 5- Coupe géologique du gisement de Chaabet El Hamra à travers le profil 11.
 Geological cross-section of Chaabet El Hamra ore deposit through the profile 11.

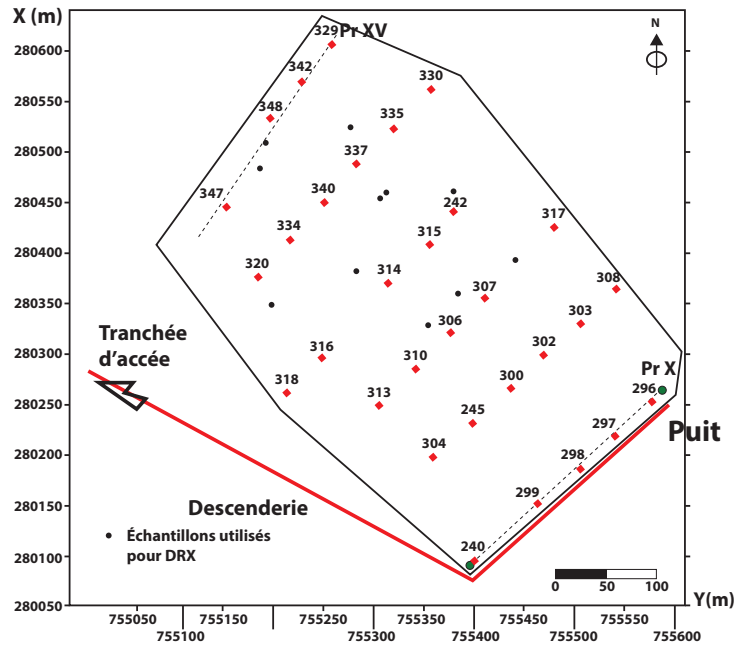


Fig. 6- Gisement de Chaabet El Hamra - localisation des échantillons utilisés pour DRX.
 Chaabet El Hamra ore deposit - location of the samples used in DRX.

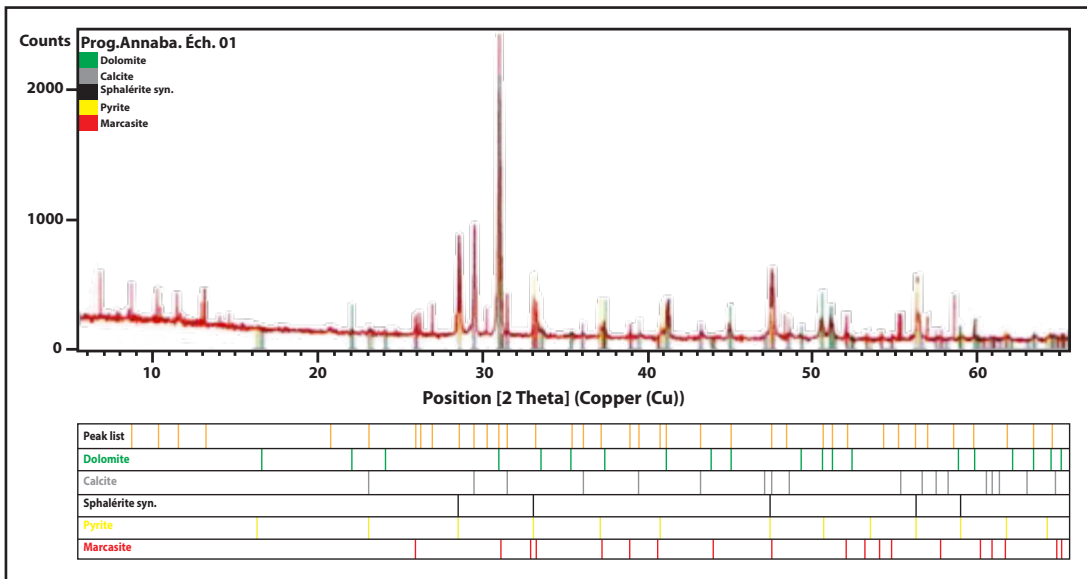


Fig. 7- Diffractogramme de l'échantillon n°01 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX.

Diffractogram of sample n°01 taken from Chaabet El Hamra ore deposit and analyzed by DRX method.

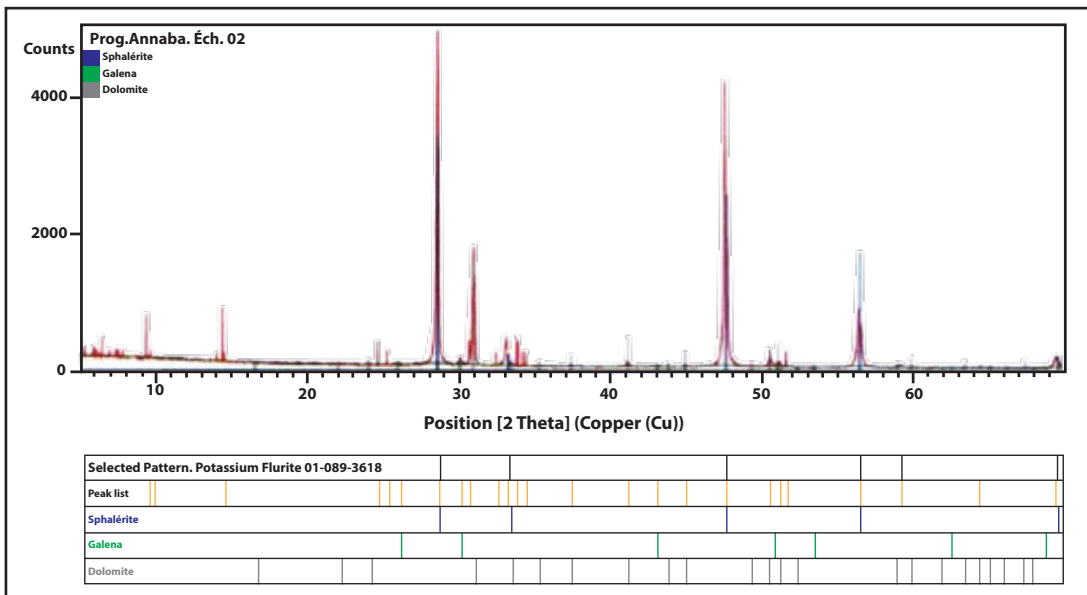


Fig. 8- Diffractogramme de l'échantillon n°02 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX.

Diffractogram of sample n°02 taken from Chaabet El Hamra ore deposit and analyzed by DRX method.

