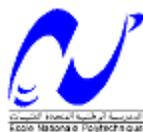


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie Minier



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

THÈME

**Utilisation de la prospection géochimique
dans la recherche minière**

Dirigé par :

Mr SEBAI Amar

Etudié par :

BENHADJ TAHAR Yassine
ZOUBIR Tawfiq

Président : M.OULD HAMOU

Examineur : L.CHANANE

Promotion Juin 2012

Remerciements

Nous tenons à remercier le grand Dieu le clément qui nous a donné le courage et la volonté pour pouvoir réaliser ce travail jusqu'à son point ultime.

Tous nos sincères remerciements sont à Mr. SEBAI A., notre promoteur, qui nous a tant aidé dans la réalisation de notre mémoire de fin d'études en nous orientant sur la bonne voie avec ses conseils si judicieux et ses idées si importantes qui nous ont permis de réaliser ce travail.

Nous remercions tous nos enseignants qui nous ont suivis durant notre cycle d'étude universitaire pour la volonté et la patience qui ont montré pour pouvoir nous transmettre aisément le maximum de leurs connaissances.

Nos grands remerciements sont pour nos familles, qui nous ont aidé avec tous les moyens disponibles pour être à la hauteur et d'arriver jusqu'à ce niveau.

Merci

(BENHADJ TAHAR Y., ZOUBIR T.)

Dédicaces

Nous dédions ce mémoire à :

*Nos chers parents, frères et sœurs, qu'ils trouvent ici le témoignage de
notre plus grand amour et notre plus haute reconnaissance ;*

Nos familles ;

*Nos amis : Tahirine M., GACEM S., LAICHAOUI S., FEKIK T.,
GHOU MRASSI B., sans oublier notre cher ami Redouane,*

*Et plus particulièrement ceux du département Génie Minier sans
exception.*

*A ceux qui se sont inquiétés sur notre travail et qui nous ont aidé que
ce soit de près ou de loin.*

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la prospection géochimique	
1. Introduction	3
1.1. Définition	3
1.2. Rôle de la prospection géochimique	3
2. Notions géochimiques de base	3
2.1. Distribution des éléments chimiques dans la lithosphère	3
2.2. Teneur de fond	3
2.3. Teneur significative	6
2.4. Anomalies géochimiques	6
2.5. Mobilité	8
2.6. Dispersions	8
2.6.1. Définition	8
2.6.2. Classification des dispersions	9
2.6.2.1. Classification génétique	9
2.6.2.2. Classification des dispersions suivant leur mode	11
2.7 Types de prospection géochimique	13
2.7.1. Prospection stratégique	13
2.7.2. Prospection tactique	15
2.8. Etapes de la campagne de prospection	15
2.8.1. Types de prélèvements	15
2.8.2. Densité des prélèvements	16
2.8.3. Techniques de prélèvement des échantillons	16
2.9. Recherche de l'enracinement d'une anomalie	17
2.9.1. Technique d'analyse	17
2.9.2. Traitement des données géochimiques	17
Chapitre II : Prospection géochimique des minéralisations de Plomb-Zinc	
A / Gisement de Pb-Zn d'El-Abed	
1. Introduction	19
2. Aperçu géographique et géomorphologique	19

3. Cadre géologique local	21
4. Méthodologie des travaux réalisés	22
4.1. Travaux de géologie	22
4.2. Travaux miniers.....	24
4.3. Travaux de laboratoire.....	25
5. Etude géochimique	25
6. Traitement des données géochimiques.....	26
7. Interprétation des cartes d'isoteneurs	31
8. Interprétation des cartes d'anomalies géochimiques	35

B / Gisement Pb-Zn des Babors occidentaux

1. Introduction	37
2. Géologie du secteur de Trouna.	37
3. Méthodologie des travaux réalisés	38
3.1. Travaux géologiques	38
3.2. Travaux miniers	39
3.3. Echantillonnage	39
3.4. Travaux de laboratoire	40
4. Etude géochimique	40
4.1. Echantillonnage	40
4.2. Analyses effectuées	41
4.3. Traitement des résultats d'analyses	41
4.3.1- Traitement des résultats d'analyses spectrales du Plomb (Pb)	41
4.3.2. Traitement des résultats d'analyses spectrales du Zinc (Zn)	43
4.4. Interprétation de la carte d'anomalies géochimique.....	46

Chapitre III : Etude géochimique de la minéralisation d'Or de la région de Bled M'Dena

1. Introduction	50
2. Cadre géologique de la région de Bled M'Dena	51
3. Description des minéralisations reconnues dans le secteur	52
3.1. La structure circulaire de Bled M'dena	52

3.2. Indice Caroline	52
4. Etude géochimique	53
4.1. Choix de la phase géochimique et la population d'échantillons pour le calcul du fond géochimique de l'or	54
4.2. Teneur du fond géochimique	54
4.3. Etude statistique de la loi de distribution	54
4.4. Etablissements de la carte d'anomalies de l'or.....	61
5. Interprétation de la carte d'anomalie	61

Chapitre IV : Etude comparative

1. Introduction.....	64
2. En Algérie	64
2.1. Comparaison entre techniques Pb-Zn et Or en Algérie	64
3. A l'étranger	65
3.1. Gisement d'or au Mexique.....	65
3.2. Gisement d'or d'Ovala (Gabon)	66
3.3. Gisement de plomb-zinc de Mbetekoukou (Sud-Dahomey).....	68
3.4. Comparaison entre les techniques Pb-Zn et Or à l'étranger	69
Conclusion générale.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneur de fond des éléments majeurs.

Tableau 2 : Teneur de fond des éléments mineurs

Tableau 3 : Paramètres géochimiques liées à la faille 01

Tableau 4 : Matrice de corrélation des éléments de la faille 01

Tableau 5 : Paramètres géochimiques liées à la faille 02.

Tableau 6 : Matrice de corrélation des éléments de la faille 02.

Tableau 7 : Paramètres géochimiques Liées à la faille 03.

Tableau 8 : Matrice de corrélation des éléments de la faille 03.

Tableau 9 : Tableau des données de l'élément du Plomb (Pb).

Tableau 10 : Tableau des données de l'élément du Zinc (Zn).

Tableau 11 : Tableau des résultats de calcul géostatistiques des éléments.

Tableau 12 : Tableau de résultat des calculs du coefficient de corrélation des éléments.

Tableau 13 : Tableau des résultats d'analyses suivant le type de terrain encaissant.

Tableau 14: coefficient de corrélation pour l'élément de l' Or

Tableau 15 : résultat du traitement statistique

Liste des figures

- Figure 1** : Anomalie géochimique de surimposition
- Figure 2** : Anomalie géochimique de répartition
- Figure 3** : Anomalie géochimique, variance de teneur avec le mode de dispersion
- Figure 4**. Types de prélèvements en prospection stratégiques
- Figure 5** : Position du secteur d'étude dans la partie Nord Ouest Algérien
- Figure 6** : cartes d'isoteneurs en Pb suivant les 3 failles.
- Figure 7** : cartes d'isoteneurs en Zn suivant les 3 failles.
- Figure 8** : carte d'anomalies géochimiques du Pb suivant les trois failles
- Figure 9** : carte d'anomalies géochimiques du Zn suivant les trois failles
- Figure 10** : carte d'anomalie géochimique de Pb du secteur Trouna Akbou
- Figure 11** : carte d'anomalie géochimique de Zn du secteur Trouna Akbou
- Figure 12** : Représentation graphique des données du Zinc (Zn)
- Figure 13** : Représentation graphique des données du Plomb (Pb)
- Figure 14** : Situation géographique de la Dorsale Reguibat.
- Figure 15** : histogramme de fréquence des teneurs en Au
- Figure 16** : histogramme de fréquence des teneurs en As
- Figure 17** : Carte des anomalies de l'or
- Figure 18** : Carte des anomalies d'or et d'arsenic
- Figure 19** : Carte pronostique de la région de Bled M'Dena

ملخص:

التنقيب الجيوكيميائي، أو الكيمياء الجيولوجية المطبقة في ميدان البحث المنجمي. هدفها هو اكتشاف حقول معدنية سطحية أو خفية، وفقا للهالات من تشتت من العناصر الكيميائية التي تشكل منها. طريقة التنقيب الجيوكيميائي تتم في ثلاث خطوات مهما كان المعدن الذي نبحث عنه: تحقيق القياسات الميدانية مع أخذ العينات وتحليل النتائج، تفسير هذه النتائج على مختلف الأشكال. والهدف من دراستنا هو تحديد مختلف تقنيات التنقيب الجيوكيميائي للرصاص والزنك والذهب المستخدمة في الجزائر بصفة خاصة والعالم بصفة عامة. استخدام التقنيات الإحصائية والطرق الجيواحصائية لتمييز أفضل للتغيرات خلفية الجيوكيميائية. كلمات البحث: التنقيب الجيوكيميائي، أخذ العينات، الرصاص والزنك، الذهب، التقنيات الإحصائية، طرق إحصائية جيولوجية، الخلفية الجيوكيميائية.

Résumé :

La prospection géochimique ou géochimie appliquée à la recherche minière, a pour objet de découvrir des gisements métallifères, subaffleurants ou cachés, d'après les auréoles de dispersion des éléments chimiques qui les constituent.

La méthode de la prospection géochimique est réalisée en trois étapes, quelque soit la minéralisation recherchée : mesures sur le terrain avec échantillonnage, traitement et analyse des résultats, l'interprétation de ces résultats sous différentes formes.

Le but de notre étude est de déterminer les différentes techniques de prospection géochimiques de Plomb-Zinc et d'Or utilisées en Algérie en particulier et à travers le monde en général.

L'utilisation des techniques statistiques et des méthodes géostatistiques permettent de mieux caractériser les variations des fonds géochimiques.

Mots clés : prospection géochimique, échantillonnage, Plomb-Zinc, Or, techniques statistiques, méthodes géostatistiques, fonds géochimiques.

Abstract:

Geochemical prospection or geochemistry applied to mining research. It has the aim of discovering layers metalliferous, subsurface or hidden, according to the vughs of dispersion of the chemical elements which constitute them.

The method of the geochemical prospection is carried out in three stages, some mineralization are required: measurements on the ground with sampling, treatment and analyses results, the interpretation of these results in different forms.

The goal of our study is to determine the various geochemical techniques of Lead-Zinc prospection and Gold used particularly in Algeria and in general through the world.

The use of the statistical skills and the geostatistical methods enables us to better characterize thus variations of the geochemical background.

Key words: geochemical prospection, statistical sampling, Lead-Zinc, Gold, skills, geostatistical methods, geochemical background.

Introduction générale

La géochimie d'exploration occupe une place importante en prospection minière. Pour la majorité des campagnes d'exploration des territoires ,où les connaissances géologiques sont peu développées, cet outil exerce une influence déterminante sur la nature et l'orientation des travaux de prospection subséquents. La recherche des gisements cachés sous une couche pédologique ou rocheuse nécessite des techniques d'exploration performantes auxquelles les outils géochimiques peuvent contribuer de façon appréciable.

La caractérisation de l'environnement secondaire prend une place de plus en plus importante en Sciences de la terre. La géochimie de surface est aujourd'hui considérée comme une composante essentielle de la compréhension de l'environnement naturel. Au cours de la dernière décennie, la plupart des pays occidentaux ont entrepris des relevés d'inventaires géochimiques régionaux (compilation dans Plant et al. 1988).

De plus, un programme de cartographie géochimique d'envergure internationale ("International Geochemical Mapping Project"), dont les domaines d'applications touchent la géologie, les ressources minérales et l'environnement, est actuellement intégré au "International Geological Correlation Program" sous la direction de l'UNESCO (Darnley, 1990; 1991).

Le but premier des travaux de prospection géochimique est de définir les objectifs de prospection et de révéler les minéralisations en étudiant la distribution des concentrations d'éléments chimiques dans divers milieux d'échantillonnage. L'outil géochimique permet également de mettre en œuvre des programmes d'inventaires régionaux qui visent la caractérisation des niveaux et des reliefs géochimiques reliés aux unités litho-tectoniques majeures, la mise en évidence de provinces géochimiques et métallogéniques, et la découverte de districts minéralisés.

Les données géochimiques prélevées dans le milieu de dispersion secondaire reflètent les effets conjugués de nombreux phénomènes reliés aux lithologies, à la couverture de mort-terrain, aux conditions physico-chimiques de l'environnement superficiel, etc., qui sont à l'origine d'une signature souvent complexe. L'interprétation adéquate des données chimiques a plusieurs impératifs : la compréhension de la nature des signaux géochimiques, la caractérisation de l'information portée par un milieu particulier, l'identification des phases porteuses des signaux et la caractérisation de la dispersion spatiale des patrons géochimiques.

Les travaux de géochimie font aujourd'hui appel à des techniques analytiques performantes, pouvant doser rapidement et de façon précise, une large gamme d'éléments

chimiques. Ces technologies mettent à la disposition des géochimistes d'énormes banques de données qui sont à l'origine du développement de techniques de traitement des données géochimiques par ordinateur. Ces techniques visent principalement la mise en carte des données.

L'utilisation de techniques statistiques multi élémentaires et de méthodes géostatistiques permet de caractériser les variations des fonds géochimiques. Ces variations pouvant être importantes en regard des variations produites par la signature des minéralisations, nous utiliserons des techniques permettant de prendre en compte plus spécifiquement les diverses composantes des signaux géochimiques de façon à rehausser et isoler la signature reliée aux minéralisations.

Ce travail est constitué de 4 chapitres, suivis d'une conclusion générale.

Dans le premier chapitre, on exposera d'abord des généralités sur les notions de la prospection géochimique.

Le deuxième chapitre, présente une étude de la prospection géochimique de minéralisation Pb-Zn de la région d'El Abed à Tlemcen et de la région d'Akbou-Sidi Aich.

Le troisième chapitre, étudie la prospection géochimique de l'or de la région de Bled M'Dena et le quatrième chapitre, présente une étude géochimique comparative entre les différentes techniques de prospection géochimiques des gisements de Plomb-Zinc et de l'or en Algérie et à l'étranger.

Chapitre I
Généralités sur la prospection
géochimique

1. Introduction

1.1. Définition

La prospection géochimique consiste en la mesure systématique en un ou plusieurs éléments en traces dans des roches, des sols, des sédiments de ruisseau, de la végétation, de l'eau ou des gaz.

La recherche minière par les méthodes géochimique est basée sur le principe fondamental suivant : une concentration minérale, qu'elle soit profonde ou superficielle, peut, dans certaines conditions se manifester à travers les morts terrains par des variations dans les caractéristiques chimiques des matériaux sus-jacents. Ces variations sont le plus souvent des variations de teneurs, elles sont appelées « anomalies géochimiques » (Granier, 1973).

1.2. Rôle de la prospection géochimique

La prospection géochimique, ou géochimie appliquée à la recherche minière. Elle a pour objet de découvrir des gisements métallifères, subaffleurants ou cachés, d'après les auréoles de dispersion des éléments chimiques qui les constituent. Elle dispose, à cette fin, de diverses méthodes spécifiques d'investigation et de moyens analytiques appropriés qui sont sans cesse améliorés.

2. Notions géochimiques de base

2.1. Distribution des éléments chimiques dans la lithosphère

* Eléments majeurs : dans un sens très large, ce terme désigne un élément très répandu ou prépondérant, ce qui fait de ce terme à la fois l'opposé d'élément mineur et d'élément en trace. En géochimie, on distingue les huit éléments les plus fréquents dans l'écorce. Soit: O-Si-Al-Fe-Ca-Na-K-Mg.

* Eléments mineurs : élément peut fréquent.

* Eléments en trace : élément présent en très petite quantité dans un milieu. En Sciences de la Terre, les éléments traces (au nombre de 68), sont ceux présents dans la lithosphère en concentration Inférieure à 0,1% (Baize, 1997).

2.2. Teneur de fond

***Définition**

Comme toute notion générale, la teneur de fond présente des aspects dangers. En premier lieu, elle semble devoir inévitablement être entachée d'erreur d'échantillonnage ou d'analyse,

opérateurs et méthodes s'étant succédés dans le temps. Dans ces conditions, ces résultats ne peuvent prétendre conduire à une population homogène, pour employer le langage des statisticiens, et on peut douter de la signification générale de la moyenne arithmétique de tels termes.

En second lieu, à cette objection d'ordre technologique, nous ajouterons une autre objection d'ordre plus fondamental : a-t-on réellement le droit, en particulier pour les éléments mineurs, d'estimer qu'il existe une corrélation étroite entre telle ou telle - roche, du même type, dont on trouve des occurrences dans les parties éloignées de l'écorce terrestre ?

Il nous semble plus prudent d'employer les termes de teneur régionale ou locale plutôt que fondamentale dès qu'il s'agit d'éléments mineurs. Nous donnerons cependant, à titre indicatif, la table des teneurs de fond dans les différents types de roches selon. Vinogradov. En séparant les éléments majeurs des éléments mineurs, le classement des éléments dans chaque tableau est effectué suivant les nombres atomiques.

TENEUR DE FOND DES ELEMENTS MAJEURS

Eléments classés d'après les numeros atomiques	Roches ultrabasiqes (dunites, peridotites, pyroxenites)	Roches basiques (basaltes, gabbros, norites, diabases, etc...)	Roches intermediair es (diorites, andesites)	Roches acides (granites, liparites, rhyolites, etc...)	Roches sedimentaires (argiles et argiles schisteuses)
O	43 %	44,8 %	46,10 %	48,16 %	51,84 %
Na	0,57 %	1,94%	3 %	2,77 %	0,66%
Mg	14,10%	4,50%	2,18%	0,56%	1.34%
Al	2,88 %	8,76 %	8,85 %	7,70 %	10,45 %
Si	20,2 %	22,8 %	26,0 %	32,3 %	24,8 %
K	0.50%	0,83 %	2,31 %	3,44 %	2,28 %
Ca	7,7 %	6,72 %	4,65 %	1,58 %	2,53 %
Fe	9,85 %	8,56 %	5,85 %	2.70 %	3,33 %

Tableau 1. teneurs de fond des éléments majeurs.
Les teneurs sont exprimées en% par rapport à poids (G.L.Granier, 1973).

TENEUR DE FOND DES ELEMENTS MINEURS

Element	Roches ultra-basiques (dunites, peridotites, pyroxénites)	Roches basiques (basaltes, gabbros, norites, diabases, etc...)	Roches intermediaires (diorites, andesites)	Roches acides (granites, liparites, rhyolites, etc...)	Roches sedimentaires (argiles et argiles schisteuses)
Li	2	15	20	70	60
Be	0,2	1,5	-	5,5	7
B	40	10	-	15	12
C	100	100	-	300	1200
N	-	-	-	36	1000
F	100	370	500	800	500
P	1200	1400	1600	700	7700
S	3000	2000	1000	400	3000
Cl	200	200	200	240	160
Se	10	24	15	7	10
Ti	3000	9000	8000	2300	4500
V	140	200	100	40	130
Cr	2000	300	56	25	160
Mn	1300	2200	1200	600	670
Co	200	45	20	5	23
Ni	1200	160	55	8	95
Cu	80	140	35	30	57
Zn	50	130	72	60	80
Ga	4	18	20	30	40
Ge	-	1,5	1,5	3	7
As	2,8	2	2,4	1,5	6,6
Se	-	-	-	-	0,6
•Br	1	3	4,5	1,7	6
Rb	2	45	70	400	400
Sr	27	440	800	300	450
Y	4,5	18	30	20	33
Zr	30	100	260	200	200
Nb	15	20	3,5	20	20
Mo	0,4	1,4	0,9	1,9	2
Ru	-	-	-	-	-
Rh	-	-	-	-	-
Pd	0,15	0,035	-	0,01	-
Ag	0,3	0,3	-	0,15	0,9
Cd	-	0,19	-	0,1	0,3
In	0,013	-	-	0,12	-
Sn	-	6	-	45	30
Sh	0,1	0,15	0,20	0,40	1
Te	-	-	-	-	-
I	0,8	0,5	0,3	0,4	1
Cs	-	-	-	19	12
Ba	10	270	650	830	800
La	-	27	40	46	40
Cc	-	10	30	60	30
Pr	-	1,3	-	10	5
Nd	-	10	20	40	18
Pm	-	-	-	-	-
Sm	-	1,5	-	6	5
Eu	-	-	-	1,7	1
Gd	-	2	-	10	5

**Tableau 2. Teneur de fond des éléments mineurs
les teneurs sont exprimées en millièmes (ppm) (G.L. Granier, 1973).**

***Type**

- **Fond régional** : teneur de fond d'une zone étendue ayant une certaine unité géochimique.

- **Fond local** : teneur de fond d'une zone limitée. Expression utilisée en prospection tactique .elle peut dans certaines conditions, être déjà anormale

C'est pratiquement la valeur la plus fréquente dans l'environnement étudié.

2.3. Teneur significative : ou seuil significatif. Teneur de la partie marginale d'une anomalie

2.4. Anomalies géochimiques*** Définition**

C'est une zone plus ou moins grande et régulière plus riche en certains éléments, métaux ou minéraux d'intérêt, par rapport au niveau régional moyen

*** Types d'anomalie**

Nous distinguerons deux types d'anomalies, les anomalies de surimposition (fig. 1), où la teneur anormale est le fait d'éléments allogènes et les anomalies de répartition (fig. 2), où la teneur anormale est en provenance d'éléments authigènes.

