

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار-عنابة

Année 2007

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

**INTERPRETATION GEOSTATISTIQUE DES DONNEES SEMI-  
QUANTITATIVES D'UNE CAMPAGNE DE PROSPECTION  
GEOCHIMIQUE DES POLYMETAUX : CAS DU DISTRICT DE  
BATNA (Algérie orientale)**

Option

*Géologie minière*

Intitulé

*Recherche et Prospection des Ressources Minérales et  
Énergétiques*

Par

FERKOUS Haroune

DIRECTEUR DU MEMOIRE: MEZGHACHE Hamide Maître de Conférences (U B M. A)

DEVANT LE JURY

PRESIDENT	:	HAMMOR Dalila	Maître de Conférences (U B M. A)
		TOUBAL Abderrahmane	Maître de Conférences (U B M. A)
		BOUABSA Lakhdar	Maître de Conférences (U B M. A)
INVITÉ		NEMLI. A	ORGM (Div. Est Tébessa)

## ***DEDICACES***

*Je dédie ce travail à :*

- 1. La lumière de mes jours, ma très chère mère sans jamais pouvoir la remercier comme il se doit;*
- 2. Mon cher père;*
- 3. Ma grand-mère ;*
- 4. Ma sœur Saida, son mari Mohamed et sa petite fille Wissal ;*
- 5. Ma sœur Imen et son mari Walid ;*
- 6. Mon frère Akram ;*
- 7. Toute ma famille;*
- 8. Tous mes amis;*
- 9. La promotion de magister - option géologie minière pour l'année 2005.*

*Haroune*

# **REMERCIEMENT**

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier Dieu avant tout ainsi que tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce mémoire et qu'ils trouvent ici ma grande et ma sincère reconnaissance, et tout particulièrement :*

*\* Mr. Mezghache mon directeur de mémoire, pour avoir accepté de m'encadrer, pour son suivi permanent et ses orientations enrichissantes depuis le commencement jusqu'à la mise en forme de ce mémoire.*

*\* A. Melle HAMOR D. qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance.*

*\* Les membres de jury, M. TOUBAL A.R. et M. BOUABSA L. qui ont accepté de participer à ce jury en tant qu'examineurs du mémoire,*

*\* Tous les enseignants des Départements de Géologie de l'université Badji Mokhtar – Annaba.*

*\* Tous les responsables et les personnels de l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (division Est, TEBESSA), particulièrement Mr. Bounamès directeur division, Mr. Nemli, Directeur adjoint, pour leur hospitalité, leur gentillesse et leur esprit de coopération.*

*Mes remerciements sont adressés aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin et dont leurs noms ne figurent pas sur cette liste.*

*Haroune*

## RESUME

Les Monts de Batna-Aurès font partie de la structure géologique de l'Atlas Saharien oriental. Cette structure est caractérisée par des formations allant depuis le Trias jusqu'au Quaternaire.

Cette région recèle de très importantes concentrations polymétalliques à Pb-Zn, Cu (Ba-Sr). Ces derniers sont encaissés dans les sédiments carbonatés du Jurassique et Crétacé et contrôlés principalement par un métallotecte tectonique (fractures). L'examen géologique et gîtologique de ces concentrations minérales montre globalement la même paragenèse (sphalérite, galène, barytine, pyrite, smithsonite, calamine, cuivre gris, malachite et azurite).

La région d'étude est constituée de 4 secteurs : Tarbennt, Toumbait, Djendli et Ain Bougda. Ces secteurs ont fait l'objet de campagnes de prospection par l'ORGM suivant une maille de 100mx20m. Au total 4615 échantillons géochimiques de roche en place, ont été prélevés et analysés sur les éléments : Pb, Zn, Cu, Ag, Ba, Mn, Sn,....

Le travail de recherche effectué consistait en compilation, les traitements et l'interprétation statistique et géostatistique des données semi-quantitatives d'une campagne géochimique à l'aide de différents moyens et logiciels de calcul. Ces méthodes ont permis de montrer que:

- 1.- La maille de prospection géochimique adoptée par l'ORGM est suffisamment fine pour détecter toutes anomalies existantes. Cependant les profils de prospection de Cu et Pb doivent être réorientés.
- 2.- La détermination de deux systèmes de failles minéralisées de direction NE-SW et NW-SE, dû peut être de la présence d'une minéralisation biphasée.
- 3.- La compilation des résultats des traitements mono et multivariés des données géochimiques a permis la détermination et la cartographie des zones anormales prioritaires à une prospection future détaillée
4. - L'existence d'une correspondance (lien) entre les distributions de l'élément Cu dans les secteurs étudiés.

## ABSTRACT

The Mounts of Batna-Aurès belong to the geological structure of the Eastern Saharian Atlas. This structure is characterized by formations going since Sorted until the Quaternary one.

This area conceals very significant concentrations polymétalliques with Pb-Zn, Cu (Ba-Sr). The latter are boxed in the sediments carbonated of Jurassic and Cretaceous and controlled mainly by a tectonic métallotect (fractures). The geological and géologique examination of these mineral concentrations shows globalement the same paragenesis (sphalerite, crystal, barytine, pyrite, smithsonite, calamine, grey copper ore, malachite and azurite).

The area of study consists of 4 sectors: Tarbennt, Toumbait, Djendli and Ain Bougda. These sectors were the subject of prospection campaigns by the ORGM according to a mesh of 100mx20m. Overall, 4615 geochemical samples of bedrock were taken and analyzed on the elements: Pb, Zn, Cu, Ag, Ba, Mn, Sn....

The research task carried out consisted of compilation, the processing and the statistical and geostatistic interpretation semi-quantitative data of a geochemical campaign using various means and computation softwares. These methods made it possible to show that :

1. - The geochemical mesh of prospection adopted by the ORGM is sufficiently fine to detect all existing anomalies. However, the profiles of prospection of Cu and Pb must be reorienter.
2. - The determination of two systems fault mineralized of direction NE-SW and NW-SE, had can be presence of a two-phase mineralisation.
3. - The compilation of the results of the mono and multivariate géochimic data processing allowed the determination and the cartography of the priority anomalous zones has a détaillée future prospection.
4. - The existance a correspondance (link), between the distributions of the element Cu in the studied sectors.

## ملخص

إن جبال أوراس باتنة تنتمي إلى البنية الجيولوجية للأطلس الصحراوي الشرقي. تتميز بنيتها بتكوينات بين التراباس إلى غاية الدهر الرابع. تكثر هذه المنطقة تجمعات مهمة جدا لمعادن متعددة مثل رصاص، زنك، نحاس، سثرونسيوم، باريوم. هذا المعادن مخزونة في الصخور الرسوبية الكربونائية للعصر الجوراسي و الطباشيري تتحكم فيها بصورة أساسية الانكسارات التكتونية. الفحص الجيولوجي و الجيولوجي لهذه التجمعات المعدنية تشير إلى نفس ال، خام الرصاص، سولفات الباريوم الطبيعي، فحميت التوتياء الطبيعي، سيليكات التوتياء الطبيعية، نحاس القاعدي و فحميت النحاس الزرقاء.

تتكون المنطقة المدروسة من أربعة قطاعات: تارينت، تومبي، جندلي و بوقدة. خضعت هذه القطاعات لحملت تنقيبية من طرف ORGM حسب منطقة مساحتها (100mx20m) أي مجموعه 4613 عينة جيوكيميائية لأحجار استخرجت , و حللت عن العناصر: الرصاص , الزنك , .....

- إن الأبحاث التي أجريت اشتملت على المعالجة و على التفسير الإحصائي و الجيوإحصائي للمعطيات الشبه كمية لحملة جيوكيميائية و ذلك لاستخدام وسائل مختلفة و برامج حاسوبية تثبت هذه الطرق ان:
- 1- منطقة التنقيب جيوكيميائية المعتمدة من طرف ORGM رقيقة بما يكفي لرصد اي تشوه يمكن وجوده مع ذلك يجب اعادة التوجيه في كيفية وضع اعمدة التنقيب عن النحاس و الرصاص
  - 2- تحديد نظامين تصدع معدني في اتجاهين شمال شرقي جنوب غربي و شمال غربي جنوب شرقي قد تكون راجعة الى وجود معدنة ثنائية الطور.
  - 3- إن تجميع نتائج المعالجة ذات النوع الواحد ومتعددة الأنواع لمعطيات الجيوكيميائية سمحت بتحديد و رسم الخرائط للمناطق الغير نظامية و ذات الأولوية من اجل تنقيب مستقبلي.
  - 4- وجود رابطة بين توزيعات عنصر النحاس في المناطق المدروسة.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	3
APERÇU GEOGRAPHIQUE .....	4

## I. - CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

I. - 1. - STRATIGRAPHIE.....	6
I. - 2. - TECTONIQUE REGIONALE.....	12
I. - 3. - MINERALISATIONS.....	14

## II. - CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

II. - 1. – SECTEUR TARBENNT.....	16
II. - 1. - 1. - Stratigraphie.....	16
II. - 1. - 2. - Tectonique .....	19
II. - 1. - 3. - Minéralisation.....	19
II. - 2. – SECTEUR TOUMBAIT.....	21
II. - 2. - 1. - Stratigraphie.....	21
II. - 2. - 2. - Tectonique .....	23
II. - 2. - 3. - Minéralisation.....	23
II. - 3. – SECTEUR DJENDLI.....	24
II. - 3. - 1. - Stratigraphie.....	24
II. - 3. - 2. - Tectonique .....	26
II. - 3. - 3. - Minéralisation.....	26
II. - 4. – SECTEUR AIN BOUGDA (Tenoun Kenine).....	28
II. - 4. - 1. - Stratigraphie.....	28
II. - 4. - 2. - Tectonique .....	30
II. - 4. - 3. - Minéralisation.....	30

## III. – METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE ET EVALUATION GEOSTATISTIQUE DES MAILLES

III. - 1. – METHODOLOGIE DE PROSPECTION.....	32
III. - 1. - 1. - Travaux géologo-géophysiques.....	32
III. - 1. - 2. - Travaux géochimiques de surface.....	33
III. - 2. – METHODES GEOSTATISTIQUES UTILISEES.....	40
III. - 2. - 1. - Notion de la géostatistique.....	40
III. - 2. - 2. - Variogramme.....	40
III. - 2. - 3. - La variance d'estimation.....	44
III. - 3. – VARIOGRAPHIE ET EVALUATION DES MAILLES.....	46
III. - 3. - 1. - Variographie et évaluation des mailles de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout.....	46
III. - 3. - 2. - Variographie et évaluation des mailles de prospection dans le sous-secteur El Mounchar.....	52
III. - 3. - 3. - Variographie et évaluation des mailles de prospection dans le secteur Toumbait.....	56

## **IV. – DETERMINATION ET CARTOGRAPHIE DES ANOMALIES MONO ET MULTIVARIEES**

IV. - 1. – METHODES UTILISEES POUR LE TRAITEMENTDES DONNEES GEOCHIMIQUES ET RESULTATS.....	64
IV. - 1. - 1. - l'ACP des données géochimiques de différents secteurs et sous-secteurs.....	64
IV. - 1. - 2. - Détermination et localisation des anomalies monovariées dans les différents secteurs et sous secteurs.....	79
IV. - 2. – DETERMINATION DES ZONES PRIORITAIRES A LA PROSPECTION DANS LES DIFFERENTS SECTEURS ET SOUS-SECTEURS.....	98

## **V. – ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES (AFC)**

V. - 1. – DEMARCHE ET PRINCIPE.....	106
V. – 2. – HYPOTHESE D'INDEPENDANCE.....	110
V. - 3. – REPRESENTATION GRAPHIQUE.....	114

CONCLUSIONS GENERALES.....	116
----------------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

## Introduction

Les Monts de Batna – Aurès se situent dans le Nord de l'Atlas saharien (partie Nord de l'Algérie) (Fig.1). Ils présentent de grands potentiels miniers qui ont suscité l'intérêt des scientifiques et des industriels. Les gisements et indices minéraux ont fait l'objet de travaux de recherches géologiques et de prospections minières. Ces travaux ont débuté pendant l'époque coloniale vers les années 1900, de Savornin (1921), Laffitte (1939), ... à ce jour par l'ORGM. Les indices minéralisés qui ont été exploités, étaient affleurants.

Dans le but de découvrir des gisements dans la région de Batna, l'ORGM a lancé une campagne de recherche et prospection minière des minéralisations polymétalliques (Pb, Zn, Ag, Cu, As,.....).

Cette campagne a concerné quatre secteurs qui sont ceux de Tarbennt, Toumbait, djendli et Ain Boubgda. De ces quatre secteurs, un total de 4615 échantillons géochimiques de roche en place ont été prélevé et analysé sur 12 éléments: Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, Ba, Mn, Sn, Cd, As et Mo.

Le travail que nous avons entrepris et que nous présentons ci-après, consiste essentiellement à optimiser le traitement des données semi quantitatives des campagnes de prospection géochimique réalisées dans les secteurs de Tarbennt, Djendli, Toumbait et Ain Bougda (Fig. 1). Des méthodes et outils très précis (géostatistique et informatique) et qui permettent une meilleur caractérisation géologique, géochimique et gîtologique des différentes concentrations métallifères de ces secteurs, leurs répartitions spatiales et orienter les recherches futures, ont été utilisés.

Ce travail comporte plusieurs volets dont les principaux sont :

- Une étude géologique pour situer les secteurs d'étude dans le cadre géologique régional.
- La compilation et le traitement des données de prospection géochimique à l'aide des méthodes géostatistiques et statistiques mono et multivariées (ACP, analyse des correspondances). Les résultats ont permis d'évaluer positivement la maille de prospection utilisée par l'ORGM. Les anomalies mono et multivariées ont été déterminées
- La cartographie des anomalies dans les secteurs potentiels.
- L'étude des correspondances entre les différentes anomalies dans les différents secteurs et sous-secteurs.

Les résultats obtenus sont reportés dans le présent mémoire qui est structuré en 4 chapitres.

## Aperçu géographique

La région d'étude est située dans la partie Nord-Est de l'Algérie (Fig. 1), sur les feuilles 174 (Boulehilet ex Lutaud), 146 (Ain Yagout), 201 (Tazoult) et 173 Ain Ksar (ex El Madher). Elle comprend la terminaison des hauts plateaux et les massifs montagneux de l'Atlas saharien et elle est formée d'une association d'anticlinaux et synclinaux de direction NE-SW sur le territoire de la wilaya de Batna. La région est couverte par un réseau routier bien développé. Un chemin de fer relie la région de Batna avec tout le NE de l'Algérie. Les routes relient toutes les grandes agglomérations. Pratiquement partout il y a des pistes d'accès, seulement dans la partie montagneuse, le réseau routier est rare.

Cette région est caractérisée par des reliefs irréguliers. Dans la partie Sud et SW, il est clairement différencié à cause des crêtes subparallèles de Bou Arif, Belezma et Toumbait. Les altitudes maximales sont de 1474 à 1744m (Kf. Graf à Djebel Bou Arif), dans la partie Nord, le relief est adouci aux crêtes plus élevées et peu vastes en surface. Les altitudes varient de 1000 à 1344m (Djebel. Hanout Kebir). Les collines sont séparées par de vastes plaines et souvent par des lacs de Chotts et de Sebkhass (Fig. 1).

Le réseau hydrographique est représenté par un système de nombreux Oueds fortement enfouis, dépourvus de cours d'eaux permanant et se dessèchent en été. La plupart des puits d'eau potable se trouvent sur la périphérie des nappes du Quaternaire aux pieds des massifs montagneux. Les chotts marécageux servent de bassins d'accumulation d'eau et d'importantes masses vaseuses.

Le climat est très continental, avec un été long très chaud, sec et un hiver froid, pluvieux et venteux. La température oscille entre 8 à 15 °c en hiver et 20 à 40°c en été.

La végétation est représentée principalement par la broussaille couvrant ainsi les versants des collines. Les montagnes sont couvertes. Parmi les plantes forestières, on distingue les pins d'Alpe, cèdres et les broussailles.

La population est occupée surtout dans de petites entreprises locales, l'agriculture et l'élevage. Les entreprises minières sont représentées par de nombreuses carrières de matériaux de construction et d'agrégats pour les routes et voies d'accès.

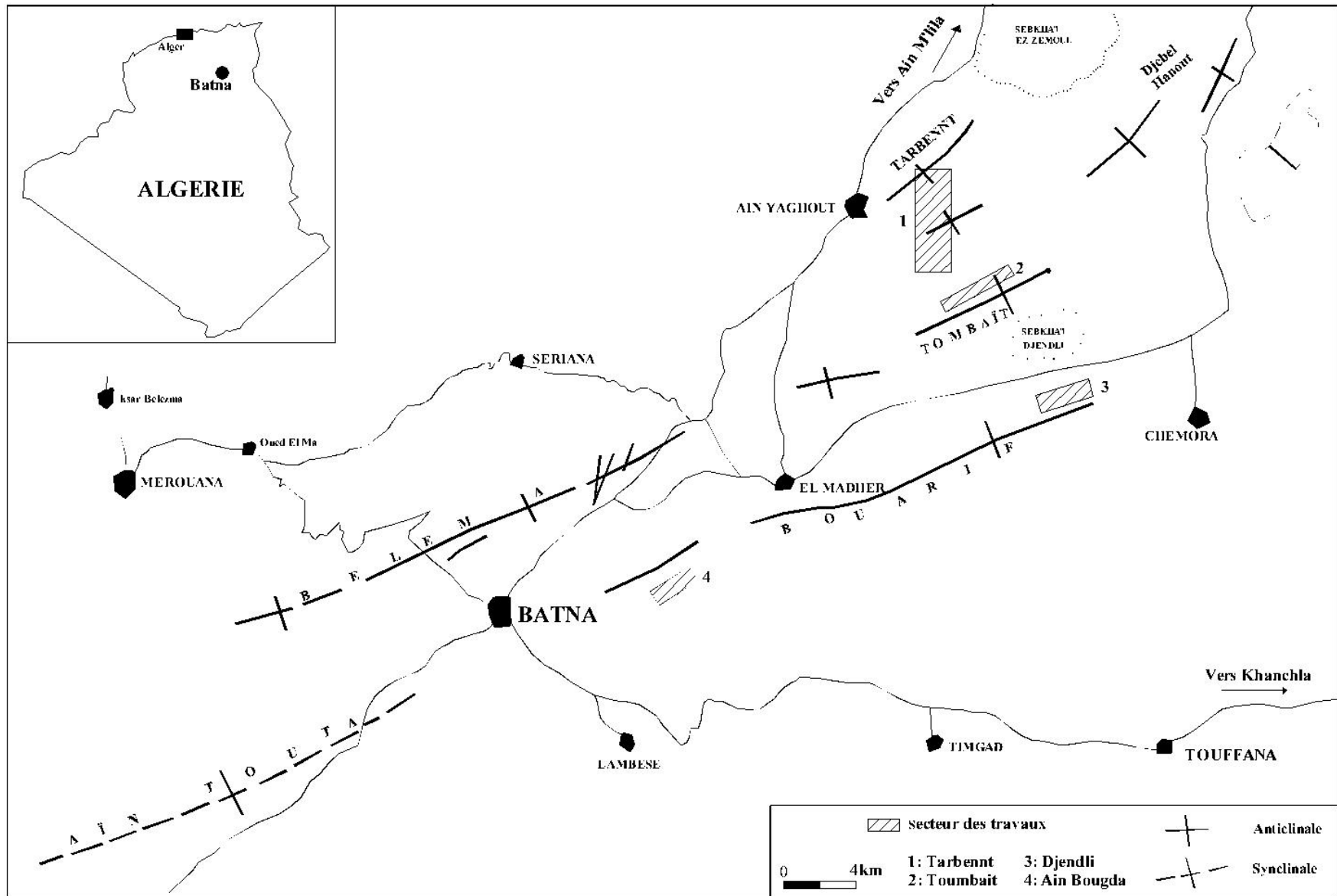


Fig. 1 – Situation géographique des secteurs d'étude

## I. - CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

---

---

Le district de Batna appartient à l'aire métallogénique Algéro-tunisienne (Vydrine, 1972), et forme une bande d'environ 100km de direction N-E entre la wilaya de Batna, Ain M'lila et Ain Beida (la zones intermédiaire du Môle Ain M'lila et sa bordure (Popov 1968; Bär, 1957 et Kieken, 1962)) sur une largeur de 15 à 20km. Il couvre les massifs de Batna - Belezma, Mestaoua- de Djebel Bou Arif et Djebel Hanout dans la partie orientale de l'Atlas saharien.