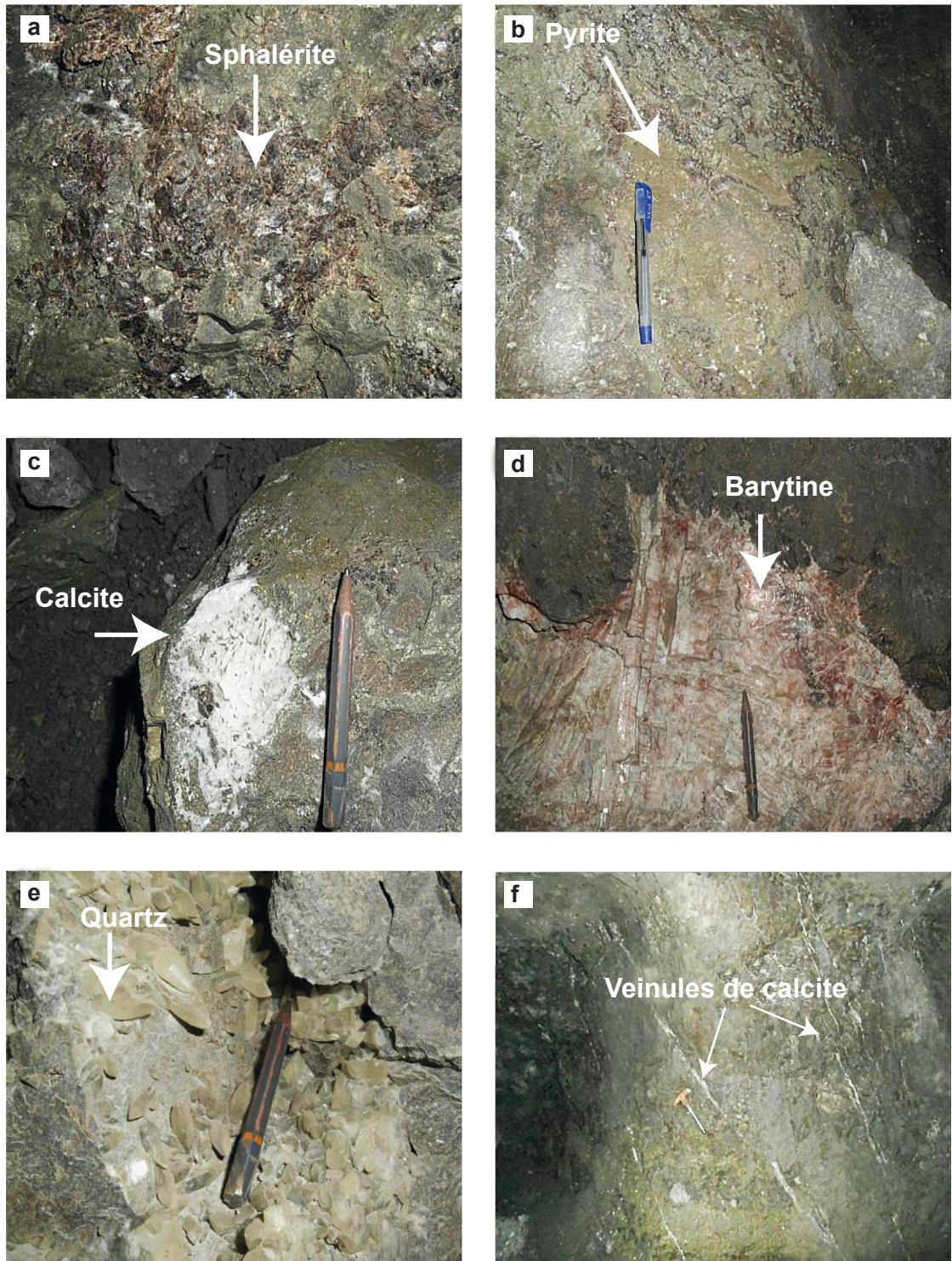


Fig. 9- Association minéralogique: a. sphalérite, b. pyrite, c et f. calcite, d. barytine et e. quartz.

Mineralogic association: a. sphalerite, b. pyrite, c. and f. calcite, d. barite and e. quartz.

Cette dernière a fait l'objet d'une étude géochimique et géostatistique (Toubi et Mezghache, 2016).

Les carottes prélevées dans l'Hauterivien inférieur qui est un horizon porteur de la minéralisation ont été échantillonnées et analysées par le procédé de fluorescence X sur les éléments Zn, Pb et les éléments accessoires Ag, Cu, Cd, BaSO₂ et CaF₂.

L'intérêt de ces analyses est de rattacher ce gisement à un autre mieux connu et définir une province métallogénique. Cela permet aussi de détecter d'éventuelles zones de pollution.

La présente étude géochimique-géostatistique a porté sur les 2044 données chimiques de carottes prélevées des sondages implantés du Profil (Pr0) jusqu'au Profil (Pr15) (fig.10).

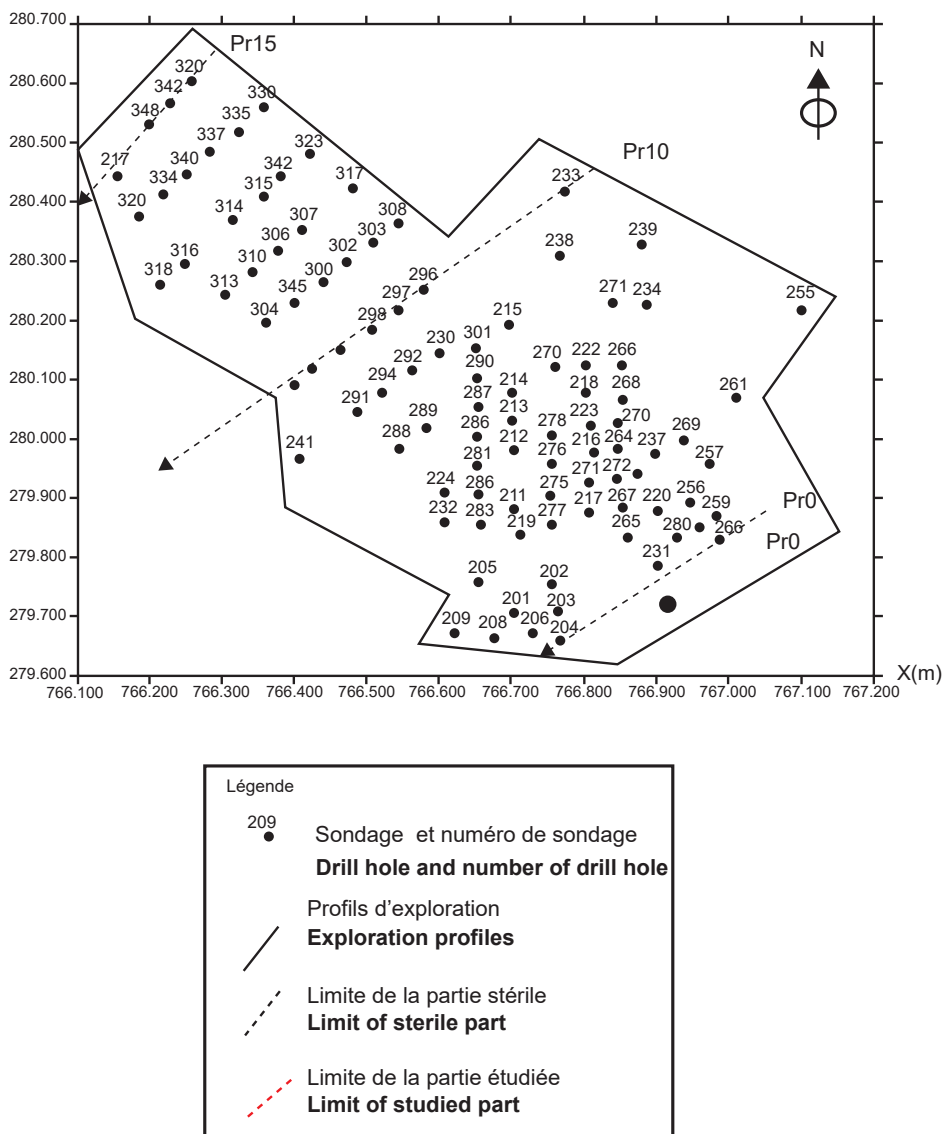


Fig. 10- Plan d'implantation des sondages du Pr0 au Pr15 dans le gisement de Chaabet El Hamra.

Site plan of the surveys from Pr0 to Pr15 in the Chaabet El Hamra ore deposit.

4.2. Méthodes utilisées

Les données chimiques d'exploration ont été analysées à l'aide de plusieurs méthodes.

4.2.1. Méthode de classification du « Passage par Zéro »

Cette méthode est basée sur le principe selon lequel, dans un ensemble de données, il y a autant de populations statistiques homogènes que de modes dans leur histogramme (fig.11 a). Elle consiste à discriminer les données hétérogènes en populations statistiques homogènes caractérisées chacune par une loi de distribution distincte.

Chacune de ces populations serait due à un phénomène géologique-géochimique particulier. Le graphe de probabilité est utilisé soit pour discriminer les populations composantes: si N est le nombre de points d'inflexion dans la courbe alors on a N+1 populations composantes (Mezghache, 1989). L'abscisse du point d'inflexion représente la limite entre deux populations composantes (fig. 11 b).

4.2.2. Calcul des fonctions indicatrices

Une fois l'ensemble des données discriminé en N classes et connaissant les poids de chacune des sous-populations composantes, on définit la fonction indicatrice (Mallet et Wild, 1984) d'appartenance d'un échantillon à une classe par :

$$I_i[\omega(x)] = \frac{P_i f_i(x)}{\sum_{i=1}^N P_i f_i(x)} \quad (1)$$

Où $f_i(x)$ sont les fonctions de densités des noyaux des classes i soit :

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x-m}{\sigma_i} \right]^2} \quad (2)$$

La fonction indicatrice $I_i[x(\omega)]$ variera de 0 à 1. Elle sera égale à 0 si ω est loin du noyau et n'appartient pas à la classe i, égale à 1 si ω appartient à la population i et entre 0 et 1 si ω appartient au mélange des populations.

$$\sum_{i=1}^N I_i[x(\omega)] = 1 \quad (3)$$

Toutes les données sont discriminées suivant leur appartenance à la classe i et elles sont enregistrées sous forme de fichier où les classes peuvent être visibles sur plan et sur carte.

4.2.3. Analyse multivariée: Analyse en Composante Principale (ACP)

L'ACP permet de fournir la synthèse de l'ensemble des valeurs numériques des analyses chimiques sous forme de tableaux et de graphes (Morineau, 1988). Les résultats des analyses chimiques sont représentés dans un tableau R de type variable – individu. (Chamussy *et al.*, 1994). Les principales étapes pour une ACP normée sont:

- le calcul de la matrice de corrélation et la recherche des facteurs de charge;
- le tracé et l'interprétation de cercle de corrélation (fig.12) des facteurs de charge afin de visualiser les degrés d'associations et la signification des corrélations des éléments chimiques avec les facteurs de charge;
- le calcul et la cartographie des facteurs scores.