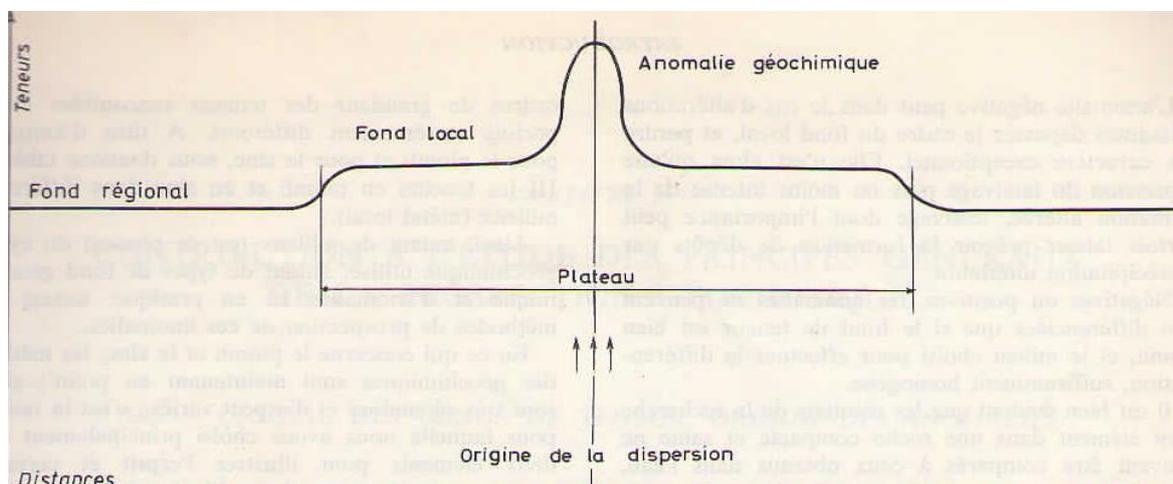


Figure 1. Anomalie géochimique de surimposition (G.L.Granier, 1973)

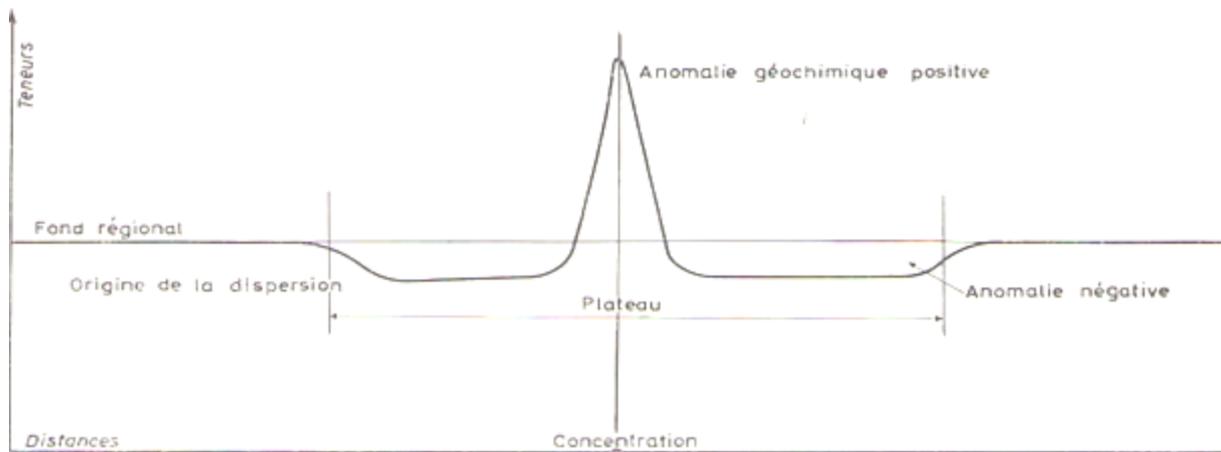


Figure 2. Anomalie géochimique de répartition (G.L.Granier, 1973)

REMARQUE. Nous schématisons les fonds de teneur par une ligne horizontale, ce qui incite à croire qu'ils ont une grande régularité ; en fait, leur variance est grande comme nous l'indiquons (fig.3) Elle est minimum dans le cas où la dispersion chimique est dominante, maximum dans le cas où la dispersion mécanique est dominante.

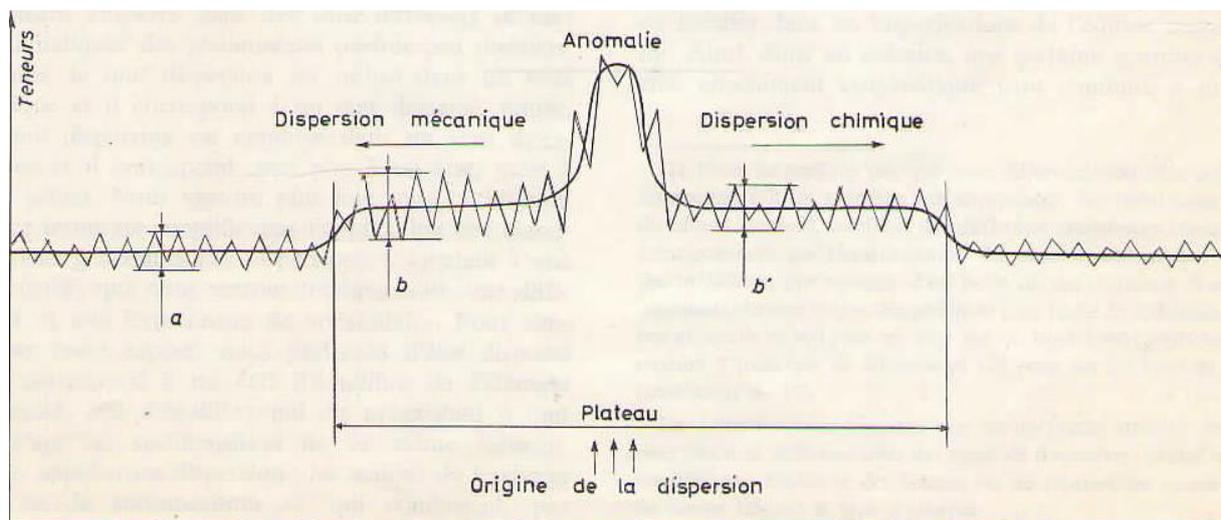


Figure 3. Anomalie géochimique, variance de teneur avec le mode de dispersion (G.L.Granier, 1973)

Le fond local peut être de teneur plus faible que le fond régional ; c'est l'anomalie négative. Ce peut être le cas, lorsque la minéralisation est le résultat de différenciations du type ségrégation, l'abaissement du fond local correspondant à la perte de l'élément qui s'est rassemblé. Ce phénomène devrait se retrouver et permettre de vérifier, dans certains cas, les hypothèses de sécrétion Latérale, mais il n'est possible de le mettre en évidence que par

échantillonnage systématique de formations en place, à l'exclusion d'altération, car, dans les altérations, les phénomènes de surimposition des anomalies à partir de la zone concentrée conduisent à oblitérer l'aspect négatif de l'anomalie.

L'anomalie négative peut dans le cas d'altérations puissantes dépasser le cadre du fond local, et perdre son caractère exceptionnel. Elle n'est alors qu'une expression du lessivage plus ou moins intense de la formation altérée, lessivage dont l'importance peut parfois laisser prévoir la formation de dépôts par reprecipitation ultérieure.

Les anomalies négatives ou positives ne peuvent être différenciées que si le fond de teneur est bien connu, et le milieu choisi pour effectuer la différenciation, suffisamment homogène.

2.5. Mobilité

Tendance d'un élément à se déplacer dans un environnement géochimique .la mobilité est une notion relative .elle doit toujours être associée au milieu.

2.6. Dispersions

2.6.1. Définition

Le mot dispersion est utilisé dans un sens statique, et il correspond à un état dispersé, tantôt, le mot dispersion est employé dans un sens dynamique et il correspond, non plus à un état, mais à une action. Pour simplifier notre mémoire, nous parlerons d'état dispersé qui correspond à un état d'équilibre de l'élément intéressé, état d'équilibre qui est préexistant à tout lessivage ou surimposition de ce même élément. Nous appellerons dispersion : les actions de lessivage — ou de surimposition — qui conduisent, par rapport à la teneur de fond, aux notions d'anomalie négative et d'anomalie positive.

Dans le cas de surimposition de teneurs, il est parfois possible de séparer ou d'apprécier ces dernières en utilisant des méthodes sélectives d'attaque de l'échantillon. Il est fréquent que les teneurs constituant le fond soient fixées plus solidement que celles qui sont surimposées, car, plutôt que de minéraux caractéristiques, elles sont le fait d'inclusion ou de substitution. Aussi, des attaques ménagées de l'échantillon peuvent abaisser pratiquement le fond de teneur et par cela même augmenter la différenciation, par rapport à ce fond, des anomalies.

2.6.2. Classification des dispersions

Les fonds de teneurs et les anomalies ressortent des différents types de dispersions dont nous avons déjà souligné l'importance et qu'il convient donc de classer. La littérature et la coutume voulant que l'on utilise une classification génétique de ces dispersions, nous verrons que la pratique de la prospection conduit à une autre classification, qui se veut simplement descriptive, basée sur le mode de déplacement des éléments.

2.6.2.1. Classification génétique

Deux types de dispersions sont distingués :

- les dispersions primaires ;
- les dispersions secondaires.

1. Les dispersions primaires

Sont celles qui sont localisées en profondeur et qui résultent de processus ignés métamorphiques ou juvéniles (plutoniques).

Une dispersion primaire liée aux phénomènes de mise en place de la concentration minérale, comme par exemple l'altération hydrothermale. L'étude des auréoles primaires est importante dans la reconnaissance du gisement et se fait au moyen de prélèvement des roches (carottes de sondage, cuttings). Des éléments caractéristiques dites (traceurs), sont choisis soit parmi les éléments majeurs de la roche encaissante, soit parmi les éléments métalliques de la minéralisation et permettent de tracer des auréoles et de déterminer des gradients et des polarités dans l'environnement d'un gîte.

2. Les dispersions secondaires

Sont celles qui dépendent des facteurs superficiels: altération superficielle et météorique, érosion, sédimentation

Une dispersion secondaire liée aux phénomènes d'altération superficielle et de géomorphologie. Cette dispersion, à la fois mécanique et chimique, à partir d'un stock métal déstabilisé, dans la zone d'oxydation, provoque des auréoles et trainées secondaires qui occupent une surface plus grande que l'intersection par la surface d'érosion d'une concentration minérale caché par des recouvrements divers. Au cours de la prospection stratégique ou tactique, ce sont les auréoles secondaires que l'on recherche en évidence..

Dans certaines conditions, des éléments associés dans un gîte pourraient avoir des mobilités totalement différentes, et ne pas donner d'anomalies superposées.

Par exemple le Pb et le Zn sont très fréquemment associés dans les gisements. Au milieu silico-alumineux, dans les conditions d'altération superficielle, le zinc est beaucoup plus mobile que le plomb. Le zinc sera beaucoup plus facilement lessivé, alors que le plomb donnera une anomalie à l'aplomb de la minéralisation. Ainsi on peut dire que le chimisme d'une anomalie secondaire n'est pas le reflet direct au chimisme sous-jacent, mais le résultat d'un concours des phénomènes suivants :

- chimisme primaire.
- Condition d'oxydation et de mobilité.
- Conditions de piégeage.

Plusieurs autres types d'approches peuvent être envisagés :

- Approche hydrogéochimique par analyse des eaux, mais se heurte à un problème de seuil analytique (traces au niveau de la ppm). elle est couramment utilisée pour le fluor et l'uranium.
- Approche phytogéochimique, analyse des cendres après grillage de certains végétaux.
- Approche par analyse des concentrés de batée dans le cas de prospection plus spécialement orientée vers certains métaux.

Il existe une autre définition moins exclusive des dispersions primaires et secondaires, c'est celle qui fut donnée à la Conférence de Géochimie Appliquée à Londres, en 1953. Les dispersions primaires sont des dispersions hypogènes. La liaison avec le type de formation du gîte, lui-même hypogène ou super-gène, est implicite. Ce n'est pas, à notre avis, un critère bien consistant, car, pour tel métallogéniste, un gîte est d'origine hydrothermale, donc les dispersions ne peuvent appartenir qu'au domaine primaire ; pour tel autre, la concentration minérale est syngénétique, et le rattachement au domaine secondaire (sédimentation, diagenèse) indiscutable ; pour d'autres même, la concentration peut être un phénomène subactuel : lessivage de l'altération, enrichissement des fissures de la roche consolidée (cas de l'uranium, et des gisements exogènes de manganèse).

Les classifications génétiques ne sont pas les plus nécessaires. Elles s'adaptent mieux aux problèmes généraux qu'aux cas particuliers et ce qui est, à notre avis, nécessaire au cours des travaux de géochimie appliquée, c'est une classification qui s'adapte à leurs caractéristiques particulières, ce qui conduit le géochimiste à classer habituellement les dispersions suivant leur mode.

2.6.2.2. Classification des dispersions suivant leur mode

Nous distinguerons les dispersions chimiques, les dispersions mécaniques, et les dispersions à l'état gazeux. Il est bien évident que, dans la nature, ces types ne sont pas parfaitement distincts et que, par exemple, dans le cas particulier des dispersions mécaniques, on peut affirmer qu'elles ont toujours un cortège de dispersions chimiques.

1. Dispersions chimiques

les dispersions chimiques regroupent toutes les dispersions qui, pour amener un élément donné d'un point à un autre, comprennent un stade de transport par une solution ; ceci, qu'il s'agisse de transport à l'état d'ions propres correspondant à l'élément cherché, d'ions complexes, comprenant cet élément, ou de suspensions colloïdales.

Un cas particulier de dispersion chimique est celui, où la mise en solution et le transport de l'élément se font par l'intermédiaire d'espèces végétales, il s'agit alors de ce que l'on appelle les dispersions biogéochimiques.

Les caractéristiques des dispersions chimiques par les changements d'état d'équilibre qu'impliquent les mises en solutions, transport et précipitation de l'élément, donnent, dans l'état final, une indication qui, par définition, ne peut avoir des liens quantitatifs prévisibles avec l'état initial.

2. Dispersions mécaniques

Les dispersions mécaniques sont celles qui, pour amener l'élément ou un composé d'un point à un autre, le laisse dans l'état chimique identique à celui du départ. Sauf pour de rares cas, les phénomènes de dispersions mécaniques, dont les facteurs principaux sont d'origine météorique, eau, gel, érosion, sont toujours accompagnés de dispersions chimiques. Mais, pratiquement, il existe des zones où elles prédominent en apportant leurs caractéristiques propres, c'est-à-dire, qu'il y a relation directe entre la quantité de l'élément dispersé et l'importance, étendue ou teneur, de l'aire de dispersion.

On peut même, à partir de cette aire de dispersion et des teneurs que l'on y rencontre, essayer de calculer la concentration et la puissance des corps minéralisés qui en sont à l'origine.

Gindzburg et Sokolov donnent même des formules, pour les sols où ils ont tenu compte de l'épaisseur de l'altération, de la teneur maximale et de l'étendue de l'auréole de dispersion. Il nous paraît plus prudent de faire ces calculs à posteriori, car nous verrons que les facteurs modifiant les paramètres des auréoles de dispersions sont nombreux et qu'il est souvent peu aisé d'en tenir compte dans un esprit naturaliste aussi les lier à une quelconque formule mathématique apparaît

assez risqué

Notons qu'une dispersion chimique peut provoquer la formation de minéraux supergénés, donnant à leur tour un caractère mécanique aux dispersions ; on peut aussi dire que, dans le cas de la dispersion biochimique, il y a toujours une phase mécanique, celle de la chute des feuilles. Ce sont cependant des phénomènes accessoires, qui n'infirmen en aucune façon la caractéristique essentielle du domaine chimique, qui est l'absence de liaison quantitative entre la phase initiale et la phase finale de dispersion et l'existence d'un stade ionique ou colloïdal dans la dispersion.

3. Dispersions gazeuses

Nous les citerons pour mémoire, les limites entre les dispersions chimiques et gazeuses étant souvent peu précises, en particulier, lorsque les gaz se trouvent dissous dans de l'eau. Elles sont particulièrement importantes pour les hydrocarbures et utilisées pour la recherche géochimique du pétrole.

Dans le domaine de la prospection des gites métallifères, c'est d'abord sur le mercure que l'attention est attirée, dans l'espoir de l'utiliser comme indicateur de minéralisation polymétallique, en particulier, lorsque la minéralisation recherchée est dissimulée sous un recouvrement épais

Il ne faut pas, cependant, limiter à ce seul élément l'importance des dispersions gazeuses. Les circulations de vapeurs d'eau chargées de différents éléments doivent concourir, dans de nombreux cas, à leur transport et à l'apparition d'anomalies.

Ainsi peuvent s'expliquer, peut-être, certaines anomalies de fuite, dont nous verrons plus loin les caractéristiques.

Aux dispersions gazeuses on peut aussi rattacher les minéralisations situées dans l'auréole métamorphique de contact, encore que la nature des fluides minéralisateurs soit discutée. Ainsi, il est possible parfois de rencontrer autour de roches intrusives, granulite par exemple, des auréoles d'arsenic utilisables comme guide de prospection.

Il est aussi possible d'utiliser la dispersion du radon(86) et du thorium(90), en particulier pour rechercher des cassures, failles ou zones de circulation, ceci, aussi bien, dans les terrains cristallins que dans les terrains sédimentaires, encore que dans ces derniers les processus de concentration et de fixation soient probablement plus compliqués.

2.7. Types de prospection géochimique

*méthodologie

Suivant l'échelle relative de l'anomalie et de la prospection, il existe deux types de prospection, quel que soit le milieu utilisé pour le prélèvement des échantillons : les prospections stratégiques, qui correspondent à la reconnaissance générale d'une région, et les prospections tactiques, qui s'appliquent à une occurrence déterminée.

2.7.1. Prospection stratégique

La prospection stratégique a pour but de rechercher les anomalies dans une région étendue. Ces anomalies peuvent conduire à la découverte de zone minéralisée ; l'expression «zone minéralisée» étant prise ici dans son sens le plus large, puisque la prospection stratégique peut aussi bien faire apparaître des anomalies provenant d'indices localisés que de massifs différenciés ou même de véritables provinces métallo géniques .

La prospection géochimique stratégique est une phase de recherche préliminaire et elle peut être employée sans que la connaissance géologique de la région étudiée soit très approfondie.

Le réseau d'échantillonnage peut être essentiellement de deux types, suivant qu'il est axé sur le réseau hydrographique ou aux nœuds de réseaux géométriques réguliers.

Dans le premier cas, l'échantillon choisi peut être soit de l'eau, soit des alluvions en lit vif, soit des alluvions récentes (lit mineur) soit des sols consolidés sur des alluvions parfois accompagnés de prélèvement d'échantillons de sol sur des colluvions.

Dans le deuxième cas, il y a choix entre les échantillons de sol ou de roche. Nous ne citons les végétaux que pour mémoire.

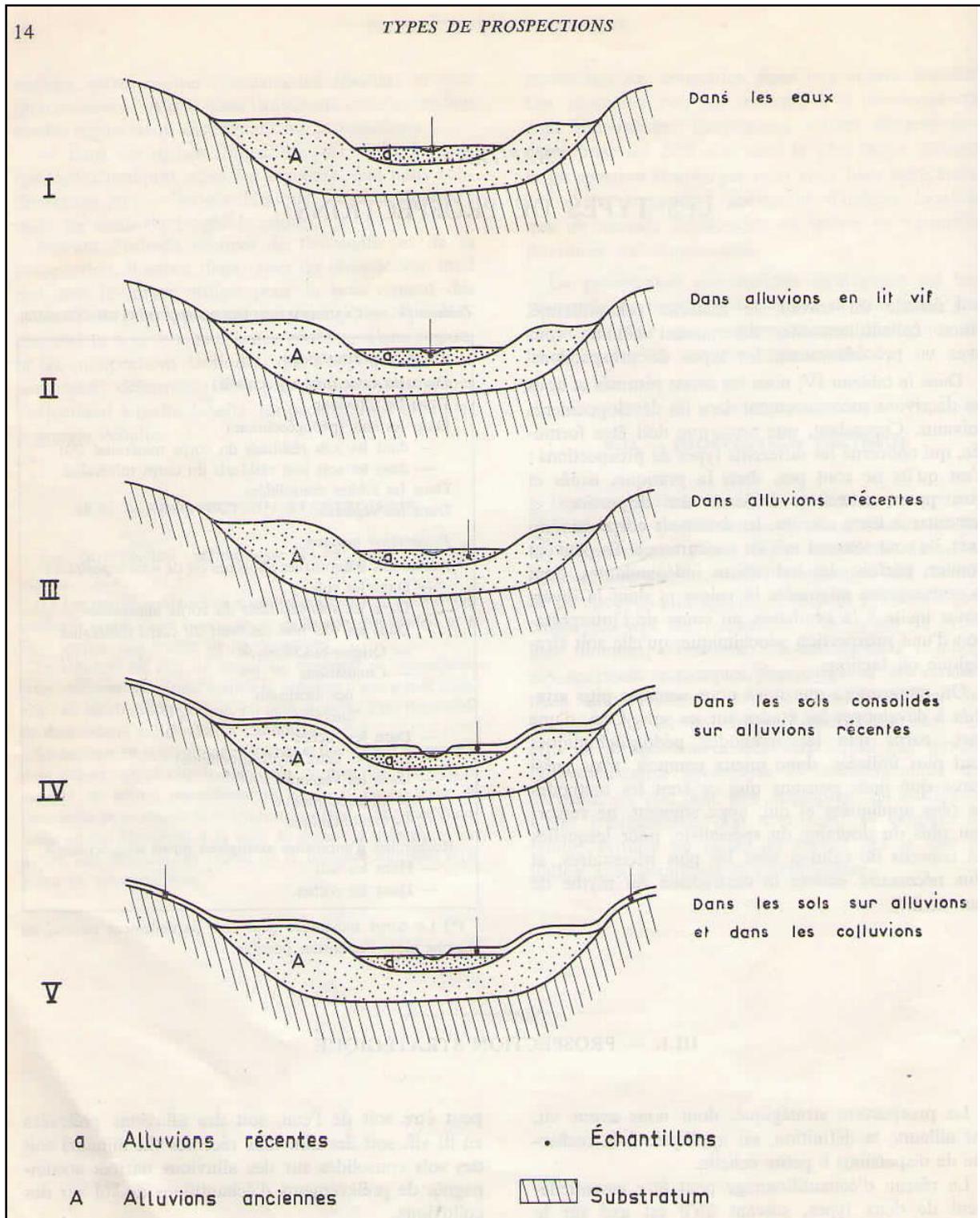


Figure 4. Types de prélèvements en prospection stratégiques (G.L.Granier, 1973)

2.7.2. Prospection tactique

Les prospections tactiques sont utilisées pour la résolution des problèmes de détail, généralement sur des étendues restreintes. Elles constituent la phase de définition des anomalies, consécutive aux travaux de prospection stratégique. Elles sont principalement employées lors des recherches d'extension de systèmes filoniens, d'horizons favorables, pour le choix des accidents tectonique parcourus par des circulations minéralisantes, pour la détection dans les chapeaux de fer de vestiges significatifs.