### I. - 1. - STRATIGRAPHIE

Les séries les plus anciennes connues dans la région sont datées du Trias. Elles constituent habituellement les noyaux des structures en diapirs. Les dépôts les plus récents du Quaternaire comblent les plaines, formant des éboulis de pente ou des cônes de déjection dans les embouchures de plusieurs oueds (Fig. 2).

Outre ces séries, est rencontrés toute une série de formations continues de calcaires et calcaires terrigènes du Jurassique, Crétacé, Paléogène et Néogène (Fig. 3).

#### I. - 1. - 1. - Trias

Le Trias n'est connu qu'en position anormale, sous forme de diapir. Les sédiments de cette formation sont montés à travers une épaisse série de terrains jurassiques et crétacés, le long des zones de faible résistance ou de fracture. Les marnes bigarrées à prédominance de couleur rouge et violacée et des formations gypso-salifères qui constituent le noyau des structures en diapirs (Bär, 1957 ; Vila, 1977).

Le contact, du Trias avec les autres formations est tectonique. Par endroit, ce contact est matérialisé par des roches broyées, bréchifiées et comportent du gypse gris clair granuleux et fibreux. Les gypses contiennent souvent des blocs exotiques, des corps de diabase et des porphyrites diabasiques (Danilov, 1986).

#### I. - 1. - 2. - Jurassique

Le développement des dépôts du Jurassiques est limité dans la région. Ils constituent les noyaux des anticlinaux Belezma, Mestaoua, Toumbait, Tarbennt et les extrémités Est du soulèvement Belezma. Il est représenté par trois sous étages: Lias, Dogger et Malm.

La lithologie des formations Jurassiques se distingue par un large développement des faciès : calcaires, calcaires dolomitiques et calcaires argileux avec des intercalations de marnes jaunes et rouges et de dolomies grises. La coupe du Ravin Bleu (Dj Kasserou) est la plus intéressante de la région (Guiraud, 1990).

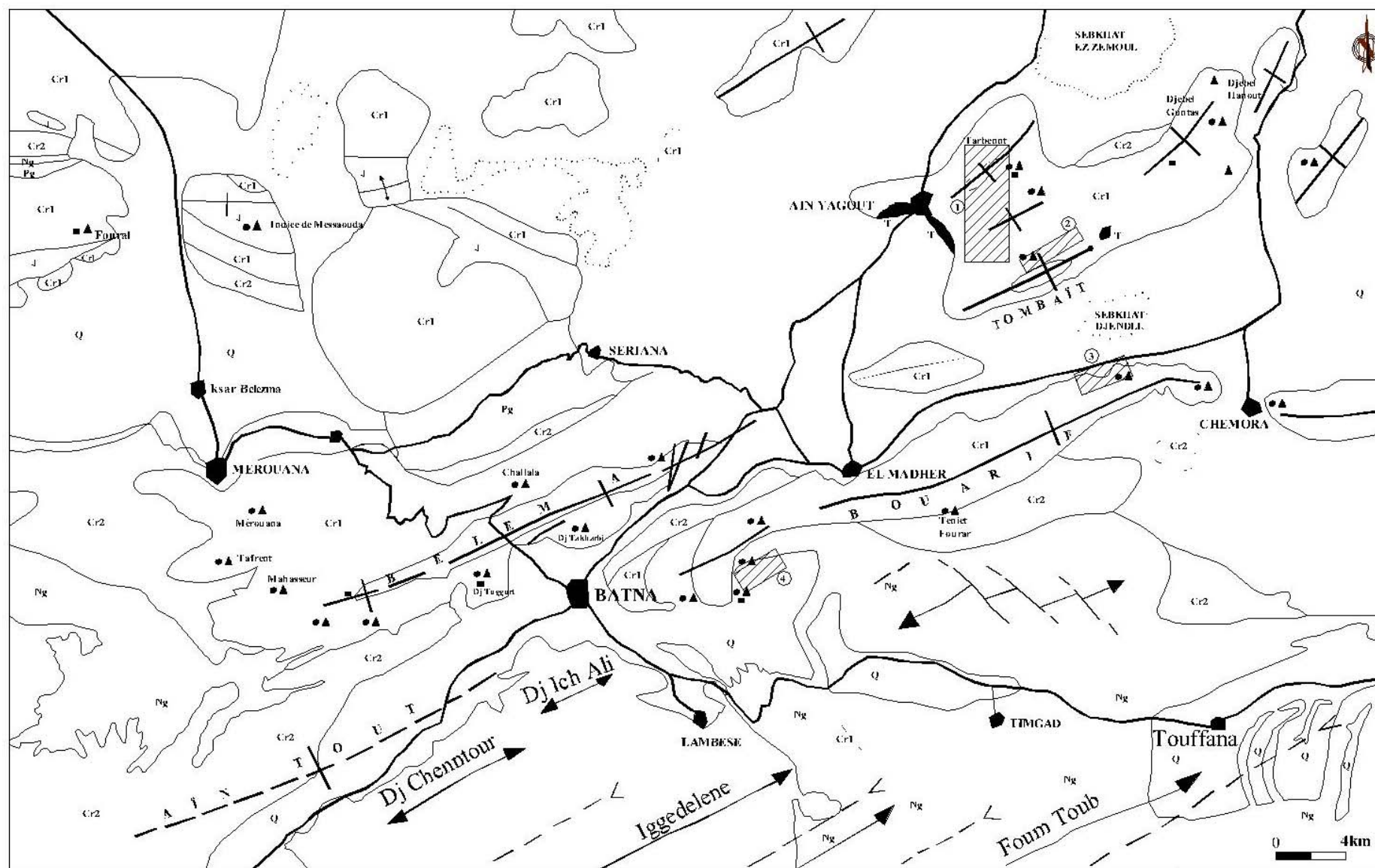


Fig. 2 – Esquisse géologique, structurale et emplacement d’indice minérales et les secteurs d’étude dans la région de BATNA-AURES (SONAREM ; Jarikov 1968)

### **I. - 1. - 2. - 1. - Lias**

Il est représenté par des dolomies grises à noires, bréchiques massives, parfois litées. Il affleure dans la partie NW de la carte d'Ain El Ksar à Djebel Sarif, à Djebel Toumbait et Djebel Tarbennt.

### **I. -1. - 2. - 2. - Dogger**

Il est représenté par des calcaires micritiques en plaquettes et dolomies à la base avec une puissance de 160m. Au sommet il est représenté par une barre de calcaires noduleux à silex avec une puissance de 100m.

### **I. - 1. - 2. - 3. - Malm**

Ils affleurent dans l'anticlinale du Ravin-Bleu et Djebel Sarif. Il est représenté par des calcaires, marnes et argiles rouges d'épaisseur allant de 150 à 500m (Guiraud, 1990; Savornin, 1920 et Lasnier, 1965).

### **I. - 1. - 3. - Crétacé**

Les séries du Crétacé sont largement développées dans les limites de la région d'étude. Les roches du Crétacé montrent une coup complète et continue qui comprend toutes les subdivisions de la période Crétacé. Un caractère très important des formations du Crétacé consiste comme le fait remarquer Laffite (1939) dans la prédominance des faciès gréseux au sien du Crétacé inférieur dont l'épaisseur peut atteindre 2000m et des faciès calcaire-marneux dans le Crétacé supérieur (épaisseur 3000m).

#### **I. - 1. - 3. - 1. - Crétacé inférieur**

Le Crétacé inférieur occupe de vastes superficies dans les Monts de Batna. Il constitue la couverture normale des noyaux Jurassiques. Les principales coupes ont fait l'objet de diverses publications (Bertraneu, 1955; Bureau, 1971; Glaçon, 1952 et 1967 ; Guiraud, 1967 et 1990).

##### **a. - Berriasien - Valanginien**

Les formations valanginiennes surmontent en concordance les horizons carbonatés du Berriasien. Il est représenté par des marnes grises-verdâtres et des grés quartzeux (Guiraud 1990). Un large développement des calcaires est caractéristique pour la partie septentrionale de la région.

##### **b. - Hautérivien**

Cet étage est marqué par la prédominance dolomitique sur les calcaires (dolomie diagénétiques) (Glaçon, 1967), formant des bancs souvent très massifs à intercalations des grés quartzeux, des argilites et des marnes (Guiraud, 1990). Les argilites sont gris verdâtres feuillées, à stratification fine et horizontal. L'épaisseur Valangirien-Hautévien varie de 400 à 750m.

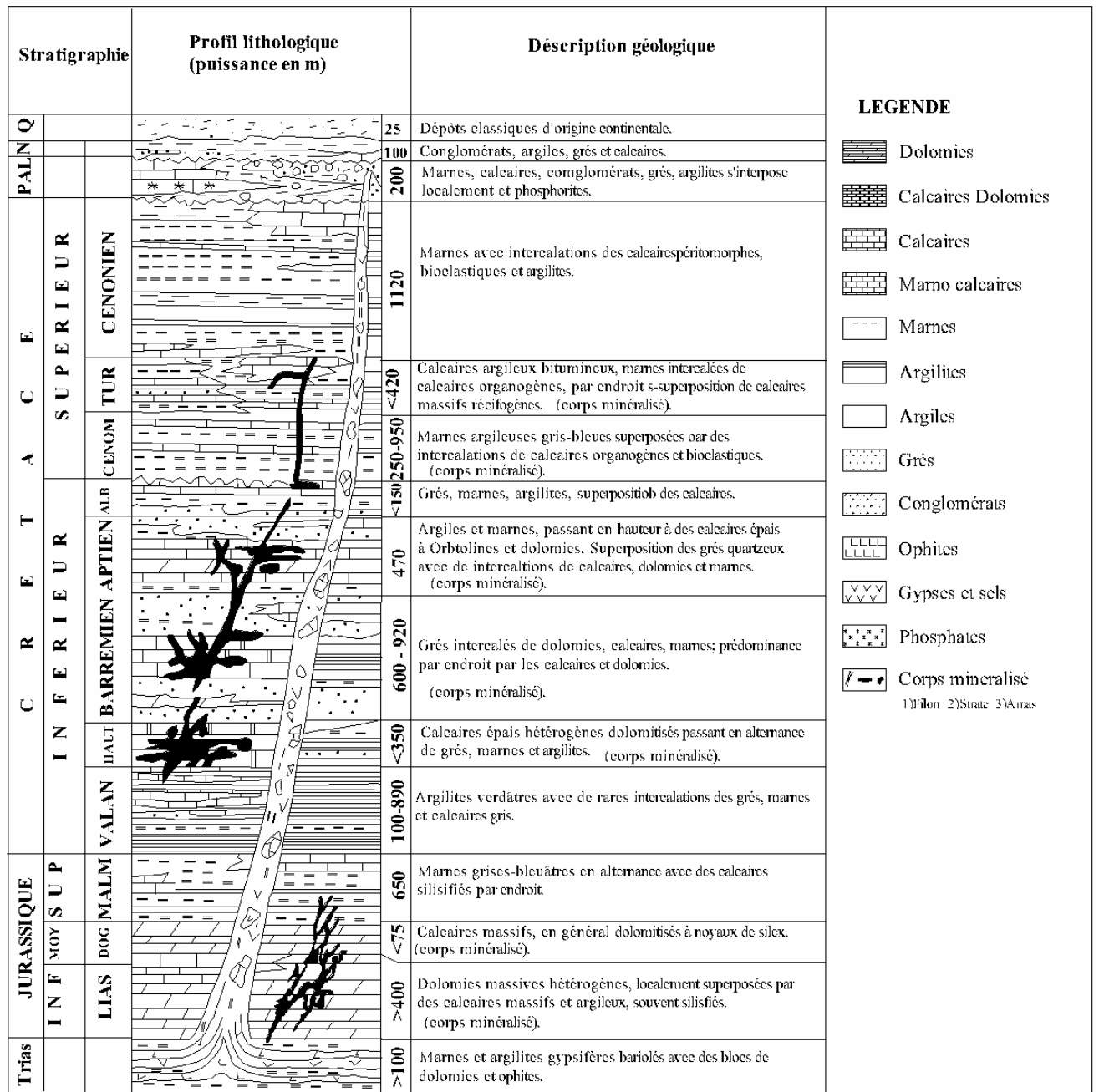


Fig. 3 – Colonne lithostratigraphique de la région BATNA-AURES (ORGM 2003, Vila, 1970 ; Kozlov, 1971 ; Azov, 1984)

### **c. - Barrémien**

Le Barrémien a été subdivisé en trois assises lithologiques : inférieure, moyenne considérablement carbonatée et supérieure carbonato-terrigène.

L'assise inférieure est représentée par des grès quartzeux avec des intercalations de calcaires, dolomies, marnes et argilites. Les grès quartzeux prédominent dans la plupart des cas. L'épaisseur varie de 300 à 385m.

L'assise moyenne se caractérise par une composition carbonatée avec des intercalations de marnes, argiles marneuses et des grès quartzeux. L'épaisseur atteint 1600m.

L'assise supérieure est presque identique à l'assise inférieure avec une quantité plus importante en intercalations de calcaires, dolomies et marnes. L'épaisseur varie de 100-120 à 225m.

### **d. - Aptien**

Les dépôts aptiens sont visibles dans les flancs anticlinaux et les voûtes des soulèvements anticlinaux de Bouarif et Chémora sur les feuilles 174 et 175, djebel Kasserou, Djebel El-Madher et Djebel Sarif (NW de Batna).

L'Aptien se distingue par trois grandes subdivisions lithologiques. A la base de l'assise, le passage du Barrémien à l'Aptien est constitué de marnes gris verdâtre. Plus haut la série à Orbitolines formée d'alternance de grès, calcaires ou dolomies et sommet est constituée de dolomies, calcaires à Orbitolines gris à noirs avec des rares interlits de marnes (Bureau, 1971). L'épaisseur de l'Aptien varie de 300 à 450m.

### **e. - Albien**

Les dépôts albiens sont représentés à la base par des marnes et argiles qui renferment des intercalations de grès grossiers. Les calcaires d'origine récifale sont largement développés au sommet de l'Albien (Bureau, 1971) dans lequel s'accumulent la plupart des fossiles (Laffitte, 1939). L'épaisseur de l'Albien varie de 400 à 500m.

## **I. - 1. - 3. - 2. - Crétacé supérieur**

### **a. - Cénomaniens**

Les dépôts du Cénomaniens sont représentés principalement par des marnes gris-bleuâtres et au sommet des bancs de calcaires, marqué par la présence du fossile *Aspidiscus* (Bureau, 1971). La partie inférieure est presque exclusivement marneuse à interlits de calcaires, elle affleure autour de Djebel Bou Arif (vila, 1977). L'épaisseur des dépôts cénomaniens varie de 70 à 650m.

### **b. - Turonien**

Les dépôts du Turonien sont représentés par l'alternance plus ou moins régulière de marnes et de calcaires, sur terrain les formations du Turonien sont reconnues par la présence des

Hippurites (Rudistes) (Bureau, 1971). L'épaisseur du Turonien est variable selon région et varie de 100 à 400m.

#### **c. - Coniacien-Santonien**

Ces deux étages sont indifférenciés. Ils sont représentés à la base par des marnes contenant des intercalations de calcaires, calcaires marneux et microconglomérats, ensuite des dolomies spongieuses et saccharoïdes entrecoupées par des calcaires et enfin au sommet une intercalation fine de calcaires noduleux et organogènes. L'épaisseur de toute l'assise est de 200 à 220m.

#### **d. - Campanien**

Les dépôts du Campanien sont représentés par alternance des marnes vertes grisâtres avec des intercalations de calcaires organogènes. Le Campanien s'individualise par la présence de plusieurs bancs de gypse et la présence d'Inocérames dominant dans ces couches (Bureau, 1971). L'assise du Campanien atteint 550 à 700m.

#### **e. - Maastrichtien**

Les dépôts du Maastrichtien sont représentés à la base par des calcaires gris compacts, finement cristallisés, organogènes, parfois avec de la glauconie et de rares intercalations de marnes. La partie médiane du Maastrichtien est représentée par des marnes avec des intercalations fines de calcaires organogènes. La partie supérieure est identique à la première. L'épaisseur de l'assise est de 280 à 300m.

### **I. - 1. - 4. - Paléogène**

Les dépôts du Paléogène sont développés surtout dans les zones synclinales. Ils se composent de calcaires, marnes et contiennent parfois du gypse et des phosphates. Vers le sommet, il y'a apparition de sables, conglomérats et brèches. La puissance du Paléogène varie de 450 à 500m.

### **I. - 1. - 5. - Néogène**

Dans les limites de la partie centrale des Aurès, les dépôts Néogènes sont représentés surtout par des conglomérats du Miocène, qui sont remplacés vers le sud par des formations marines normales (calcaires, marnes et gypse).

Dans les zones synclinales, les conglomérats et les poudingues du Miocène sont concordants avec les formations sous et sus-jacents. Dans les zones anticlinales, les dépôts recouvrent avec une forte discordance les roches les plus anciennes. L'épaisseur totale des formations est de 250 à 300m.

### **I. - 1. - 6. - Quaternaire**

Les dépôts Quaternaires sont développés essentiellement dans les parties bordières des massifs montagneux (éboulement et terrasses), et dans les vallées (couvertures, alluvions). Ils sont représentés par des argiles sableuses, des accumulations de débris et de galets de différentes roches. Aux sources sont liés les tufs calcaires ou travertins.

## I. - 2. – TECTONIQUE REGIONALE

Selon le schéma structuro-tectonique de l'Algérie du Nord (Glangeaud 1933, Aliev, 1971), le territoire d'étude est rattaché à la plate forme épihercynienne de l'Atlas saharien qui se manifeste en direction NE à partir de la frontière marocaine jusqu'à la frontière tunisienne et plus loin vers l'Est.

La région des travaux peut être nettement divisée en deux parties: la partie Nord stable qui correspond au soulèvement du môle de Ain M'lila et la partie centrale activée au Mésozoïque qui correspond à l'Atlas saharien proprement dit. Ces deux zones sont séparées par une faille profonde Nord Atlasique (Azov, Danilov, 1982-1985).

Du sud vers le nord des Aurès, deux zones s'opposent clairement et définissent les principaux éléments structuraux (Vila, 1980) (Fig. 2):

- Au Sud d'une ligne Batna - Timgad se développe un style structural en plis réguliers analogues à ceux des confins algéro-tunisiens: c'est le Nord du massif des Aurès (Laffitte, 1939a) revu essentiellement par Guellal et Vila (1973) où n'apparaît que la direction de plissement atlasique et où se succèdent des anticlinaux et des synclinaux très régulières d'axe N 50 à 60° E.
- Au Nord de cette ligne, l'organisation du plissement est encore apparente mais perd sa régularité dans les monts du Bélezma, d'Ain Yaghout et d'Oum El Bouaghi qui présentent de nombreuses complications tectoniques.

L'Atlas Saharien est composé de trois faisceaux de plis organisés en échelons et formant du SW vers le NE ; les Monts des Ksour, le Djebel Amour, les Monts de Ouled Nail, les Aurès et les Monts de Mellègue. (Fig. 4 et 5)

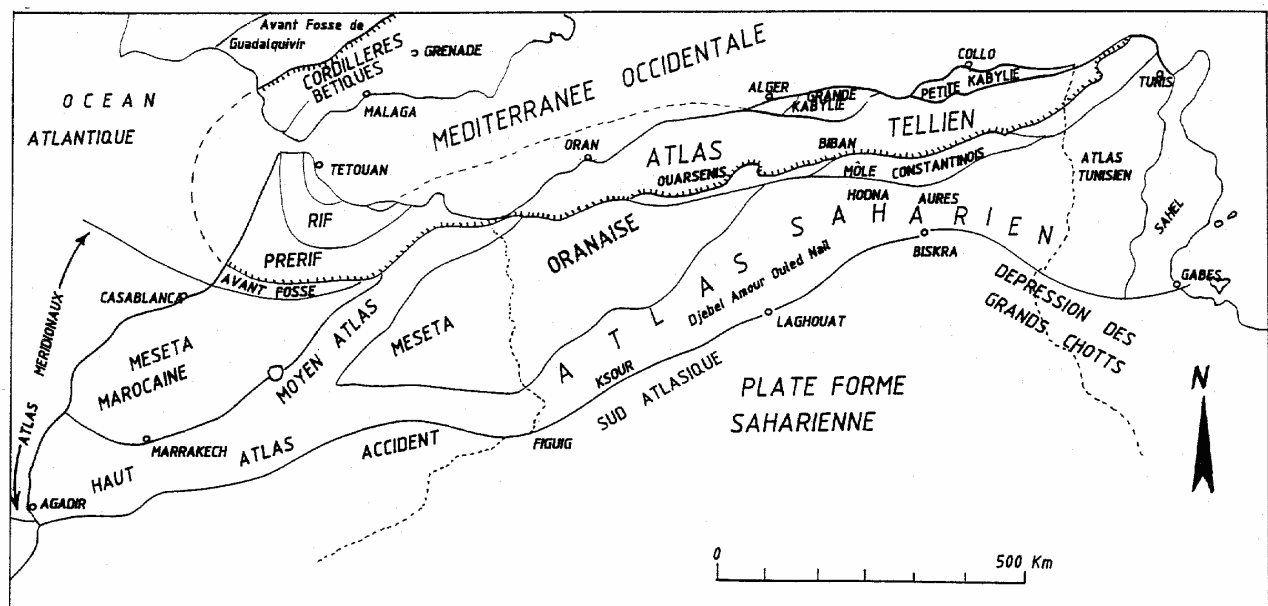


Fig. 4 - Principaux ensembles structuraux de l'Afrique du nord (d'après Caire, 1967)



Selon Kazi Tani (1986), cet accident aurait fonctionné au moins depuis l'Ordovicien, jusqu'à l'Actuel. La manifestation des derniers jeux tectoniques est très récente: elle est post-villafranchienne en Tunisie et post-pliocène sur la bordure aurésienne (Rolland, 1890).