4.2.4. Géostatistique

La géostatistique est définie comme étant la théorie des variables régionalisées (VR) et des fonctions aléatoires réparties dans l'espace. Elle étudie les phénomènes naturels répartis

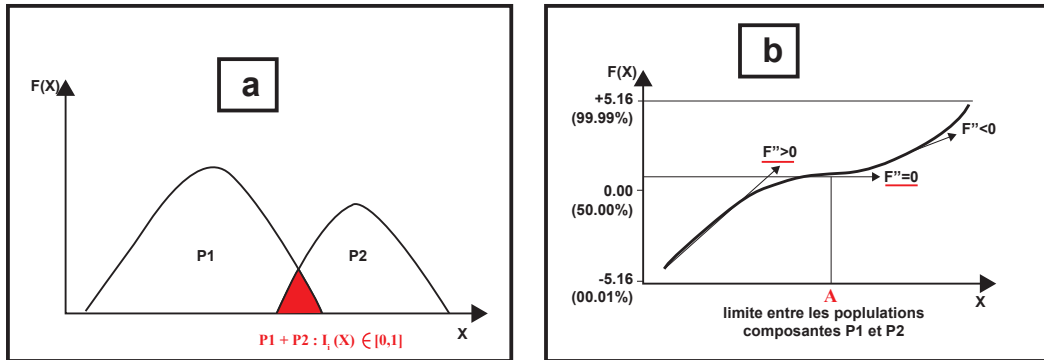


Fig. 11- Représentation schématique d'un histogramme bimodal (a) et graphe de probabilité (b).
Schematic representation of bimodal histogram (a) and probability graph (b).

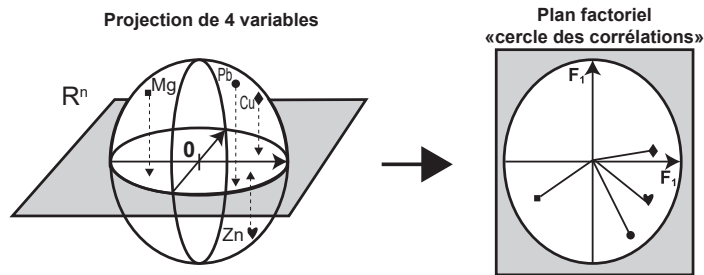


Fig.12- Cercle de corrélation d'ACP.
Correlation circle of PCA.

dans l'espace (phénomènes régionalisés) et/ou dans le temps (minéralisation, pollution, etc.).

La géostatistique est basée sur un outil d'analyse de la continuité spatiale des teneurs, appelé « variogramme » et une méthode d'estimation basée sur ce variogramme appelé «krigeage».

A. Variographie - Définition

Soient deux variables aléatoires, $Z(x)$ et $Z(x+h)$ mesurées en 2 points «x» et «x+h», la variabilité de la fonction aléatoire $Z(x)$ entre ces deux points se caractérise par une fonction notée appelée: variogramme (Journel et Huijbregts, 1978).

$$E \{ [z(x)-z(x+h)]^2 \} = 2\gamma(x, h) \quad (4)$$

Le variogramme théorique $2\gamma(x,h)$ est défini comme étant l'espérance quadratique de la variable aléatoire. Le variogramme ne dépend pas de la localisation x , mais seulement de h soit en module, soit en module et en direction (hypothèse intrinsèque) le variogramme expérimental peut être estimé à l'aide de la formule suivante:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (5) \text{ Où :}$$

$N(h)$ est le nombre de couples, $Z(x)$ et $Z(x+h)$ sur les valeurs mesurées aux points x et $x+h$ qui sont séparés par le vecteur h . Les résultats obtenus peuvent être représentés sous forme graphique (fig.13). Ce variogramme expérimental doit être ajusté par un modèle mathématique qui lui correspond et qui doit être opérationnel et simple à l'emploi (Journel et Huijbregts, 1978; Chauvet, 1999).

- Palier $\sigma^2 = C_0 + C$: variance de la variable aléatoire et qui correspond aux écarts les plus grands, en moyenne entre deux variables aléatoires.

- Effet de pépite: C_0 : variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique. L'effet de pépite est l'équivalent du «bruit blanc» des physiciens (Journel et Huijbregts, 1978).

B. Principaux types de variogrammes expérimentaux

• Variogramme à effet de pépite pur

On dit qu'il y a effet de pépite pur lorsque le variogramme observé ne traduit que la seule constante de pépite (variogramme plat). $\gamma(h) = C_0$ dès que $h > 0$. Il y a alors indépendance spatiale et la géostatistique retrouve tous les résultats de la statistique des variables indépendantes.

• Variogramme à palier

Ce sont des variogrammes présentant un palier C . Ce palier n'est autre que la valeur à l'origine $C(0)$ de la covariance correspondante. La fonction $2\gamma(h)$ est constante et égale à C quelle que soit la valeur de $h \geq 0$. Le comportement des variogrammes à l'origine est soit linéaire soit parabolique.

• Variogramme sans palier-croissance linéaire

Ce sont des variogrammes théoriques qui correspondent à des variogrammes expérimentaux dont la croissance ne présente pas de palier dans les limites $h < b$ où b est la limite de l'observation. $\gamma(h)$ tend vers $-\infty$ quand h tend vers $+\infty$. Deux types de schéma sont assez souvent utilisés, ce sont: les schémas en h avec $0 < \lambda < 2$ et les schémas logarithmiques (ou de WIJSIEN).

• Variogramme à effet de trou

Le variogramme $\gamma(h)$ présente un effet de trou si sa croissance n'est pas monotone. Il marque une pseudo-périodicité entre des zones faibles, ou pseudo-faibles et des zones riches. Les schémas à effet de trou présentent une allure sinusoïdale au niveau du palier (fig.14).

4.3. Logiciels géo-informatiques

4.3.1. Statgeo

Ce logiciel a été développé par Mezghache (1989). Il a été utilisé essentiellement dans la gestion des données et le traitement statistique monovarié, bivarié et multivarié (Calcul des matrices de corrélation, calcul des facteurs de charge et valeurs propres - ACP).

4.3.2. Statistica

Ce logiciel a été utilisé pour le traitement statistique bivarié et multivarié.

4.3.3. Surfer 8

Ce logiciel a été développé par Golden software. Il a été utilisé essentiellement pour l'établissement des plans d'échantillonnage. Ce logiciel a été acquis par le Laboratoire de Géologie – UBMA (LRG, 2009).

4.3.4. Geostatistical toolbox

Ce logiciel a été créé par Froidevaux, (1990). Il a été utilisé pour le traitement statistique des données et le calcul des variogrammes verticaux.

4.3.5. Surpac version 4.1.M

Ce logiciel, version 4.1.M a été acquis par le Laboratoire de Métallurgie Physique et Propriété des Matériaux de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba (Pr. Tayeb SERRADJ) et

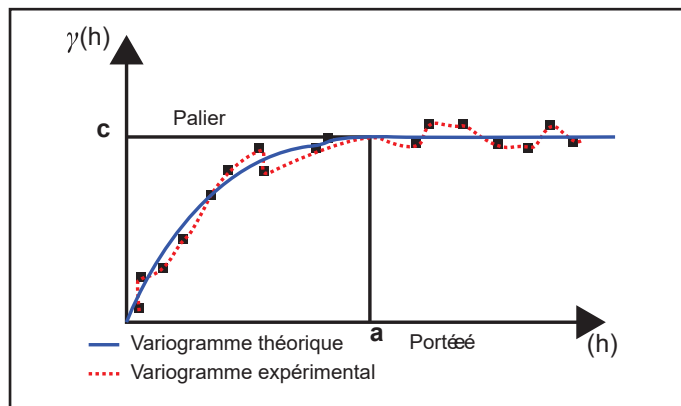


Fig. 13- Représentation graphique du variogramme.

Graphic representation of variogram.

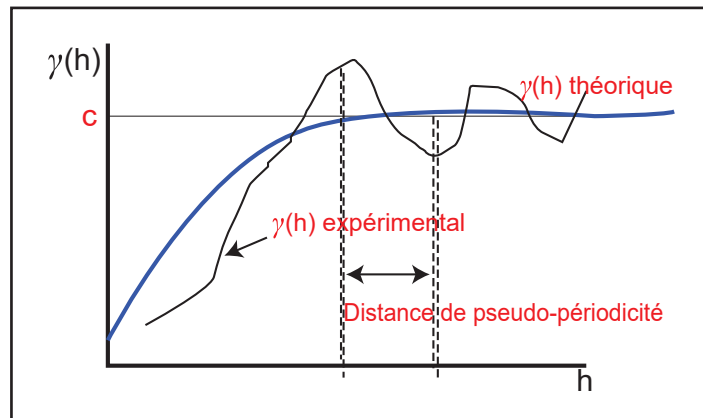


Fig. 14- Représentation graphique d'un variogramme à effet de trou ajusté.