Ce type de prospection ne doit être utilisé que lorsque la connaissance géologique et métallogénique des secteurs, où elle doit être appliquée, est suffisante.

Cette connaissance doit d'ailleurs, la plupart du temps, évoluer au cours du travail qui se fait en liaison avec les géologues et géophysiciens.

Ce type de prospection précise, l'origine d'anomalies stratégique, leur extension superficielle et les niveaux de teneurs atteints. Les anomalies secondaires ne renseignent que sur l'image plus ou moins déformée de l'intersection du gîte avec la surface d'altération.

Dans certain cas, la géochimie tactique pourra être complétée par des opérations plus ponctuelles de reconnaissance en sub-surface : échantillonnage par tarière, tranchées...

2.8. Etapes de la campagne de prospection

Suivant les objectifs fixés à la mission et les conditions climatiques, la conception de la prospection géochimique à effectuer devra se faire avec l'aide d'un géochimiste conseiller qui définit le type et la densité de prélèvement et les éléments à analyser.

2.8.1. Types de prélèvements

Les prélèvements portent sur des sédiments de ruisseau, de sols ou de roches. Pour ces trois types, on fait généralement une étude méthodologique préalable pour déterminer la classe granulométrique optimale à analyser. Ces études peuvent être faites dès le stade de la reconnaissance générale au cours de laquelle on essaie tous les types de prélèvement.

Dans le cas d'une prospection stratégique, on prélève, la plupart du temps, des sédiments de ruisseau (stream), technique qui à l'heure actuelle paraît la mieux adaptée. On peut toutefois être conduit pour différentes raisons à prélever partiellement des échantillons de sols.

La présence d'une altération particulière (cuirasse latéritique) ou d'un recouvrement plus ou moins allochtone peut obliger à l'emploi de technique de prélèvement des fractions grossières.

2.8.2. Densité des prélèvements

La densité d'échantillonnage varie suivant l'échelle de la prospection et suivent la taille des cibles recherchées. En prospection stratégique, on travaille généralement à une échelle variant de 1/200 000 à 1/50 000.

Dans le cas de prélèvement mixtes (sols et sédiment de ruisseau) la densité devra être augmentée. Quoi qu'il en soit, une densité de prospection stratégique ne devrait pas descendre en dessous d'un écha. /Km². Tout point anomal, même isolé devra être pris en considération.

Au stade tactique, les prélèvements sont faits suivant une grille régulière. On ne parlera plus de densité ou km, mais de maille. Celle-ci sera variable en fonction du métal recherché. Une maille carrée 200m x 200m est normalement suffisante pour une première localisation d'anomalies de Pb, Zn ou Cu. Mais il faudra choisir une maille 50m x 50m dans le cas d'anomalie Sb ou W.

2.8.3. Techniques de prélèvement des échantillons

Les techniques de prélèvements des échantillons dépendent des différents types de terrains, pour cela, plusieurs méthodes sont utilisées pour le prélèvement des échantillons.

Pour le prélèvement dans le réseau hydrographique, il se fait dans les lits des alluvions et des colluvions ou sur les alluvions, il faudra éviter de prélever dans les collecteurs principaux où tout apport minéralisé risque d'être dilué par les apports d'autres cours d'eau stériles.

Pour le prélèvement au sol, la profondeur optimale ne dépasse pas les 40 cm.

Une fois les objectifs atteints, on procède à ce qui suit :

- *Cheminement et positionnement des prélèvements.
- *Prélèvement et numérotation des échantillons.
- *Préparation et expédition des échantillons.

2.9. Recherche de l'enracinement d'une anomalie

Une fois le top de l'anomalie défini en surface, on recherchera, au moyen de prélèvement en profondeur, si cette image de surface correspond bien à celle de la roche en place. Pour ce faire, on échantillonne la zone du top anomal par un ou plusieurs profils de prélèvements.

NB/Un échantillon géochimique prélevé pour recherche d'enracinement d'une anomalie peut être considéré comme un échantillon de roche, d'autant plus qu'il est proche de la roche en place, et au moment de la préparation, il doit être broyé comme une roche.

Dans le cas d'une géochimie en roche, l'échantillonnage se fait sur carotte de sondage.

2.9.1. Technique d'analyse

Le choix d'une technique d'analyse est très important, car il dépend du type de prélèvement et aussi du type de prospection réalisée.

Deux méthodes d'analyses multi - éléments sont utilisées :

- 1) Spectrométrie d'émission à partir d'une source à plasma pour 12 éléments prioritaires.
- 2) Spectrométrie d'émission optique à lecture directe qui dose simultanément 7éléments majeurs et 26 éléments traces.

Pour les analyses mono - élémentaires, la méthode la plus employée est l'absorption atomique.

2.9.2. Traitement des données géochimiques

Lors de la prospection stratégique, l'analyse des éléments nécessite un traitement plus ou moins automatisé de l'information, ce traitement sera réalisé grâce à un ordinateur avec des logiciels spécifiques pour ce type d'analyse.

L'enchaînement des opérations et la présentation des résultats fait appel aux cartographies, il s'agit de :

- Cartes de report des valeurs brutes.
- Cartes de report des valeurs anormales avec des figurés.
- Cartes de représentation des fonds géochimiques locaux.

Ces différents documents permettent l'établissement d'une carte synthèse sur laquelle seront définies les zones anormales méritant un complément d'étude.

Pour la prospection tactique, le nombre de données étant beaucoup moins important, le travail de traitement et de présentation incombera donc beaucoup plus souvent au prospecteur.

Un traitement statistique, destiné à déterminer les coupures entre les teneurs de fond et les teneurs anormales sont réalisables à la main (calcul des moyennes et des écarts).

Le but de chaque prospection géochimique est de sélectionner des anomalies, ce qui demande la collaboration du prospecteur et du géochimiste.

Le prospecteur apporte sa connaissance de terrain, la description des indices rencontrés, les renseignements sur les possibilités de pollution. Le raisonnement du géochimiste se fonde sur des notions de mobilité différentielle des éléments, d'associations caractéristiques de telle ou telle formation.

Chapitre II

Prospection géochimique des minéralisations de Plomb-Zinc

A / Gisement de Pb-Zn d'El-Abed

1. Introduction

Les études géologiques intéressant cette région ont été concentrées sur le gisement d'El Abed et ont exclusivement porté sur son estimation industrielle.

La cartographie géologique de surface contribue à mieux définir le contexte géologique d'une région et à décrire des indices affleurants, mais pour repérer des dépôts enfouis, on doit faire appel à des méthodes géochimiques et géophysiques.

Les méthodes géophysiques recherchent des anomalies au niveau de la gravité, du magnétisme terrestre, de la conductivité électrique des terrains, etc....

Par exemple, une masse de sulfures en profondeur, dans des terrains sédimentaires ou ignés, cause une anomalie de la gravité, du fait que les sulfures ont des densités plus élevées que les roches encaissantes.

Un relevé gravimétrique dans une région donnée permettra de mettre en évidence ce genre d'anomalie et de soupçonner la présence des sulfures massifs en profondeur.

Les méthodes géochimiques sont applicables surtout aux gisements enfouis, elles constituent à analyser les dépôts meubles du mort terrain pour leur contenu en divers éléments métalliques et tenter d'isoler des anomalies.

2. Aperçu géographique et géomorphologique

La région d'études, d'une superficie de 72 Km², se situe à l'extrémité occidentale de la zone métallogénique Djerada, Tlemcen qui confine à la frontière Algéro- Marocaine.

La région des travaux, se trouve dans les limites Ouest du plateau de TLEMEN.

Sur le plan administratif, le site de Tenouchfi appartient à la commune de Sebdou (Wilaya de Tlemcen), le secteur d'étude est éloigné de 35 Km de la ville de Sebdou.

Sur le plan géomorphologique : il s'agit du Horst de Tenouchfi dont les côtes varient de 1200 à 1880 mètres.

Les massifs de BOUSSAED et GHAR ROUBAN montrent des sommets élevés au Sud Est, le plateau de RAS ASFOUR domine la région, généralement les altitudes varient entre 900 et 1500 m.

Les versants des montagnes sont recouverts de broussailles et de forêt - les rivières permanentes n'existent pas.

Les cours d'eau saisonniers apparaissent de novembre à avril, et la végétation est assez pauvre, caractérisée par des broussailles.

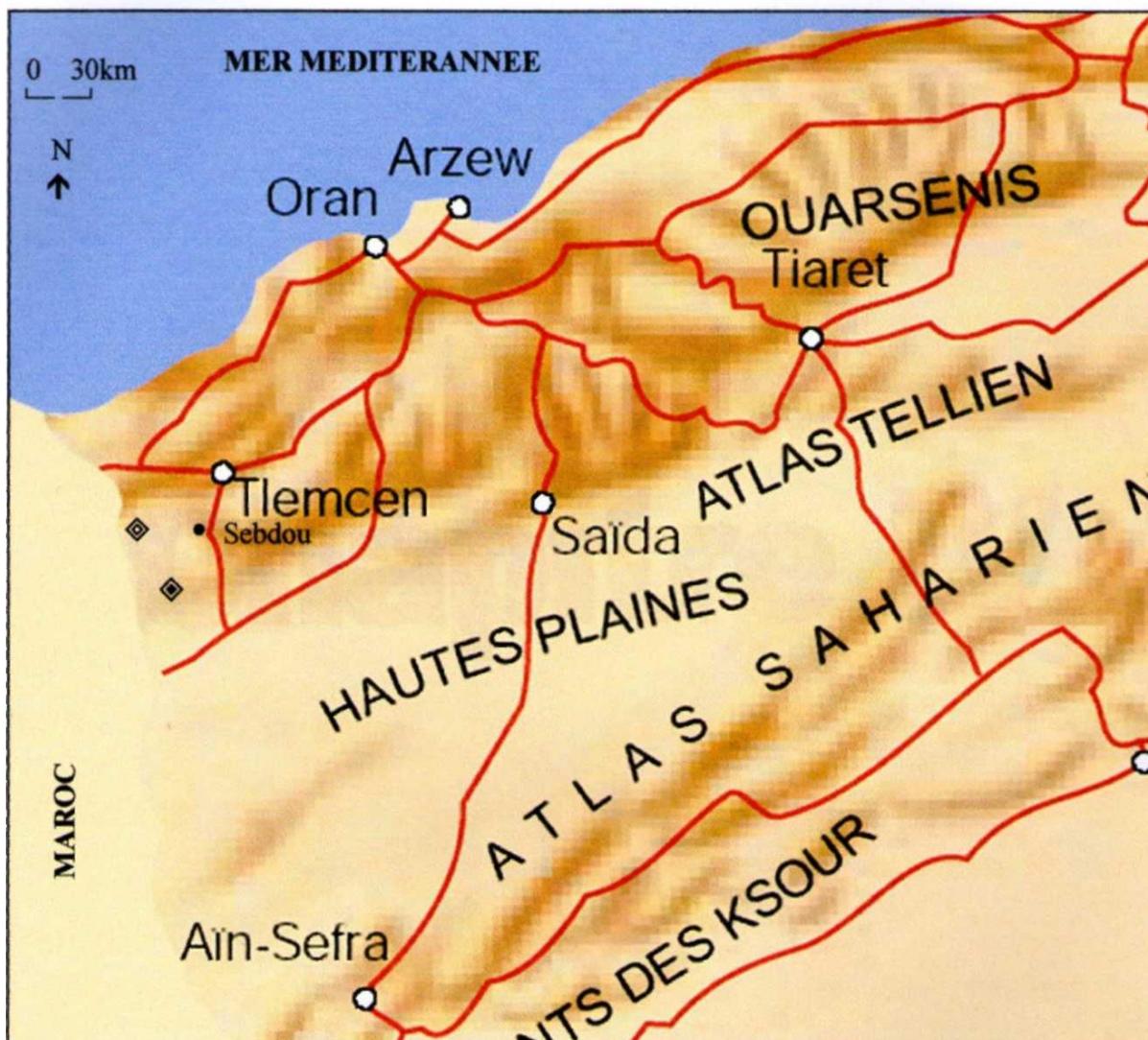


Figure 5 : Position du secteur d'étude dans la partie Nord Ouest Algérien

(A.Bouazza, B.Affoun, 2004)

Légende :

-  Horst Tenouchfi secteur d'étude.
-  Ghar Rouban.

3. Cadre géologique local

La région d'étude correspond au champ minier d'El-Abed Tenouchfi, riche en indices et gisements polymétalliques. Se trouve plus à l'Est du horst de Tounzait et s'étend du Sud-ouest au Nord-est sur 15-18 km de longueur et de 2-3 km de largeur.

Sa partie Sud-ouest est recouverte par une assise puissante des formations quaternaires.

A l'ouest comme au centre du site, les calcaires à passées de marnes du Porthlandien du graben de Tiouli sont séparés par la faille de Mederba des formations liasiques et doggeriennes du horst de Tenouchfi.

A l'Ouest du site le horst offre l'image d'un anticlinal asymétrique, où en peut voir la base de la coupe composée des calcaires du Sinémurien qui plongent sous la plaine de Magoura, elles sont surmontées par des marnes verdâtre à passées de calcaire gris du Toarcien qui ont une puissance maximale de 120m, au dessus, gisent des barres dolomitiques (falaise), dont la puissance varie entre 180m à 200m et sont rapportés à l'Aaléno-Bajocien c'est l'encaissant de la minéralisation Plombo- Zincifère de la région.

Au centre, les formations du Porthlandien sont en contact avec les dolomies et calcaires dolomitiques de l'Aaléno-Bajocien par le biais de la faille majeure sublatitudinale de Mederba.

Le long de l'oued (faille de Chabet El Djir) affleure les marnes verdâtres à passées de calcaires gris du Toarcien, elles sont surmontées à leurs tours par des calcaires, dolomies et calcaires dolomitiques de l'Aaléno-Bajo

la faille de Sidi Djillali sépare les dolomies de l'Aaléno-Bajocien du horst du Tenouchfi des marnes et des grés du Lusitanien du graben de Mdel.

Les monticules de l'extrême sud du site montrent un faciès marne-calcaire du Portlandien.

Du point de vue structural, on distingue dans la limite du horst deux compartiments tectoniques divisés par un système de failles Nord-Ouest et sublatitudinales. Le compartiment septentrional est surélevé à 300-350 m et composé essentiellement de dépôts liasique il est affecté par deux systèmes de failles (Nord-Ouest et Nord-est) d'amplitude variable entre 10-15 et 50-60 m.

Le compartiment méridional est délimité dans la partie abaissée Sud-ouest du horst de Tenouchfi, composée de dolomies secondaires du Dogger, il est divisé par un seul système de failles Nord-Ouest d'amplitude variable de 10 à 50 m.

La forme anticlinale asymétrique du horst de Tenouchfi se voit nettement à l'extrême Ouest du horst, le pendage abrupt orienté vers le Nord des couches causés par la proximité de la faille de Mederba et suivi d'un pendage subhorizontal des barres dolomitiques, plus au Sud les couches présentent un fort pendage (30-50°) vers le Sud.

Cette inclinaison s'adoucit le long du bras montagneux d'Ettaaref (10° vers le Sud-est), elle augmente graduellement en allant vers le sud.

Deux failles majeures délimitent le horst, l'une septentrionale sublatitudinale (faille de Mederba), l'autre méridionale de direction N-E (faille de Sidi Djillali) d'autre le longent en son sein (faille Chabet El-Djir).

Les failles transversales de direction généralement N-W décrochant parfois les deux failles majeures, la plus importante est celle qui a divisée le horst en deux blocs septentrional surélevé et méridional affaissé.

4. Méthodologie des travaux réalisés

Le programme des travaux prévoit la réalisation d'études de prospection sur les surfaces métallifères connues du horst de Tenouchfi, à l'issue desquelles on doit faire une appréciation de la minéralisation polymétallique.

Pour atteindre notre objectif, un complexe de travaux est réalisé et se compose comme suit:

4.1. Travaux de géologie

a. Itinéraires de recherche au 1/25.000

En effectuant des itinéraires de recherche au 1/25.000 nous aurons à mettre à jour, suivre et préciser les accidents tectoniques (majeurs et secondaires), qui longent la région d'étude.

Ces itinéraires ont été réalisés suivant une maille 200 x 50 m, et suivant des profils orientés N.W (N 318°) à travers les structures. Les observations sont faites sur chaque piquet et mentionnées dans un carnet de terrain.

L'exécution de ces itinéraires, a pour objectif de cartographier l'ensemble des sites Tenouchfi (60 km²) ;

- Différencier les formations sur le terrain.
- Mettre à jour les structures disjonctives.
- La cartographie des zones d'oxydations et dolomitisation secondaire.
- La cartographie des indices existants.

Ces itinéraires sont accompagnés par des différentes méthodes d'échantillonnages :

1) Echantillonnage litho géochimique

La faille est généralement un lieu de concentration anormale pour les éléments chimiques, donc le prélèvement d'échantillons est réalisé sur les zones accidentées et altérées le long des failles majeures et secondaires, ainsi que sur les carottes, des sondages des faciès visuellement non minéralisés. Elle l'est aussi sur les faciès limitrophes. Pour étudier cette dispersion, des échantillons géochimiques ont été prélevés suivant une maille de 200 x 50 m.

Sur chaque profil tracé à travers la faille, on a prélevé trois échantillons (la faille, le faciès fracturé et le faciès sain).

L'échantillonnage se fait par marteau, dont le poids moyen de l'échantillon est de 250 grammes. Cette opération a été reproduite chaque 50 m le long des affleurements de la faille.

L'échantillon prélevé mis dans un sachet avec une étiquette porte le nom de la roche, la date et lieu de prélèvement, le numéro de la commande. La description de la roche et sa position est mentionné sur le carnet de terrain.

Le but de cet échantillonnage est la mise en évidence d'anomalies géochimiques.

2) Echantillonnage par saignée

Dans les tranchées aussi bien que dans les affleurements minéralisés, le prélèvement d'échantillons se fait par saignée, en travers des zones minéralisées et corps de minerai sur toute leur épaisseur.

On a échantillonné tous les 10 - 20 cm, suivant une section de 0.1 x 0.15 m, ainsi que la longueur d'une saignée ne dépassant pas 2 m. Le poids d'un échantillon constitué de plusieurs fragments est de 200 gr au maximum.

3) Echantillonnage pour lames minces et sections polies

Les prélèvements des échantillons prévus pour la confection des lames minces sont portés sur les roches en affleurement, ainsi que sur la carotte.

La minéralisation étant absente en surface, les échantillons pour l'étude minéralogique sont prélevés sur les zones minéralisées des sondages forés et des tranchées creusées.

Les échantillons destinés pour lames minces et section polies ; sont prélevés à partir des roches saines, compactes et non altérées d'une taille moyenne du morceau de sucre.

Les lames minces sont préconisées pour la détermination des noms et compositions des différentes roches qui sont difficiles à déterminer à l'œil nu (étude pétrographique). Tandis que les sections polies, elles sont prélevées dans les zones minéralisées pour déterminer paragenèse des minéraux existant.

b. Itinéraires de recherche au 1/10.000

Ces travaux concerneront le secteur de détail d'une superficie de 15km², qui est défini par les travaux au 1/25000, L'objectif étant l'étude détaillée des indices de minéralisations polymétalliques et leurs vérifications, l'observation et la délimitation d'éventuelles zones d'altérations et l'établissement des coupes géologiques et la précision des niveaux minéralisés dans ces derniers.

Ces itinéraires ont été réalisés suivant une maille (100x20m).