Pour la partie tunisienne Castany (1954) précise l'âge très récent des rejeux tectoniques post-villafranchiens et son prolongement de Gabès à Tripoli en Lybie. Il donne aussi l'ampleur du rejet de la faille de Gafsa qui atteint 2000m. Il mentionne enfin une fosse subsidente, au Nord du Chott El Jerid, qu'il compare à la fosse sud-aurésienne décrite par Savornin en 1930. Bettahar (2000), dans son étude sur un tronçon de l'accident Sud Atlasique «El Kohol», dans la région de Brézina (Atlas Saharien occidental), a décelé les traces de trois phases affectant cet accident (Crétacé supérieur, Eocène supérieur et Mio-Pliocène).

Il est indiscutable que la faille Nord Atlasique a également influencé les terrains adjacents. Cette faille se manifeste de la manière la plus évidente dans la partie orientale où elle est à l'origine directe de la formation des récifs. Elle est aussi mise à l'origine directe de la formation des principales structures diapiriques dans la région. L'apparition de cette faille est due au mouvement du socle, les autres failles de ce système sont à l'origine de la formation des grands soulèvements anticlinaux de Bou Arif au sud et Tissourit-Hamouda au Nord.

Leurs amplitudes varient des premiers mètres jusqu'à un kilomètre. Les failles représentent des cassures typiques suivant lesquelles se forment les plis à courbure transversale. L'âge de formation des failles de cette direction est le Jurassique inférieur- Crétacé inférieur.

### **I. - 3. - MINERALISATIONS**

Selon la classification de Vydrine (1972), la région étudiée appartient à l'auréole métallogénique algéro-tunisienne ayant une histoire géologique spécifique de développement des différentes zones structuro-faciales.

Du point de vue tectonique, cette zone coïncide avec une bande où sont développées des failles profondes de directions Atlasique (Fig. 4) auxquelles sont liées les potentialités métallifères de la région. On y localise des gisements typomorphes caractéristiques pour l'atlas saharien (Fig. 2). La caractéristique métallogénique générale de la région est déterminée par des minéralisations plombo-zincifères, ferrifères, cuprifères, de barytine et d'antimoine.

En 1986, Danilov a établi une subdivision d'un ordre supérieur des zones métallifères Bélezma (feuilles N°146 et 147) au Nord et Bou Arif - Fedjoudj (feuilles N°173 et 174). Au Sud, elles coïncident avec deux systèmes subparallèles de structures anticlinales allongées de direction NE-SW et séparées par des fossés en dépressions remplies de dépôts du Néogène, Quaternaire de grande puissance.

Les Monts de Batna, dont fait partie le Bélezma, renferment un grand nombre d'indices et gîtes (Fig. 2) du type fissuré, zones de broyage, de bréchification minéralisées et stratiforme, accompagnées d'auréoles de roches quartzifiées, fluoritisées, calcitisées et barytisées (Jarikov, 1968), on peut citer :

- *La mine de Messaouda* (Djebel Messaouda) : Un petit massif isolé dans la plaine au Nord de Merouana renferme un petit gisement plombo-zincifère. La mine a produit vers 1900-1910 des minerais à 30-35% de zinc, à l'état de smithsonite ( $ZnCO_3$ ). les

exploitants anciens recherchaient les produits oxydés concentrés dans des cassures, ou dans tout autre système de joints plus ou moins agrandis par le remplacement des dolomies par les carbonates de Pb-Zn supergènes (Glaçon, 1967).

- A l'Ouest de la ville de Batna, des recherches minières dans *Djebel Tuggurt* a montré la présence de minéraux du cuivre dans un calcaire dolomitique grisâtres du Lias. Il s'agit de cuivre gris interstitiel entre les cristaux de dolomites parfois automorphes, dispersés ou relativement concentré le long de petites zones recristallisées de la dolomie. Celle-ci contient de la pyrite dispersée, de la chalcopryrite en petites plages sporadiques dans la dolomie ou de cuivre et de la bornite rare (Glaçon, 1967).
- Au Nord-Ouest de la ville de Batna, des travaux sur les flancs de l'anticlinale de *Takharbi* furent examinés par le BRMA en 1951, les prospecteurs ont considéré le gîte comme des remplissages de fractures. La roche encaissante est formée de calcaire (Lias moyen). Le remplissage comprenait d'une part galène, sphalérite, calcite et fluorite et d'autre part de la chalcopryrite, chalcocite, fluorite (Glaçon, 1967).
- **Les gîtes de Mérouana (Zinc et Plomb)**

Au Sud du village de Mérouana, l'extrémité occidentale du massif du Bélezma contient quelques gîtes et indices minéralisés. Trois gîtes ou indices qui sont : la mine de Mérouana, Djebel Mhasseur et Tafrent. Le premier est dans les dolomies de l'Aptien moyen, les deux derniers sont dans la dolomie de base de cet étage.

Les travaux d'exploitations de la concession de Mérouana sont anciens. L'exploitation a débuté en 1907 pour devenir assez active ensuite. Elle fournis en un an 1000 tonnes de produit calcinés à 45% Zn. Le minéral exploité était de calamine. La production totale fut d'environ 10 000 tonnes de calamine calciné, et de 1500 tonnes de blende (Glaçon, 1967).

A l'Est de la ville de Batna, la zone métallifère de Bouarif-Fedjoudj est caractérisée par une minéralisation à sphalérite-galène, cuivre et de baryte. Cette zone est d'une extension plus grande que la zone Bélezma.

- Le gisement plombo-zincifère de Djendli est situé à 40km au NE de la ville de Batna, sur le flanc Nord du djebel Bou Arif des dizaines de gisements et indices minéralisés ont l'objet d'exploitation intense durant les années 1910-1929. Produit exploité est du calamine (30%Zn) (Jarikov, 1968).
- La minéralisation zincifère du gisement localisée dans djebel Hanout est liée avec une dizaine de couche peu puissante de dolomies de la partie supérieure du Hautérivien, le minéral métallifère principale est la sphalérite, remplacée partiellement par la smithsonite (Jarikov, 1968).

La région renferme d'autre indices de minéralisation de Pb-Zn, Cu et Ba, tel que Teniet Fourar (Djebel Bou Arif), indice de Tenoun Kenine et Azeb (Sud de Djebel Bou Arif) et d'indice minéralisé de Chémora à Cu.

## II. - CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

---

---

### II. - 1. - SECTEUR TARBENNT

Le secteur de Tarbennt est situé entre la ville de Batna et les Monts de d'Ain M'lila, dans la partie NE du village d'Ain Yaghout (Fig. 1). La diagonale SW-NE de la feuille 146 est occupée essentiellement soit par des zones marécageuses (chott) soit par des sebkhas (sebkha Ez Zemoul) (Fig. 6). Au Sud de cette diagonale, ce sont les monts d'Ain Yaghout: Djebel Tarbennt, Tarbennt es Srhir et Djebel El Haouia.

Du point d'organisation de prospection, le secteur été subdivisé en 3 sous-secteurs: Ain Yaghout, El haouia et El Mounchar.

#### II. - 1. - 1. - Stratigraphie

Les roches les plus anciennes affleurantes sont d'âge Trias. Outre ces séries, se place toute une série de formations de dolomies, calcaires et calcaires terrigènes du Jurassique, Crétacé et Néogène.

##### II. - 1. - 1. - 1. - Trias

Les formations triasiques affleurent au NE et SW du Djebel Tarbennt (Fig. 4), représentées par des marnes bariolées écrasées, des marnes gypseuses bréchiqes (Vila, 1977).

##### II. - 1. - 1. - 2. - Jurassique

###### a. - Lias massif calcaro-dolomitique ( $L_H$ )

Les dépôts de cet étage affleurent dans les hauteurs de Tarbennt et ils sont constitués par une épaisse masse calcaro-dolomitique sombre mal litée avec la présence d'Algues et d'Oolithes.

###### b. - Lias supérieur marneux ( $L_{SH}$ )

Cet étage débute au-dessus des dolomies liasiques par un hard-ground à empreintes d'Ammonites, recouvert par des marno-calcaires et des marnes claires suivis par des marnes grises. La microfaune est pauvre sauf la présence des spicules et des Ostracodes.

###### c. - Jurassique supérieur ( $J^S_H$ )

Les roches de cet âge affleurent au Nord du Djebel Tarbennt. Elles sont représentées par des calcaires écrasés à Saccocomidés très abondantes, Radiolaires et Globochaete. L'épaisseur de ces dépôts ne dépasse pas les 50m.

##### II. - 1. - 1. - 3. - Crétacé

Le Crétacé inférieur occupe de vastes superficies dans les monts de Batna–Ain Yaghout où il constitue la couverture normale des noyaux Jurassiques.

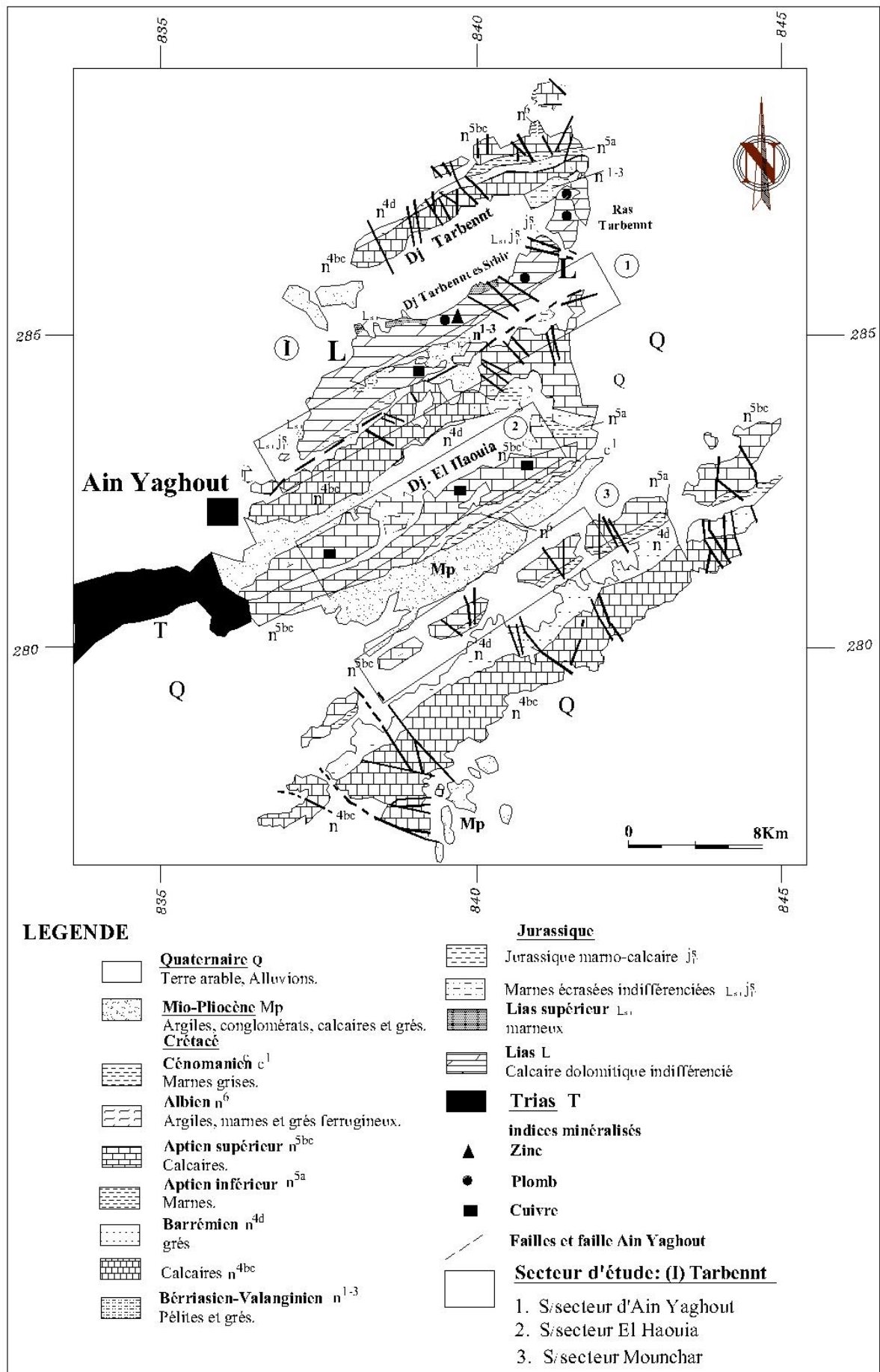


Fig. 6 – Carte géologique simplifiée du secteur Tarbennt (mont de Ain Yaghout) (ORGM, 2003)

**a. - Crétacé Basal (n<sup>1-3</sup><sub>H</sub>)**

Il est représenté par un ensemble argilo-pelitique très épais. Dans le secteur du Djebel Tarbennt, cette série est écrasée et schistosée.

**b. - Barrémien calcaro-dolomitique (n<sup>4bc</sup>)**

C'est une formation complexe organisée en grosses barres calcaro-dolomitiques à intercalations argileuses ou argilo-silteuses et de petits niveaux de grès.

**c. - Barrémien à dominante gréseuse (n<sup>4d</sup>)**

Il s'agit d'une série monotone de grès roux ou blancs peu grossiers à sédimentations obliques ou entrecroisées, à rares intercalations dolomitiques

**d. - Aptien marneux (n<sup>5a</sup>)**

C'est une série marneuse d'épaisseur 70 à 80m à intercalation gréseuse à la base, au sommet la présence de marno-calcaires noduleux à gros débris de Rudistes.

**e. - Aptien (n<sup>5bc</sup>)**

Il constitue l'arête Nord du Djebel Tarbennt, le Djebel Haouia et l'arête Nord du Djebel Azem. C'est une série de calcaires bien lités à Orbitolines et Miliolidés d'une épaisseur de 350m.

**f. - Albien (n<sup>6</sup>)**

Elle est visible au Dj Tarbennt et au flanc Nord du pli d'Ain Yaghout au Dj Haouia. La série débute par des grès gris ou brun clair à interlits marno-gréseux, se poursuit par une alternance de marnes verdâtres et des grès bruns, recouvert par un niveau de grès ferrugineux un peu noduleux ou bréchiques.

**g. - Cénomaniens (C<sup>1</sup>)**

Ce sont des marnes grises ou beiges à Rotalipores et intercalations de calcaires à Polypiers.

**II. - 1. - 1. - 4. - Mio-pliocène (Mp)**

Le Mio-pliocène continental est représenté par des conglomérats mal cimentés jaunâtres ou rosés, d'argile sableuses jaunâtres et des calcaires lacustres mal stratifiés rosâtres ou blancs.

**II. - 1. - 1. - 5. - Quaternaire**

Elles sont représentées par des calcaires massifs, terre arable, soles salées, limons salés et des éboulis en blocs ou en masses.

## II. - 1. - 2. - Tectonique

Les structures plicatives sont orientées du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Elles correspondent à la frange septentrionale froissée de l'autochtone Aurésien. La tectonique cassante est bien manifestée avec la prédominance des accidents d'orientation NE-SW et NW-SE. Le pli constituant le secteur de Tarbennt est limité de tous les côtés par des failles.

Au Nord-Est d'Ain Yaghout et au Nord de la faille d'Ain Yaghout, les deux crêtes parallèles du djebel Tarbennt au Nord et de Tarbennt Es Srhir au Sud sont constituées par une série renversée dominée par la masse calcaro-dolomitique et surtout dolomitique du Ras Tarbennt. Les regards du Tarbennt Es Srhir et d'Ain Yaghout et l'existence d'une belle charnière frontale lèvent tout ambiguïté quant à l'interprétation de cette structure en tête plongeante, qui s'effondre le long de la faille d'Ain Yaghout d'orientation N 50° E. Cette dernière est parallèle à la structure en pli déversé du Djebel Haouia (Vila, 1980).

## II. - 1. - 3. - Minéralisations

Les travaux réalisés dans la région, ont permis de mettre en évidence plusieurs indices et points minéralisés en Pb, Zn, Cu et Mn localisés dans des roches carbonatées du Lias, Dogger et Aptien, à proximité des accidents et contacts tectoniques.

Les indices minéralisés de Zn sont localisés dans les fractures affectant les dolomies du Lias (Fig. 6, 7 et 8). Elle est représentée essentiellement par la sphalérite. La minéralisation à Cu est localisée le long des accidents tectoniques de direction NE-SW, particulièrement au voisinage de la grande faille de Ain Yaghout. Elle se manifeste aussi dans la partie Sud du secteur, au sein des failles affectant les calcaires d'âge Aptien (Djebel El Haouia). La minéralisation à Pb est concentrée le long du contact Jurassique (Lias) – Crétacé, dans la partie Est du secteur.

Les minéralisations de Cu, Zn et Mn de Djebel El Haouia sont rencontrées dans les formations d'âge Aptien (Fig. 6, 9 et 10). La minéralisation de Mn est représentée par des poches et petites cassures remplies par une masse ferrugineuse à laquelle s'associent les minéraux noirâtres manganifères. La minéralisation de Cu est encaissée dans les dolomies et calcaires dolomités jaunâtres, disséminée ou en nids. La paragenèse minérale est composée de cuivre gris, malachite - azurite.

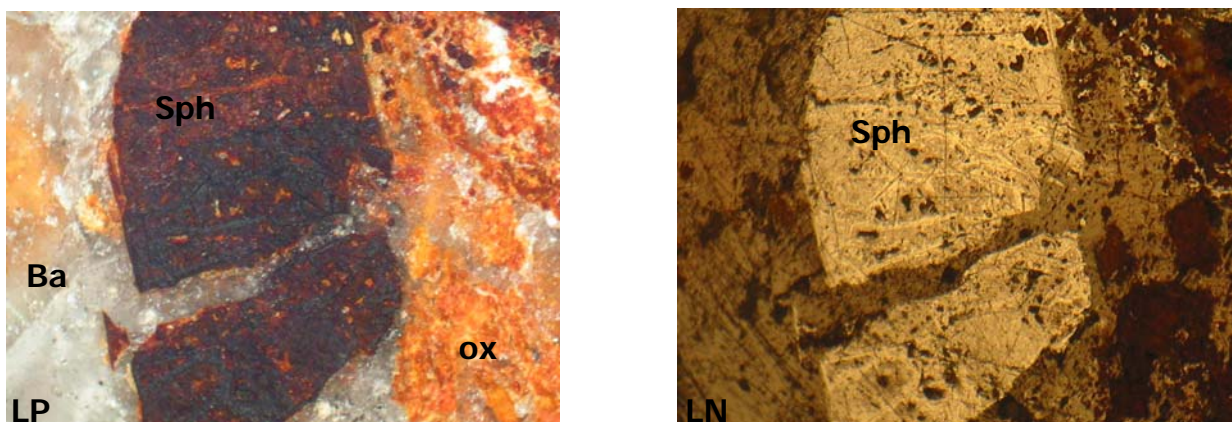


Fig. 7 - Sphalérite (Sph) à grain automorphe, Barytine (Ba)  
Section polie LP&N. Gx10 (sous-secteur Ain Yaghout).