Graphic representation of adjusted hole effect variogram.

a été utilisé, essentiellement, pour le calcul et l'ajustement des variogrammes expérimentaux.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. Traitement statistique des données de la partie minéralisée du gisement de Chaabet El Hamra (Pr0 - Pr15)

5.1.1. Statistiques élémentaires

Les paramètres statistiques des éléments chimiques Zn, Pb, Ag, BaSO₄, CaF₂ et Cd ont été calculés à l'aide du logiciel Statgeo

sur un nombre de 2044 échantillons (tabl. I). Les teneurs en Zn varient de 0,0001% à 38% avec une moyenne de 0,98% et un coefficient de variation de 319%. Les teneurs en Pb varient de 0,0009% à 5,25% avec une moyenne de 0,057% et un coefficient de variation de 435%. Les teneurs en Cd varient de 0,0001% à 1% avec une moyenne de 0,008% et un coefficient de variation de 675%. Les teneurs en BaSO₄ varient de 0,0025% à 85,08% avec une moyenne de 0,99% et un coefficient de variation égal à 525,25%.

Les teneurs en CaF₂ varient de 0,0025% à 8,51% avec une moyenne de 0,094% et un

coefficient de variation égal à 446,80%. Les teneurs en Ag varient de 0,001g/t à 23,00g/t avec une moyenne de 2,63g/t et un coefficient de variation égal à 87,83%. Les fortes valeurs des coefficients de variations pour les éléments chimiques Zn, Pb, Cd, CaF₂ et BaSO₄ laissent suspecter une hétérogénéité de données géochimiques provenant de différents faciès ou origine. Pour Ag, la faible valeur du coefficient de variation 87,83% indique qu'il s'agit d'un seul type de faciès ou origine. Il n'y a pas d'enrichissement relatif de l'Ag.

5.1.2. Classification monovariée

La classification monovariée par la méthode du «passage par Zéro» (Sinclair, 1974; Mezghache, 1989) a été appliquée à l'aide du logiciel Statgeo. Les résultats de la classification monovariée sur 2044 données géochimiques ont montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en trois (03) sous-populations (tabl. II).

Pour le Zn, la sous-population 1 représente de faibles teneurs en Zn 0,039% de moyenne avec un taux de 57% de l'ensemble des échantillons. La sous-population 2 représente 25%

de l'ensemble de données avec une teneur moyenne de Zn de 0,26%. La sous-population 3 représente 18% de l'ensemble des teneurs avec une teneur moyenne de Zn qui est égale à 4,96%.

Les fonctions indicatrices ou probabilités d'appartenance à une sous-population composante ont été calculées (Mezghache, 1989). Au total, 18 sous-populations composantes ont été obtenues (tabl. II): Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Ag1, Ag2, Ag3, BaSO₄(1), BaSO₄(2), BaSO₄(3), CaF₂(1), CaF₂(2), CaF₂(3), Cd1, Cd2 et Cd3.

5.2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES NORMÉES – ACP

Au total, trois ACP ont été faites: une ACP sur l'ensemble de données chimiques et deux ACP sur les résultats des fonctions indicatrices.

5.2.1. ACP sur l'ensemble des données chimiques

L'établissement de la matrice de corrélation a permis de quantifier les relations linéaires de

Tableau I - Paramètres statistiques de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (données du Pr0 au Pr15).

Statistical parameters of the data set of Chaabat El Hamra desposit (data from Pr0 to Pr15).

	Zn (%)	Pb(%)	Ag (g/t)	BaSO ₄ (%)	CaF ₂ (%)	Cd (%)
N. éch.	2044	2004	1621	1205	1205	1616
Min.	0,0001	0,0009	0,0010	0,0025	0,0025	0,0001
Max.	38,0000	5,2500	23,0000	85,0800	85,0800	1,0000
Moy.	0,9800	0,0570	2,6300	0,9900	0,9900	0,0080
E-type%	3,1300	0,2500	2,3100	5,2000	5,2000	0,0540
Coef. Variation	318,99	435,08	87,83	525,25	525,25	675,00

liaison entre les éléments chimiques (tabl. III). Une corrélation linéaire positive a été enregistrée entre les éléments Pb, Zn, Ag et Cd. CaF_2 corrélés positivement à Ag et négativement à BaSO_4 .

La signification du coefficient de corrélation dépend du nombre de données utilisées pour son calcul (Baccini, 2010). Généralement, ce dernier n'est significatif que s'il satisfait aux conditions d'approximation suivantes :

$$Cs \leq -\frac{2}{\sqrt{n-1}} \text{ et } \dots Cs \geq \frac{2}{\sqrt{n-1}}$$

Pour N (Nombre d'échantillon) = 2044;

$Cs \leq -0.04$ pour les valeurs négatives et

$Cs \geq +0.04$ pour les valeurs positives.

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charge (tabl. IV). Les cercles de corrélations ont été tracés et interprétés (fig. 15).

Tableau II- Paramètres statistiques de la classification monovariée de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (données du Pr0 au Pr15).

Statistical parameters of the monovariated classification of Chaabat El Hamra desposit data (data from Pr0 to Pr15).

	Nombre d'éch.	% d'éch.	Min.	Max.	Moy.	E.Type	Coef. de variation
Zn1 (%)	1172	57,36	0,0001	0,1064	0,0390	0,0260	65,06
Zn2 (%)	503	24,62	0,1070	0,6800	0,2620	0,1460	55,43
Zn3 (%)	368	18,01	0,7000	38,0000	4,9600	5,9100	119,27
Pb1 (%)	1917	95,71	0,0009	0,1500	0,0246	0,0254	103,24
Pb2 (%)	56	2,80	0,1670	0,5300	0,3060	0,0990	41,52
Pb3 (%)	30	1,50	0,6200	5,2500	1,6900	1,1260	66,65
Ag1 (g/t)	1211	74,75	0,0100	3,4000	1,5400	0,9500	61,73
Ag2 (g/t)	323	19,94	3,5000	6,2000	4,9700	0,2900	5,84
Ag3 (g/t)	86	5,31	6,2500	23,0000	9,2400	2,5300	27,44
BaSO_4 1 (%)	1000	82,92	0,0025	0,3600	0,0370	0,0460	122,04
BaSO_4 2 (%)	75	6,22	0,3600	0,9500	0,6050	0,17700	29,41
BaSO_4 3 (%)	131	10,86	0,9860	85,0850	8,4900	13,6800	161,54
CaF_2 1 (%)	82	8,01	0,0025	0,0250	0,0045	0,0026	57,26
CaF_2 2 (%)	918	89,65	0,0075	0,3500	0,0520	0,0350	67,24
CaF_2 3 (%)	24	2,34	0,4000	8,5100	1,9900	1,4800	74,37
Cd1 (%)	1498	92,64	0,00005	0,0082	0,0014	0,0016	109,50
Cd2 (%)	73	4,51	0,0081	0,0280	0,0155	0,0058	37,44
Cd3 (%)	46	2,84	0,0290	1,0000	0,2020	0,2580	127,46

Zn1= Classe1, Zn2= Classe2 et Zn3= Classe3.

Tableau III- Matrice de corrélation linéaire simple de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (données du Pr0 au Pr15).

Simple linear correlation of the data set of Chaabat El Hamra desposit (data from Pr0 to Pr15).

	Pb	Zn	Ag	BaSO_4	CaF_2	Cd
Pb	1,00					
Zn	0,46*	1,00				
Ag	0,11*	0,14*	1,00			
BaSO_4	-0,01	-0,02	0,03	1,00		
CaF_2	0,02	-0,02	0,16*	-0,07*	1,00	
Cd	0,02	0,12*	-0,01	-0,01	-0,02	1,00

*- Coefficient de corrélation significatif.

Tableau IV- Les facteurs de charge de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra (données du Pr0 au Pr15).

Load factors of the data set of Chaabet El Hamra ore deposit (data from Pr0 to Pr15).

	Pb	Zn	Ag	BaSO ₄	CaF ₂	Cd	Val. prop.
F1 (25,77%)	0,80	0,83	0,41	-0,04	0,12	0,21	0,21
F2 (19,05%)	0,12	0,20	-0,56	0,20	-0,79	0,34	0,34
F3 (17,06%)	0,02	-0,02	0,29	0,89	-0,14	-0,35	-0,35

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 44,82% (F1= 25,77%, F2 = 19,05%) (fig. 15), montrent la présence de trois associations chimiques (fig.15 a): la première association composée de Zn et Pb corrélée positivement au facteur F1, la deuxième association composée de BaSO₄ et Cd corrélée positivement au facteur F2, cependant, BaSO₄ est corrélé positivement au F3 alors que Cd est corrélé négativement au même facteur (fig. 15 b), la troisième association composée de CaF₂ et Ag est corrélée négativement au facteur F2 et une association chimique (fig. 15 b) composée de Pb, Zn, Cd, CaF₂ et Ag corrélée positivement avec F1.