La densité des itinéraires de recherches est en fonction des facteurs géologiques favorables qui auraient pu conditionner la concentration de la minéralisation.

Une attention particulière est accordée à l'étude de roches encaissantes Doggériennes et liasiques, aux zones de dolomitisation secondaires et aux accidents tectoniques auxquels est associée la minéralisation polymétallique.

c. Coupes géologiques

Ont été établies à travers les structures géologiques et en passant par les sondages déjà achevés pour permettre une bonne corrélation et définir les limites de lentilles minéralisées en direction et en pendage.

Toutes les séries des roches sédimentaires du Mésozoïque ont fait l'objet de coupes détaillées, avec un prélèvement d'échantillons pour différents études.

4.2. Travaux miniers

Consistent en le creusement de tranchées sur les indices et les zones bréchifiées (les zones de broyage des failles), et les zones minéralisées et altérées.

Les tranchées sont systématiquement documentées, un échantillonnage par saignée est réalisé.

Le but de ce type de travaux est la vérification et la caractérisation de zones minéralisées et permet de bonnes conditions de leurs documentations et d'échantillonnage.

Au total 13 tranchées ont été creusées, documentées et subi un échantillonnage par saignée.

4.3. Travaux de laboratoire

Les études analytiques ont été effectuées au laboratoire central. Les échantillons géochimiques de surface et ceux de carottes ponctuels seront destinés à :

- L'analyse spectrale sur 15 éléments (Pb Zn Cu Mn Ni Co Cr Mo W As Bi Sb Sr Ba Ag).
- Les analyses chimiques sur 3 éléments (Pb Zn Ag).
- Analyse pétrographique : S'effectuée sur des échantillons de lame mince et section polies.

5. Etude géochimique

Une étude préliminaire de géochimie de fuite à été faite sur l'ensemble des échantillons prélevés le long de la faille de Sidi Djillali qui contrôle les indices Tenouchfi I et II et ceux prélevés le long de la faille Chabet EL-Djir qui contrôle l'indice Tenouchfi III, dont les résultats d'analyses spectrales ont été reçus.

1-Faille de Sidi Djillali

- nombre d'échantillons par faciès :
 - 98 Echantillons dolomie de l'Aaléno-Bajocien.
 - 25 Echantillons dolomie bréchique (faille).
 - 44 Echantillons grès, marne du sénumurien.
 - 04 Echantillons calcaire par km.

2- Faille de Chabet EL-Djir.

- 22 Echantillons dolomie de l'Al-Bj.
- 09 Echantillons calcaire du toarcien.

Mode d'interprétation

Il a été constaté que la majorité des teneurs effectuées sur les échantillons prélevés sont inférieures au seuil de sensibilité , pour une étude préliminaire en a considéré comme teneur anormales celles supérieures à 0.002 % pour le Pb et 0.02 % pour le Zn, et celles supérieures à 1.10^{-5} % pour l'Ag.

1/ Failles de sidi Djillali

Pour la zone correspondant à l'indice Tenouchfi II et qui est compris entre les prélèvements 01 et 10 une seule teneur anormale a été relevée (8.10^{-3} % en Pb) sur les marnes du lusitanien, les dolomies de l'Aaléno-Bajocien présentent des teneurs inférieures au seuil de sensibilité cela s'explique par le fait que la minéralisation se suit par intermittence et que la grande partie de la surface du site est < au seuil de sensibilité.

Les concentrations de teneurs anormales sont au nombre de 03 : la 1^{ère} est comprise entre les prélèvements 80 et 100, elle est surtout zincifère $Zn > 2.10^{-2}$ % à 8.10^{-2} % (anormale), la seconde correspond à l'indice Tenouchfi I de 100 m de longueur et présente des teneurs variant entre 1.10^{-2} % et 20.10^{-2} % en Zn. La troisième correspond à des prélèvements de part et d'autres de la faille avec un maximum de 20.10^{-2} % en Zn.

2/ Faille de Chabet El-Djir

La concentration des teneurs anormales au niveau de l'indice Tenouchfi III, est surtout Plombifère jusqu'à 50.10^{-3} % en Pb mais on rencontre parfois des teneurs anormales ($>$ de 2.10^{-2} % en Zn, $>$ 1.10^{-5} % en Ag).

3/ Faille de Maderba

Dans cette zone il y a trois concentrations de teneurs anormales Plombifères de faible intensité (de 2.10^{-3} % à 3.10^{-3} %) correspondant aux prélèvements (271/03, 275/03, 296/03).

6. Traitement des données géochimiques

Une étude géochimique a été entreprise dont le but d'étudier la minéralisation plombo-zincifère du secteur de Tenouchfi.

L'objectif principal est de mettre en évidence des anomalies géochimiques autour des failles principales (faille de Sidi Djilali) et secondaires (faille de Chabet el Djir).

Les données de l'analyse spectrale ont subi un traitement statistique à l'aide du logiciel Surfer -7.

Il faut d'abord et avant tout calculer le fond géochimique pour le Pb et le Zn dans les trois secteurs étudiés, le Pb et le Zn étant les éléments dominants (du point de vue teneurs).

Pour déterminer le fond géochimique, il faut au préalable examiner l'allure de la distribution des éléments, soit cette distribution suit une loi normale ou log normale.

Pour cela, on calcul la moyenne arithmétique, ou géométrique, l'écart type, le coefficient d'aplatissement, le coefficient d'assymétrie.

La détermination de la loi de distribution a une grande importance dans le calcul du fond géochimique de DTA (début de teneur anormale).

Car lorsque la distribution suit une loi normale on calcule la moyenne arithmétique
 $Cf = \sum ci/n$

Tandis qu' une distribution de log normale le Cf se calcule par la moyenne géométrique

$$Cf = (c_1 \times c_2 \times c_3 \times \dots \times c_n) / n$$

Pour connaître le type de la distribution d'un élément ; on regroupe les éléments en classes des teneurs dont chacune à son propre nombre d'échantillons et sa propre fréquence, l'intervalle de classe $h = c_{max} - c_{min} / n$

Les paramètres géochimique des éléments (Mn, Mo, Cu, Pb, Ag, Ba, Zn) sont présentés dans les tableaux №03, 05, 07 : et pour étudier les relations entre les différents éléments, on a procédé au calcul de coefficient de corrélation (R) ; qui peut avoir des valeurs dans l'intervalle $[-|R| < |R| < 1]$ voir tableau des matrices de corrélation des éléments.

**Tableau 3 : Paramètres géochimiques liées à la faille 01
(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)**

	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Ba	Zn
Minimum	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	8	20	8	8	1	1	20
Moyenne	1,81481481	2,2962963	1,85185185	0,51851852	0,11111111	0,03703704	2,481481481
Ecart type	2,13103509	4,30397683	2,75546595	1,55341733	0,32025631	0,19245009	5,528738696

Tableau 4 : Matrice de corrélation des éléments.**(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)**

	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Ba	Zn
Mn	1	-0.3376462	-0.3847515	-0.0163518	-0.0250470	-0.1701963	-0.0639590
Mo		1	0.22113206	0.0566743	-0.0806101	-0.0137583	-0.2211980
Cu			1	-0.1520883	-0.1549677	0.4459208	0.1967376
Pb				1	-0.0429505	-0.0667090	-0.0570567
Ag					1	-0.0667090	0.2944558
Ba						1	-0.0897002
Zn							1

Tableau 5 : Paramètres géochimiques liées à la faille 02.**(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)**

	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Ba	Zn
Minimum	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	25	20	5	50	1	4	20
Moyenne	6,1	2,195	1,05	7,95	0,2	0,6	4,45
Ecart type	7,29022417	5,05209441	1,31689427	12,550844	0,41039134	1,23117402	6,311851843

Tableau 6 : Matrice de corrélation des éléments.**(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)**

	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Ba	Zn
Mn	1	-0.0355679	-0.0718167	0.1461629	-0.253320	0.0457383	0.1579582
Mo		1	0.2856218	-0.089566	-0.179725	-0.0198002	0.2106793
Cu			1	0.2867518	-0.019477	0.2077571	0.7823146
Pb				1	0.55382756	-0.0115806	0.4241735
Ag					1	-0.1458333	0.1259746
Ba						1	0.1937029
Zn							1

Tableau 7 : Paramètres géochimiques Liées à la faille 03.**(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)**

	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Ba	Zn
Minimum	3	0	0	0	0	0	0
Maximum	15	5	1	5	1	80	5
Moyenne	7,93333333	0,8	0,53333333	1,2	0,2	12,0666667	0,86666667
Ecart type	3,59497003	1,42427927	0,51639778	1,37321312	0,41403934	20,519909	1,684664726

Tableau 8 : Matrice de corrélation des éléments.**(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)**

	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Ba	Zn
Mn	1	-0.128342	0.4437589	0.0607698	0.2975272	-0.012523	-0.485128
Mo		1	-0.038846	0.5332019	0.0726752	-0.0361712	-0.309596
Cu			1	-0.161164	0.4677071	0.29974140	-0.158737
Pb				1	-0.075377	0.05272564	0.450789
Ag					1	-0.2454922	0.2457695
Ba						1	-0.303463
Zn							1

Les constatations liées au secteur d'étude :

L'écart type de Pb, Ag est 3 fois supérieur que la moyenne arithmétique, ce qui exprime l'abondance de cet élément (Pb) au niveau de la faille 01.

Contrairement au niveau de la faille № 03 le Zn est plus abondant où l'écart type de Zn est plutôt deux fois supérieur que la moyenne arithmétique. Donc la partie ouest est Plombifère et la partie Est est Zincifère.

Le Pb présente une corrélation avec l'Ag et le Mo, ex : (Pb, Ag = 0.55) (Pb, Mo = 0.53) et une corrélation assez faible avec les autres éléments comme le Zn et le Cu.

Alors que le Zn présente une corrélation moyenne avec le Cu et le Mn par conséquent on peut dire qu'il y a probablement deux associations d'éléments de minéraux

-La 1^{ère} est constitué de (Pb, Ag, Mo)

-La 2^{ème} est constituée de (Zn, Cu, Mn)

Sur le terrain ces deux associations ont été observées surtout pour le Pb et le Zn. En effet la galène a été observée on abondance à l'ouest du secteur d'étude. Alors qu'à l'Est du

secteur d'étude la galène se fait rare et parfois elle est inexistante, alors que la blende contrairement à la galène elle est plus abondante et prédomine.

Tout se passe comme-ci on est en présence de deux pôles, l'un Plombifère à l'ouest et l'autre Zincifère à l'Est.

Ceci est dû probablement à la mobilité de l'élément Zn qui est plus soluble et s'échappe de la zone d'altération en passant à l'état d'ion ou d'ion complexe, il devient plus mobile.

Tandis que le Pb reste par conséquent sur place à l'état solide, accompagné de $PbSO_4$ (Anglésite) et $PbCO_3$ (Cérusite).

7. Interprétation des cartes d'isoteneurs

➤ Carte d'isoteneurs en Zn :

Après avoir élaboré les cartes d'isoteneurs en Zn au niveau des failles N°01, 02, 03, plusieurs révélations sont mises en évidences notamment :

■ La faille N°01 :

Les teneurs en Zn varient dans un intervalle compris entre 0 et 0,18 %.

La teneur minimale en Zn est observée dans la partie centrale.

La teneur maximale 0,16 % est observée dans la direction Nord-est.

■ la faille N°02 :

Les teneurs en Zn misent en évidence au niveau de cette faille varient entre 0 et 0,2%.

Contrairement à la faille N°01, les teneurs en Zn sont réparties d'une manière assez homogène.

La teneur en Zn augmente suivant la direction Nord, et dans la partie centrale elle s'atténue suivant la direction Est et Sud.

■ La faille N°3 :

Les teneurs en Zn varient dans un intervalle compris entre 0 et 0,009 %.

La teneur maximale en Zn est observée dans la direction Nord-Est.

➤ Carte d'isoteneurs en Pb :

L'interprétation des teneurs en Pb ont permis de révéler la concentration maximale observée en cet élément, traduite au niveau de la faille N°02, dans la partie centrale atteignant la valeur de 0,045%.

Cet élément diminue en concentration suivant la direction Sud-Est, tandis que au niveau de la faille N°01 la concentration augmente dans la direction Nord-Est et s'affaiblit vers le Nord-ouest jusqu'à atteindre la valeur de 0%.

Au niveau de la faille N°03 les valeurs observées sont moins importantes par rapport à la deuxième faille.

Les concentrations en Pb augmentent dans la direction Nord-Est et s'atténuent surtout dans la direction Nord-Ouest.

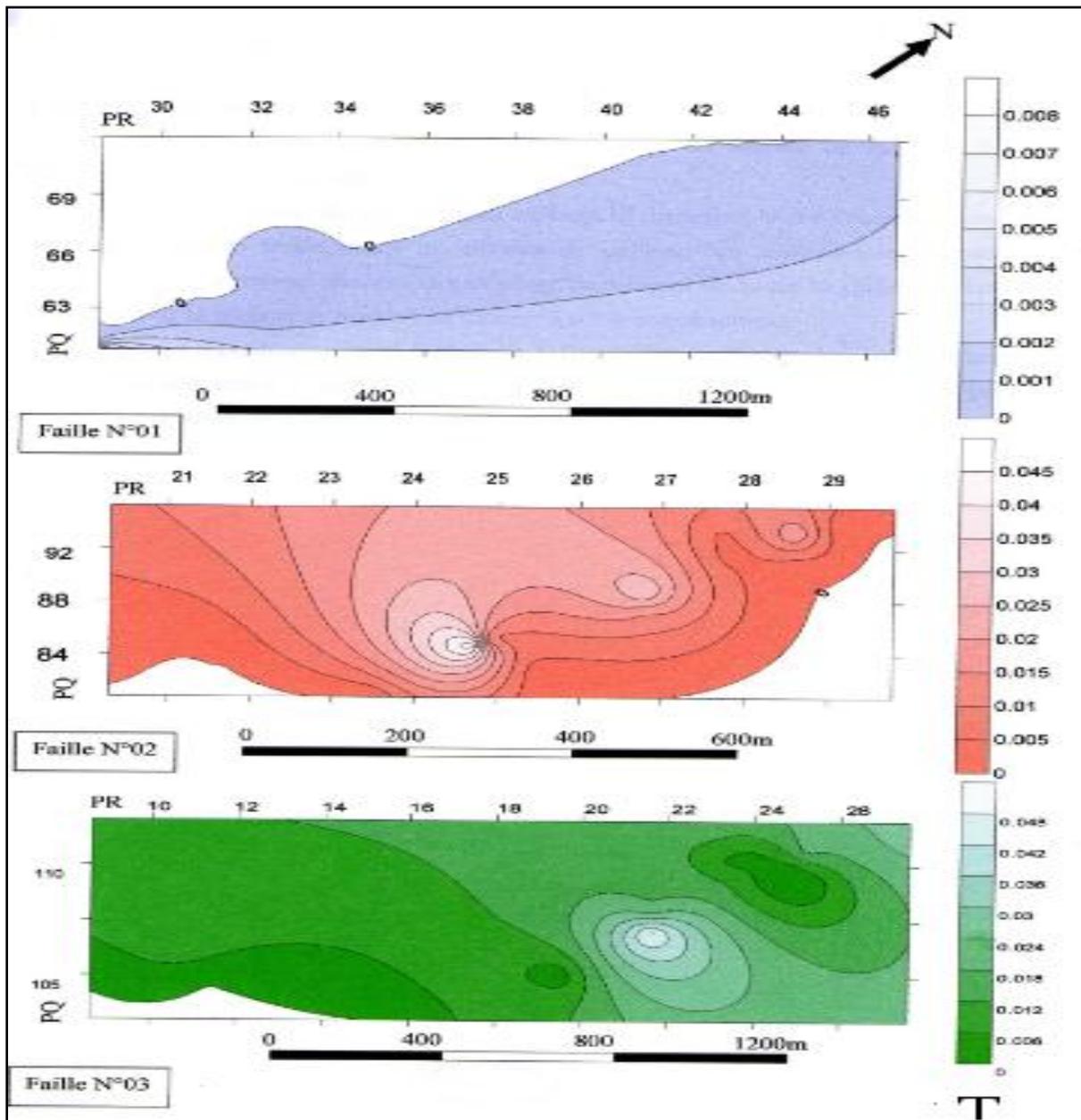


Figure 6 : cartes d'isoteneurs en Pb suivant les 3 failles.

(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)

Légende :

PR : profil

PQ : piquets (m)

T :tenneur (ppm)

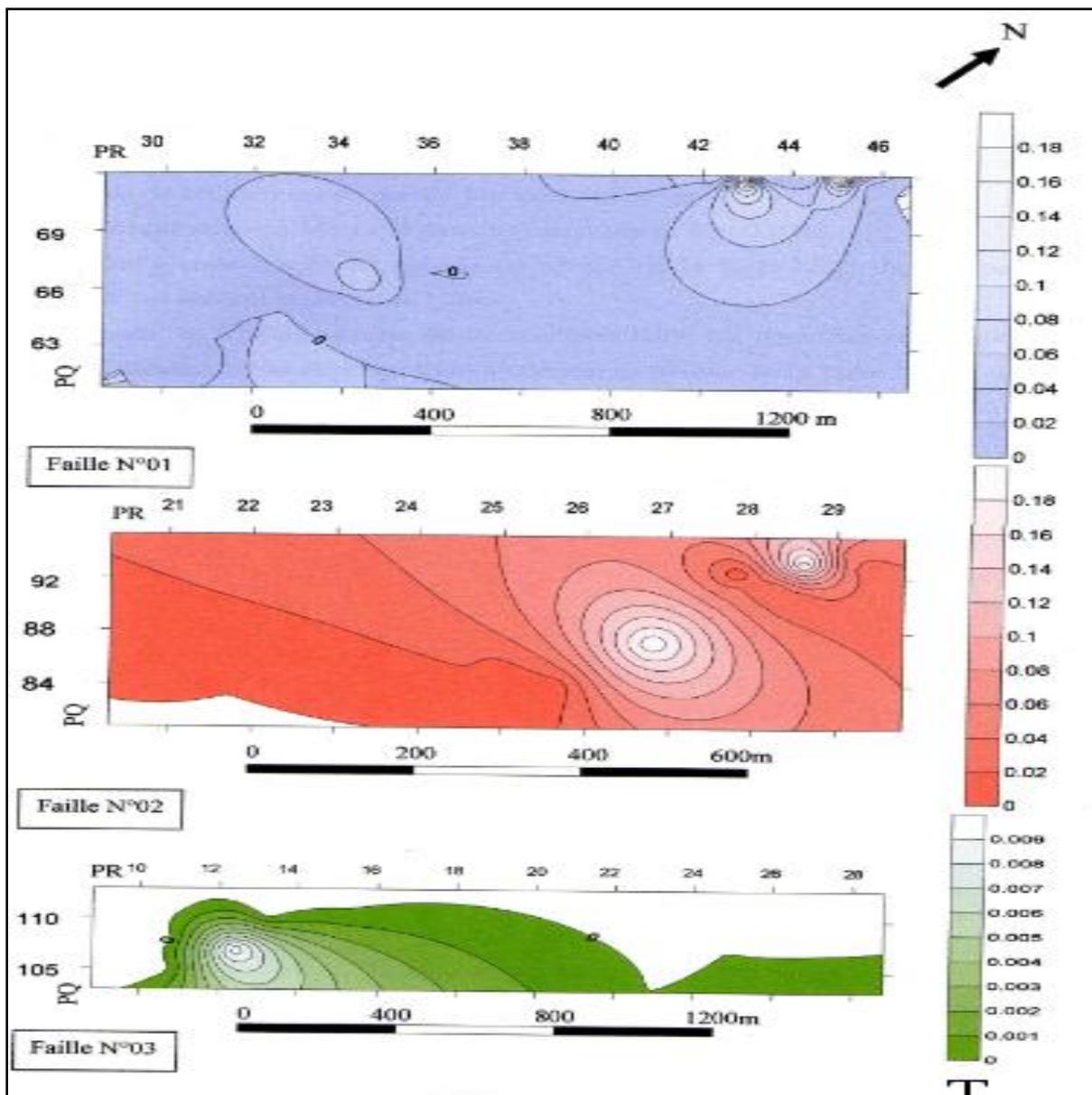


Figure 7 : cartes d'isoteneurs en Zn suivant les 3 failles.

(A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)

Légende :

PR : profil

PQ : piquets (m)

T : teneur (ppm)

8. Interprétation des cartes d'anomalies géochimiques

traitement des données d'analyses spectrales des échantillons prélevés en sol et en roches dans le secteur a permis de déceler les anomalies de différents éléments

Le fait remarquable à noter ici, c'est que la région est caractérisée par plusieurs zones de dolomitisation qui sont localisées le long des failles qui sillonnent la structure ou la couverture tactique effectuée dans ce territoire est représentée par des auréoles qui sont réparti suivant deux ensembles

- le premier ensemble :

Les anomalies plombo-zincifères sont localisées sur la bande de dolomitisation secondaire qui occupe la partie ouest de notre secteur, qui est allongée suivant une direction SE-NW.

Cette partie est délimitée au nord par des terrains de portlandien qui sont formés par des calcaires, dolomies et marnes, tandis qu'au sud, elle est bordée par une grande faille de même direction, et par des terrains du bathonien renfermant des dolomies et calcaires dolomitiques.

Cet ensemble qui occupe la partie ouest du secteur est composé par deux anomalies de Pb-Zn. on constate que cette série d'anomalie est tronquée au milieu par des failles de direction NW.