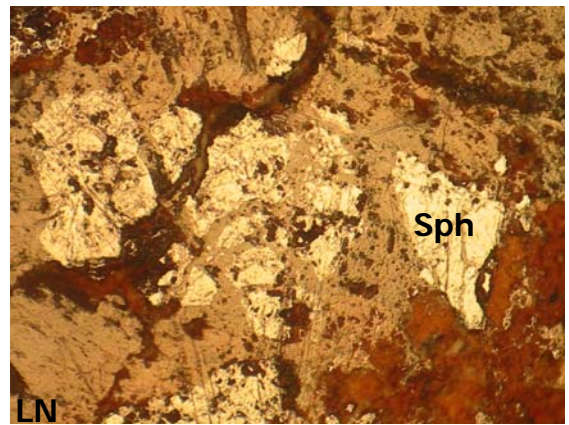
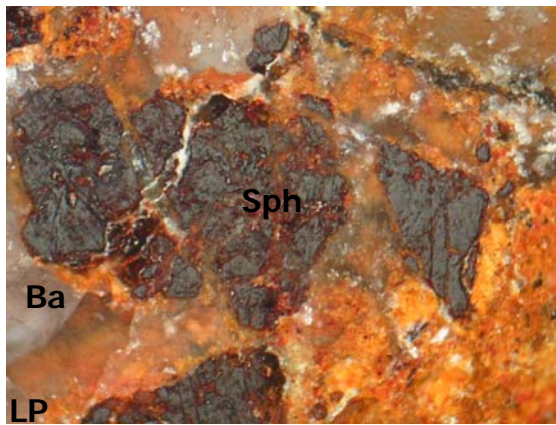


Fig. 8 - Sphalérite (Sph), Barytine (Ba)  
Section polie LP&N. Gx10 (sous-secteur Ain Yaghout)

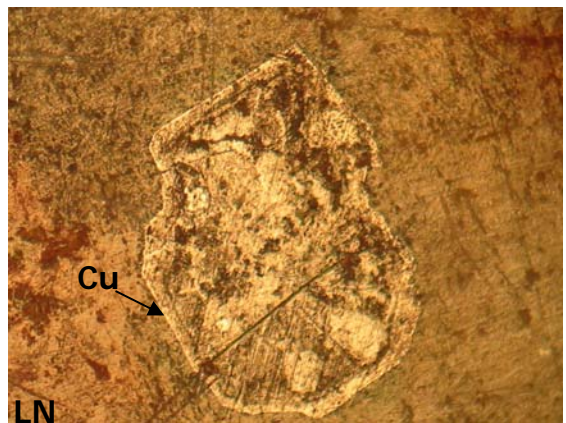
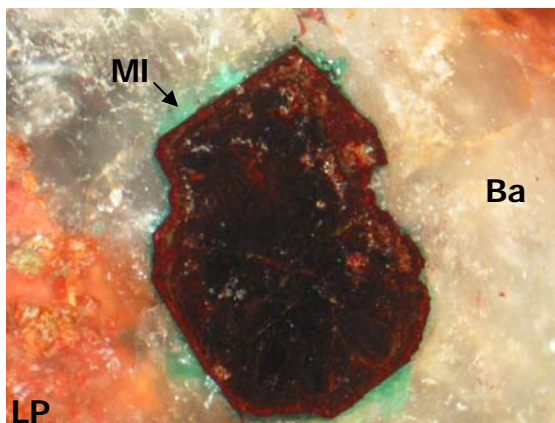


Fig. 9 - Cuivre gris (Cu) coroné par la malachite (MI), Barytine (Ba)  
Section polie LP&N. Gx10 (sous-secteur El Haouia)

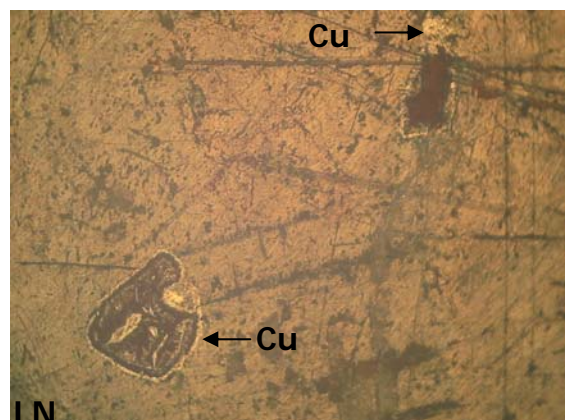
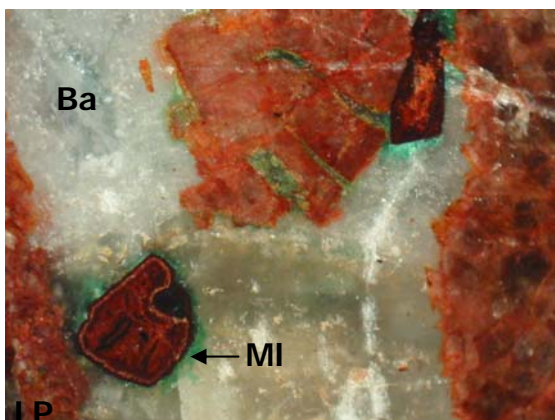


Fig. 10 - Cuivre gris (Cu) coroné par la malachite (MI), Barytine (Ba)  
Section polie LP&N. Gx5 (sous-secteur El Haouia)

## II. - 2. - SECTEUR TOUMBAIT

### II. - 2. - 1. - Stratigraphie

Les roches les plus anciennes affleurant dans le secteur Toumbait sont d'âge Trias. Outre ces séries, se place toute une série de formations de dolomies, calcaires du Jurassique, Crétacé et Néogène (Fig. 11).

#### II. - 2. - 1. - 1. - Trias

Les formations triasiques affleurent au NE du Djebel Toumbait, représentées par des marnes bariolées écrasées, des marnes gypseuses bréchiques (Vila, 1977).

#### II. - 2. - 1. - 2. - Jurassique

##### a. - Lias massif calcaro-dolomitique ( $L_H$ )

Les dépôts de cet âge constituent le cœur de l'anticlinal du Djebel Toumbait. Ils sont représentés par une épaisse masse calcaro-dolomitique sombre mal litée.

##### b. - Lias supérieur marneux ( $L_{SH}$ )

Les roches de cet âge affleurent sur le flanc Nord du Djebel Toumbait. Elles débutent au-dessus des dolomies Liasiques par un hard-ground à empreintes d'Ammonites (Vila, 1977), recouvert par des marno-calcaires et des marnes claires suivis par des marnes grises. La microfaune est pauvre sauf la présence des spicules et des Ostracodes.

##### c. - Jurassique moyen ( $J^m_H$ )

Représenté à la base par des calcaires gris clair et au sommet par des calcaires à silex à pâtes beige ou jaunâtre et silex rougeâtre ou verdâtre.

##### d. - Jurassique inférieur ( $J^s n^1_H$ )

C'est une série de centaines de mètres d'épaisseur formant une bande continue sur le flanc nord de l'anticlinal de Djebel Toumbait, à la base se sont des marnes roses et jaunes alternent avec des petits bancs de micrites écrasée à débris de Bélemnites, d'Ammonites et au sommet des micrites contiennent des Saccocoma (Vila, 1977).

#### II. - 2. - 1. - 3. - Crétacé

Le Crétacé inférieur occupe de vastes superficies dans les monts de Batna - Ain Yaghout où il constitue la couverture normale des noyaux jurassiques.

##### a. - Crétacé Basal ( $n^{1-3}_H$ )

Représenté par les argiles pélitiques écrasées à débris d'Ammonites, affleure au Nord et au Sud du Djebel Toumbait.

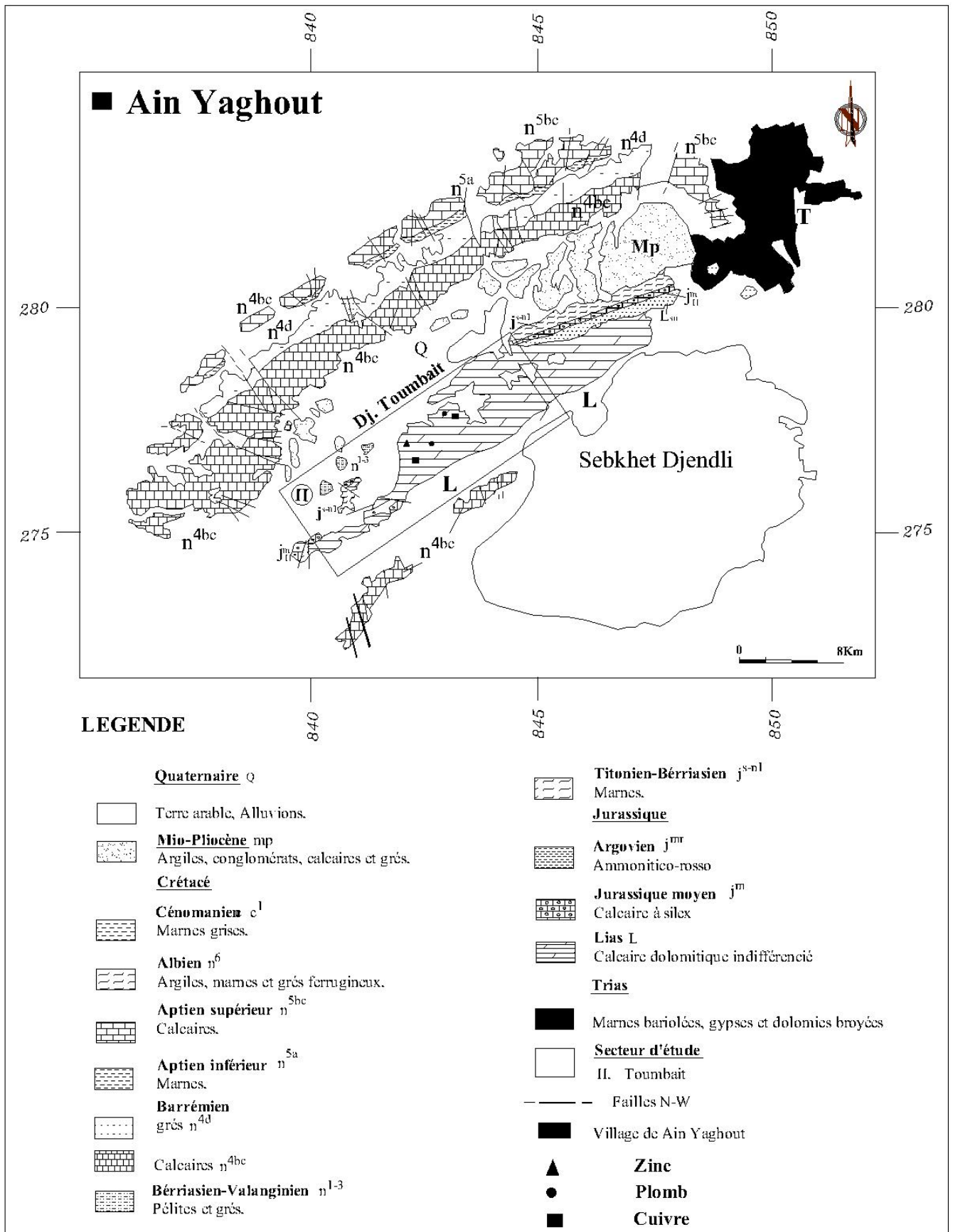


Fig. 11 – Carte géologique simplifiée du secteur de Toumbait (ORGM, 2003)

**b. - Barrémien calcaro-dolomitique (n<sup>4bc</sup>)**

C'est une formation complexe organisée en grosses barres calcaro-dolomitiques à intercalations argileuses ou argilo-silteuses et de petits niveaux de grès.

**c. - Barrémien à dominante gréseuse (n<sup>4d</sup>)**

Il s'agit d'une série monotone de grès roux ou blancs peut grossiers à sédimentations obliques ou entrecroisées, à rares intercalations dolomitiques. A la base, cette formation contient des débris de Lamellibranches, d'Echinodermes, de polypiers et de Gastéropodes, au sommet de minces intercalations à Orbitolines (Vila, 1977).

**d. - Aptien marneux (n<sup>5a</sup>)**

C'est une série marneuse d'épaisseur 70 à 80m. A la base quelques intercalations gréseuses, au sommet la présence de marno-calcaires noduleux à gros débris de Rudistes.

**e - Aptien (n<sup>5bc</sup>)**

Il constitue l'arête Nord du Djebel Tarbennt, le Djebel Haouia et l'arête Nord du Djebel Azem. C'est une série de calcaires bien lités en bancs métriques riches en Miliolidés d'une épaisseur de 350m.

**II. - 2. - 1. - 4. - Mio-pliocène (Mp)**

Le Mio-pliocène continental est représenté par des conglomérats mal cimentés jaunâtres ou roses, d'argile sableuses jaunâtres et des calcaires lacustres mal stratifiés rosâtres ou blancs.

**II. - 2. - 1. - 5. - Quaternaire**

Ce sont des formations récentes recouvrant les terrains de la région. Elles sont représentées par des calcaires massifs, terre arable, soles salés, limons salés et des éboulis en blocs ou en masses.

**II. - 2. - 1. - Tectonique**

Le secteur des travaux est représenté par un anticlinal dont le noyau est composé de dolomie et de calcaire du Jurassique inférieur. Cette structure est orientée du Sud-Ouest vers le Nord-Est, le flanc Nord est nettement chevauchant et une lame de Trias souligne localement cet accident et le flanc Sud est écrasé (Vila, 1977).

Les flancs du pli sont compliqués par une série de failles de petites amplitudes à caractères de décrochement, cisaillement vers le Nord-Ouest.

**II. - 2. - 2. - Minéralisations**

Dans la partie axiale de l'anticlinale de Toumbait se rencontre une minéralisation représentée par une dissémination de galène dans des filons baryto-calciques (NW) de 2m d'épaisseur et 500m de longueur encaissés dans les dolomies massives du Lias.

Dans les zones tectoniques de direction NE affectant les dolomies du Lias, on observe sur 3m d'épaisseur des brèches à ciment hématitique.

Dans la région de contact tectonique des calcaires du Jurassique moyen avec les dolomies liasiques se rencontrent des zones de lessivage et bréchification à ciment calcito-hématitique. Les zones sont orientées vers le NE. Leur épaisseur est de 2.5m et leur étendue de quelques dizaines de mètres. Les échantillons au marteau ont donné les teneur suivantes : Pb=0.05%, Zn=0.36% à 0.38%.

## **II. - 3. - SECTEUR DJENDLI**

Le secteur de Djendli est situé à 40km au NE de la ville de Batna sur le flanc Nord de Djebel Bou Arif (Fig. 12).

### **II. - 3. - 1. - Stratigraphie**

Dans le secteur d'étude, sont développées les roches du Barrémien, d'Aptien, d'Albien et Quaternaire (Fig. 12).

#### **II. - 3. - 1. - 1. - Barrémien (n<sup>4</sup>)**

Au Djebel Bou Arif, le Barrémien est l'étage le plus ancien, représenté par des grès blancs compacts en gros bancs. Ces grès sont à stratifications obliques et entrecroisées, puis une alternances de calcaires fins gris à débris de lamellibranches, de calcaires dolomitiques, de calcaires noduleux à algues et de petits bancs de grés fin et au sommet une barre dolomitique rousse en gros bancs (Vila, 1980).

#### **II. - 3. - 1. - 2. - Aptien (n<sup>5a</sup>)**

Est constitué par 70m environ de marnes de teinte beige verdâtre puis grise qui contiennent vers le haut deux barres de 1m de micrites ocre riches en débris de Lamellibranches, à Brachiopodes (Vila, 1977).

#### **II. - 3. - 1. - 3. - Aptien (n<sup>5bc</sup>)**

Il présente une série très épaisse comprenant une alternance de marno-calcaires et de biomicrites et de marnes grises souvent riches en Orbitolines. Des dolomies brunes ferrugineuses souvent saccharoïdes couronnent la série.

#### **II. - 3. - 1. - 4. - Albien (n<sup>6</sup>)**

L'Albien est représenté par une série d'environ 250m d'épaisseur constituée par des alternances d'argiles, de grés et aussi de dolomies et de biosparietes, vers le haut la série devient marneuse.

#### **II. - 3. - 1. - 5. - Quaternaire**

Les dépôts Quaternaires sont largement développés au chaînon de Bou Arif sous forme d'éboulis de pente et de cônes de déjection.

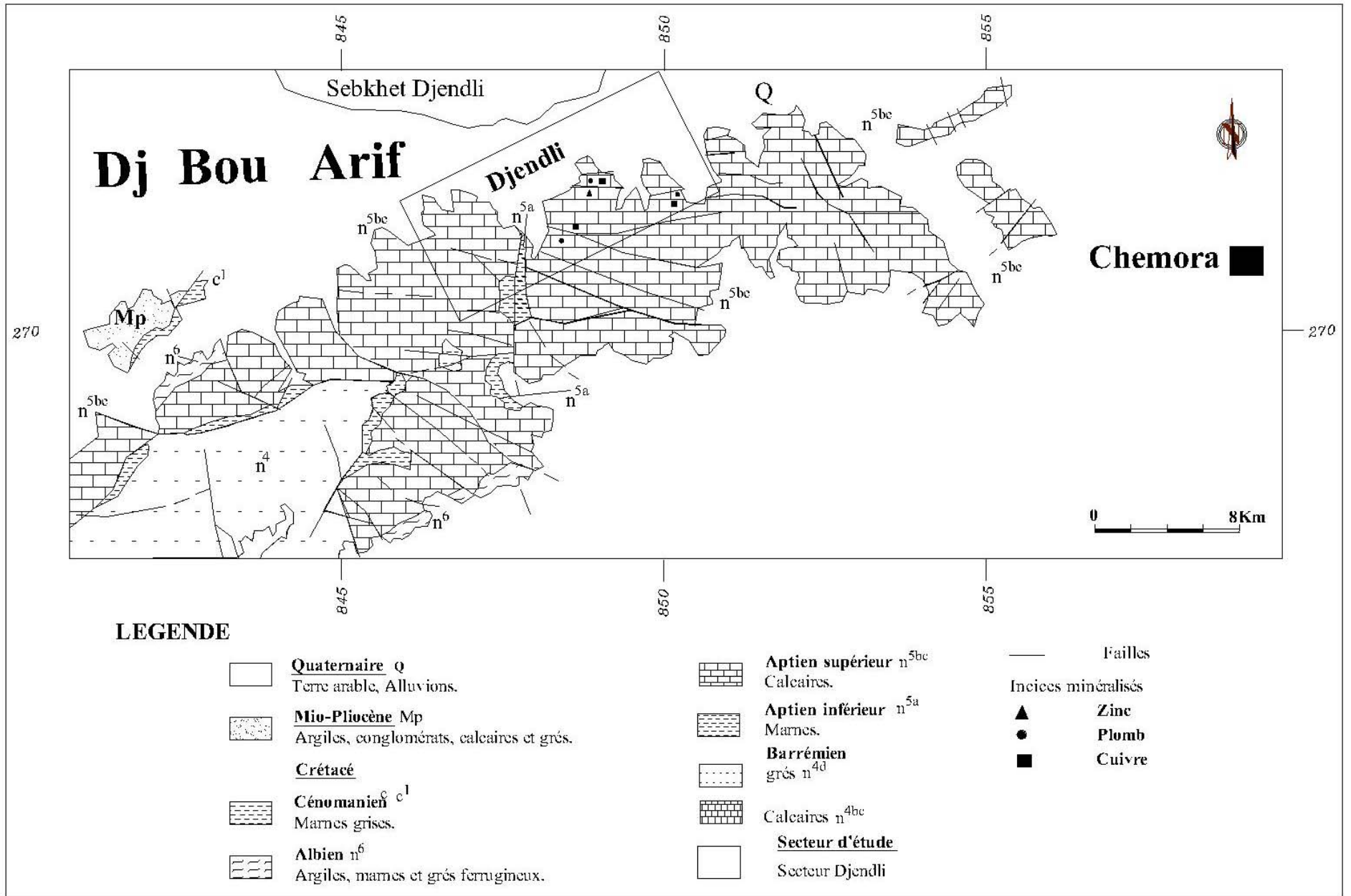


Fig. 12 – Carte géologique schématique du secteur Djendli (Nord-Est Dj Bou Arif) (ORGM, 3002)

### II - 3. - 2. - Tectonique

Du point de vue tectonique, Ce secteur est associé à la fermeture périclinale Nord Est de l'anticlinale de Bou Arif présentant une direction NE et qui a subi de petites ondulations dans les limites du site. L'anticlinale a une voûte un peu soulevée. Le pendage des couches, d'après leur position structurale, varie de 15 à 20° vers le SE jusqu'à 20 – 30° vers le NE. La structure est compliquée par une série d'accidents cassants:

- Un système de fissures d'extension NE parallèle à l'axe de l'anticlinale.
- Un système de failles transversales d'orientation NW.
- Des failles sub-latitudinales obliques par rapport à l'axe du pli.