5.2.2. ACP des fonctions indicatrices

Afin de déterminer les relations entre les dix huit (18) sous-populations composantes, une matrice de corrélation linéaire simple a été calculée et une ACP a été effectuée (tabl. V et VI). La matrice de corrélation linéaire simple montre une corrélation positive entre Zn1, Pb1, Cd1, Ag1 et BaSO₄(2).

Ces faibles teneurs en Zn, Pb, Ag et Cd caractérisent le Fond géochimique-faciès Hauterivien inférieur par contre le BaSO₄(2) indique que les sulfates de baryum existent initialement avec de fortes teneurs dans les dépôts de l'Hauterivien inférieur. Zn2 est corrélé positivement à Pb2, Ag2 et Cd1, c'est le minerai type 1.

Dans ce minerai, le Cd est faible et n'a pas subi un enrichissement. Zn3 est corrélé positivement avec Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, BaSO₄(1) et CaF₂(3), c'est le minerai type 2.

Dans ce minerai les teneurs en Pb peuvent être aussi bien faibles qu'élevées. Les coefficients de corrélations écrits en gras sont significatifs.

Sur la base des résultats de la matrice de corrélation linéaire simple, une analyse en composantes principales a été effectuée, les vecteurs et les valeurs propres calculés (tabl. VI) et les cercles de corrélations ont été tracés et interprétés (fig.16).

La représentation graphique des corrélations entre 18 variables d'une part et les facteurs de charge F1 et F2 d'autre part, qui représentent le maximum de variance cumulée de 31,37% (F1= 17,49%, F2= 13,88%) (fig. 16) montre la présence de deux principales associations chimiques:

La première constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Cd1 et Ag1 avec la présence de BaSO₄ (2 et 3) caractérisant le faciès Hauterivien inférieur-Fond géochimique. Cette association révèle que BaSO₄ existe initialement avec de fortes teneurs dans les dépôts de l'Hauterivien inférieur. La deuxième association constituée par Zn2, Zn3, Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, Ag2, Ag3, CaF₂ (2), CaF₂ (3) et BaSO₄ (1) caractérise les minéralisations localisées dans l'Hauterivien inférieur.

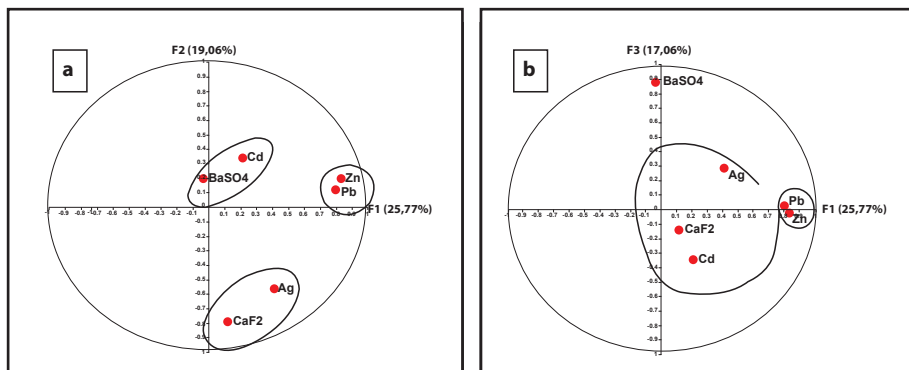


Fig. 15- Cercles de corrélation de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra du Pr0 au Pr15.

Correlation circles of the whole data of Chaabet El Hamra ore deposit from Pr0 to Pr15.

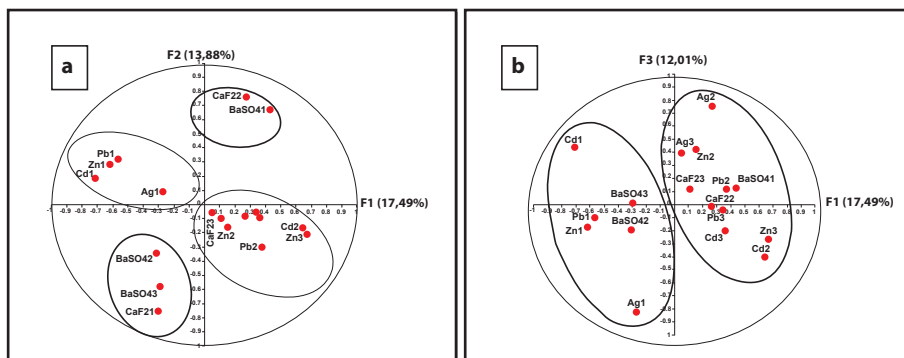


Fig.16- Cercles de corrélation de l'ensemble des sous-populations composantes (18 variables).

Correlation circles of all of the component subpopulations (18 variables).

Afin de discriminer les types des minerais de la minéralisation à Zn-Pb, une ACP a été refaite en éliminant les deux éléments BaSO₄ et CaF₂. Seules 12 variables ont été prises en considération (Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Ag1, Ag2, Ag3, Cd1, Cd2 et Cd3). La matrice de corrélation calculée (tabl. VII) a permis de montrer trois corrélations positives celle Zn1 avec Pb1, Cd1 et celle de Zn2 avec Pb2 et celle de Zn3 avec Zn2, Pb3, Cd2 et Cd3.

Les facteurs de charge ont été calculés (tabl. VIII) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (fig.17).

La représentation graphique des corrélations entre 12 variables après élimination

des deux éléments chimiques BaSO₄ et CaF₂ avec les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 42,77% (F1= 26,07%, F2= 16,74%) (fig.17) montre clairement l'existence de trois associations chimiques:

La première, constituée de Zn1, Pb1, Ag1 et Cd1, est corrélée négativement à F1, la deuxième association, formée de Zn2, Pb2 et Ag2 est corrélée positivement à F1 et F2, la troisième association, formée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2, est corrélée positivement à F1. L'association 1 caractérise la géochimie des dépôts de l'Hauterivien inférieur: fond géochimique, l'association 2 caractérise le premier type de minerai et l'association 3 carac-

térise le deuxième type de minerai-minerai riche. Ces associations permettent de conclure que Cd existe à de faibles teneurs dans le fond géochimique, pour ensuite s'enrichir dans le 2^{ème} type de minerai (présence de Cd2 et Cd3).

5.3. DISCUSSION ET INTERPRÉTATION

L'analyse monovariée et l'ACP ont permis de déterminer trois (3) associations. Chacune de ces associations exprime un type de faciès ou phénomène géologique.

- La première association constituée des éléments chimiques: Zn1, Pb1, Ag1, Cd1, Ag1 et BaSO₄ (2 et 3), représente la sous-population de faibles teneurs sauf pour BaSO₄. Elle représente le faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - fond géochimique.

- La deuxième association constituée par Zn2, Pb2, Ag2, CaF₂ (2), CaF₂ (3) et BaSO₄ (1), représente la sous-population de teneurs moyennes en Zn, cette association caractérise le minerai moyen-minerai type 1.

- La troisième association constituée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2, représente la sous-population de fortes teneurs en Zn minerai riche; et correspond à un autre type de minerai-minerai type 2.

Du point de vue géologique, ces résultats suggèrent donc l'existence de trois phases:

Phase 1: caractérisée par la sous-population 1 qui correspond au faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - fond géochimique et qui est donc d'origine diagénétique. Ce faciès est caractérisé par une dolomie avec amas de pyrite, de dissémination de marcassite, de blende précoce et de teneurs élevées en BaSO₄.

Phase 2: sous-population 2, ayant des teneurs relativement plus élevées, la formation de cette sous-population ne peut être expliquée que par un apport supplémentaire grâce

à des phénomènes de migration (Toubi et Mezghache, 2016). Elle représente le minerai type 1 qui est donc de formation épigénétique.

Phase 3: sous-population 3, formée plus tardivement, elle est due à la mise en place du minerai riche en Zn- minerai type 2. Les teneurs en Cd de cette sous-population montrent un enrichissement relatif en cet élément. Cette phase serait liée à un nouvel épisode de circulations de fluides minéralisateurs aidé par des processus tectoniques donc épigénétique tardive. Pour BaSO₄ dans cette sous population, elle ne peut être que d'origine hydrothermale comme signalée par Boutaleb (2001).