Dans cette série on constate que les anomalies de plomb sont plus stables et font leur apparition directement sur les roches encaissantes (dolomie, calcaire dolomitique)

Les anomalies de zinc sont représentées par des teneurs de l'ordre de 0.06% jusqu'à 0.12% par contre les anomalies de plomb sont plus réduites par rapport à celle du zinc et sont représentées par une teneur qui va de 0.02% jusqu'à 0.1%.

D'après ces résultats, on conclut que cet ensemble occupe la partie Nord-ouest et il est caractérisé par une zone étirée de dolomitisation qui contient des indices de Pb-Zn, ainsi que des imprégnations de galène qui sont contrôlés par des failles.

- le deuxième ensemble :

Dans cette partie il y'a deux anomalies Zincifères qui s'étendent sur une longueur de 800m de la faille majeure de Sidi Djilali, ce qui justifie le mode de dispersion de cet élément en occupant le flanc Sud de horst.

Cette partie est délimitée au Nord par des terrains de toarcien formés essentiellement par des calcaires et des marnes.

On constate que la majeure partie des auréoles de Zn a été délimitée suivant la teneur de 0.06%, tandis que la teneur maximale qui fait distinguer ces champs de cette bordure Est est

de 0.12 %, et pour cette raison les points de prélèvements des échantillons à teneurs élevées peuvent être considérés comme des indices de minéralisation isolés.

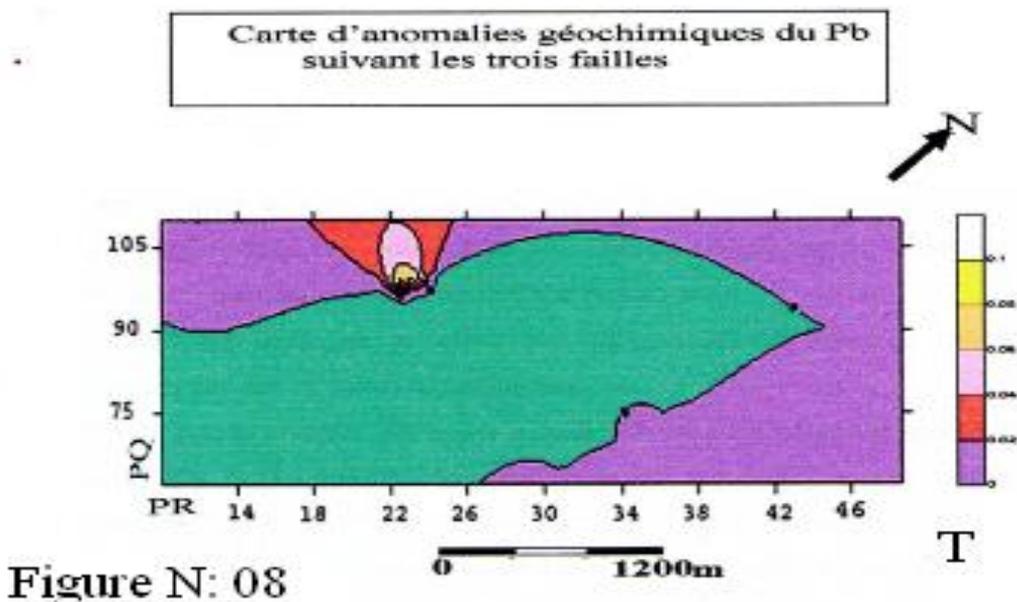


Figure N: 08

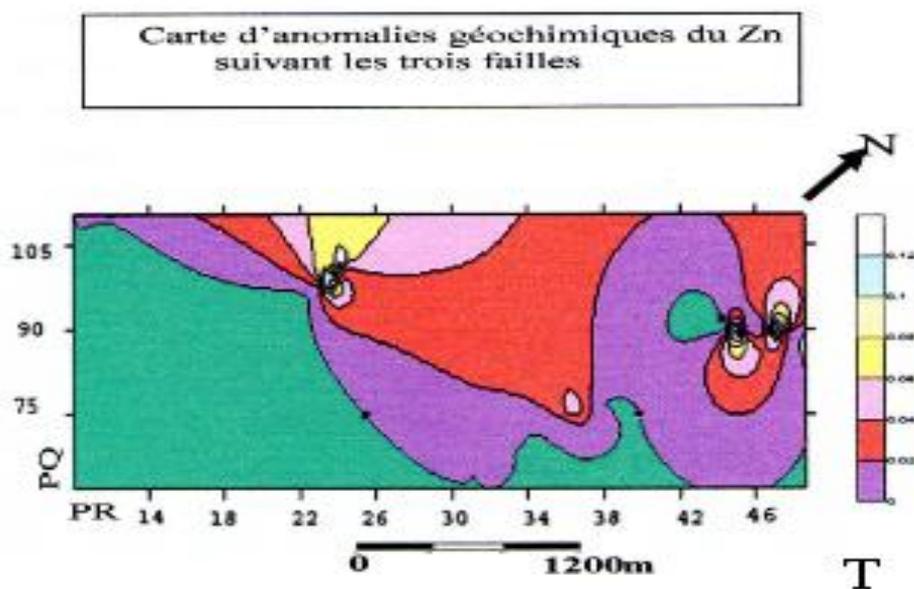


Figure N: 09

Source: (A.Bouazza, 2004, B.Affoun, 2004)

Légende :

PR : profil

PQ : piquets (m)

T : teneur (ppm)

B/ gisement Pb-Zn des Babors occidentaux

1. Introduction

Le district minier des Babors occidentaux montre plusieurs indices de minéralisations pour le Cu, Pb - Zn, Ag, Ba et Hg qui sont représentés par des teneurs qui sont de l'ordre de : 5 à 33.75% en Cu ; 0.1 à 5.11% en Pb ; 0.16 à 5% en Zn ; 212.5Gr/t d'Ag ; 1 à 2% en Hg ; As jusqu'à 2.05% et une teneur qui peut aller jusqu'à 3.5% en Sb.

Dans la région Akbou - Sidi aich, l'exploitation des gisements de fer de Gueldamane et de Timzrit (60% de fer et une réserve de 6 Millions de tonnes) représente des guides directs pour la prospection dans cette région. Le gisement polymétallique encaissé dans les formations volcano - sédimentaires d'Oued Amizour qui se situe à 30 Km par rapport à l'est.

Notre secteur d'étude est l'indice de Djebel Trouna, qui est représenté par un anticlinal renversé et chevauché vers le coté Sud Est, les recherches et les analyses réalisées dans le secteur ont révélé des teneurs très importantes en Cu, Pb - Zn, Ag et Hg, avec la présence de phénomènes hydrothermaux comme : la silicification, limonitisation et hématisation. Comme on a constaté la présence de quelques paragenèses de minéraux.

2. Géologie du secteur de Trouna

Les affleurements du secteur Trouna sont représentés par des terrains d'âge Triasique, Jurassique et Crétacé.

- **Le Trias** : Il affleure sous forme de pointements de taille décimétrique dans la zone de contact des unités tectoniques. Il est marqué par des dépôts rougeâtres d'argiles multicolores.
- **Le Jurassique** : Le Jurassique comprend essentiellement des bancs de dolomies à sa base, au dessus se reposent les calcaires massifs cristallins parfois dolomités et les calcaires à silex en banc décimétrique.
- **Le Crétacé** : Les affleurements du Crétacé reposent sur les formations Jurassiques en discontinuité stratigraphique. Il est représenté essentiellement par des dépôts d'argiles et de marnes à intercalations de calcaires.

La structure du secteur Trouna correspond à un flanc Sud renversé d'un anticlinal de direction Est - Ouest.

Une faille importante correspond à un fond de chevauchement qui met en contact la série Jurassique - Crétacé de l'unité Bouhamza au Sud, et les unités structurales de Drâa El Arbâa et

Béni Ouartilène au Nord. Le contact est jalonné par des zones de broyage, parfois accompagnées de pointements décimétriques d'argiles bariolées et multicolores du Trias sup.

Une faille oblique de direction Nord - Sud à Nord 10° a été mise en évidence dans la partie Est du secteur, celle -ci met en contact la série carbonatée du Jurassique - Crétacé de l'unité Bouhamza avec des formations marne - argileuses de l'unité Drâa El Arbâa. La faille plonge vers l'Est sous un angle superficiel de 40° à 50°, elle est accompagnée de zone de brèche à galets de calcaires, de dolomies et d'argiles.

Dans l'extrémité occidentale du secteur Trouna, une faille majeure de direction N 50° limite la série Jurassique de la série Crétacé dans l'unité Bouhamza. Le long de cette faille se trouve de nombreux points minéralisés.

Dans le secteur Trouna, la minéralisation reconnue est souvent de la minéralisation secondaire représentée par les minéraux d'oxydation du fer (hématite, limonite, hydroxyde de fer) et du Cuivre (azurite, malachite) avec la présence d'une minéralisation primaire marquée par quelques sulfures comme la pyrite, la galène, sphalérite, chalcopryrite, cette minéralisation est généralement dans les zones d'intersections et de broyage et de contact entre les failles et entre les différentes formations du Jurassique et du Crétacé qui sont les deux séries propices pour la concentration de la minéralisation.

La minéralisation est veinulée et affleure sur une zone longue de 60m et large de 20 m avec des teneurs moyennes de 2.71 % en Cu et 435.5 gr/t d'Ag sur une puissance totale de 7m.

3. Méthodologie des travaux réalisés

3.1. Travaux géologiques

3.1. a. Itinéraires de recherche à l'échelle de 1/10.000

Ils sont réalisés le long des profils topographiques tracés au préalable suivant la maille de 100x20m.

Ces itinéraires consistent à élaborer un levé géologique suivant chaque profil avec des points d'observations chaque 20 m et latéralement de part et d'autre.

L'objectif de ces travaux est de cartographier les différentes formations, de définir des critères lithologiques et structuraux pouvant contrôler la minéralisation.

Les zones minéralisées où les points de minéralisation sont répertoriés et caractérisés par leurs paramètres de longueur, de largeur et d'épaisseur.

3.2. b. Coupe géologique à l'échelle 1/2000

Des coupes géologiques réelles sont réalisées suivant des profils nivelés. Elles sont localisées sur des zones minéralisées perspectives.

3.2. Travaux miniers

Le creusement des tranchées est réalisé sur les zones d'affleurements minéralisés en surface ou sur des zones d'altération et des produits du chapeau de fer. Ces tranchées sont creusées suivant une maille de 40 x 40 m perpendiculairement à la direction de la zone minéralisée

Cinq (05) tranchées ont été réalisées durant l'année 2001, et dix (10) tranchées durant l'année 2002, dont quatre (04) qui ont donné des teneurs rentables en polymétaux (Pb - Zn, Cu, Ag).

3.3. Echantillonnage

3.3. a. Echantillonnage de carotte

L'échantillonnage de carotte est effectué dans les intervalles minéralisés, les carottes sont prélevées au marteau.

La carotte est coupée en deux moitiés suivant l'axe longitudinal, et la régularité de répartition de la minéralisation, les échantillons sont prélevés selon les types de minerais et les variétés lithologiques des roches, leur structure et texture et homogénéité

3.3. b. Echantillonnage lithogéochimique

Les échantillons sont prélevés à partir des intervalles dépourvus de la minéralisation apparente pour pouvoir caractériser les roches encaissantes. Leur longueur varie en fonction de la puissance de faciès des couches.

3.3. c. Echantillonnage de lames minces et sections polies

Consiste en un prélèvement ponctuel d'échantillons sur la carotte destinée pour l'étude pétrographique.

3.3. d. Echantillonnage par saignée

En vue d'étudier les intervalles minéralisés sulfurés ou oxydés dégagés par des tranchées, on procède à l'échantillonnage par des saignées de surface, les échantillons sont d'une longueur de 1 m pour une section de 10 x 15 m.

3.3. e. Echantillonnage géochimique

Les échantillons géochimiques sont prélevés systématiquement le long de la colonne lithologique des sondages, les échantillons sont soumis à l'analyse spectrale complète.

3.4. Travaux de laboratoire

Consiste à la préparation mécanique des échantillons pour les différentes analyses quantitatives et qualitatives, ces analyses se résument comme suit :

- Analyse spectrale.
- Analyse chimique.
- Analyse Aurospéctrométrie.
- Etude pétrographique et minéralogique.

4. Etude géochimique

4.1. Echantillonnage

L'échantillonnage se fait suivant différentes méthodes, dans les ouvrages miniers, et cela dépend aussi du type d'analyse à réaliser et les caractéristiques du terrain à étudier, les différents types d'échantillonnage appliqués sont :

Échantillonnage géochimique ;

Échantillonnage litho –géochimique ;

Échantillonnage de carotte,

Toutes ces méthodes d'échantillonnages sont caractéristiques pour chaque ouvrage minier :

- L'échantillonnage litho - géochimique est recueilli lors des itinéraires ou des tranchées
- L'échantillonnage de carotte est caractéristique pour les sondages seulement.
- L'échantillonnage du réseau hydrographique utilisé pour les alluvions et les colluvions.

Lors de l'échantillonnage, les mailles dépendent du type d'ouvrage et du stade de la prospection à réaliser, et aussi de l'importance de la zone à échantillonner, et aussi du type de

terrain, car si le terrain est solide, s'il y a une minéralisation en surface, il peut y avoir une extension en profondeur, alors l'échantillon sera petit, mais dans les dépôts meubles la minéralisation n'est pas toujours importante.

4.2. Les analyses effectuées

Pour les analyses, elles sont faites sur les échantillons recueillis lors de l'échantillonnage lithogéochimique, pour l'itinéraire au 1/10.000, les méthodes utilisées sont : l'analyse spectrale, la spectrométrie, l'Aurospéctrométrie.

Les analyses sont faites sur les éléments suivant : Cu, Pb, Zn, Ag et Hg vu l'importance de leurs indices dans le secteur.

Les résultats d'analyses sont traités pour pouvoir établir des cartes géologiques du secteur avec les différentes anomalies géochimiques rencontrées dans le secteur, et de faire une superposition avec les cartes géologiques et géophysiques pour pouvoir interpréter les différentes anomalies.

4.3. Traitement des résultats d'analyses

4.3.1. Traitement des résultats d'analyses spectrales du Plomb (Pb)

Teneur (Xi)	Nombre d'Echts (ni)	Fréquence F(%)	Xi * ni	(Xi- ζ)	(Xi- ζ) ²
1	259	56.42%	259	-1.3	1.69
1.5	5	1.09%	7.5	-0.8	0.64
2	98	21.35%	196	-0.3	0.09
3	40	8.71%	120	0.7	0.49
4	26	5.66%	104	1.7	2.89
5	13	2.83%	65	2.7	7.29
6	10	2.17%	60	3.7	13.69
8	4	0.87%	32	5.7	32.49
10	3	0.65%	30	7.7	59.29
15	1	0.21%	15	12.7	161.29
Somme	459	99.96%	888.5		279.85

Tableau 9: Tableau des données de l'élément du Plomb (Pb).

(D.Hadjou, 2003)

Calcul du fond géochimique du Plomb (Pb)

D'après les données du tableau 9, et la représentation graphique (Figure 10) pour l'élément du Plomb, on constate que le fond géochimique du Plomb est « 1 ».

Calcul de la moyenne arithmétique

D'après les données du tableau :

$$\sum_1^n (X_i \times n_i) = 888.5$$

$$\sum_1^n n_i = 459$$

Donc :

$$X' = \sum_1^n (X_i \times n_i) / N$$

$$= 888.5 / 459 = 1.94$$

Calcul de l'écart type (δ) :

$$\delta = \sqrt{\sum_1^n (X_i - X')^2 / N - 1}$$

$$= \sqrt{279.85 / 458} = 0.78$$

Calcul du coefficient de variation δ

$$\delta = \delta / X' = 0.78 / 1.94 = 40\%$$

D'après les données du tableau et les résultats des calculs, on constate que :

- * Coefficient d'asymétrie > 3
- * Coefficient d'aplatissement > 3

4.3.2. Traitement des résultats d'analyses spectrales du Zinc (Zn)

Teneurs (Xi)	Nombre d'Echts (ni)	Fréquence F (%)	Xi * ni	Xi-ζ	(Xi-ζ) ²
1	320	62.86%	320.	-0.52	0.27
2	98	19.25%	196	0.48	0.23
3	44	8.64%	132	1.48	2.19
4	27	5.30%	108	2.48	6.15
5	8	1.57%	40	3.48	12.11
6	6	1.17%	36	4.48	20.07
8	6	1.17%	48	6.48	42.00
Somme	509	99.96%	772		83.02

Tableau 10: Tableau des données de l'élément du Zinc (Zn).

(D.Hadjou, 2003)

Calcul du fond géochimique du Zinc (Zn)

D'après les données du tableau 10, la représentation graphique (figure 11) pour l'élément du Zinc, on constate que le fond géochimique du Zinc est « 1 ».

Calcul de la moyenne arithmétique

D'après les données du tableau :

$$\sum_1^n (Xi \times ni) = 772$$

$$\sum_1^n ni = 509$$

$$\text{Donc } : X' = \sum_1^n (Xi \times ni) / N$$

$$= 772 / 509 = 1.51$$

Calcul de l'écart type (δ) :

$$\delta = \sqrt{\sum_1^n (Xi - X')^2 / N - 1}$$

$$= \sqrt{83.02 / 508} = 0.40$$

Calcul du coefficient de variation δ

$$\delta = \delta / X' = 0.40 / 1.51 = 40\%$$

D'après les données du tableau et les résultats des calculs, on constate que :

- * Coefficient d'asymétrie > 3
- * Coefficient d'aplatissement > 3

Cela implique que la distribution est log normale

Après le traitement des données pour chaque élément, on fait un tableau de synthèse pour tous les éléments :

Elément	Nombre d'Echts	Teneur min.	Teneur Max.	Moyenne arithmétique	Ecart type	Clarck (%)
Cu	1593	1	40	3.66	1.16	1.10^{-2}
Pb	460	1	15	1.93	0.78	2.10^{-3}
Zn	509	1	8	1.51	0.40	6.10^{-3}
Ag	647	1	30	1.77	1.49	1.10^{-5}
Hg	153	0.001	0.1	0.003	0.0088	5.10^{-6}

Tableau 11: Tableau des résultats de calcul géostatistiques des éléments.

(D.Hadjou, 2003)

Calcul du coefficient de corrélation des éléments

Après avoir calculé le fond géochimique et le coefficient de variation pour les éléments, on procède maintenant au calcul du coefficient de variation entre ces éléments au niveau du Profil 01 et 02. Les calculs nous ont permis de réaliser le tableau suivant :

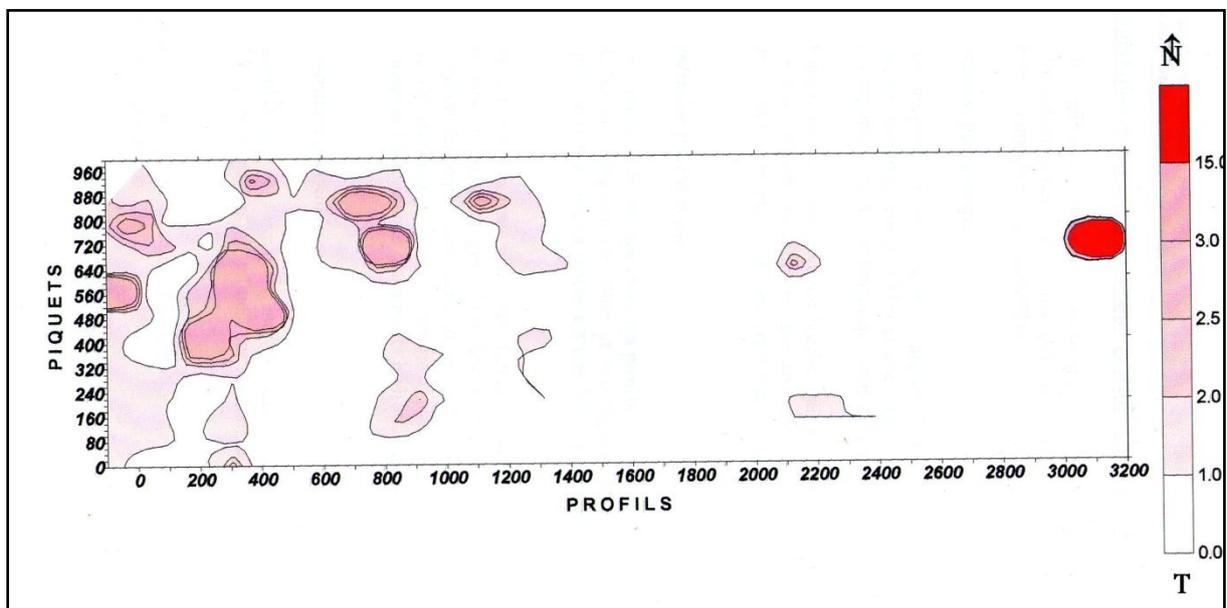
Eléments	Hg	Ag	Zn	Pb	Cu
Cu	0.04	0.96	0.99	1	1
Pb	0.03	0.53	0.66	1	
Zn	0.05	0.53	1		
Ag	0.005	1			
Hg	1				

Tableau 12: Tableau de résultat des calculs du coefficient de corrélation des éléments.