### II. - 3. - 3. - Minéralisations

La minéralisation se manifeste par la présence de minéraux secondaires de Zn, Cu et Pb. Elle se localise en principe dans les limites du flanc Nord de l'anticlinal. Elle est caractérisée par un net contrôle structural (failles). Les corps minéralisés sont associés aux fissures tectoniques d'orientation N-S et SW. Elles sont exprimées par des zones de broyages et d'effondrement, étendues larges de 10m et plus. Les bancs adjacents sont marqués par une fissuration élevée, avec calcitisation des roches encaissantes. De plus, la quartzification et barytisation sont largement développées. Les filons de barytine et ceux de calcite-baryte ont très souvent une orientation NW-SE.

Les corps minéralisés ont une morphologie complexe due à la forme des fissures encaissantes et à la répartition hétérogène des éléments minéralisés. Trois types de minéralisations sont mis en évidence:

- Minéralisation essentiellement zincifère avec une composition minéralogique représentée par l'hémimorphite et la smithsonite en plus de la sphalérite (Fig. 16).
- Minéralisation essentiellement plombifère composée de galène et d'anglésite avec une gangue calcito-barytique.
- Minéralisation cuprifère représentée par du cuivre gris avec des minéraux secondaires comme la malachite et azurite (Fig. 13, 14 et 15). Elle est accompagnée le plus souvent par une gangue quartzo-barytique.

Selon les données d'archives, on a trouvé du minerai ayant la teneur de 3–40% en Zn. En vue d'étudier la minéralisation en profondeur, cinq sondages de recherche de profondeur varient de 90,70 à 320,10m ont été réalisés. Il est constaté que les failles principales emballant la minéralisation vont jusqu'aux dépôts sous jacents le Barrémien. La teneur en Zn dans le sondage S4 est de l'ordre de 3,55%.

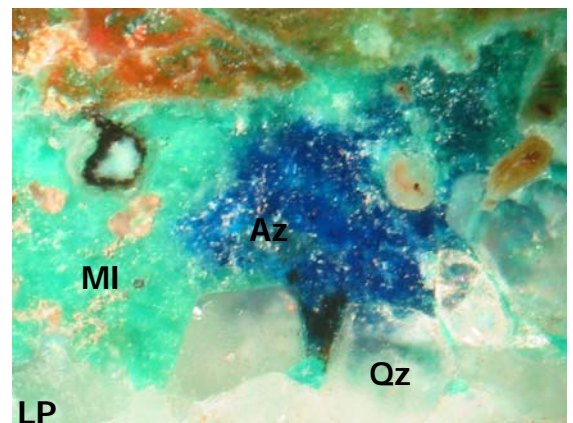
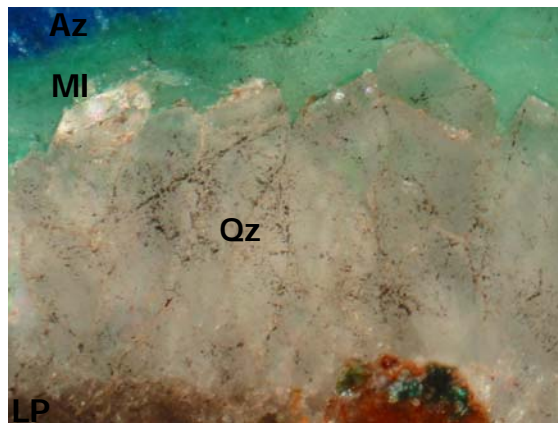


Fig. 13 - Azurite (Az), Malachite (MI), quartz (Qz)  
*Section polie LP&N. Gx10 (secteur Djendli).*

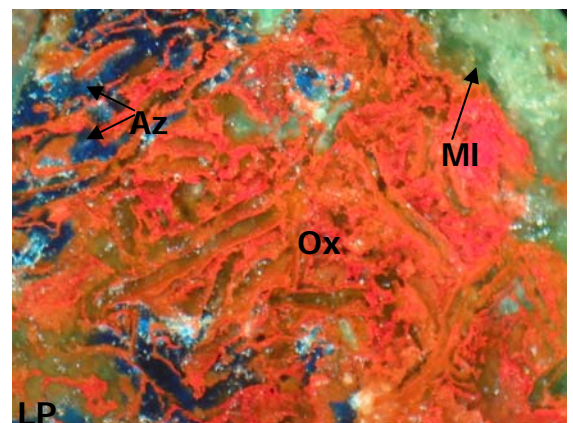
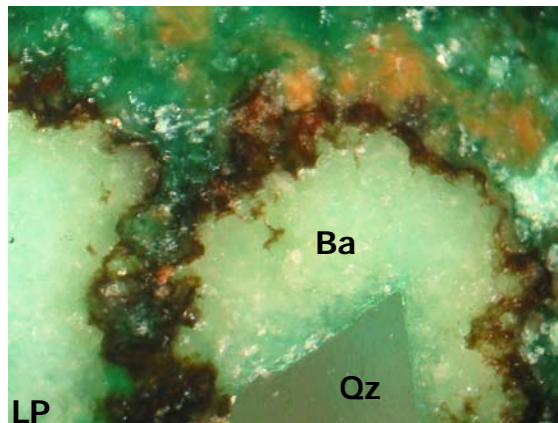


Fig. 14 - Malachite (MI), Barytine (Ca) et  
quartz (Qz) *Section polie LP. Gx10*  
*(secteur Djendli).*

Fig. 15 - Azurite (Az), Malachite (MI), oxydes de  
Fer (Ox) *Section polie LP. Gx10 (secteur Djendli).*

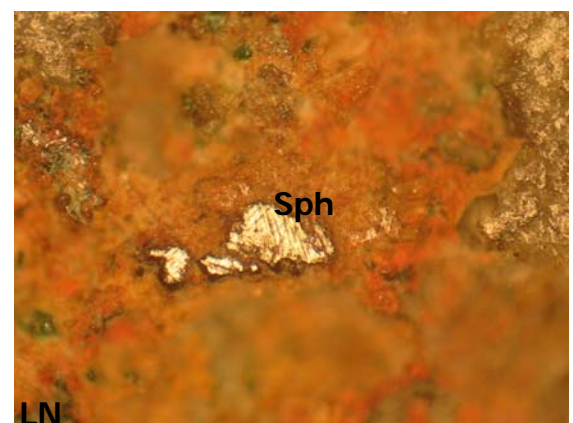
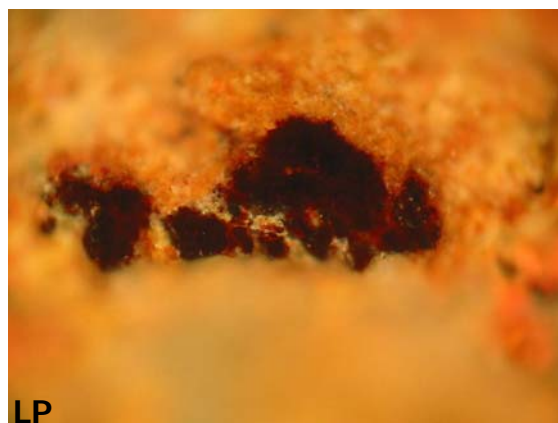


Fig. 16 - Sphalérite (Sph) *Section polie LP&N. Gx10 (secteur Djendli).*

## **II. - 4. - SECTEUR AIN BOUGDA dit aussi Tenoun Kenine**

Le secteur Tenoun Kenine, est situé à 7km à l'Est de Batna dans le coin Nord-Ouest de la feuille 201 (Lambèse) (Fig. 1). La partie Sud du secteur est traversée par une route goudronnée, ainsi que par une ligne électrique. Le relief est accidenté mais facilement accessible. Dans le secteur deux carrières d'agrégats sont en activité.

L'indice d'Ain Bougda est situé à environ 2km à l'Est du gisement de Tenoun Kenine. Il est à noter l'existence d'un autre indice : indice Azzab situé à 2,4km Ouest de Tenoun Kenine.

### **II. - 4. - 1. - Stratigraphie**

Dans ce secteur sont développées des roches d'âge Aptien, Albien, Cénomaniens et du Miocène inférieur en plus de la couverture Plio-Quaternaire (ou Quaternaire d'après certains auteurs) (fig. 17).

L'Aptien reposant sur les dépôts du Barrémien (non affleurant dans notre secteur) est composé de deux étages:

#### **II. - 4. - 1. - 1. - Aptien inférieur (n<sup>5a</sup>)**

Représenté par des marnes et argilites grises à la base de calcaires sombres à rares lits de marnes et grés au sommet. Son épaisseur atteint 180m.

#### **II. - 4. - 1. - 2. - Aptien supérieur (n<sup>5b</sup>)**

Constitué de marnes grises et noires riches en matières organiques en alternance avec des grés quartziques blancs et des bancs de calcaires détritiques peu puissants. L'épaisseur atteint 110 à 120m.

Les sédiments Albien reposant en concordance sur ceux de l'Aptien, sont, à leur tour, subdivisés en deux étages : inférieur et supérieur.

#### **II. - 4. - 1. - 3. - Albien inférieur (n<sup>6a</sup>)**

Ce sont des dépôts à marnes verdâtres au sommet, noir et riche en substance organique et à rares lits de grés quartziques et calcaires détritiques et à Orbitolines. L'épaisseur est de 100m environ.

#### **II. - 4. - 1. - 4. - Albien supérieur (n<sup>6b</sup>)**

Composé de marnes verdâtres à rares lits de grés quartziques et de calcaires détritiques gris de puissance atteignant 200m.

#### **II. - 4. - 1. - 5. - Cénomaniens moyen (c<sup>1b</sup>)**

Cet étage affleure au sud du Djebel Bou Arif, représenté à la base par une épaisse couche de 350m et une série monotone de marnes grises riche en fossiles avec des Ammonites. Au sommet d'alternance où apparaissent essentiellement des calcaires marneux gris-bleu ou beiges en bancs métriques, avec de petits niveaux de calcaires zoogènes et des intercalations marneuses dégagées uniquement dans les lits d'oueds.

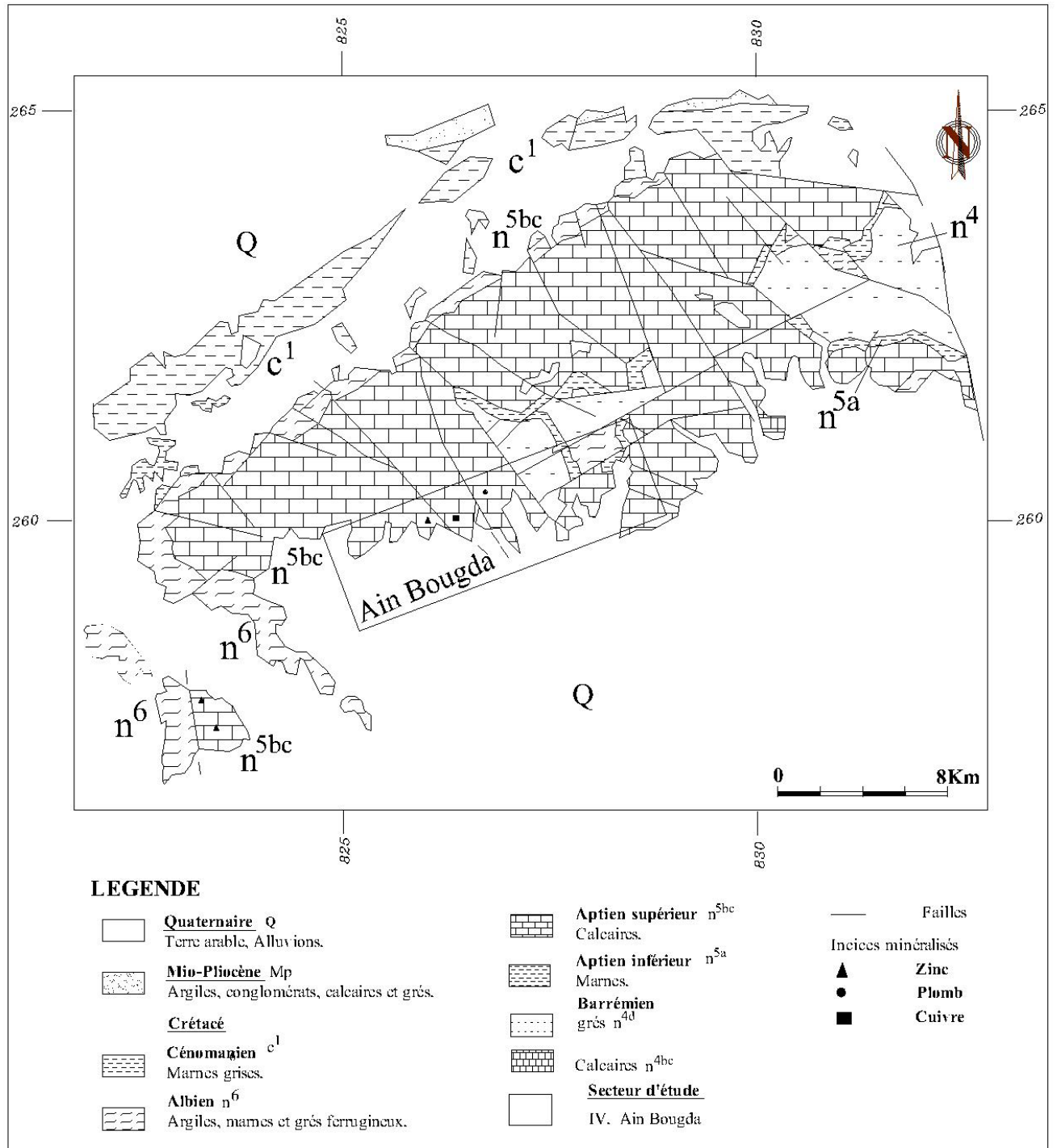


Fig. 17 – Carte géologique schématique du secteur Ain Bougda (Sud Dj Bou Arif) (ORGM, 3002)

#### **II. - 4. - 1. - 6. - Quaternaire**

Les dépôts quaternaires sont largement développés au chaînon de Bou Arif sous forme d'éboulis de pente et de cônes de déjection.

#### **II. - 4. - 2. - Tectonique**

Le site se trouve dans le périclinal Sud-Ouest de l'anticlinal de Bou Arif (Fig. 15). Les roches du Crétacé constituant le périclinal, sont effondrées en monoclinal de direction W-SW sous un angle 10-30°, découpées par de nombreuses failles de directions sub-latitudinales, NW, NE et sub-longitudinales qui déterminent la structure en blocs.

Au Sud du site, on note une faille recouverte de sédiments quaternaires, qui d'après les données gravimétriques affaisse le bloc plusieurs centaines de mètres (plus de 500m). Une faille sub-parallèle à celle décrite plus haut se trouve à environ 60m au Nord. Elle est sub-latitudinale à la structure et limite un bloc de roches calcaires dolomitésées d'âge Aptien inférieur avec les dépôts marno-gréseux de l'Albien.

La faille est suivie sur 1400m par des travaux miniers, recouverte à l'Est et à l'Ouest par les sédiments quaternaires. Des fissures sub-latitudinales et des petites failles à minéralisation secondaire cuprifère et plombo-zincifère sont constatées dans la partie Nord.

Une faille de direction 310° (NW) passe entre Tenoune Kenine et Ain Bougda, soulevant le massif de Tenoune Kenine d'environ 300m.

#### **II. - 4. - 3. - Minéralisations**

Les minéralisations, exploitées au passé, sont oxydées de type calamine jusqu'à la profondeur de 80m (niveau hydrostatique). Au dessous de ce niveau il est observé des reliques de sulfures primaires pyrites (Figs. 18, 19) et sphalérite. Les corps minéralisés sont de type filonien encaissés dans les failles sub-verticales de direction N 80° et en amas du type stratoïde substituant les cargneules Aptiennes, qui sont intercalés par des couches de calcaires bitumineux contenant une pauvre minéralisation disséminée de pyrite et sphalérite.

Les corps minéralisés exploités sont sous forme de lentilles, colonnes et filons de longueur maximale de 120m et épaisseur allant jusqu'à 30m. Les données d'archives mentionnent qu'à la profondeur au dessous de 80m, dans la pyrite du minerai semi oxydé sont révélées des teneurs en Au de 2 à 6g/t. une tendance à l'augmentation des concentrations en profondeur est notée par les exploitants antérieurs.

Les sondages réalisés par l'ORGM en 2002 dans le secteur (S1, S2 et S4) pour vérifier la présence en profondeur des minéralisations polymétalliques, ont recoupé une minéralisation à pyrite marcassite à très peu de sphalérite et galène sur plusieurs niveaux. Du point de vue industriel, elle est insignifiante. Les teneurs maximales en Zn sont de 1,80% et Pb de 0,83%. Elle est localisée dans des calcaires et dolomies cataclasées.

Les minéraux de gangue sont la calcite et la barytine. La minéralisation est en amas, nids et veinules. Les amas sont grenus, clastiques et parfois collomorphes. Rarement, elle est disséminée dans les dolomies, en grains fins.

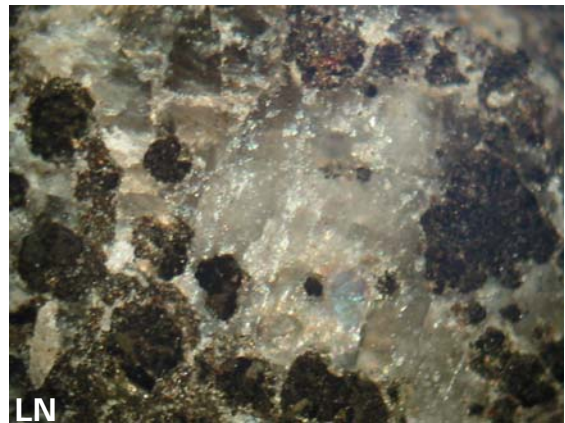
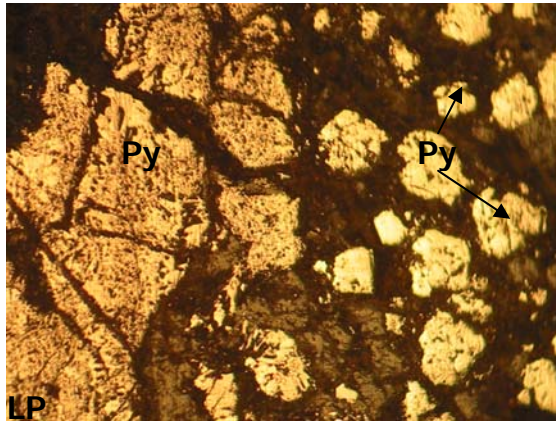


Fig. 18 – Pyrite (Py) en cristaux et disséminée dans les roches carbonatée  
*Section polie LP&N. Gx10 (secteur Ain Bougda).*

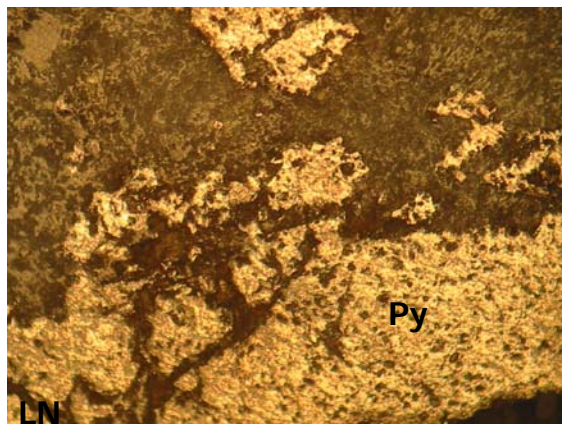
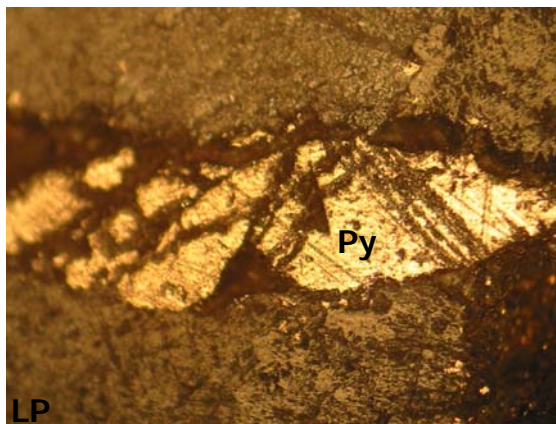


Fig. 19 – Pyrite (Py) en cristaux remplissant les fissures et les filonnets dans  
les roches carbonatée (Ca) ; *Section polie LN. Gx10 (secteur Ain Bougda).*

# Prospection Géochimique

### **III. – METHODOLOGIE DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE ET EVALUATION GEOSTATISTIQUE DES MAILLES DES DIFFERENTS SECTEURS ETUDIES**

---

---

#### **III. - 1. – METHODOLOGIE DE PROSPECTION**

Le choix des secteurs Tarbennt, Djendli, Toumbait et Ain Bougda pour une prospection régionale des polymétaux, vient du fait que ces secteurs sont caractérisés par un certain nombre d'éléments et formations favorables à la présence de minéralisations polymétalliques à Pb, Zn et Cu.