De par sa morphologie, le gisement a été classé comme stratiforme par Pogrennoi et al. (1992).

5.4. ÉTUDE GÉOSTATISTIQUE

Dans la présente étude, le traitement géostatistique est basé essentiellement sur la variographie du Zn afin d'analyser sa continuité spatiale et donc celle de la minéralisation zincifère. Les variogrammes directionnels, dans la direction verticale (fig. 18) et les directions N130° et N220° (figs. 19 et 20), ont été calculés et ajustés pour l'ensemble des données de sondages du Pr0 au Pr15 (tabl. IX, X et XI) à l'aide du logiciel Surpack.

La couche minéralisée, explorée et prise en compte pour l'étude géostatistique, a une longueur moyenne de 1500m et une largeur moyenne de 500m.

5.4.1. Variogramme vertical

Le variogramme vertical expérimental des teneurs en Zn pour un ensemble de 2040 données ayant une teneur moyenne de 0,79% et un écart type de 1,48% a été construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 4,51m$, d'un effet de pépité $C_0 = (0,39 \%)^2$, et d'un palier $C = (1,91 \%)^2$.

Tableau V- Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (18 variables)
Nombre total d'échantillons N=907.

Simple linear correlation matrix of signaling functions (18 variables)
Total number of samples N= 907.

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	BaSO ₄ (1)	BaSO ₄ (2)	BaSO ₄ (3)	CaF ₂ (1)	CaF ₂ (2)	CaF ₂ (3)	
Zn1	1,00																		
Zn2	-0,72	1,00																	
Zn3	-0,52	-0,23	1,00																
Pb1	0,35	-0,14	-0,32	1,00															
Pb2	-0,24	0,18	0,12	-0,80	1,00														
Pb3	-0,19	-0,06	0,33	-0,36	-0,27	1,00													
Ag1	0,11	-0,10	-0,04	0,08	-0,04	-0,06	1,00												
Ag2	-0,10	0,08	0,04	-0,09	0,05	0,06	-0,95	1,00											
Ag3	-0,05	0,06	-0,01	0,01	-0,02	0,01	-0,40	0,10	1,00										
Cd1	0,26	0,10	-0,48	0,18	-0,11	-0,11	0,03	-0,04	0,03	1,00									
Cd2	-0,23	-0,10	0,44	-0,17	0,10	0,12	-0,02	0,03	-0,02	-0,91	1,00								
Cd3	-0,13	-0,03	0,22	-0,07	0,05	0,03	-0,03	0,04	-0,01	-0,50	0,09	1,00							
BaSO ₄ 1	-0,08	0,02	0,09	-0,04	-0,02	0,09	-0,07	0,07	0,01	-0,09	0,08	0,04	1,00						
BaSO ₄ 2	0,07	-0,06	-0,03	0,11	-0,07	-0,05	0,09	-0,08	-0,05	0,06	-0,05	-0,03	-0,65	1,00					
BaSO ₄ 3	0,04	0,03	-0,09	-0,04	0,09	-0,07	0,01	-0,02	0,03	0,07	-0,06	-0,03	-0,74	-0,03	1,00				
CaF ₂ 1	0,01	0,02	-0,04	0,01	0,01	-0,02	0,01	-0,02	0,03	0,04	-0,03	-0,03	-0,31	0,15	0,27	1,00			
CaF ₂ 2	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,03	-0,04	0,03	0,03	0,30	-0,15	-0,26	-0,98	1,00		
CaF ₂ 3	-0,06	-0,03	0,13	-0,05	-0,05	0,16	-0,11	0,11	0,01	0,01	0,01	-0,01	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,16	1,00	

Tableau VI- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (18 variables).

Charge factors of the whole chemical elements signaling functions (18 variables).

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	BaSO ₄ (1)	BaSO ₄ (2)	BaSO ₄ (3)	CaF ₂ (1)	CaF ₂ (2)	CaF ₂ (3)
F1 17,49%	-0,62	0,15	0,67	-0,57	0,37	0,34	-0,27	0,27	0,05	-0,71	0,64	0,36	0,43	-0,31	-0,29	-0,30	0,27	0,11
F2 13,88%	0,29	-0,16	-0,21	0,32	-0,30	-0,06	0,09	-0,08	-0,06	0,19	-0,17	-0,09	0,67	-0,34	-0,58	-0,75	0,76	-0,10
F3 12,01%	-0,17	0,42	-0,27	-0,10	0,12	-0,04	-0,82	0,75	0,40	0,44	-0,40	-0,20	0,12	-0,19	0,01	-0,01	-0,02	0,10

Valeurs propres: F1 (3.15), F2 (2.50) et F3 (2.16).

Tableau VII - Matrice de corrélation linéaire simple des fonctions indicatrices (12 variables).
Nombre total d'échantillons N=1526.

Simple linear correlation matrix of signaling functions (12 variables)
Total number of samples N= 1526.

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Cd1	Cd2	Cd3	Ag1	Ag2	Ag3
Zn1	1,00											
Zn2	-0,66	1,00										
Zn3	-0,55	-0,27	1,00									
Pb1	0,44	-0,16	-0,38	1,00								
Pb2	-0,27	0,23	0,10	-0,77	1,00							
Pb3	-0,26	-0,10	0,44	-0,39	-0,28	1,00						
Cd1	0,25	0,13	-0,47	0,16	-0,03	-0,21	1,00					
Cd2	-0,25	-0,13	0,46	-0,18	0,03	0,23	-0,81	1,00				
Cd3	-0,09	-0,05	0,18	-0,04	0,01	0,05	-0,63	0,05	1,00			
Ag1	0,15	-0,07	-0,11	0,07	-0,02	-0,08	0,08	-0,09	-0,01	1,00		
Ag2	-0,15	0,08	0,10	-0,11	0,06	0,08	-0,05	0,06	-0,01	-0,88	1,00	
Ag3	-0,03	-0,01	0,06	0,05	-0,07	0,03	-0,09	0,08	0,04	-0,47	-0,01	1,00

Les coefficients de corrélations écrits en gras sont significatifs.

Tableau VIII- Facteurs de charge des fonctions indicatrices de l'ensemble des éléments chimiques (12 variables).

Load factors of the indicator functions of the whole chemical elements data (12 variables).

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	Val. propre
F1 (26,07%)	-0,68	0,11	0,76	-0,63	0,33	0,43	-0,36	0,33	0,15	-0,72	0,66	0,35	3,13
F2 (16,74%)	-0,43	0,70	-0,23	-0,44	0,60	-0,21	-0,27	0,33	-0,04	0,52	-0,41	-0,35	2,08
F3 (15,82%)	0,18	-0,12	-0,09	0,36	-0,39	0,02	-0,88	0,74	0,48	0,06	-0,03	-0,06	1,90

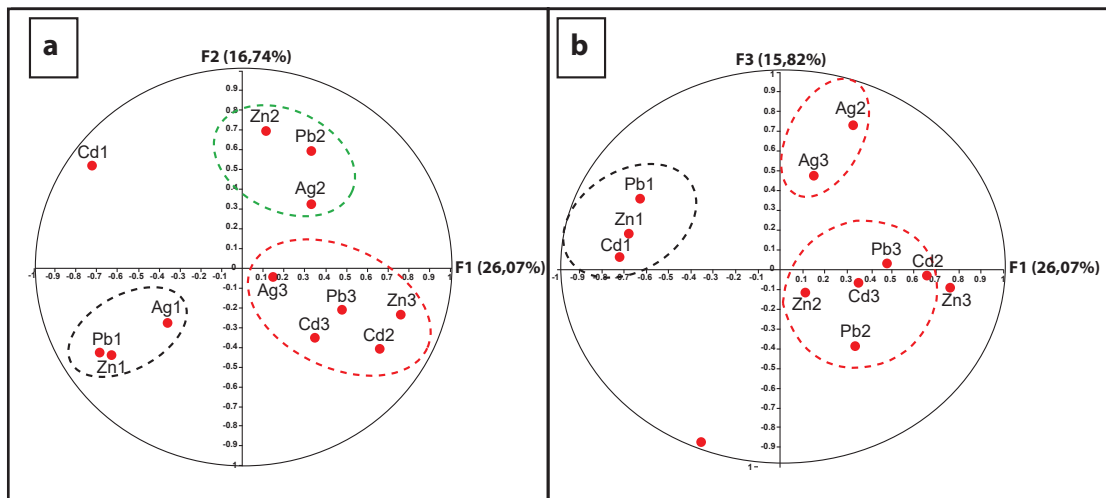


Fig. 17 - Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12 variables).

Correlations circles of all of the component subpopulations (12 variables).

Tableau IX - Données du variogramme vertical des teneurs en Zn .

Zn occurrences vertical variogram data.