(D.Hadjou, 2003)

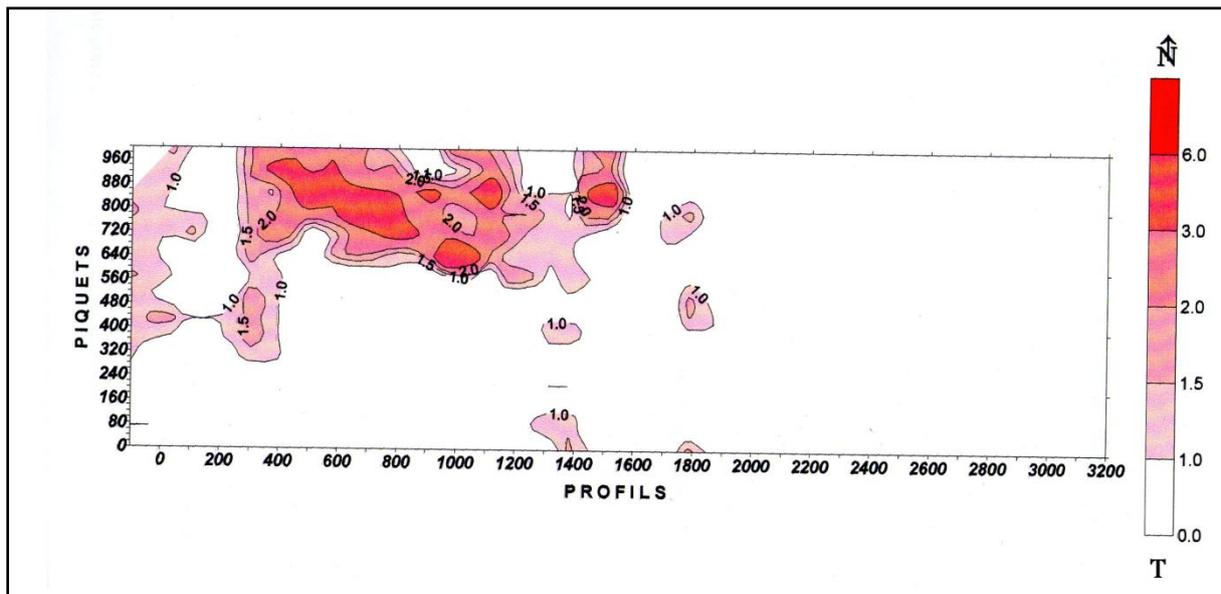
N° d'ordre	Nombre d'échts.	Teneur (ppm)	Type de roche
Cu	25	10-15	Dolomies et calcaires - marneux
	895	4-10	Zone de contact entre Jurassique et Crétacé
	125	1-4	Calcaires argileux et les marnes
Pb	5	15	zone de brèches au sein des argiles
	230	1-8	Dolomies et calcaires
Zn	350	1-6	Dolomies et calcaires fissurés
	125	6-8	Marnes et argiles
Ag	20	10-30	Zone de contact Jurassique et Crétacé
	125	1 - 10	Marnes et argiles
Hg	90	0.002-0.020	Formations marneuses et la zone de contact
	35	0.020-0.030	

**Tableau 13: Tableau des résultats d'analyses suivant le type de terrain encaissant.
(D.Hadjou, 2003)**



Echelle : 1/10000

Figure 10 : carte d'anomalie géochimique de Pb du secteur Trouna Akbou



Echelle : 1/10000

Figure 11 : carte d'anomalie géochimique de Zn du secteur Trouna Akbou

(D.Hadjou , 2003)

4.4. Interprétation de la carte d'anomalies géochimiques

4.4. a. Interprétation de la carte d'anomalies géochimique du Pb

La carte de dispersion des anomalies géochimiques du Plomb, montre selon le type de formation encaissante, trois (03) aires de concentrations géochimiques à différentes teneurs :

*1^{er} aire de concentration géochimique :

Se localise entre les profils 31 et 32 entre les piquets 720 et 800 avec une orientation Est Ouest, sur une longueur de 195m et une largeur de 150m, cette concentration est plus importante avec une teneur qui varie de 3 à 15ppm.

Cette aire est encaissée dans une zone de brèches qui se trouve dans des formations argileuses et des dépôts Quaternaire, cette zone est trop proche de la zone de contact entre les dolomies et les argiles, cette zone est jalonnée par des dépôts triasiques.

*2^{ème} aire de concentration géochimique :

Se concentre sur une grande surface entre les profils 2 et 10 suivant une direction Est Ouest, sur une longueur de 750m et une largeur de 60m, elle s'étend entre les piquets 400 et 800m, sa teneur est très faible par rapport au 1^{er} aire.

Cette concentration est encaissée dans des formations dolomitiques et calcaires, ces formations ont subi un grand jeu de failles, ce qui explique l'intense fissuration qu'on rencontre dans cette zone, avec aussi la présence d'une oxydation et de minéraux sulfurés comme : pyrite, sphalérite et chalcopryrite, ce qui indique l'importance des apports hydrothermaux dans cette zone.

*3^{ème} aire de concentration géochimique :

Cette aire se localise dans des formations marno - calcaires sur le profil -1 entre les piquets 560 et 640m, orienté Est Ouest sur une longueur de 100m et une largeur de 100m.

Les formations encaissantes pour cette minéralisation ne montrent pas des zones de fissuration ou d'oxydation.

4.4. b. Interprétation de la carte des anomalies géochimique du Zinc (Zn)

La carte des anomalies géochimiques du Zinc montre que l'élément se concentre au nord du secteur entre les profils 4 et 15 et les piquets 560 et 1000m avec une teneur variante de 3 à 6ppm.

Cette concentration est rencontrée dans des formations calcaires et dolomitiques et des marnes qui ont un pendage de N60°, ces formations sont affectées par un jeu de failles, surtout dans les formations calcaires et dolomitiques, entre les formations dolomitiques et les formations marneuses il y a un chevauchement qui montre le contact anormal entre ces deux formations.

Les formations calcaires et dolomitiques sont caractérisées par une oxydation très intense, avec la présence de la pyrite et de la sphalérite comme minéraux primaires, ce qui explique la présence des apports hydrothermaux.

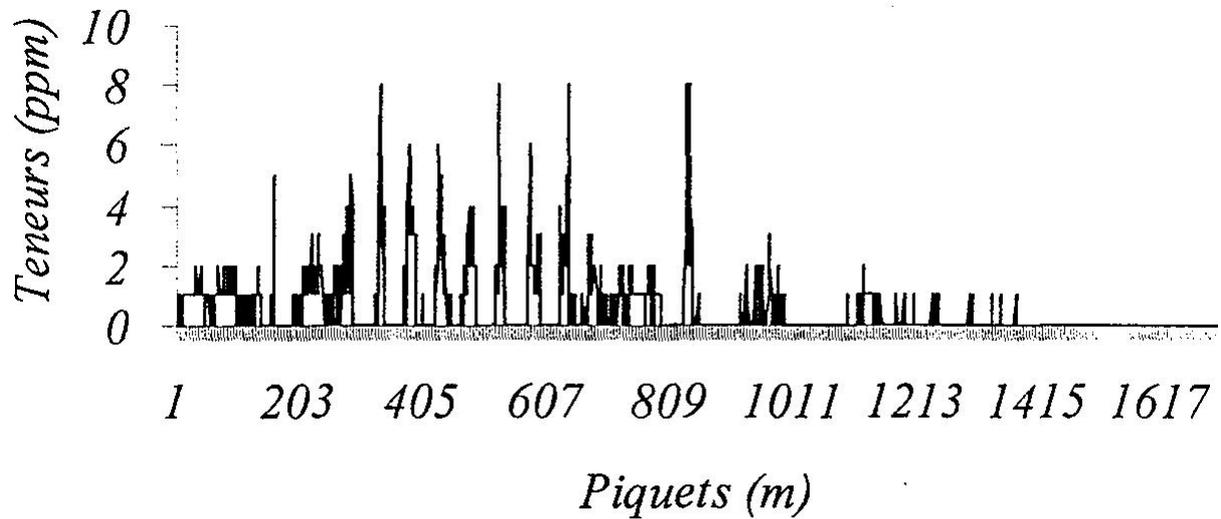


Figure 12: Représentation graphique des données du Zinc (Zn)

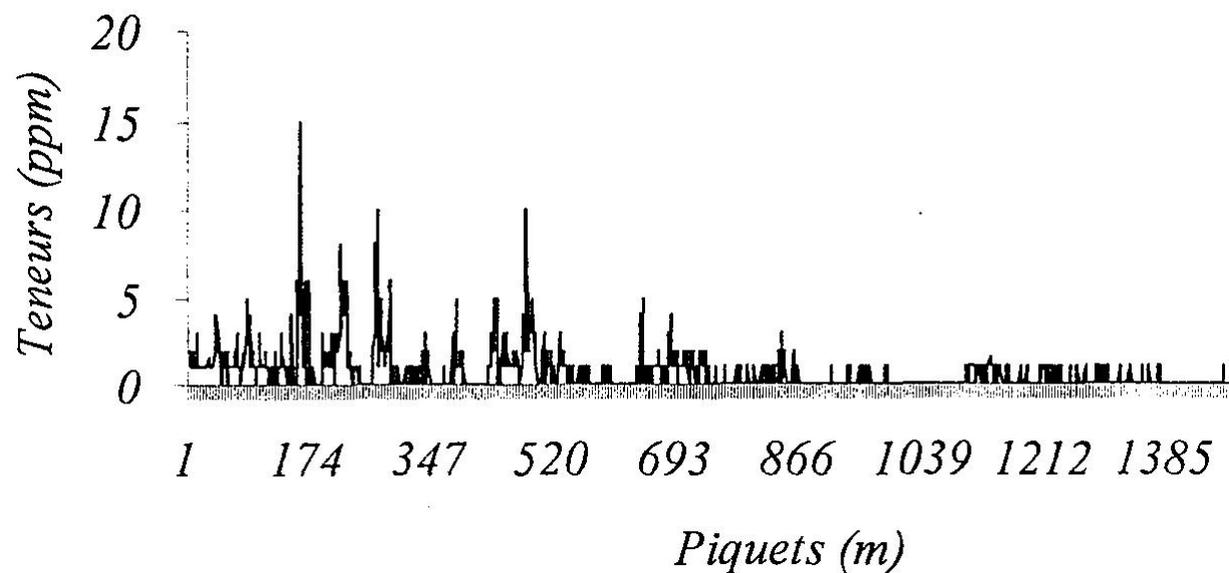


Figure 13: Représentation graphique des données du Plomb (Pb)

Conclusion

- Les anomalies se concentrent au Nord du secteur entre les piquets 300 et 1000m, suivant une direction Est - Ouest;
- La minéralisation rencontrée dans ces zones est essentiellement: pyrite, chalcopyrite, sphalérite, malachite et des minéraux d'oxydation du fer.
- L'étude géochimique à l'échelle 1/10.000, réalisée dans le secteur Trouna montre qu'il y a une grande corrélation entre les éléments Cu, Zn, et une moyenne corrélation entre les éléments: Pb - Zn et Ag;

L'étude géochimique a démontré deux (02) associations géochimiques:

- Association primaire: entre les éléments Cu, Ag, Zn;
- Association secondaire: entre les éléments Pb - Zn et Ag.

Chapitre III

Etude géochimique de la minéralisation d'Or de la région de Bled M'Dena

1. Introduction

Après une vaste campagne de reconnaissance et de prospection régionale pour les différents métaux dans le massif des Eglab ; Nies, dans un rapport final (1984), a mis en évidence dans la zone de jointure Yetti-Eglab, des contrôles et des indices de minéralisation reflétant un environnement géotectonique caractéristique pour les gisements de type porphyrique. La structure circulaire volcanoplutonique de la région de Bled-M'dena située dans cette zone illustre bien l'hypothèse.

La région en question est recouverte dans sa majorité par du sable et des éboulis résultant de l'altération in-situ des différents faciès, ce qui rend sa prospection très difficile en plus de l'hostilité de la nature.

En effet, dans la structure circulaire, une intrusion porphyrique acide à neutre très pyritisée encaisse des filons de quartz à faible épaisseur contenant une minéralisation à molybdène et accessoirement or et cuivre. L'importance économique de la minéralisation affleurant étant très faible, voire nulle.

Vu les moyens mis à notre disposition, nous allons essayer de répondre, à travers notre étude, à deux questions :

- y a-t-il, dans la région de Bled-M'dena des anomalies géochimiques en différents éléments reflétant le type de gisement recherché ?
- y a-t-il, réellement, dans la structure circulaire une minéralisation de type porphyrique et pourrait-elle avoir une importance économique en profondeur ?

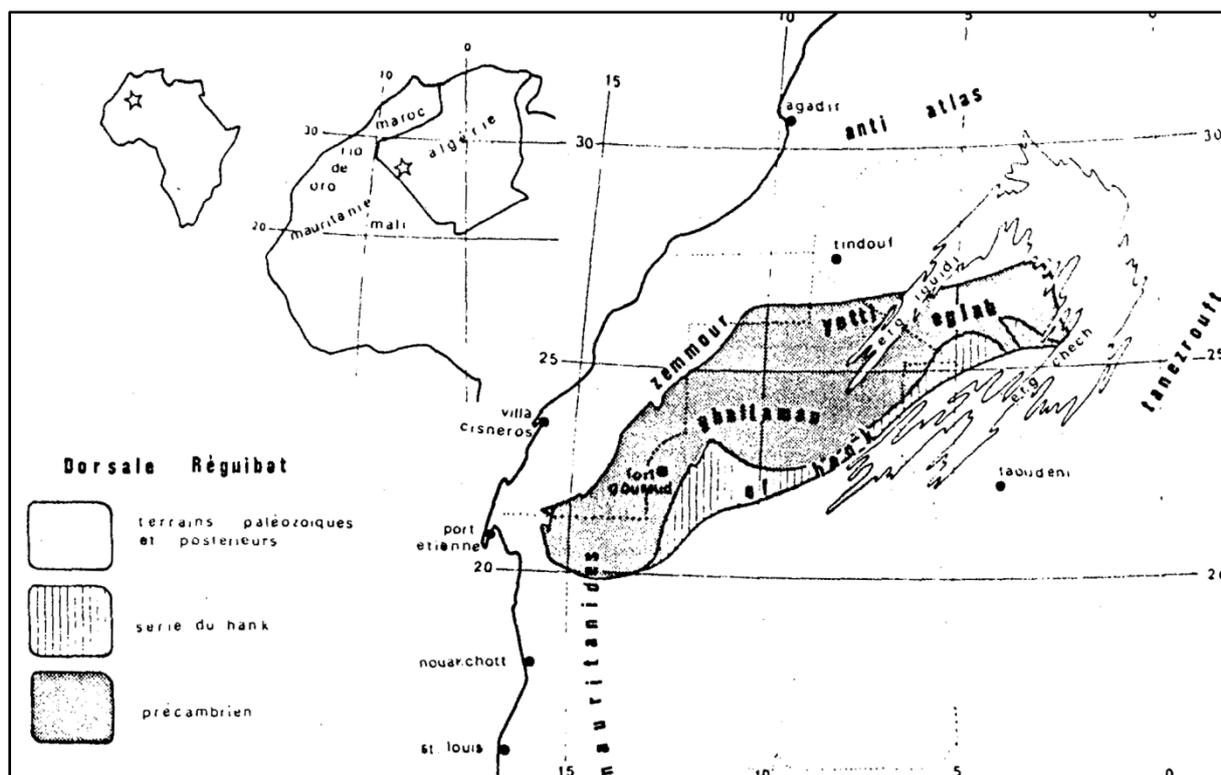


Figure 14. Situation géographique de la Dorsale Reguibat.

(K. Zidani, 1999)

2. Cadre géologique de la région de Bled M'Dena

La région se situe sur la partie centrale Nord de la feuille Aouinet Legraâ, entre les méridiens $6^{\circ}30'$ et $6^{\circ}40'$ de longitude w et les parallèles $26^{\circ}37'$ et $26^{\circ}47'N$. Elle se compose de gneiss à biotite ou à amphibole, d'amphibolites et de leptynites. Les gneiss, amphibolites et leptynites ne forment pas d'unités structurales proprement dites, mais sont disposées en panneaux hectométriques, à kilométriques, ou en lambeaux de dimensions plus restreintes, que dans les granites généralement syntectoniques de Chegga. Cette série constitue le substratum de la série d'Akilet-Deilel. Celle-ci est détritique et volcanodétritique. Elle est principalement constituée de grès quartziques claires, d'arkoses souvent grossières et de conglomérats polygéniques à ciment tufacé acide. Les galets, généralement arrondis et de taille variable, sont essentiellement des rhyolites, des cornéennes de la série du Yetti et des granites du type Chegga. Dans les sédiments s'intercalent quelques sills acides ou basiques. Les granitoïdes filons se composent de granités, diorites et gabbros.

Gabbros et diorites sont repris en enclaves dans les granités.

Ces derniers induisent dans la série d'Akilet-Deilel un métamorphisme de contact à biotite et andalousite et localement à grenat (P. SABATE).

Quatre familles de fracturation ont été dénombrées dans la région de Bled M'dena, il s'agit de : La N10-20 ; N60-70 ; N110-120 ; N160.

A l'intérieur de la structure de Bled M'dena, les filons de quartz minéralisés en Mo - Cu - Au ont une orientation N70°.

Cette direction est empruntée aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de cette structure par des microgranites, du quartz et des roches volcaniques (rhyolites). Il semblerait que la famille la plus récente soit celle NE (N 60°). La famille N110° a probablement joué en sénestre, tandis que la famille N10°-20° en dextre.

Les filons de quartz ont des directions diverses : N10°-20° ; N70° ; N160°.

Dans ces trois familles, nous constatons une minéralisation en **Au**.

3. Description des minéralisations reconnues dans le secteur

Le secteur de notre travail est connu pour ses deux indices en Mo, Cu et Au.

3.1. La structure circulaire de Bled M'dena

Cette structure est caractérisée par son indice en Cu, Mo et Au. Dans des filons de quartz d'épaisseur assez modeste de 0,20 m maximum, orientés NE (70°) et encaissés par des monzonites présentant des altérations hydrothermales (epidotisation, sericitisation, carbonatation ...).

La structure dispose d'une bouche volcanique centrale et d'une autre plus petite qui est située à environ 1 km au sud, probablement de composition différente.

La minéralisation en molybdénite-pyrite-chalcopyrite est présente à proximité de ces bouches volcaniques. Mais les rares affleurements ne permettent pas d'avoir une idée sur la structure géologique.

3.2. Indice Caroline

Cet indice a été découvert par le BIA à la fin des années 50. Il est localisé à proximité d'un massif de diorites juxtaposées à un affleurement de roches syénitiques rosâtres similaires à celles rencontrées dans la structure de Bled M'dena. Il est également situé sur une zone de fracturation N110°-N120°.

L'indice en question est un filon de quartz aurifère de couleur grise, avec une longueur de 30 m et une largeur de 1 m. L'or se présente en paillettes ou en veinules dans les fissures ou

disséminé dans le quartz. La pyrite est présente avec rarement de la molybdénite et chalcopyrite.

A environ 3 km à l'WNW de cet indice, on a mis en évidence au sein de la série de Chegga, un filon de quartz orienté N160° d'environ 350 m de long et de 1,2 m d'épaisseur apparente. Il est encaissé par les migmatites de Chegga.

Dans ce filon, de l'or visible a été constaté à son extrémité nord à proximité du profil 11 piquet 85. Il s'agit d'un quartz fortement oxydé (présence d'or, d'hydroxydes de fer et de mouchetures de pyrite jusqu'à 1 cm de diamètre).

Plus au sud, à proximité du profil 12, piquet 83, de gros fragments de quartz, de nature identique au précédent, ont été mis en évidence. Dans l'un des fragments, de l'or visible a été constaté. Toujours près de ce profil (PQ89), de l'or visible a été constaté dans un filonet de quartz fumé (gris sombre), d'environ 3-4 cm d'épaisseur et de quelques mètres de long, encaissé, lui aussi, dans les migmatites de Chegga. Son orientation est Est-West.

4. Etude géochimique

Dans le but de vérifier les anomalies déjà décelées par les travaux antérieurs, de définir les potentialités minières de la région, d'étudier les régularités de distribution régionale des éléments de la minéralisation, ainsi que ses caractères géochimiques, nous avons entrepris une étude géochimique.

Toutefois cette étude nous permet de mettre en évidence des anomalies géochimiques et de tracer les cartes des auréoles de dispersion qui serviront de guides stratégiques pour la recherche de corps minéralisés autrement dit l'établissement de cartes pronostics.

La population des échantillons avec laquelle nous allons travailler est prise dans une phase géochimique caractéristique des pays désertiques c'est-à-dire une lithogéochimie du sol résiduel. Cette population représente le caractère ; teneur en ppm des différents éléments qui caractérisent le type de la minéralisation mise en évidence ou suspectée dans la région en question. La période de prélèvement des échantillons ou le cycle géochimique s'échelonne du 06-01-98 au 05-03-98, ce qui est relativement lent pour une géochimie au sol, mais vu le climat hyperaride de la région et l'absence de réseau hydrographique, le facteur temps n'influe pas sur la qualité de l'échantillonnage. Ce dernier est effectué dans le sol à 30 cm de profondeur sur une superficie de 227 km² selon des profils espacés de 500 m, orientés E-W avec un pas d'échantillonnage de 100 m.