Les principaux métalotects et guides généraux qui argumentent et justifient les travaux de recherche et de prospection dans cette région se résument comme suit :

1. les monts de Batna et l'Aurès font partie de la province métallogénique de l'Atlas saharien oriental au voisinage des Mellègues. Cette province connaît, par sa densité en indices et gisements à proximités des percements du Trias, une grande importance.
2. le développement des structures et roches carbonatées favorables à la circulation des fluides minéralisants et de pièges pour la mise en place de la minéralisation dans des environnements périadipiriques.
3. l'abondance de dépôts hydrothermaux accompagnant les processus métallifères, notamment les phases de calcitisation, de barytisation, silicification et dolomitisation.
4. les traces des anciens travaux miniers pour l'exploitation du minerai polymétallique.

Durant la campagne de prospection géochimique réalisée dans les monts de Batna et des Aurès en 2001 à 2003, l'ORGM a réalisé des travaux géologo-géophysiques et géochimiques dans le but de mettre en évidence les principales anomalies géochimiques.

#### **III. - 1. - 1. - Travaux géologo-géophysiques**

Les travaux topographiques ont servis à établir une base topographique pour les travaux géologiques et géophysiques. Ils englobent le traçage des profils, cheminements, rattachements et nivellements.

La longueur des profils est de 600m à 900m piquetés au pas de 20m. Les travaux géologiques englobent les itinéraires de recherche au 1/10000 et divers échantillonnages : géochimique, saigné, ponctuelles, lames minces, sections polies et micropaléontologie.

Lors de ces itinéraires, il sera donc utile de situer les affleurements de minéralisations et de préciser leurs descriptions. Il a été procédé à leur échantillonnage au marteau et à la détermination de leurs paramètres de surface (longueur, largeur, pendage).

Les méthodes géophysiques utilisées sont: la polarisation provoquée (PP-GM, SEV-PP et la magnétométrie).

Les travaux miniers englobent l'aménagement de piste et plateforme pour les points de sondages à réaliser et le creusement des tranchées.

### **III. - 1. - 2. - Travaux géochimiques de surface**

Un échantillonnage lithogéochimique a été réalisé au 1/10000 selon une maille de 100x20m (Fig. 20, 21, 22, 23, 24 et 25). Le prélèvement a été effectué sur la roche mère affleurante le long des profils à intervalle de 20m par échantillon.

Chaque faciès de roche est échantillonné séparément. L'échantillonnage a été effectué par prises discontinues : dans chaque intervalle de 20m, on prélèvera un bout de roche de 3 à 4cm de diamètre tous les 5m qu'on regroupera en un seul échantillon de 250 à 300g.

Les travaux de laboratoire comprenant les analyses spectrales, chimiques, études de lames minces, sections polies et microfaunes.

L'analyse spectrale d'émission semi-quantitative a concerné les échantillons lithologiques. Chaque échantillon a été analysé en Pb -  $10^{-3}\%$  ; Cu -  $10^{-3}\%$  ; Zn -  $10^{-2}\%$  ; Mn -  $10^{-3}\%$  ; Ag -  $10^{-5}\%$  ; Ba -  $10^{-3}\%$  ; Sr -  $10^{-3}\%$  ; Sb -  $10^{-2}$  ; Sn -  $10^{-2}$  ; Cd -  $10^{-2}$  ; As -  $10^{-2}$  et Mo -  $10^{-4}$ .

#### **- Rappel sur la méthode d'analyse chimique**

Les échantillons prélevés dans les secteurs des travaux sont analysés au laboratoire de l'ORGM à Boumerdes où ils ont été soumis à l'analyse spectrale semi quantitative. Le choix de cette méthodes est justifié par :

- Le stade de recherche minière (préliminaire).
- Les moindres coûts.
- Le grand nombre des échantillons à analyser.

Cette méthode permet d'obtenir les spectres de raie des éléments qui sont excités par une source d'énergie thermique (arc électrique...). Après excitation, chaque élément présent dans l'échantillon émet un spectre de raie caractéristique. Le spectre recueilli sur une plaque photographique est analysé.

L'analyse qualitative se réalise par le repérage des raies de chaque élément. On procède, en comparant le spectre obtenu à partir de l'échantillon avec un spectre de référence (étalon), où sont notées les raies des éléments recherchés.

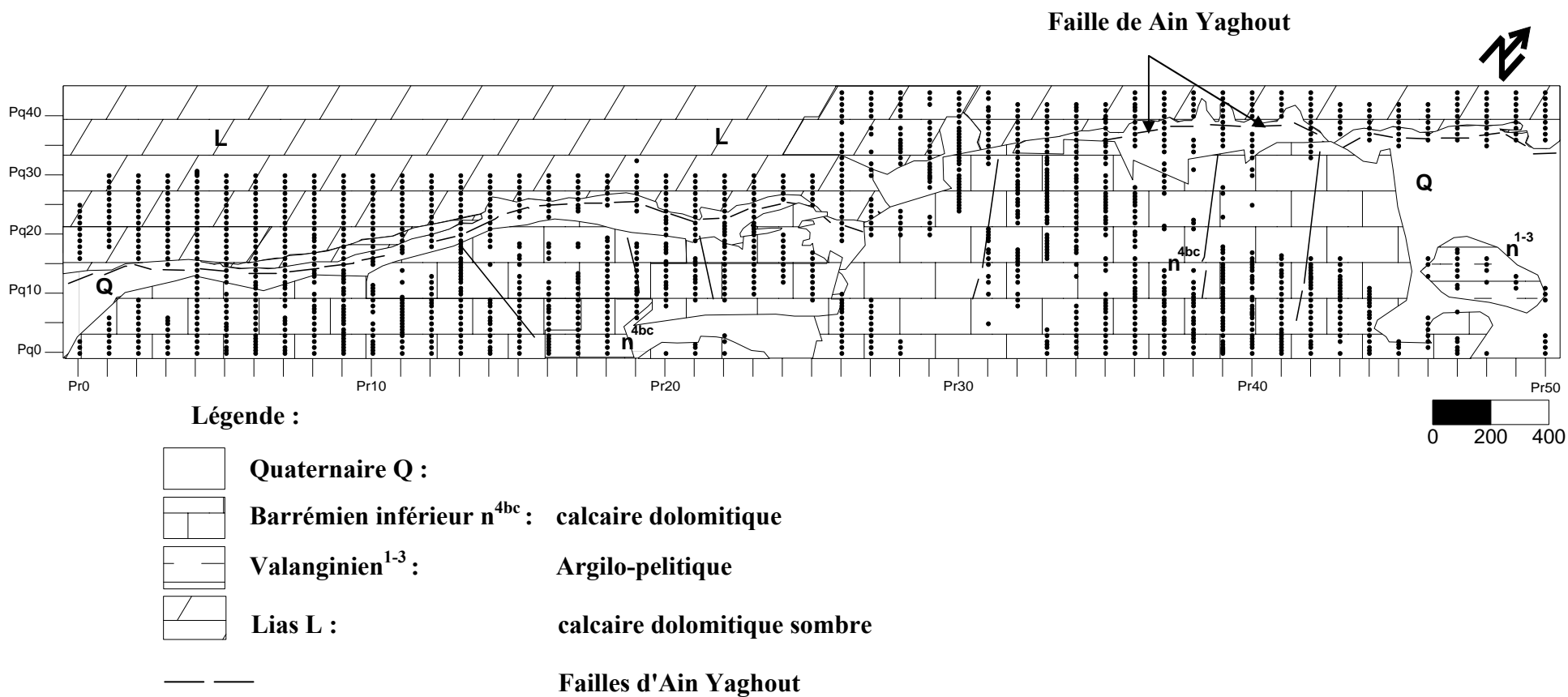


Fig. 20 - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans le sous-secteur Ain Yaghout (Tarbennt, Batna)  
(Maille 100x20m) (Azimute des profils : 320°)

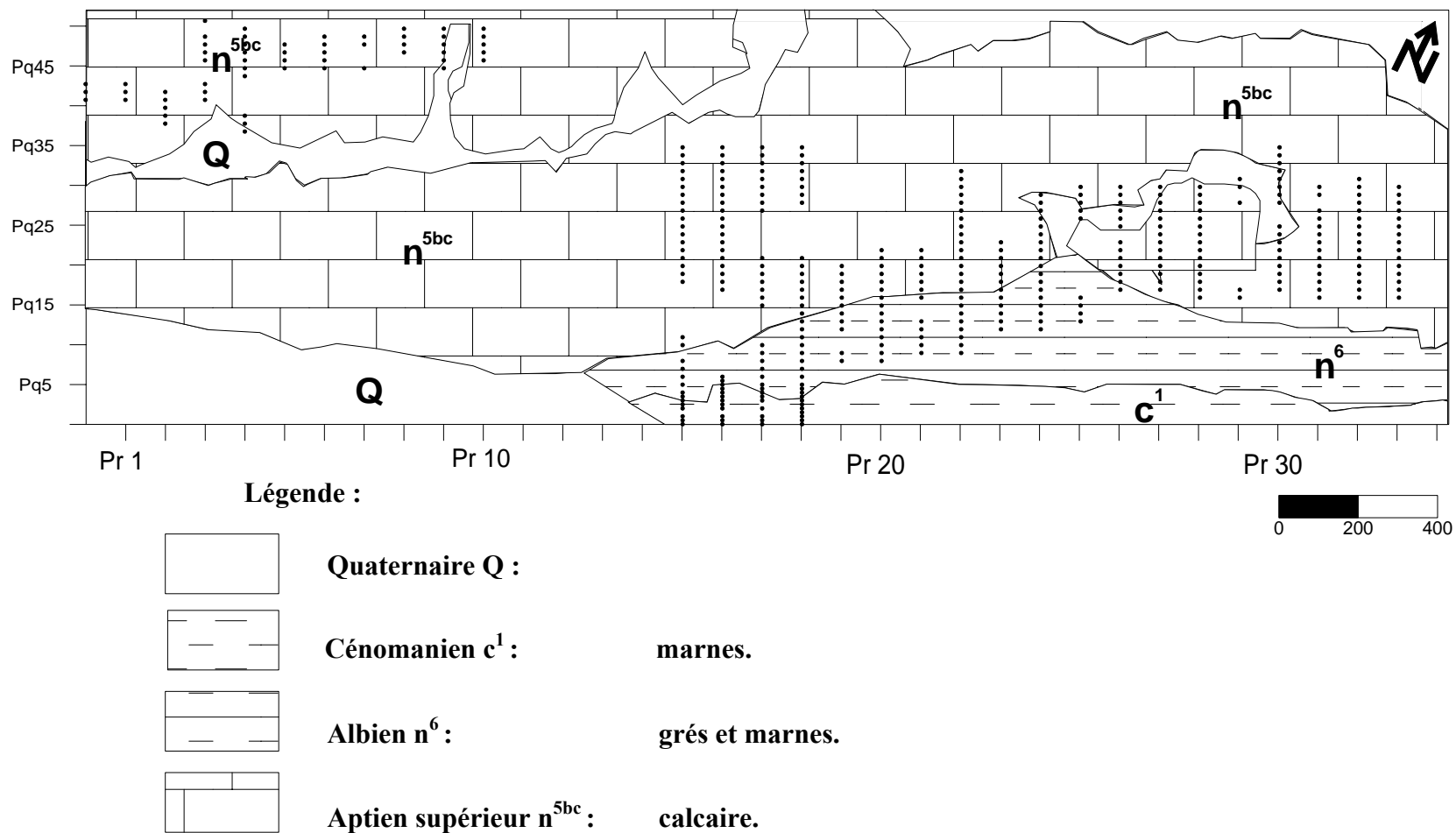


Fig. 21 - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans sous-secteur El Haouia (Tarbennt, Batna)  
(Maille 100x20m) (Azimute des profils : 335°)

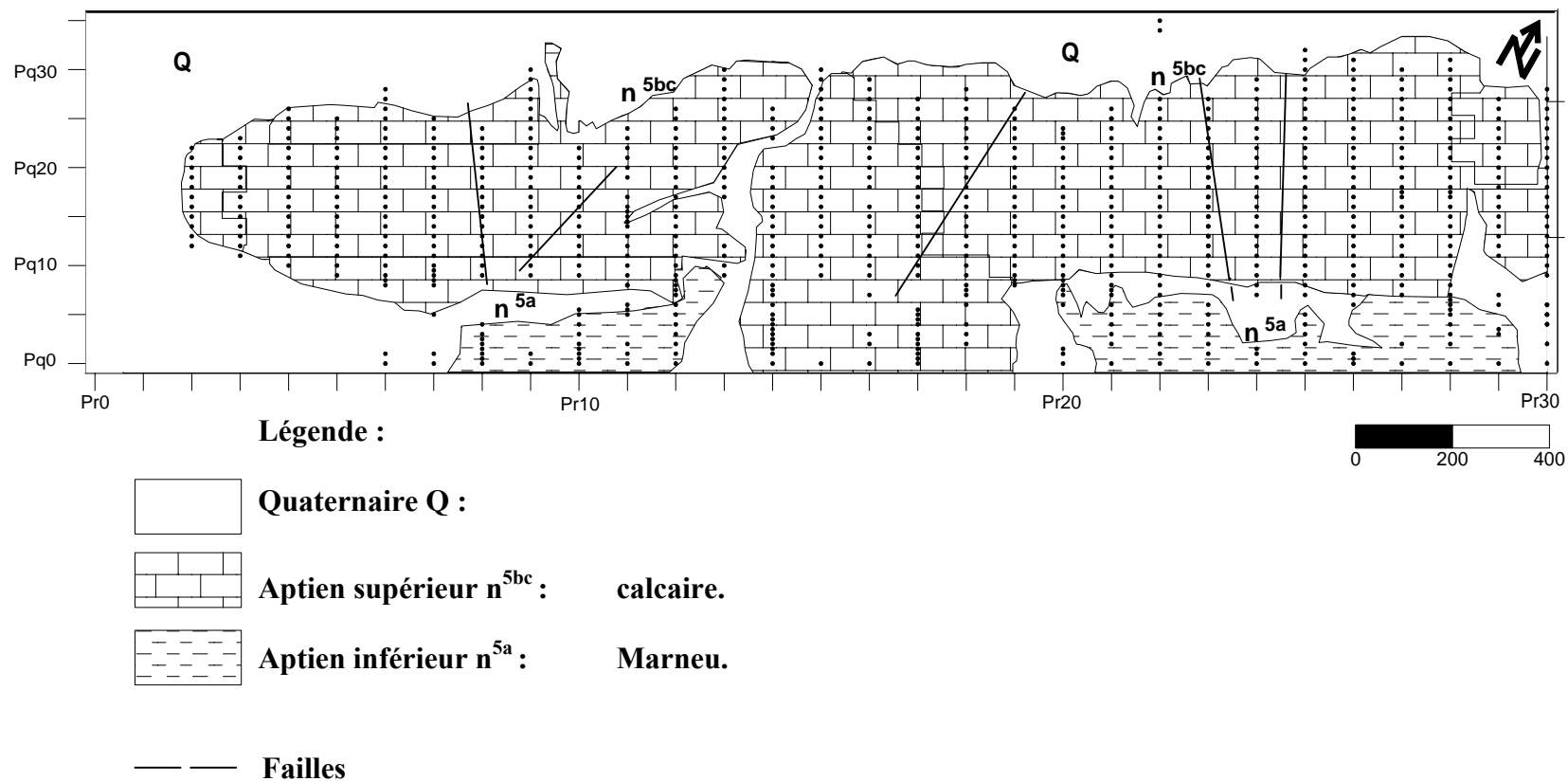


Fig. 22 - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans sous-secteur El Mounchar (Tarbennt, Batna) (Maille 100x20m) (Azimute des profils : 330°)

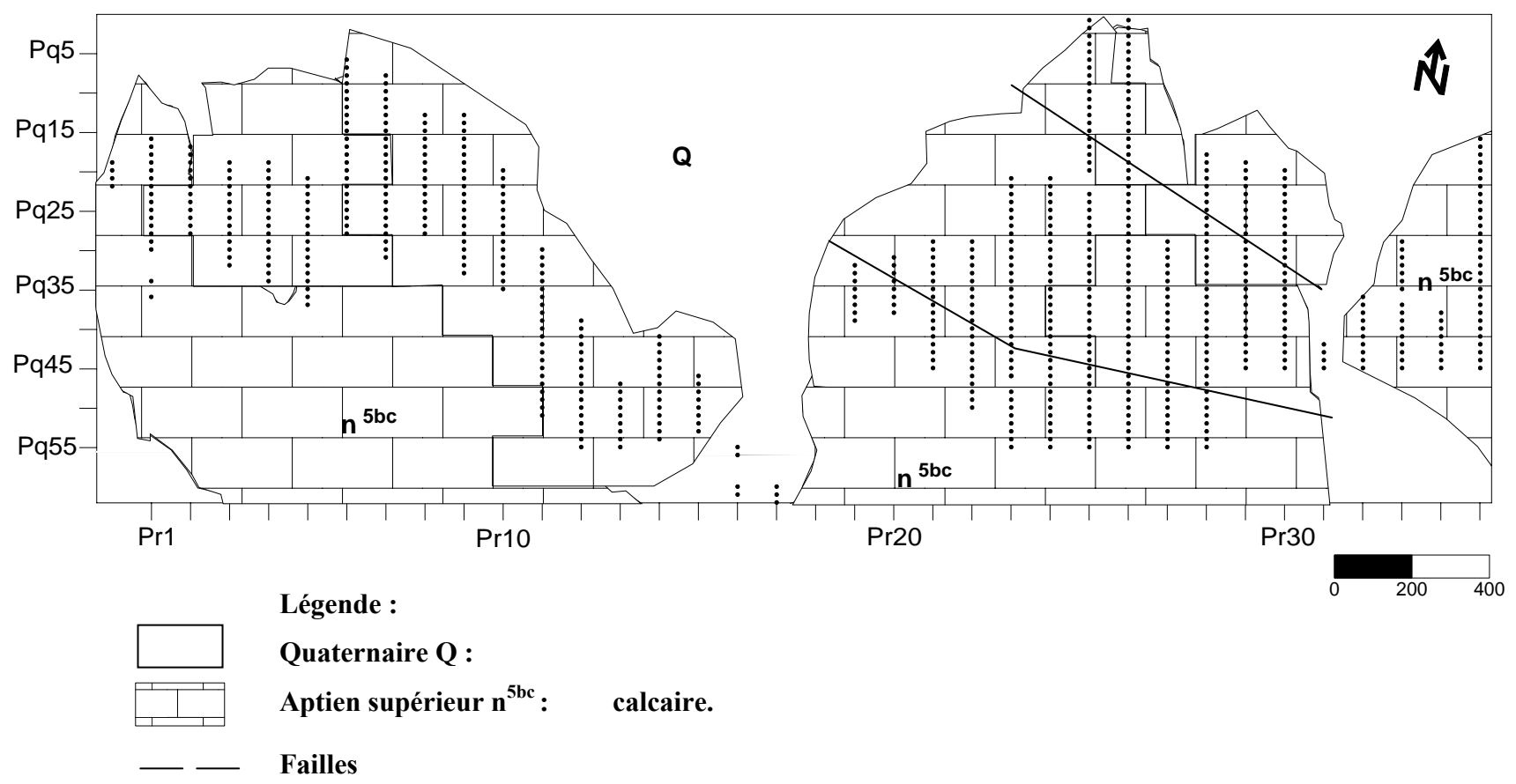


Fig. 23 - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans secteur Djendli (Batna)  
(Maille 100x20m) (Azimute des profils : 350°)