Distances du Pas (m)	Nombre de Couples (n)	$\gamma(h) - (\%)^2$
1	2162	1,001
2	1998	1,640
3	1861	1,954
4	1735	2,167
5	1617	2,278
6	1511	2,312
7	1416	2,247
8	1331	2,332
9	1250	2,388
10	1172	2,363
11	1094	2,291
12	1019	2,235

La tolérance angulaire es de 20° (fig. 18, tabl. IX).

Le variogramme vertical (fig. 18) ne présente pas d'effet de trou.

La pseudo-périodicité n'est donc pas systématique; ceci exclue l'hypothèse selon laquelle le gisement de Chaabet El Hamra serait constitué de six (06) lentilles qui se superposent dans l'Hauterivien inférieur (Pogrenoi et *al.*,1992).

Le gisement est constitué de lentilles minéralisées certes, mais ces dernières ne sont pas régulièrement réparties comme le montre la figure 5.

5.4.2. Variogrammes directionnels dans le plan de la couche minéralisée

•Direction N130°- direction de la couche minéralisée- perpendiculaire aux profils d'exploration.

Le variogramme dans la direction N130° des teneurs en Zn pour un ensemble de 1559 données ayant une teneur moyenne de 0,71% et un écart type de 1,68% a été

construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a=446,561\text{m}$, d'un effet de pépité $C_0 = (0,63 \%)^2$, et d'un palier $C = (3,28 \%)^2$.

La tolérance angulaire directionnelle est de 5° et un pendage de 12° (fig. 19, tabl. X).

• Direction N220°- perpendiculaire à la direction de la couche minéralisée- parallèle aux profils d'exploration.

Le variogramme de direction N220° des teneurs en Zn a été construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 86,42\text{m}$, d'un effet de pépité $C_0 = (0,67 \%)^2$, et d'un palier $C = (4,34 \%)^2$. La tolérance angulaire directionnelle est de 20° et le pendage est de 12° (fig. 20, tabl. XI).

Les variogrammes directionnels (figs.19, 20 et 21) montrent l'existence d'une anisotropie géométrique dont le grand axe est orienté suivant la direction, et le pendage de la couche minéralisée - N130°, pendage 12° - avec une portée de 446,61m et le petit axe N220° perpendiculaire à la direction de la couche minéralisée et parallèle aux profils d'exploration, avec une portée de 86,42m. Le coefficient d'anisotropie est de 0,19.

Tableau X- Données du variogramme du Zn dans la direction N130°.

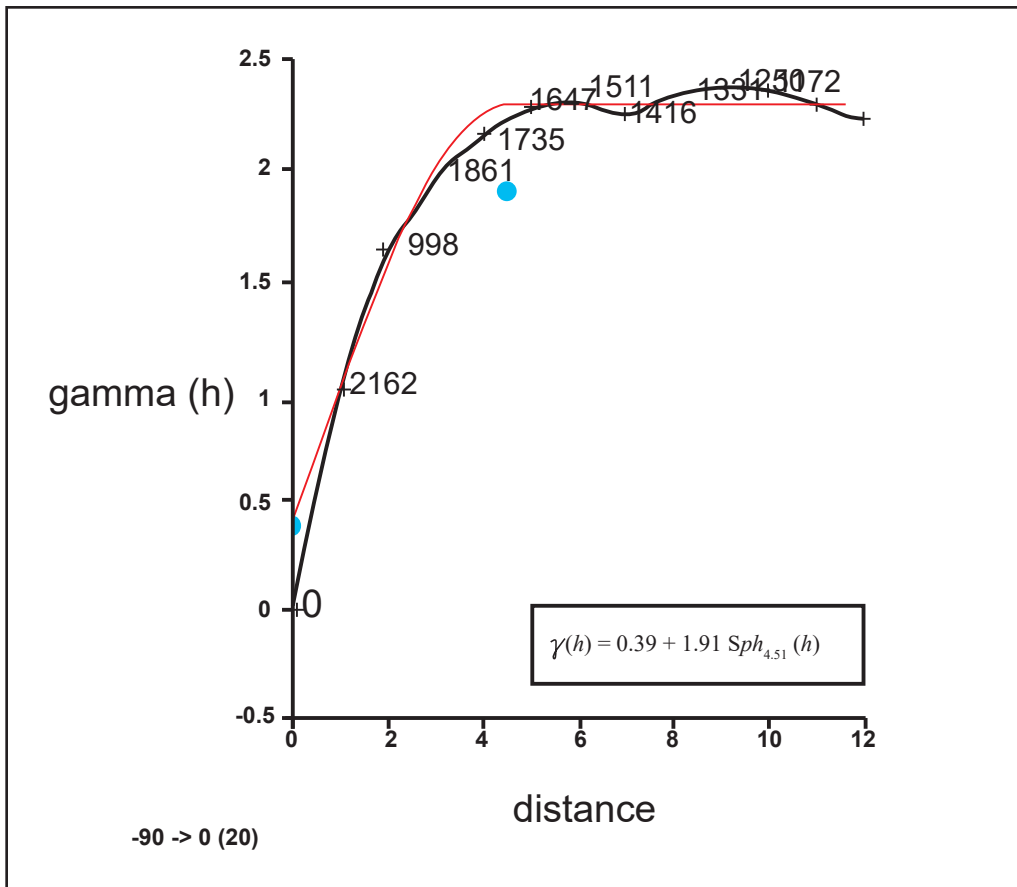
Zn variogram data in N130° direction.

Distance du Pas (m)	Nombre de Couples (n)	Distance moyenne (m)	$\gamma(h) - (\%)^2$
104,00	3480	107,294	1,798
208,00	6534	206,794	2,633
312,00	4926	312,468	3,550
416,00	4371	390,103	4,325
520,00	1708	500,067	3,546
624,00	1474	610,025	3,029
728,00	178	712,990	2,835

Tableau XI- Données du variogramme du Zn dans la direction N220°.

Zn variogram data in N220° direction.

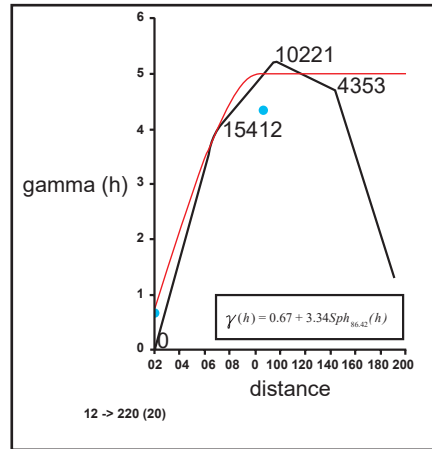
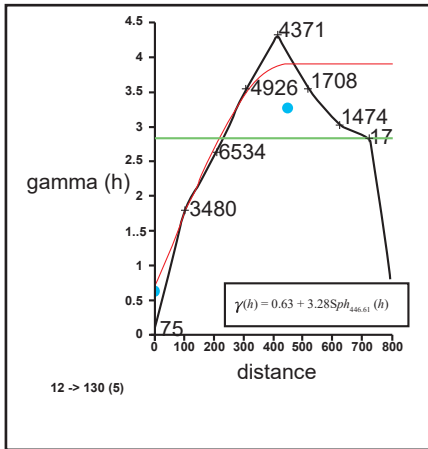
Distance du Pas (m)	Nombre de Couples (n)	Distance moyenne (m)	$\gamma(h) - (\%)^2$
48,00	15412	53,068	3,918
96,00	10221	96,709	5,229
144,00	4353	147,432	4,705
192,00	1074	190,038	,295



-90° : angle de pendage vertical vers le bas;
0 : direction du pendage;
20° : tolérance angulaire du pendage.

Fig. 18- Variogramme vertical des données de sondages du Pr0 au Pr15.

Vertical variogram of drill holes data from Pr0 to Pr15.



12° : angle de pendage du plan ;
 130° : direction du pendage ;
 5° : tolérance angulaire dans la direction.

0° : angle de pendage du plan ;
 220° : direction du pendage ;
 20° : tolérance angulaire dans la direction.

Fig. 19- Variogramme du Zn, direction N130°.

Fig. 20- Variogramme du Zn, direction N220°.

Directional variogram of Zn, direction N130°.

Directional variogram of Zn, direction N220°.

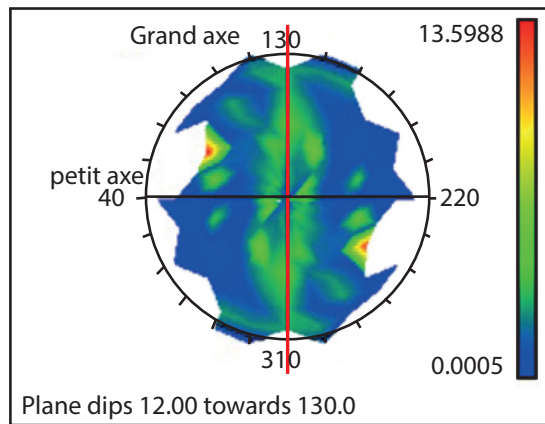


Fig. 21- Variogramme de surface du Zn.