Les échantillons appartiennent à la classe granulométrique de 0,5-0,1 mm et sont analysés à la spectrale pour les éléments suivants : Cu, Mo, Au, Ag, Zn, Pb, Sn, W et As.

4.1. Choix de la phase géochimique et la population d'échantillons pour le calcul du fond géochimique de l'or

Le fond géochimique est la teneur moyenne préexistante en un élément donné dans une phase géochimique donnée. Le calcul de cette moyenne doit englober une surface relativement vaste ou du moins qui correspond aux dimensions d'un district minier et le but du prospecteur étant de cibler une ou plusieurs surfaces réduites au maximum, c'est-à-dire correspondant aux dimensions d'un gisement, pour déceler des zones plus favorables qui présentent plus d'intérêts et par conséquent qui peuvent nous conduire à la découverte de gisements ou de concentrations métallifères représentant un intérêt économique.

L'analyse globale de la population des échantillons de toute la région est faite à l'aide des logiciels Winsurf et Excel.

4.2. Teneur du fond géochimique

Le fond géochimique, qui est une teneur moyenne préexistante pour un élément donné, est soumis à des variations par le phénomène de surimposition ou de lessivage.

Pour éviter ce problème, nous avons procédé à l'étude de la même population d'échantillons appartenant à la même phase géochimique et prélevé pendant un cycle raisonnable.

4.3. Etude statistique de la loi de distribution

L'étalement des éléments géochimiques par les phénomènes géologiques suit une certaine loi, de ce fait on a une :

- Distribution qui suit une loi normale quand la population des échantillons est homogène.
- Distribution convergente vers la loi normale par une loi log normale lorsque la population des échantillons est hétérogène.

Pour déterminer la loi de distribution des concentrations en éléments dans la région de notre étude, on procède à l'étude statistique :

- La moyenne, l'écart type, la variance, le coefficient d'aplatissement, le coefficient d'asymétrie et la médiane.

La méthode de calcul du fond géochimique (C_F) et le début de teneur anormale (DTA) dépend de la loi de distribution des éléments ; car lorsque :

- la distribution suit une loi normale, on calcule C_F par la moyenne arithmétique :

$$C_F = \sum_1^n (C_i) / n \quad \text{Où } C_i : \text{ teneur en cet élément, } C_F : \text{ teneur du fond géochimique ;}$$

n : population de l'échantillonnage

- quand la distribution suit une loi log normale, on calcule C_F par la moyenne géométrique :

$C_F = (C_1 \times C_2 \times C_3 \dots \times C_n)^{1/n}$ Pour connaître le type de la distribution d'un élément on procède par une méthode graphique où les échantillons sont regroupés en classes de teneurs, dont chacune avec sa fréquence absolue (population de classe) et sa fréquence relative.

L'intervalle de classe où le pas est calculé par la formule suivante :

$$h = \frac{C_{max} - C_{min}}{12}$$

Ou bien, on le choisira arbitrairement d'une manière à faire ressortir toutes les classes.

Les résultats seront représentés sur des histogrammes de fréquences. L'ajustement de la loi normale ou log normale est vérifié par les critères suivants :

- a- Le coefficient d'asymétrie : A_s

$$A_s = \frac{\sum_1^n (C_i - \bar{C})^3}{\sigma^3 \cdot n}$$

- b- Le coefficient d'aplatissement : A_p

$$A_p = \frac{\sum_1^n (C_i - \bar{C})^4}{\sigma^4 \cdot n}$$

Où : C_i : teneur pour chaque individu

\bar{C} : Teneur moyenne de la série statistique

σ : Écart type

n : population

Soient :

$$\frac{A_s}{\sqrt{\sigma/n}} \dots \dots \dots (1) \quad \text{et} \quad \frac{A_p}{2\sqrt{\sigma/n}} \dots \dots \dots (2)$$

Si (1) et (2) < 3 ; la distribution de l'élément suit une loi normale Si (1) et (2) > 3 ; la distribution de l'élément suit une loi log normale.

- Pour le premier cas ; la moyenne des teneurs est calculée par la méthode arithmétique
- Pour le second cas, on utilise la moyenne géométrique.

Remarque :

Le calcul de ces paramètres statistiques est effectué par le logiciel Excel. La taille de l'échantillon est de 4548 individus.

a). Etude de la distribution des concentrations en Au: (Figure 15)

- Le pas de la classe :

Il est choisi arbitrairement : $h = 0,0025$

- Moyenne arithmétique :

$\bar{C} = 0,00051$ ppm

- Ecart type :

$\sigma = 0,016$

- Moyenne géométrique :

$\bar{C}_g = 0,000126$ ppm

- Ecart type géométrique :

$\bar{\sigma}_g = 1,95$

- Coefficient d'asymétrie :

$As = 52,36$

- Coefficient d'aplatissement :

$Ap = 2936,82$

$$As / \sqrt{\sigma/n} = 27915,78 \dots \ll 1 \gg ; As / 2\sqrt{\sigma/n} = 782665,68 \dots \ll 2 \gg$$

Les critères d'aplatissement et d'asymétrie ainsi que l'histogramme de fréquences montrent que la distribution de l'or suit une loi log normale. La majorité écrasante des individus appartient à la première classe [0-0,0025] c'est-à-dire des valeurs nulles.

Etude de la distribution d'As: (Figure 16)

- Le pas de la classe est choisi arbitrairement : $h = 25$

- Moyenne arithmétique :

$\bar{C} = 3,44$ PPM

- Ecart type :

$$\sigma = 12,70$$

- Moyenne géométrique :

$$C_g = 0,00025 \text{ PPM}$$

- Ecart type géométrique :

$$\sigma_g = 27,74$$

- Coefficient d'aplatissement :

$$A_p = 10,10$$

- Coefficient d'asymétrie :

$$A_s = 3,45$$

$$A_s / \sqrt{\sigma/n} = 133,67 \dots \ll 1 \gg \quad A_s / 2\sqrt{\sigma/n} = 469,17 \dots \ll 2 \gg$$

Les deux critères « 1 » et « 2 » ainsi que l'histogramme de fréquences montrent que la distribution d'As suit une loi log normale.

b). Calcul du fond géochimique

La formule de calcul du fond géochimique est la même pour tous les éléments étant donné que leur distribution est la même :

$$C_F = [C_1 \times C_2 \dots C_n]^{1/n}$$

- Fond géochimique de Au : $C_F = 0,000126 \text{ ppm}$.
- Fond géochimique de As : $C_F = 0,00025 \text{ ppm}$.

c). Calcul du début de teneur anormale « DTA »

- Les anomalies géochimiques résultent de la mobilité et de la dispersion des éléments concentrés dans des minéralisations. Ces anomalies constituent donc des guides de recherche des minéralisations qui leur ont donné naissance.

- Le début de teneur anormale (DTA), ou seuil inférieur d'anomalie est une teneur à partir de laquelle le relief géochimique est considéré comme étant anormal.

- Pour l'établissement des cartes des anomalies, seules les teneurs supérieures au DTA seront prises en considération. Les anomalies géochimiques sont d'ordre local, ce qui constitue leur caractère exceptionnel pour la prospection géochimique.

- Notre analyse statistique a révélé que la distribution de tous les éléments obéit à une loi log normale, par conséquent le DTA sera calculé par la formule suivante :

$$\text{Log}C_a = \text{Log}C_F + 3 \text{Log}\sigma_g$$

- ou bien : $C_a = C_F \cdot \sigma_g^3$

- où ;

- $C_a = \text{DTA}$: Début de teneur anormale

- C_F : teneur du fond géochimique

- σ_g : écart type géochimique

- DTA de Au = 0,00092 ppm

- DTA de As = 5,27 ppm

Les résultats de l'analyse statistique sont représentés sur les tableaux (14 et 15).

Corrélation	Coefficient de corrélation
R : Mo-Au	-0.01350
R : Cu-Au	-0.00562
R : Au-As	-0.00763
R : Au-Ag	0.00070

Tableau 14 : coefficient de corrélation

(K.Zidani, 1999).

Statistique	Au	As
Min	0.0000	0.00
Max	1.0000	100.00
Moyenne	0.0005	3.44
Mode	0.0000	0.00
Mediane	0.0000	0.00
Variance	0.0003	161.34
Ecart type	0.0160	12.70
Coef,As	52.360	3.45
Coef,Ap	2936.820	10.10
Moy Ge	0.00013	0.00025
Ecart Ge	1.946	27.74

**Tableau 15 : résultat du traitement statistique
(K.Zidani, 1999)**

d) Histogramme de fréquences de teneurs

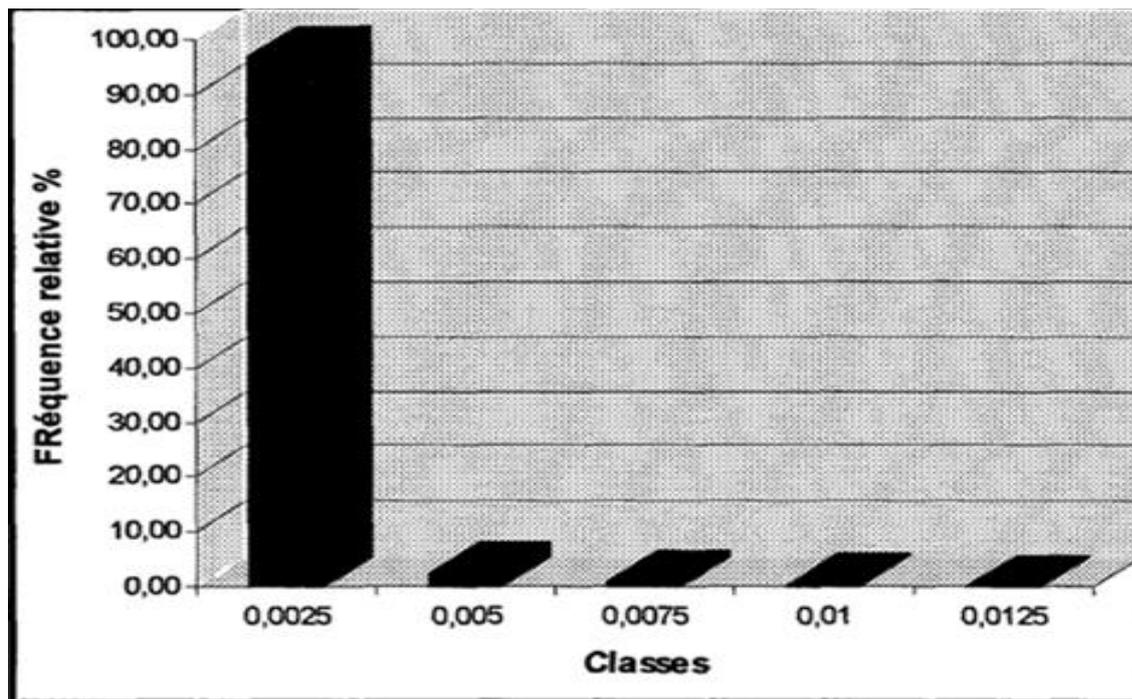


Figure 15 : Histogramme de fréquences des teneurs en Au
(K.Zidani ,1999)

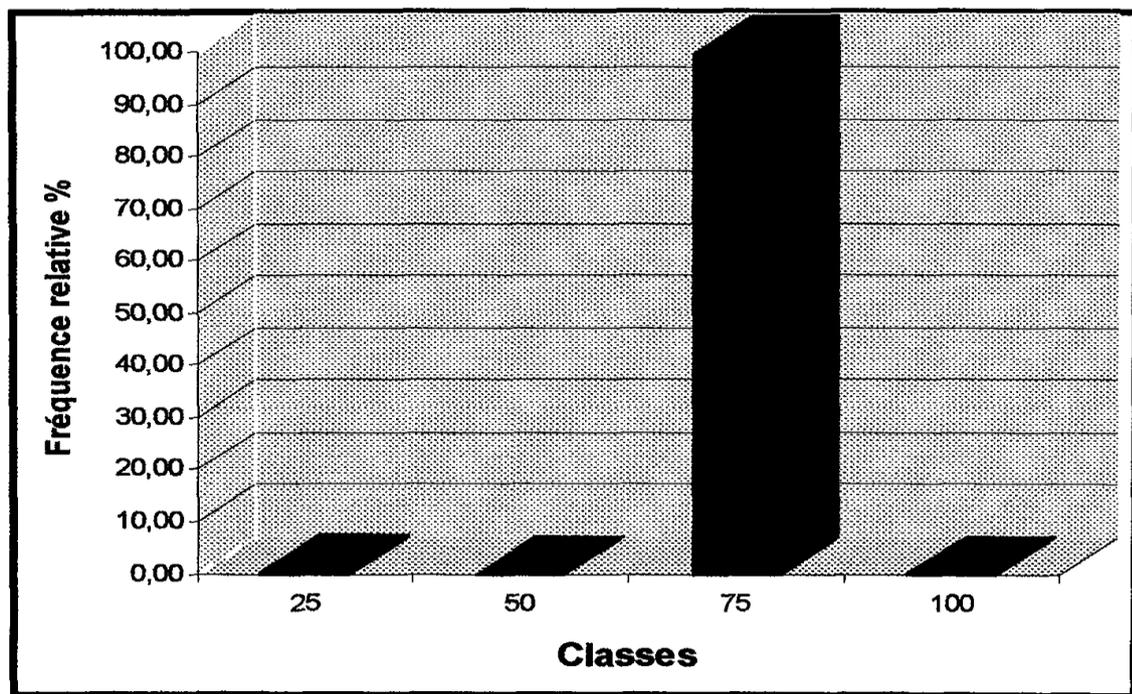


Figure 16 : Histogramme de fréquences des teneurs en As
(K.Zidani ,1999)

4.4. Etablissement des cartes d'anomalies

L'établissement des cartes lithogéochimiques basée sur la délimitation des auréoles géochimiques. La circonscription de ces auréoles est à son tour basée sur la résolution d'équations linéaires de Krigeage (Krigeage par points).

- Délimitation des auréoles lithogéochimiques

- Cette délimitation consiste à découper le relief du fond géochimique défini dans un espace à trois dimensions par la fonction
- $f(x, y, z) = 0$
- où :
- $z = \text{DTA}$ de l'élément étudié (= équation du plan de découpage),
- x, y : coordonnées des points respectivement le pas et le profil.

Le découpage du fond géochimique est effectué par un plan horizontal qui passe par tous les points dont $z = \text{DTA}$; pour chaque élément, l'intersection de ce plan avec le relief géochimique est représenté par des contours qui, projetés sur un autre plan horizontal constitue la carte géochimique monominérale

5. Interprétation de la carte d'anomalie

L'or: c'est l'élément le plus anomal dans la région et forme plusieurs anomalies d'importance variable qui se répartissent selon trois zones (Figure 17) :

- zone N-E à l'intérieur et autour de la structure circulaire : c'est la plus importante ;
- zone centre-ouest : de moindre importance par rapport à la première ;
- zone sud-est : dans le secteur de l'indice Caroline. Les anomalies de cette zone sont plus dispersées que celles des autres zones.

L'arsenic : c'est un élément très anomal et forme de grandes anomalies, surtout au nord où on a une anomalie géante qui s'étend de l'est à l'ouest du secteur en traversant la structure circulaire. Trois autres anomalies également importantes apparaissent au sud Caroline (Figure 18).

Carte d'anomalie d'Au

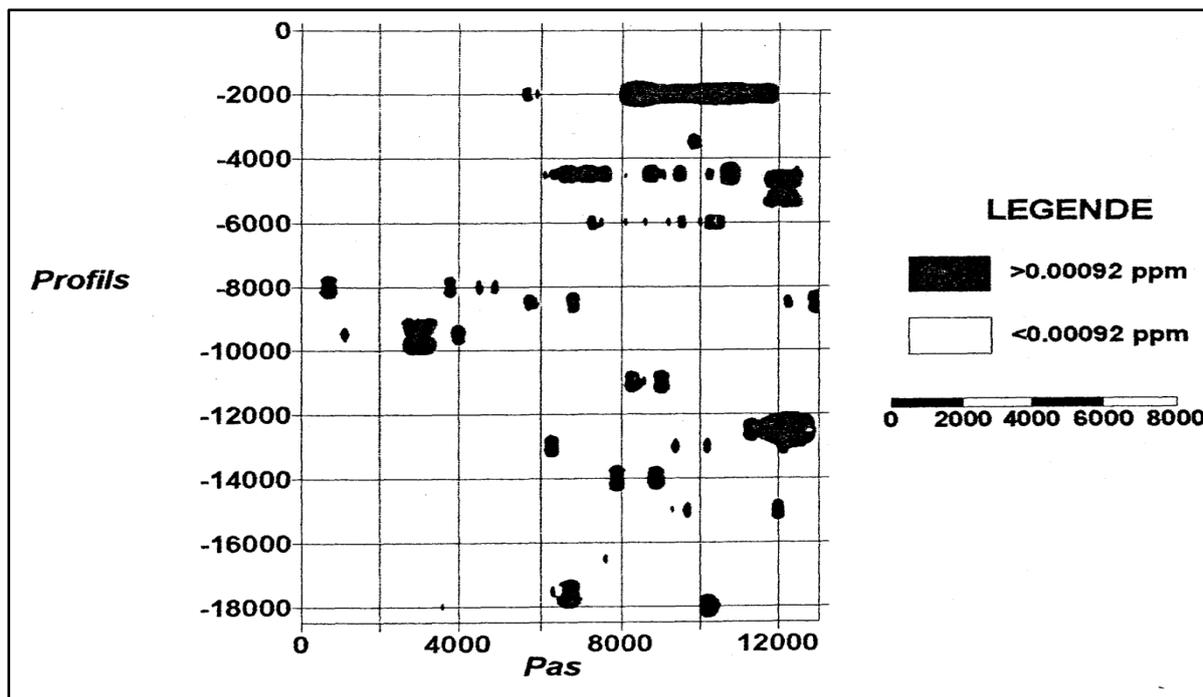


Figure 17 : Carte d'anomalie de l'Au

(K.Zidani ,1999)

Carte d'anomalie d'As

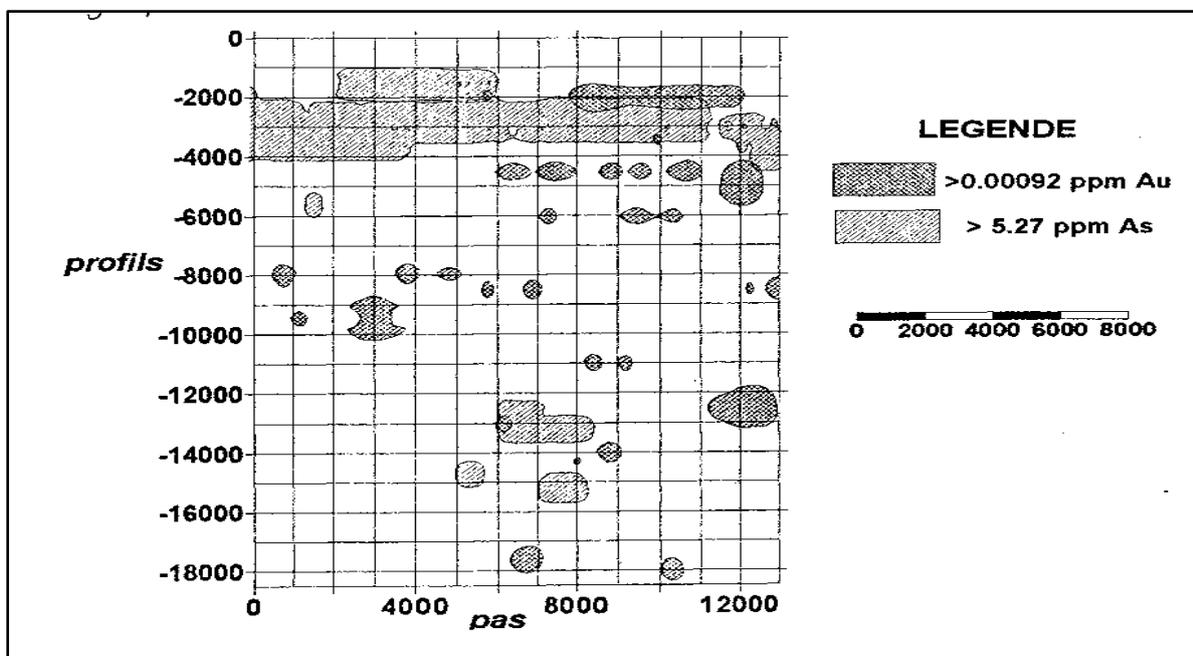


Figure 18 : Carte d'anomalie de l'Au et As

(K.Zidani ,1999)

6. Etablissement de la carte-pronostic

L'établissement de cette carte est la finalisation de la phase de recherche préliminaire. Cependant, elle n'est pas complète vu le manque d'informations géologiques en particulier gîtologiques. Enfin, cette carte est établie sur la base des facteurs suivants:

- La répartition spatiale des indices décelés ;
- La nature, l'importance et la répartition spatiale des anomalies, en particulier les lieux de leur superposition.