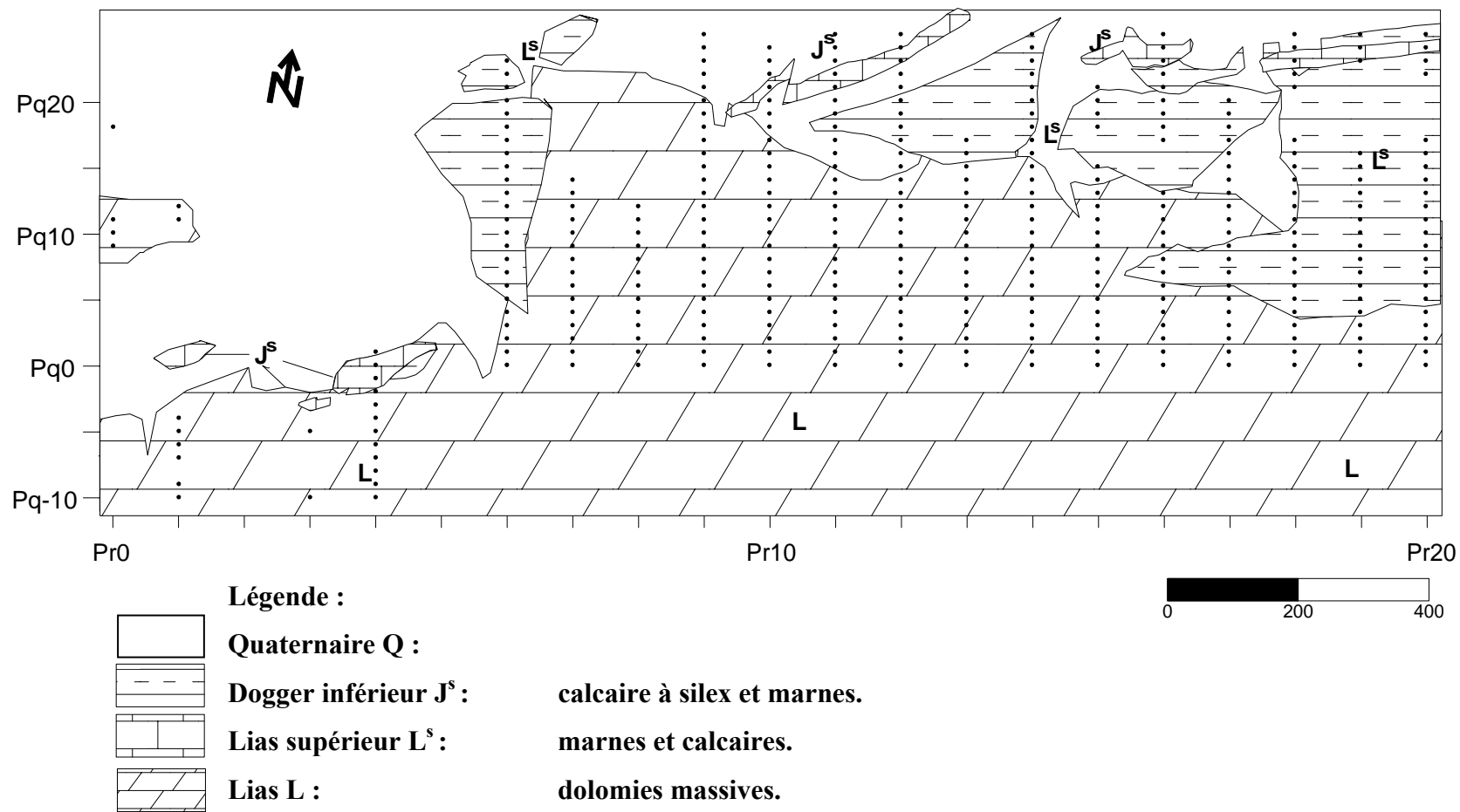


Fig. 24 - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans secteur Toumbait (Batna)  
(Maille 100x20m) (Azimute des profils : 350°)

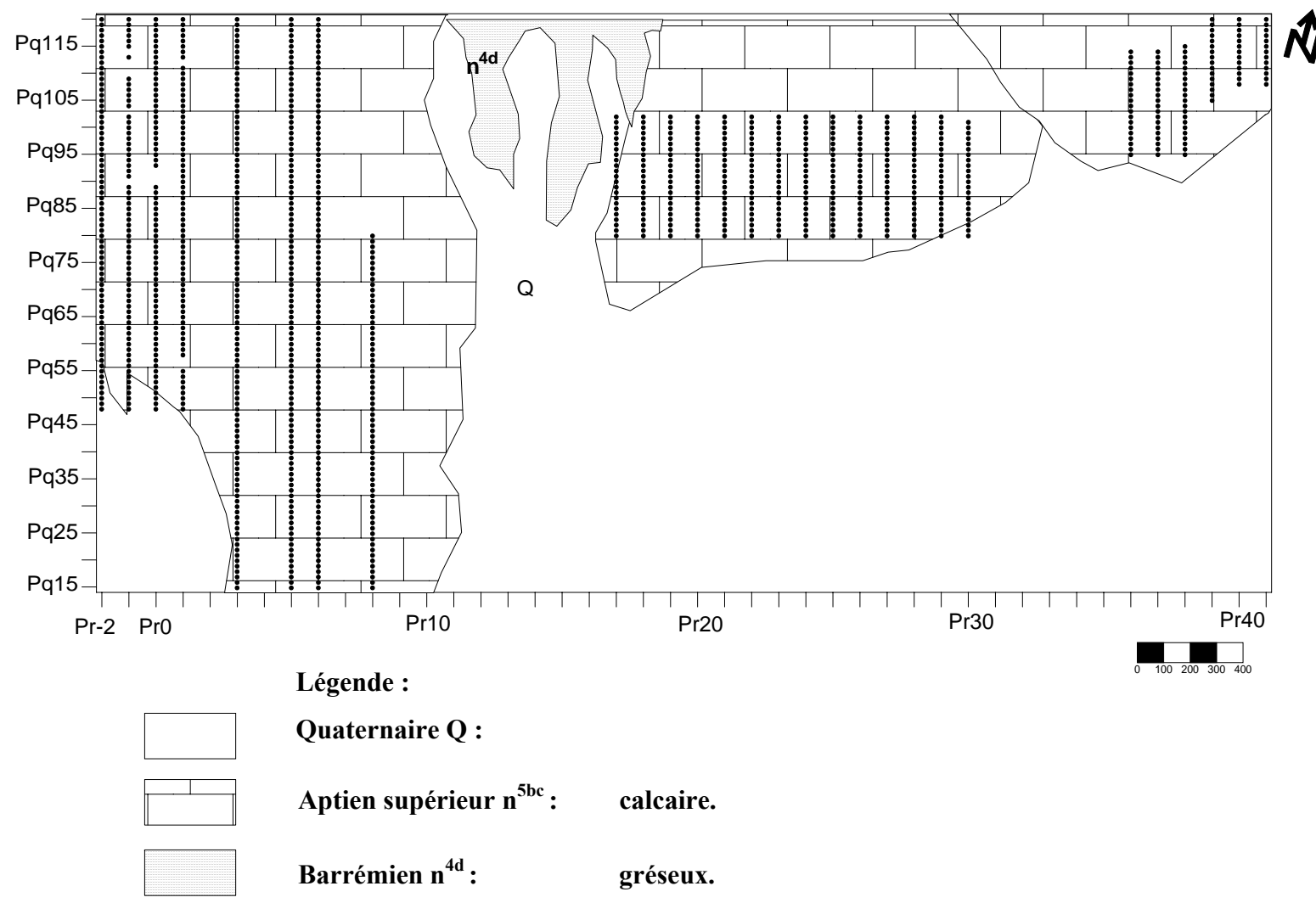


Fig. 25 - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans secteur Ain Bougda (Batna)  
(Maille 100x20m) (Azimute des profils : 246°)

### III. - 2. – METHODES GEOSTATISTIQUES UTILISEES

La géostatistique est connue depuis plus de 40 ans. Elle a commencé dans les mines d'or du Witwatersrand en Afrique du Sud lorsque Daniel Krige proposa une correction statistique à la manière traditionnelle d'estimer la teneur d'un bloc de minerai à partir d'un nombre limité d'échantillons pris au tour du bloc à exploiter. La théorie fut formulée 10 ans plus tard par George Matheron qui introduisit un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs, appelé "**variogramme**" et une méthode d'estimation basée sur le variogramme appelé "**krigeage**".

#### III. - 2. - 1. - Notions de la géostatistique

Matheron (1971), définit la géostatistique de la façon suivante : "**la géostatistique est l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et à l'estimation des phénomènes naturels**".

Une fonction aléatoire (F.A)  $Z(x)$  est un ensemble de variable aléatoire  $Z(x_i)$ , définie en chaque point  $x_i$  du gisement  $G$ :

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

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

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

Le choix constitutif de la géostatistique minière consiste à interpréter chaque valeur de la variable régionalisée  $z(x)$  comme une réalisation particulière d'une variable aléatoire  $Z(x_i)$  implanté au point  $x_i$ , donc plusieurs réalisations sont possibles. C'est la **géostatistique intrinsèque** (Chauvet, 1999).

#### III. - 2. - 2. - Variogramme

##### III. - 2. - 2. - 1. - Définition du variogramme univarié

Soit deux variables aléatoires,  $z(x)$  et  $z(x+h)$  mesurées en 2 points " $x$ " et " $x+h$ " (Fig. 24), la variabilité entre ces deux points se caractérise par une fonction notée  $2\gamma(x,h)$  appelée **variogramme** (Journel et Huijbregts, 1978).

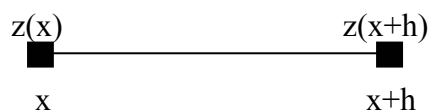


Fig. 26 - Représentation schématique des points de mesure de la variable

Le variogramme théorique est défini comme étant l'espérance quadratique de la variable aléatoire  $[z(x)-z(x+h)]$  (Marcotte, 1997) soit:

$$E\{[z(x) - z(x+h)]^2\} = 2\gamma(x,h)$$

En général, le variogramme  $\gamma(x,h)$  (ou semi-variogramme) est une fonction à la fois du point  $x$  et du vecteur  $h$ . mais l'estimation de ce variogramme nécessite plusieurs réalisations, or en pratique on ne dispose que d'une seule réalisation, soit le couple  $[z(x), z(x+h)]$  de mesure effectuées aux points  $x$  et  $x+h$ , d'où l'introduction de l'**hypothèse intrinsèque**: le variogramme ne dépend que du vecteur  $h$  en module et en direction et non du point  $x$ . En admettant cette hypothèse, le variogramme sera estimé par la formule :

$$2\gamma(h, \theta) = \frac{1}{N(h, \theta)} \sum_{i=1}^{N(h, \theta)} [z_i(x) - z_i(x+h)]^2$$

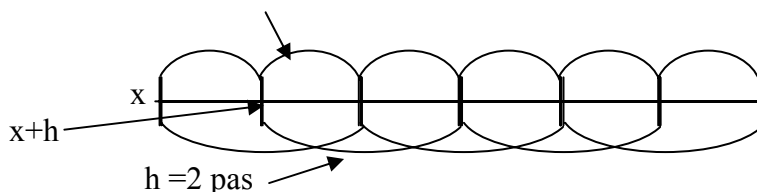


Fig. 27 - Méthode de calcul du variogramme expérimental

Où  $N(h, \theta)$  est le nombre de couples  $[z(x), z(x+h)]$  séparé par une distance  $h$  suivant une direction  $\theta$ . Les résultats obtenus peuvent être représentés sous forme graphique (fig. 28).

- **Propriétés du variogramme directionnel**

On fixe une direction  $\theta$ , en partant de l'origine, en général le variogramme croît avec le module du vecteur  $h$ . Cette croissance caractérise le degré de continuité de la variable étudiée (Fig. 28).

Généralement, la stabilisation du variogramme est marquée au delà d'une certaine valeur de  $h$  notée est appelée **portée** du variogramme. Ce dernier reste inchangé au-delà de  $h = a$  et ne dépend plus de l'interdistance entre les valeurs : les mesures ne sont plus corrélées. La portée "a" donne alors un sens à la notion de **zone d'influence** d'un échantillon ou d'un sondage. Cette portée n'est pas forcément la même dans toutes les directions de l'espace. Elle permet donc de détecter une éventuelle **anisotropie** ou **isotropie** dans la structure de la minéralisation. Dans la pratique (expérimental) quand  $h=0$ ,  $\gamma(h)=C_0$  appelée **effet de pépité**.

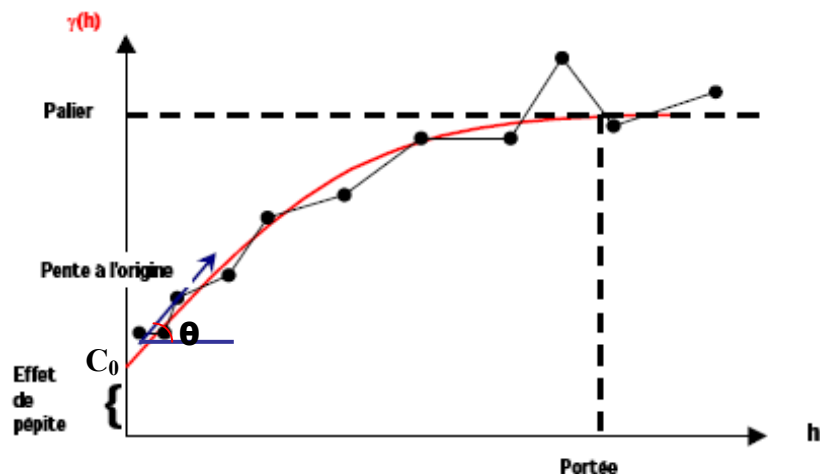


Fig. 28 - Graphe d'un variogramme expérimental et son model d'ajustement

Le variogramme croît jusqu'à une certaine limite appelée **palier** puis s'aplatit, mais il peut également croître indéfiniment (effet de dérive).

### III. - 2. - 2. - 2. - Principaux schémas théoriques et ajustement des variogrammes

Une fois le variogramme expérimental est calculé, il faut alors déterminer un modèle mathématique qui lui correspond et qui doit être opérationnel et simple à l'emploi : C'est l'ajustement du variogramme expérimental. Les schémas théoriques d'usage courant sont classés en schémas à palier, schémas sans palier et schémas à effet de trous.

- **Schéma à palier**, présente:

- Un comportement linéaire à l'origine:

- Schéma sphérique:  $\gamma(h) = \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \dots \dots \dots \forall h \in [0, a]$   
 $\gamma(h) = 1 \dots \text{pour} \dots h \geq a$

- Schéma exponentiel:  $\gamma(h) = 1 - e^{-h/a} \dots \forall h \geq 0$

- Un comportement parabolique à l'origine:

- Schéma gaussien:  $\gamma(h) = 1 - e^{-h^2/a}$

- **Schéma sans palier**:

- Schéma en puissance :  $\gamma(h) = h^\lambda \dots \forall h > 0, \dots 0 < \lambda < 2$

- Schéma logarithmique :  $\gamma(h) = a \cdot \log(h) \dots \forall h > 0, \dots a = \text{cans tant} > 0$

- **Schéma à effet de trou**:  $\gamma(h) = 1 - \frac{\sin(h)}{h} \dots \dots \dots \forall h > 0$

$$\gamma(h) = \frac{h^2}{6} \dots \dots \dots h \rightarrow \infty$$

### III. - 2. - 2. - 3. - Variogramme multi-bivarié

Le variogramme de surface permet l'identification d'un comportement anisotrope de la variable étudiée. C'est-à-dire lorsque la structure spatiale change non seulement en fonction de la distance mais également de la direction. La différence avec un variogramme univarié est la distinction entre les composantes x et y du vecteur  $\vec{h}_{kl}$  (Fig. 29). Cette distinction permet justement d'identifier la direction de la variation :  $\mathbf{h}_{kl} = (\mathbf{hx}_{kl}; \mathbf{hy}_{kl})$

$$|\mathbf{h}_{kl}| = (\mathbf{hx}_{kl}^2 + \mathbf{hy}_{kl}^2)^{0.5}$$

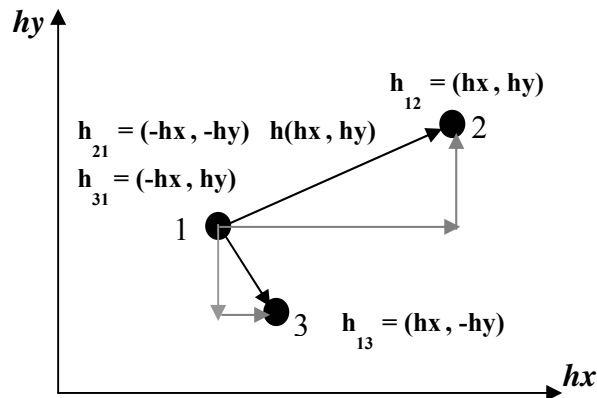


Fig. 29 - La représentation des composantes du vecteur  $\mathbf{h}_{kl}$

On peut aussi déduire de cette représentation que la surface résultante est symétrique.

Les distances maximales empiriquement choisies pour l'évaluation de l'autocorrélation sont :

$$|hx \max| = \frac{1}{2} \Delta X \max ; |hy \max| = \frac{1}{2} \Delta Y \max$$

La représentation de la surface nécessite la segmentation de l'espace dans chacune des composantes hx et hy en un nombre d'intervalles donnés. Le pas de chaque intervalle est donné par lag spacing et le nombre d'intervalles par nombres de lags (pas).

$$hx \max = [nb. lags.x] \times lag \ spacing.x ; hy \max = [nb. lags.y] \times lag \ spacing.y$$

[nb. lags.x]: Nombres de pas.

lag spacing.x: La distance entre les pas.

Le résultat est la variation  $\gamma(\mathbf{h})$  dans un diagramme bivarié, et dont les limites sont  $[-hx \max : +hx \max ; -hy \max : +hy \max]$ .

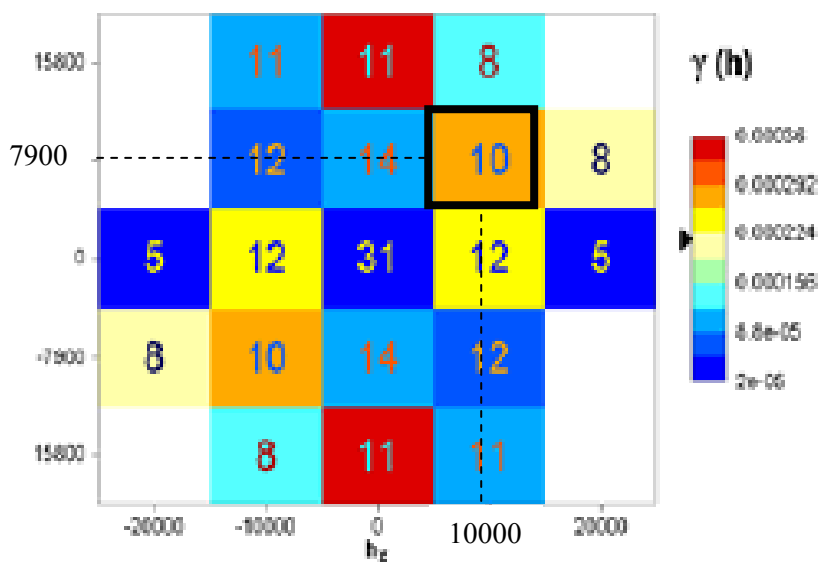


Fig. 30 - Exemple de variogramme de surface (Elena Andray, 2005)

Chacune des cases contient un nombre de paires, séparées par une distance  $|\mathbf{h}|$ . Par exemple la case (7900 ; 10000) (Fig. 30) contient 10 paires de points dont l'écartement peut varier entre  $(7900 \pm 7900/2; 10000 \pm 10000/2) = (3950; 11850; 5000; 15000)$ .

Le choix du lag spacing doit être relatif à la distance qui sépare les stations. Si l'intervalle est trop grand alors la présence d'un trop grand nombre de paires par intervalle bivarié provoque un lissage de  $\gamma(\mathbf{h})$  (Fig. 31 A), plus aucune tendance ne peut donc s'observer. Si au contraire le pas est trop petit (Fig. 31 B), les cases ne peuvent plus contenir de paires. La surface n'a plus de sens dans ce cas non plus.