Surface variogram of Zn.

CONCLUSIONS

Le gisement de Chaabet El Hamra renferme des minéralisations à Zn-Pb, encaissées dans les roches dolomitiques de l’Hauterivien inférieur. Une analyse minéralogique par la méthode de diffraction aux rayons X effectuée au Laboratoire Pétro-Minéralogie de l’ORGM-Boumerdès sur (10) échantillons

prélevés au niveau de la galerie d’exploitation du gisement, a confirmé que les principaux minéraux sont: la sphalérite, la pyrite, la marcassite et la galène. Les minéraux de gangue sont la calcite, la barytine, la dolomite et plus rarement le quartz.

L’analyse statistique des données sur les six éléments Pb, Zn, Ag, Cd, CaF₂ et BaSO₄

du gisement de Chaabet El Hamra a été effectuée à l'aide de trois méthodes statistiques: monovariée, bivariée et multivariée (ACP).

Les coefficients de variations des éléments chimiques Zn, Pb, Cd, CaF_2 et BaSO_4 ont été calculés. Ils présentent de fortes valeurs qui sont respectivement de 319%, 435%, 675%, 446,8% et 525,25%. Ces dernières sont dues à l'hétérogénéité des données géochimiques provenant de plusieurs origines.

La classification monvariée par la méthode de passage par zéro a montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en trois (03) sous-populations. Ce résultat prouve la présence de trois origines distinctes. Pour l'élément Zn, la sous-population 1 représentée par 57% de l'ensemble des échantillons géochimiques de carotte, désigne la classe de faible teneur avec une moyenne de 0,039%: c'est la sous-population des échantillons prélevés dans les roches non minéralisées de l'Hauterivien inférieur - fond géochimique.

La sous-population 2 qui représente 25% de l'ensemble de données avec une teneur moyenne de Zn de 0,26%, désigne la sous-population d'un minerai de teneur moyenne. La sous-population 3 qui représente 18% de l'ensemble des teneurs avec une teneur moyenne de Zn de 4,96%, désigne la sous-population de minerai de forte teneur.

Les fonctions indicatrices ou probabilités d'appartenance à une sous-population composante ont été calculées pour l'ensemble des éléments. Au total, 18 sous-populations composantes ont été obtenues : Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Ag1, Ag2, Ag3, $\text{BaSO}_4(1)$, $\text{BaSO}_4(2)$, $\text{BaSO}_4(3)$, $\text{CaF}_2(1)$, $\text{CaF}_2(2)$, $\text{CaF}_2(3)$, Cd1, Cd2 et Cd3. Une ACP a été faite sur les résultats des fonctions indicatrices des 18 composantes. Elle confirme la présence de trois principales associations chimiques représentant chacune un « faciès »

géologique: la première association constituée des éléments chimiques: Zn1, Pb1, Ag1, Cd1, Ag1 et BaSO_4 (2 et 3), représente la sous-population de faibles teneurs sauf pour BaSO_4 . Elle représente le faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - Fond géochimique. La deuxième association constituée par Zn2, Pb2, Ag2, CaF_2 (2), CaF_2 (3) et BaSO_4 (1) représente la sous-population de teneurs moyennes en Zn, cette association caractérise le minerai moyen- minerai type 1. La troisième association constituée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2 représente la sous-population de fortes teneurs en Zn minerai riche; elle correspond à un autre type de minerai-minerai type 2. Du point de vue géologique, ces résultats suggèrent l'existence de trois phases :

Phase 1: caractérisée par la sous-population 1 qui correspond au faciès lithogéochimique de l'Hauterivien inférieur - Fond géochimique et qui est donc d'origine diagenétique. Ce faciès est caractérisé par une dolomie avec amas de pyrite, dissémination de marcassite, de blende précoce et de teneurs élevées en BaSO_4 .

Phase 2: sous-population 2, ayant des teneurs relativement plus élevées, la formation de cette sous-population ne peut être expliquée que par un apport supplémentaire grâce à des phénomènes de migration. Elle représente le minerai type 1 qui est donc de formation épigénétique.

Phase 3: sous-population 3, formée plus tardivement, elle est due à la mise en place du minerai riche en Zn- minerai type 2.

Les teneurs en Cd de cette sous-population montrent un enrichissement relatif en cet élément. Cette phase serait liée à un nouvel épisode de circulations de fluides minéralisateurs aidé par des processus tectoniques donc épigénétique tardive. Pour BaSO_4 dans cette sous-population, elle ne peut être que d'origine hydrothermale.

L'étude géostatistique a porté principalement sur la variographie du Zn. Le variogramme vertical ne montre aucun effet de trou.

La pseudo-périodicité n'est donc pas systématique: l'idée selon laquelle l'horizon hauterivien inférieur porteur de ces minéralisations est constitué de six (06) lentilles minéralisées qui se superposent, n'est pas toujours vérifiée. Les lentilles minéralisées existent certes, mais elles sont réparties d'une façon irrégulière dans le gisement.

Les variogrammes directionnels du Zn calculés dans les différentes directions ne sont pas, non plus, à effet de trou. Ils montrent l'existence d'une anisotropie géométrique avec le grand axe orienté N130° et une portée de 446,61m. Cette direction est celle de la continuité maximale de la minéralisation à Zn-Pb.

Le petit axe de direction N220° a une portée de 86,42m. Les valeurs des portées de cette anisotropie correspondraient aux dimensions moyennes des lentilles minéralisées. Ces résultats géostatistiques peuvent être utilisés pour optimiser la maille d'exploration de ce type de gisement.

BIBLIOGRAPHIE

- BACCINI, A. 2010.** Cours de statistique descriptive élémentaire. *Institut de Mathématique. Univ. Paul Sabatier -Toulouse*, 40p.
- BOUTALEB, A. 2001.** Les minéralisations à Pb-Zn du domaine Sétifen-Hodna : gîtologie, pétrographie des dolomies, micro-thermométrie et implications métallogéniques. *Thèse de Doctorat, USTHB*, 350p.
- CHAMUSSY, H., CHARRE, J., DUMOLARD, P., DURAND, M.-G. ET LE BERRE, M. 1994.** Initiation aux pratiques statistiques en géographie. *Edition Masson*, 245p.
- CHAUVET, P. 1999.** Aide mémoire de géostatistique linéaire application du domaine minier. *Les Presses de l'École des Mines de Paris*, 140p.
- FROIDEVAUX, R. 1990.** Géostatistical toolbox primer, version 1.30. FSS International, Troinex, Switzerland.
- GLAÇON, J. 1967.** Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifen. (Algérie). *Thèse de Doctorat, tomes 1 et 2. Publication du Service Géologique de l'Algérie*, 356p.
- JOURNEL, A. AND HUIJBREGTS, G. 1978.** Mining geostatistics. *Academic Press, London, U.K.*, 600p.
- KOURICHI, R., BELARIBI, EL., GHALEM, S., ILIEV, CH., OUZOUAZ, S., AOUN, F., CHEMAOUNI, Y. ET BOUCHAREB, S. 1992.** Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra, Échelle 1/2000.
- MALLET, J.-L. AND WILD, P. 1984.** An analogue to correspondence analysis with fuzzy characteristic function. *Sci. de la Terre, série Inf. Géol. n°20, part 1, pp.121-135.*
- MEZGHACHE, H. 1989.** Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol-application à la zone mercurielle Nord numidique (Algérie). *Thèse de Doctorat Nouvelle, CNRS-CRPG-INPL, Nancy - France*, 175p.
- MORINEAU, A. 1988.** Analyse en Composantes Principales. Editions CISIA. Ceresta, France, Pogrennoi, M., Tourqui, M., Frolov, N., Bouzid, S. et Chennaf, A. 1992. Rapport final sur les travaux d'évaluation du gisement de Chaabet El Hamra. *Rapport inédit, ORGM, tome 1*, 141p.
- SINCLAIR, A.-J. 1974.** Sélection of thershold values in geochemical data using probability graphs. *Journal of Geochemical Exploration*, 3, pp. 129-149.
- SONATRACH. 1977.** Cartes géologiques d'Aïn Azel et Aïn Lahdjar au 1/50.000.
- TOUBI, N.-E.-H. ET MEZGHACHE, H. 2016.** Caractérisation géochimique de l'Hauterivien inférieur dans le gisement de Chaabet El Hamra–Bassin de Sétif. *1^{er} Colloque International sur la Géologie de la Chaîne des Maghrébides et des régions voisines, Univ. Ferhat Abbas, Sétif.*