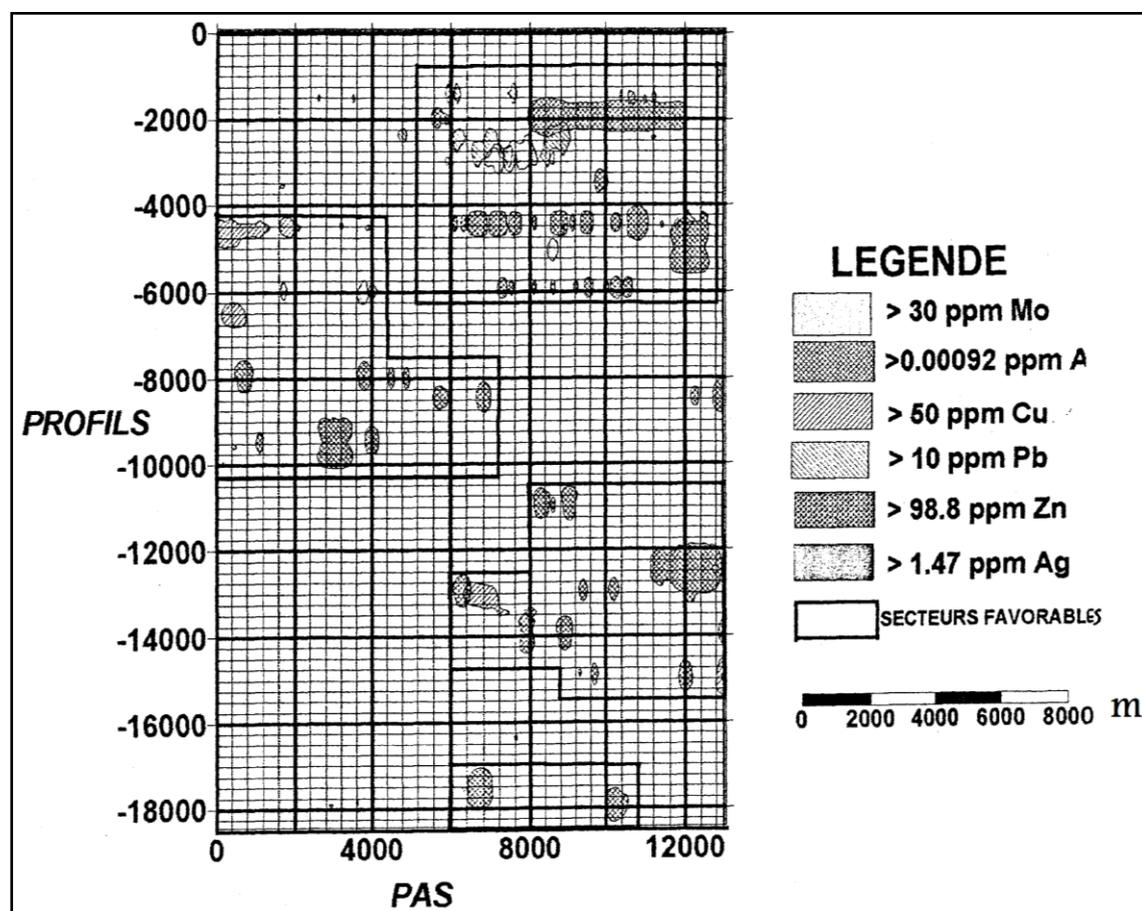


Figure 19 : Carte pronostic de la région de Bled M'Dena

(K.Zidani ,1999)

Chapitre IV

Etude comparative

1. Introduction

L'étude géochimique comparative présentée ici est basée sur les principes suivants : techniques de mesures réalisées sur terrain pour chaque gisement, types d'échantillonnage, types d'analyses effectuées, traitement et interprétation des résultats des données géochimiques.

Cette étude est réalisée en trois étapes : la première étape est une comparaison entre les techniques de prospection géochimique des gisements de plomb-zinc et de l'or en Algérie, la deuxième étape concerne des études faites dans d'autres pays et la troisième étape est une comparaison entre les techniques utilisées en Algérie et à l'étranger.

2. En Algérie

2.1. Comparaison entre techniques Pb-Zn et Or en Algérie

- Dans notre étude, plusieurs échantillonnages ont été réalisés pour le gisement de Pb-Zn, alors que pour le gisement d'or, on a qu'un échantillonnage lithogéochimique de sol résiduel.

- Divers types d'analyses ont été effectués (analyses chimiques, pétrographiques...) aussi bien pour le Pb-Zn que pour l'or

- Pour le traitement des données géochimiques, ont été utilisés différents logiciels parmi lesquels on peut citer Surfer -7 pour le traitement statistique des données de l'analyse spectrale de Pb-Zn, Winsurf et Excel pour l'or.

- Aussi On a la même technique de calcul statistique pour le Pb-Zn et l'or.

- Les modes d'interprétation se font sous deux formes :

-écrite

-graphes

Pour l'interprétation graphique, sont établies des cartes en iso teneurs et des cartes d'anomalies géochimiques pour le Pb-Zn. Concernant l'or, ont été utilisés

l'histogramme de fréquence, la carte d'anomalie géochimique et l'établissement des cartes pronostics.

3. A l'étranger

3.1. Gisement d'or au Mexique

Le programme de prospection par géochimie a été réalisé en deux étapes: une phase d'exploration générale ayant couvert 226 km² et une phase détaillée sur 7,5 km².

Les travaux réalisés sur le terrain au cours du projet d'exploration minérale d'Arteaga ont été les suivants:

➤ **Exploration générale :**

- Un levé géologique à 1/50.000.
- Un échantillonnage pédologique à la maille 500 x 500 mètres.
- Le prétraitement de 896 échantillons de sol (désagrégation, séchage, quartage, tamisage à 212 Um).

➤ **Exploration détaillée :**

- Un levé géologique à 1/5.000.
- Un échantillonnage pédologique à la maille 250 x 50 mètres.
- Le prétraitement de 651 échantillons de sol (désagrégation, séchage, quartage, tamisage à 212 Um).

➤ **Travaux effectués :**

- 1545 analyses multi-éléments par torche à plasma.
- 751 analyses d'or par spectromètre d'absorption atomique, couplé à un four à graphite.
- Une étude pétrographique sur 16 roches.
- Des traitements d'images satellite (Spot 1 et Landsat T.M.).
- Des traitements statistiques des données chimiques.
- La cartographie et l'interprétation des résultats analytiques.

• **Analyses chimiques :**

Pour l'analyse multi-élémentaire, une attaque acide totale HNO₃/ HF, HClO₄ a été réalisée. Les solutions ont ensuite été analysées au spectromètre d'émission simultanée source plasma (DCP ARL Spectraspan III) pour 14 éléments (Cr, Mn, As, Ti, Fe, Ni, Cu, Co, Y, Pb, V, La, Sr, Ba). Les limites de détection sont voisines de 1 ppm pour tous les éléments exceptée pour l'As dont la limite de détection est de l'ordre de 10ppm.

Pour les analyses d'or, la mise en solution des échantillons consiste en une attaque à l'eau régale suivie par une extraction par MIBK.

Les solutions sont alors analysées par un spectromètre d'absorption atomique (AAS Varian 1475) avec atomisation au four à graphite (Varian GTA 95). La limite de détection est de 5 ppb (Buvé, 1991).

- **Traitements statistiques des données :**

- Trois principaux types de traitement statistique ont été appliqués, qui sont l'analyse statistique univariée, l'analyse statistique multivariée et l'analyse des tendances.

3.2. Gisement d'or d'Ovala (Gabon)

- **Etude de terrain**

Sur le terrain trois types d'étude ont été réalisées :

- une étude géomorphologique, qui a orienté le choix d'une toposéquence,
- une description des profils d'altération de cette toposéquence (puits et sondages carottés).
- des prélèvements d'échantillons.

Trois types d'échantillonnage ont été effectués, répondant chacun à un type d'investigation spécifique :

- Type 1 : Prélèvement des échantillons avec conservation des textures en vue des études pétrologiques. Cet échantillonnage a été effectué dans chaque horizon et aux transitions entre horizons des profils d'altération sur puits et sondages carottés.

- Type 2 : Prélèvement d'échantillons de roche totale de 1 à 2 kg au sein de chaque horizon pour analyses chimiques.

- Type 3 : Echantillonnage sur puits de 8 litres de matériaux tout-venant de chaque horizon. Ces échantillons ont été lavés sur le terrain. Le concentré des bâteaux a été gardé pour l'étude des minéraux lourds, en particulier les particules d'or. La fraction > 5 mm est évaluée sur le terrain, par tranche granulométrique, avec description des différents objets lithiques rencontrés.

- **Techniques d'analyses**

- Loupe binoculaire :

La loupe binoculaire a été utilisée pour séparer les particules d'or visible du reste des minéraux en grain de la fraction lourde, et pour trier ces particules d'or en trois fractions granulométriques pour chaque échantillon.

- Diffraction de rayons X :

Les analyses par diffraction de rayons X ont été faites sur les poudres non orientées de la roche totale et de la fraction $< 63 \text{ } \mu\text{m}$, entre 2° et 90° . Pour la fraction $< 2 \text{ } \mu\text{m}$, les analyses ont été effectuées sur les poudres orientées.

- Microscopie optique :

La microscopie optique a permis d'une part d'identifier les minéraux, leur agencement structural et leurs relations génétiques, et d'autre part de sélectionner les sites représentatifs de chaque phase minérale qui seront analysés à la microsonde électronique. De plus, le comptage des minéraux sur lames minces et des minéraux en grain sur lames a été réalisé sur le microscope optique à transmission.

- Microscopie électronique à balayage et microsonde électronique
- Analyses granulométriques :

Les analyses granulométriques des profils d'altération sur puits ont été réalisées sur le terrain et en laboratoire.

Sur le terrain, a été quantifiée uniquement la fraction $> 5 \text{ mm}$ des ensembles à nodules ferrugineux et à cailloux de quartz des profils étudiés. Cette fraction a été choisie pour une raison pratique de facilité de tri à la main et elle a été obtenue par tamisage sous eau au cours du lavage des échantillons de bûche de 8 litres.

A Laboratoire, les fractions granulométriques $< 63 \text{ } \mu\text{m}$ et $< 2 \text{ } \mu\text{m}$ ont été extraites sur tous les profils des puits de la toposéquence Ovale pour les analyses diffractométriques et chimiques.

- Analyses chimiques

Les analyses chimiques des éléments majeurs et traces ont été réalisées par absorption atomique et ICP

➤ **Traitement statistique :**

35 échantillons des profils sur puits ont été soumis à un traitement statistique (calcul de la matrice de corrélation inter-éléments et analyse factorielle). Cette méthode permet de faire apparaître les groupes

d'éléments caractéristiques d'une même phase minéralogique, ou associés en fonction des facteurs lithologiques ou géochimiques.

Le traitement statistique par le calcul de la matrice de corrélation et l'analyse factorielle des analyses chimiques de la toposéquence d'Ovala a confirmé les groupes d'éléments qui constituent les différents pôles minéralogiques et lithologiques susceptibles d'expliquer les variations géochimiques

3.3. Gisement de plomb-zinc de Mbetekoukou (Sud-Dahomey)

➤ Travaux sur le terrain

Ces travaux ont combiné l'étude géochimique et les observations géologiques, qui sont nécessaires à l'interprétation des résultats. La technique de prospection est le «stream-sédiment» (distance de prélèvement 250 mètres), un contrôle rapide des anomalies de «stream», une prospection tactique de sol (maille: 80 X 20 m et 40 X 20m) et une campagne de tranchées et puits.

L'esquisse géologique de la région fut établie en se basant sur les observations géologiques de nos équipes de prospection et sur l'étude photogéologique de la région.

➤ Travail analytique

La fraction la plus fine de 481 échantillons de «stream-sédiment» et de 1612 échantillons de sol fut séchée sur place au soleil, désagrégée et tamisée à 88 μ m.

Les échantillons furent analysés par colorimétrie visuelle pour le Cu, le Zn, le Pb,

Le contrôle des analyses de routine fut effectué par la méthode de Craven qui consiste à intercaler dans la série de routine des échantillons de teneur connue (chaque dixième échantillon) et à calculer, à la fin de chaque journée, la précision moyenne. La précision été de l'ordre de 15 % pour tous les éléments analysés.

➤ Analyse statistique

Pour le «stream-sédiment», le calcul des paramètres statistiques des différents éléments s'est montré aisé dans les cas des populations log-normales simples ou à excès de faibles teneurs.

Le chrome et le zinc suivent une loi log-normale simple, ce qui témoigne de l'existence d'une seule population dans l'ensemble statistique, le vanadium suit une loi log-normale avec

excès de faibles teneurs, le cobalt suit, lui-aussi, une loi log-normale avec un excès de faibles teneurs.

3.4. Comparaison entre les techniques Pb-Zn et Or à l'étranger

- Les travaux réalisés sur des gisements de Pb-Zn et d'or sont presque les mêmes avec quelques différences dans la maille d'échantillonnage et le milieu de prélèvement des échantillons.

- On a aussi presque les mêmes techniques pour le prétraitement des échantillons (désagrégation, séchage, quartage, tamisage...)

- Concernant les analyses effectuées sur le gisement d'or on a :

- L'analyse multiéléments par torche à plasma (DCP).

- L'analyse par spectromètre d'absorption atomique couplé à un four à graphite.

- L'étude pétrographique sur 16 roches.

- D'autres analyses qui sont aussi utilisées telles que la diffraction de rayons X, la microscopie optique, les analyses granulométrique et les analyses chimiques.

Pour les gisements de Pb-Zn, on a aussi les analyses par colorimétrie visuelle.

- Pour les traitements des données de l'or,

on a deux traitements :

- Des traitements d'images satellite (Spot 1 et Landsat T.M.) ;

- Des traitements statistiques des données chimiques ;

Les traitements statistiques des données chimiques sont regroupés en trois types principaux, qui sont :

- l'analyse statistique univariée ;

- l'analyse statistique multivariée (basée sur le calcul de la matrice des coefficients de corrélation et l'analyse factorielle) ;

- l'analyse des tendances réalisée à partir d'un logiciel de calcul de grille et de cartographie fonctionnant sous MS-DOS.

- Pour le Pb-Zn, on utilise le traitement statistique et géostatistique des données basé sur le krigeage.

L'interprétation des résultats pour le Pb-Zn sont représentés sous forme de cartes d'anomalies.

Conclusion générale

Conclusion générale

- En Algérie, on a vu que des études de prospection métallifères sont réalisées à l'aide d'itinéraires de recherche au 1/25000 suivant une maille 200×50 m, et sont accompagnés par différentes méthodes d'échantillonnages (lithogéochimique, par saigné...) et d'itinéraires de recherche au 1/10.000 selon une maille de 100x20 m.

Dans d'autre pays comme le Mexique, ont été effectués des levés géologiques à 1/50000 et 1/5000 avec des mailles respectives de 500×500 m et 250×50 m

- En Algérie, on utilise fréquemment les analyses suivantes
 - Analyse spectrale.
 - Analyse chimique.
 - Analyse Aurospéctrométrie.
 - Etude pétrographique et minéralogique

A l'étranger, on utilise des techniques d'analyses plus précises telles que la colorimétrie visuelle et par absorption atomique, la torche à plasma

- En Algérie, le traitement des données utilisé pour le Pb-Zn est le traitement statistique des données géochimiques de l'analyse spectrale avec Utilisation du logiciel Surfer -7, tandis qu'à l'étranger, on pratique le traitement statistique et géostatistique des données basé sur le krigeage.

- Pour l'or, on utilise en Algérie un traitement statistique des données avec utilisation des logiciels Winsurf et Excel, alors qu'à l'étranger on a deux traitements :

- Des traitements d'images satellite (Spot 1 et Landsat T.M.) ;
- Des traitements statistiques des données chimiques ;

Les traitements statistiques des données chimiques sont sous formes principales de trois types :

- L'analyse statistique uni variée ;
- L'analyse statistique multi variée (basé sur le calcul de la matrice des coefficients de corrélation et l'analyse factorielle) ;
- l'analyse des tendances.(réalisé à partir d'un logiciel de calcul de grille et de cartographie fonctionnant sous MS-DOS.

- L'interprétation des données en Algérie se fait sous forme écrite, alors que pour certains pays, elle se fait sous forme de cartes en isoteneurs et de cartes d'anomalies géochimiques.

- En Algérie, l'interprétation pour l'or se fait sous forme graphique, c'est-à-dire avec utilisation d'histogrammes de fréquence, de carte d'anomalie géochimique et des cartes pronostiques, ainsi que sous forme écrite.

- A l'étranger, on utilise aussi l'interprétation sous forme d'une carte, qui montre la corrélation spatiale des anomalies entre l'or et l'arsenic.

Enfin, les principales conclusions que l'on peut tirer d'après notre étude :

Les techniques de prospection géochimique utilisée dans la recherche minière sont différentes d'après l'élément recherché et les conditions géologiques de gisement

Les résultats des travaux géochimiques réalisés dans le gisement d'El Abed ont permis d'établir des cartes iso teneurs et des cartes d'anomalies géochimiques de Pb-Zn

D'après les calculs statistiques des coefficients de corrélation on a déduit deux associations d'éléments minérales dans le gisement d'El Abed :

Le premier est constitué de (Pb, Ag, Mo).

Le deuxième est constitué de (Zn, Cu, Mn).

Ces associations d'éléments minérales ont été confirmées au cours des itinéraires géologiques surtout pour la galène et la blende qui forment deux pôles, l'un Plombifère à l'Ouest du site et l'autre Zincifère à l'Est

La majorité des anomalies rencontrées dans le gisement de Bled M' Dena présente une forme plus ou moins isométrique reflétant ainsi le type de minéralisation recherchée. Quelques-unes seulement sont allongées (Au, As, Cu).

La superposition des anomalies de l'arsenic avec celles de l'or ne donne pas un résultat satisfaisant, de même que celle de l'or et le Cu.

A la base de ces données, une carte pronostique a été établie pour avoir une idée plus claire sur la nature de ces anomalies et qui serviront de modèle pour toute la région.

Dans le gisement d'or de Mexique, le programme de prospection par géochimie a été réalisé en deux étapes: une phase d'exploration générale et une phase détaillée.

La géostatistique est une méthode utilisée pour détecter les anomalies géochimiques et pour interpréter d'une manière plus objective le terme " anomalie".

Cette technique géostatistique tient compte de la localisation des points de données dans l'espace, et aussi de leur nature multi-élémentaire.

La Géostatistique fournit une réponse possible à l'aide des modèles probabilistes élaborés par G.Matheron sous le nom d'analyse krigeante.

quelque soit le métal recherché la prospection géochimique est réalisé généralement en trois étapes différentes :

- Des mesures sur le terrain avec échantillonnage ;
- Prétraitement, traitement et analyses des résultats ;
- Interprétation des résultats.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

BESNUS. Yves (1977) : étude géochimique comparative de quelque gisement supergènes de fer. Mémoire : université louis pasteur de Strasbourg

BOUAZZA.A, AFFOUN.B. (2004) : prospection géochimique des minéralisations Plombo-Zincifères liées aux séries dolomitiques de l'Aaléno-Bajocien du secteur du horst de Tenouchfi. Mémoire de fin d'étude, université de boumerdes

CLAUDE.B. (1992) : application des techniques géostatistiques et d'analyse multivariante à l'interprétation des relevés géochimiques régionaux. Thèse de doctorat, université du Québec à Montréal

EDOU-MINKO.A. (1988) : pétrologie et géochimie des latérites A'STONE-LINE du gîte d'or d'Ovala-application à la prospection en zone équatoriale humide (Gabon). Thèse de doctorat, université de Poitiers

GRANIER.G.L. (1973) : Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères. MASSON et Cie .Editeurs

HADJOU.D. (2003) : prospection géochimique des minéralisations polymétalliques liées aux formations carbonatées des bavors occidentaux. Mémoire de fin d'étude, université de Boumerdes

MELCHIOR.A. (1992) : exploration minérale par géochimie des sols dans la région d'ARTZAGA (MICHOACAN, Mexique)

POULAIN.P.A. (1970) : tectonique et minéralisation de la terminaison sud du Dome de la Mure (Isère).

Prospection géochimique des minéralisations aurifères liées aux formations volcano-sédimentaires du massif des EGLAB. Mémoire de fin d'étude, université de Boumerdes (2003)

Prospection géochimique des minéralisations à Au, Ni, Co, Mo, dans le faisceau de la DAOURA (CHANE D'OUGARTA, TOUMIAT). Mémoire de fin d'études, université de Boumerdes (2003)

Parti II.5 exploration pages 3262d338 : thèse de doctorat cédrick Simonet, janvier 2000

RABAT(2000) : Séminaire « Intensification agricole et qualité des sols et des eaux »
Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux,
B5030 Belgique

SANDJIVY.L. (1983) : science de la terre, série informatique géologique, n° 18
« Quelques études géostatistiques », pages 141-172. Ecole des mines –fontainebleau /
Paris Est.

TRAN VAN.H et SONNET.P : laboratoire de géologie et minéralogie, université catholique
de louvain place louis pasteur, 3

ZIDANI.K. (1999) : Etude géochimique de la région de BLED M'DENA (massif des
eglaves,sahra occidental Algérien). Mémoire de fin d'étude, université de Boumerdes

Site internet : [www.Socgeol.org / documents / type 1 /BSGPXX010204.pdf](http://www.Socgeol.org/documents/type1/BSGPXX010204.pdf)

Site internet : www.universalis.fr >...> géologie > géologie : instruments et méthodes

Site internet : [www.cg.ensmp.fr/ bibliothèque / public / TRAN_Publication_00523.pdf](http://www.cg.ensmp.fr/bibliothèque/public/TRAN_Publication_00523.pdf)