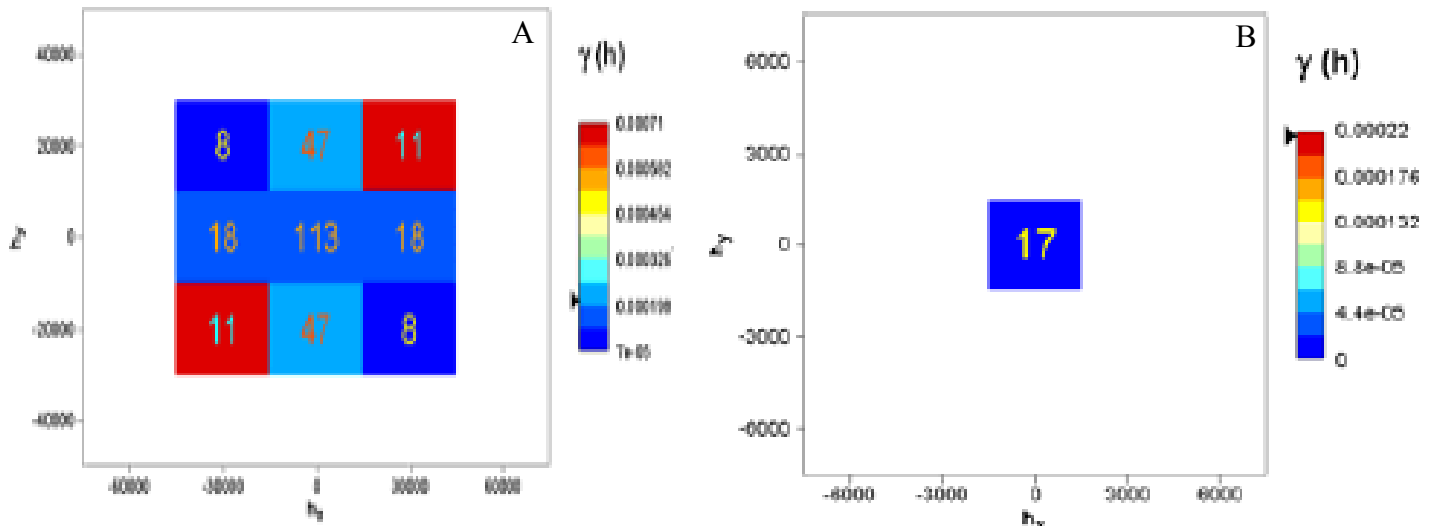


Fig. 31 - Illustration d'un mauvais choix du lag spacing

Aussi, dans le choix de la largeur du pas "lag spacing", on essaie d'obtenir une répartition la plus homogène possible du nombre de paires de valeurs. Le choix de cet intervalle est très important puisque l'observation d'une anisotropie peut être relative au choix du pas d'intervalle.

### III. - 2. - 3. - La variance d'estimation

Si  $Z$  est la valeur "vraie" inconnue que l'on cherche à estimer par  $Z^*$ , l'erreur commise est  $(Z - Z^*)$ . Les valeurs  $Z$ ,  $Z^*$ ,  $Z - Z^*$  sont prise comme des réalisations particulières de V.A (variable aléatoire) ou F.A (fonction aléatoire)  $Z$ ,  $Z^*$ ,  $Z - Z^*$ .

L'erreur aléatoire  $Z - Z^*$  est alors caractérisée par ses deux premiers moments.

- Moyenne  $b = E(Z - Z^*)$
- Variance d'estimation  $\sigma^2_E = E(Z - Z^*)^2 - b^2$

Si  $b = 0$ , on dit que l'estimateur  $Z^*$  est sans biais, si non l'estimateur est biaisé.

Le formalisme géostatistique permet de déduire la variance d'estimation élémentaire d'une teneur moyenne  $Z_V$  par une autre teneur moyenne  $Z_v$  (Fig. 32) est:

$$\sigma^2_{E(V,v)} = 2\bar{\gamma}(V,v) - \bar{\gamma}(V,V) - \bar{\gamma}(v,v)$$

Avec :  $\bar{\gamma}(V,v)$  : La valeur moyenne du variogramme entre un point appartenant au domaine  $V$  et un autre au domaine  $v$ ;

$\bar{\gamma}(V,V)$ : La valeur moyenne du variogramme entre deux points appartenants au même domaine  $V$ ;

$\bar{\gamma}(v, v)$  : La valeur moyenne du variogramme entre deux points appartenants au même domaine  $v$ .

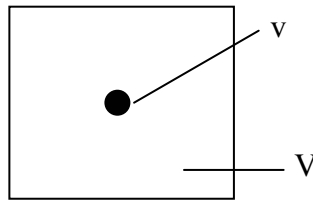


Fig. 32 - Estimation élémentaire d'une teneur moyenne  $Z_v$  par une autre teneur moyenne  $Z_v$

La qualité d'une estimation de  $V$  par  $v$  dépend alors:

- de la géométrie du domaine à estimer : terme  $\bar{\gamma}(V, V)$  ; dans notre cas, il peut s'agir de la maille de prospection.
- de la distance entre l'estimé et l'estimant : terme  $\bar{\gamma}(V, v)$  ;
- de la géométrie interne de l'estimant : terme  $\bar{\gamma}(v, v)$  ;
- du degré de régularité du phénomène étudié : utilisation de la caractéristique structurale  $\gamma$ .

Par exemple si l'on dispose de  $N$  informations  $v_i$  de teneurs moyennes  $z(x_i)$  (Fig. 33),  $\lambda_i$  étant le pondérateur associé à l'information  $v_i$ . L'estimateur est:

$$z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

La variance d'estimation s'écrit alors :  $\sigma^2_{E(V,v)} = 2 \sum_i \lambda_i \bar{\gamma}(V, v_i) - \bar{\gamma}(V, V) - \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \bar{\gamma}(v_i, v_j)$

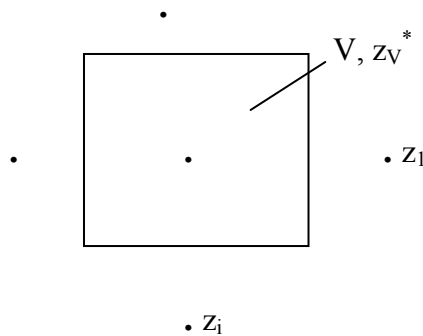


Fig. 33 - Estimation d'une variance  $\sigma^2$  par un nombre d'informations

Rappelons que le calcul des pondérateurs  $\lambda_i$  peut être fait à l'aide de plusieurs méthodes parmi lesquels : **le Krigeage**.

Le choix de la maille de prospection dépend de la variance d'estimation est donc du degré de continuité.

### III. - 3. – VARIOGRAPHIE ET EVALUATION DES MAILLES

Il est admis, d'une façon générale, que la dimension d'une maille dépend de la structure de la variabilité dans les différentes directions d'où la nécessité de procéder à une étude géostatistique.

L'étude géostatistique a concerné les deux secteurs: Tarbennt et Toumbait. Dans le premier secteur deux sous-secteurs ont été étudiés : Ain Yaghout et El Mounchar. Dans ces secteurs, deux types de variogrammes expérimentaux ont été calculés : variogramme de surface et variogramme directionnel.

Les variogrammes de surface, directionnels et omnidirectionnels ont été calculés à partir des données géochimiques de Cu et Pb dans le secteur de Toumbait et les sous-secteurs de Ain Yaghout et El Mounchar.

#### III. - 3. - 1. - Variographie et évaluation des mailles de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout

##### III. - 3. - 1. - 1. - La prospection pour Cu

Le variogramme de surface de Cu dans le sous-secteur Ain Yaghout, montre une anisotropie directionnelle. L'orientation de la direction principale d'anisotropie décrivant la continuité maximale de la variable est orientée Nord-Est (Fig. 34).

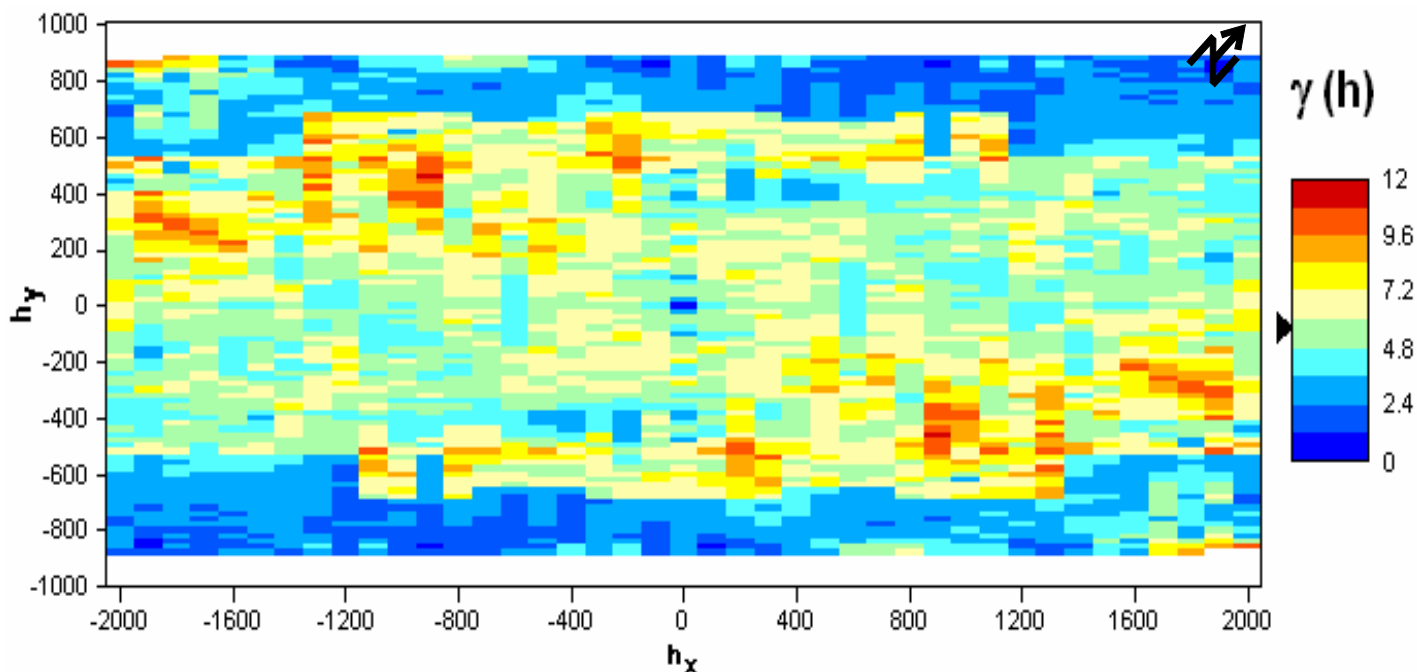


Fig. 34 - Variogramme de surface de Cu dans le sous-secteur Ain Yaghout

En se basant sur le variogramme de surface, les variogrammes omni- et directionnels ont été calculés (Fig. 35) dans les différentes directions: 0°, 20°, 90° et 110°. Tous ces variogrammes ont été ajustés à l'aide des modèles sphériques (Tableau 1). Les variogrammes directionnels ont permis de préciser que la direction trigonométrique du grand axe est de 20° (Azimute: 30°) (Fig. 36). Les paliers dans cette dernière direction et celle perpendiculaire sont identiques  $1.1 \cdot (10^{-3}\%)^2$ .

Tableau. 1 – Paramètres du model de variogramme théorique de Cu dans le sous-secteur Ain Yaghout

Direction	Model	Effet de pépité	Palier	Portée (m)	$C_0/C$
Omni-	Sphérique	2.1	2	330	1.05
0°	Sphérique	2.3	1.7	407	1.88
20°	Sphérique	2.78	1.1	455	2.55
90°	Sphérique	2.3	1.3	413	1.76
110°	Sphérique	3	1.1	374	2.72

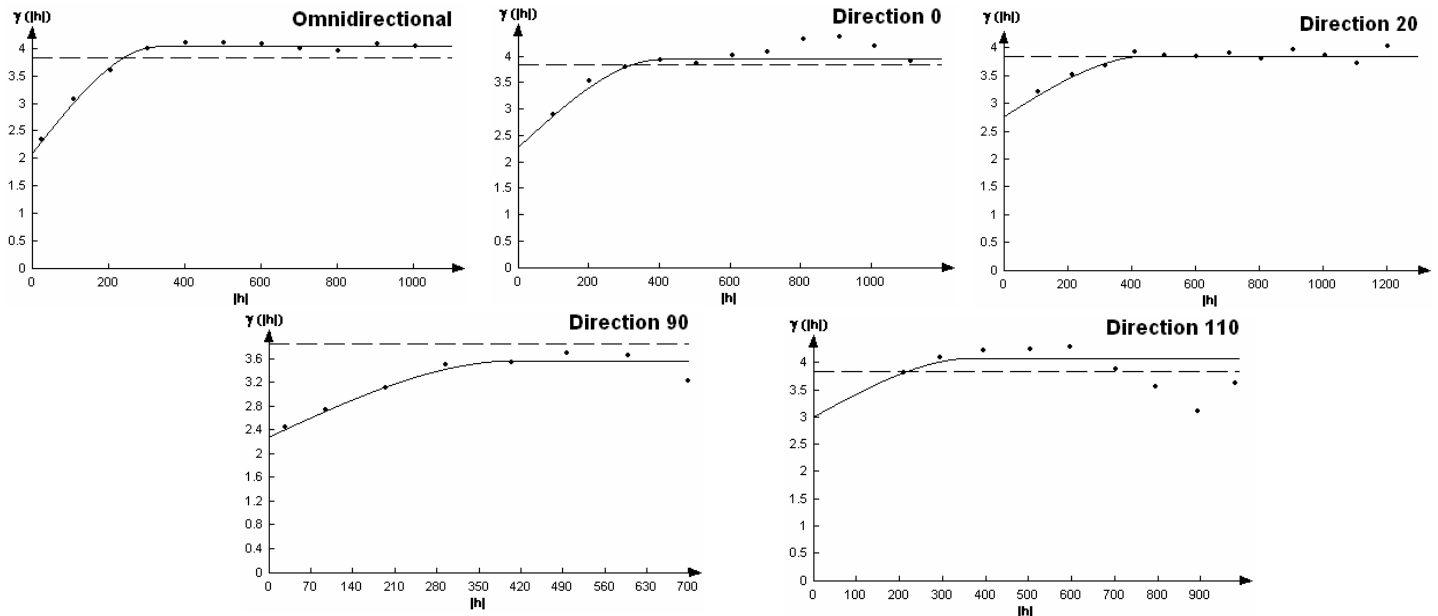


Fig. 35 - Variogramme omni- directionnel de Cu dans le sous-secteur Ain Yaghout

L'effet de pépité est de  $2.1 (10^{-3}\%)^2$ , les portées sont différentes dans le sous-secteur d'Ain Yaghout. Cependant l'effet de pépité est très fort par rapport au palier (tableau. 1) – Le signale géochimique est très faible par rapport au « bruit de font » - Ceci est dû à la méthode analytique de spectrométrie d'émission semi quantitative – méthode très peu précise puisqu'elle est semi-quantitative.

Cette étude variographique montre que :

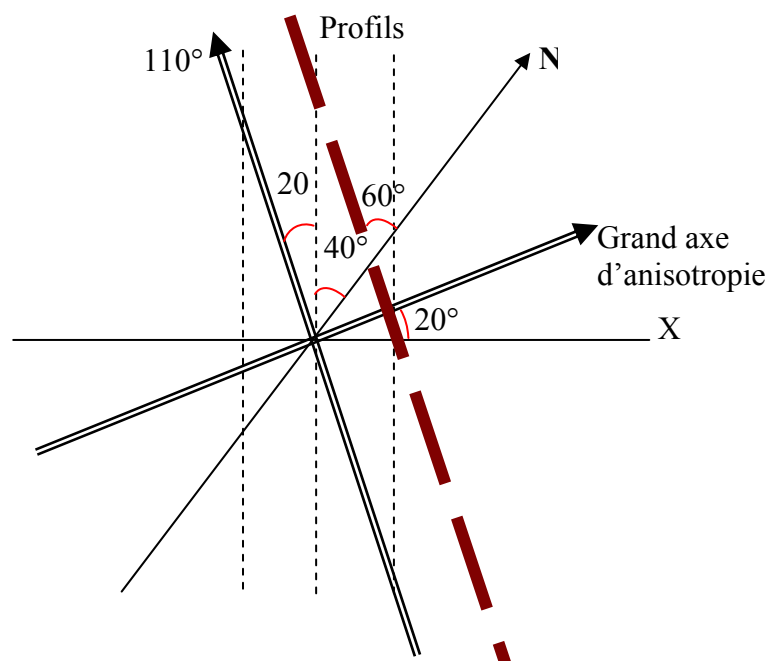
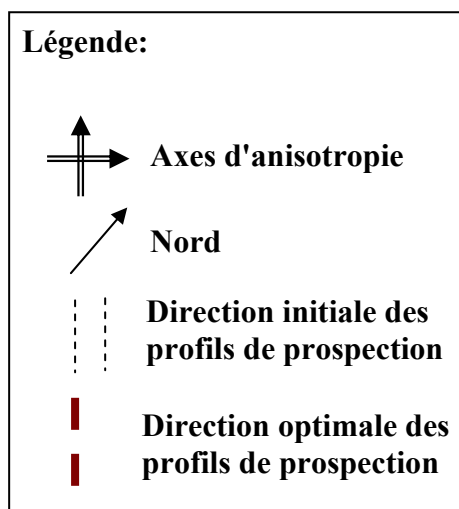


Fig. 36 – Position des axes d'anisotropie (20° et 110°) et des profils de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout.

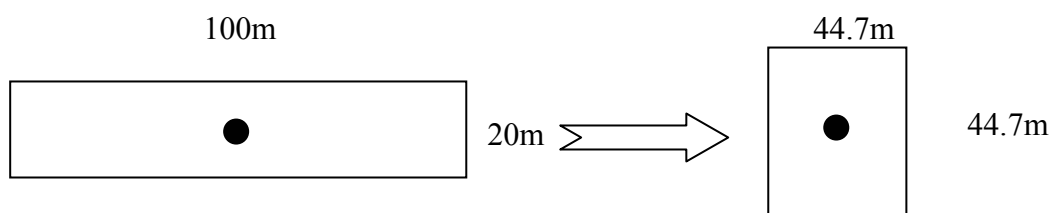
1. Les profils de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout doivent être orientés perpendiculaire à la direction du grand axe d'anisotropie – c'est-à-dire avec un azimute de 300° (Fig. 36), au lieu d'un azimute de 320° choisie précédemment.
2. Afin d'apprécier la maille de prospection, la variance d'estimation ( $\sigma_{est}^2$ ) a été calculée pour la maille qui a été utilisée par l'ORGM (100mx20m), par la formule :

$$\sigma_{est}^2 = \sigma_{th}^2 C.$$

Où C : palier du variogramme moyen.

$\sigma_{th}^2$  : la variance théorique déterminée à l'aide d'une abaque (Fig. 37). Si on admet une maille carré centré dont le coté est égale à  $L = \sqrt{100 * 20} = 44.7m$

dont  $L/a = 44.7/330 = 0.13$ .



Maille de prospection 100mx20m

La projection de la valeur 0.13 sur l'abaque n°7,  $\sigma_{th}^2$   $\frac{44.7}{\square}$  serait égale à  $0.05 * (10^{-3}\%)^2$ .

Le palier C =  $2 (10^{-3}\%)^2$

$$\sigma_{est\ réelle}^2 = 0.05 * 2(10^{-3}\%)^2 = 0.1 * (10^{-3}\%)^2$$

Erreur relative est calculée par la formule suivante :

$$E_r R = (tc * \sqrt{\sigma_{est}^2} / T_{moy}) * 100$$

Où tc : est l'inverse de Gauss pour un niveau de confiance donné.

Pour un niveau de confiance 95% tc = 2.

T<sub>moy</sub> : teneur moyenne

$$E_r R = 2 * \sqrt{0.1} / 2.16 * 100 = 29.28\%$$

3. Les portées renseignant sur la corrélation spatiale (zone d'influence) de Cu du sous-secteur Ain Yaghout et qui dépassent les 300m. En outre l'erreur relative est petite, ce qui permet de conclure que la maille de prospection (100mx20m) réalisé par l'ORGM est suffisante.
4. L'effet de pépité très fort dans les différents variogrammes est dû principalement aux erreurs analytiques (analyse spectrale semi-quantitative). Ce qui incite à suggérer une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique).

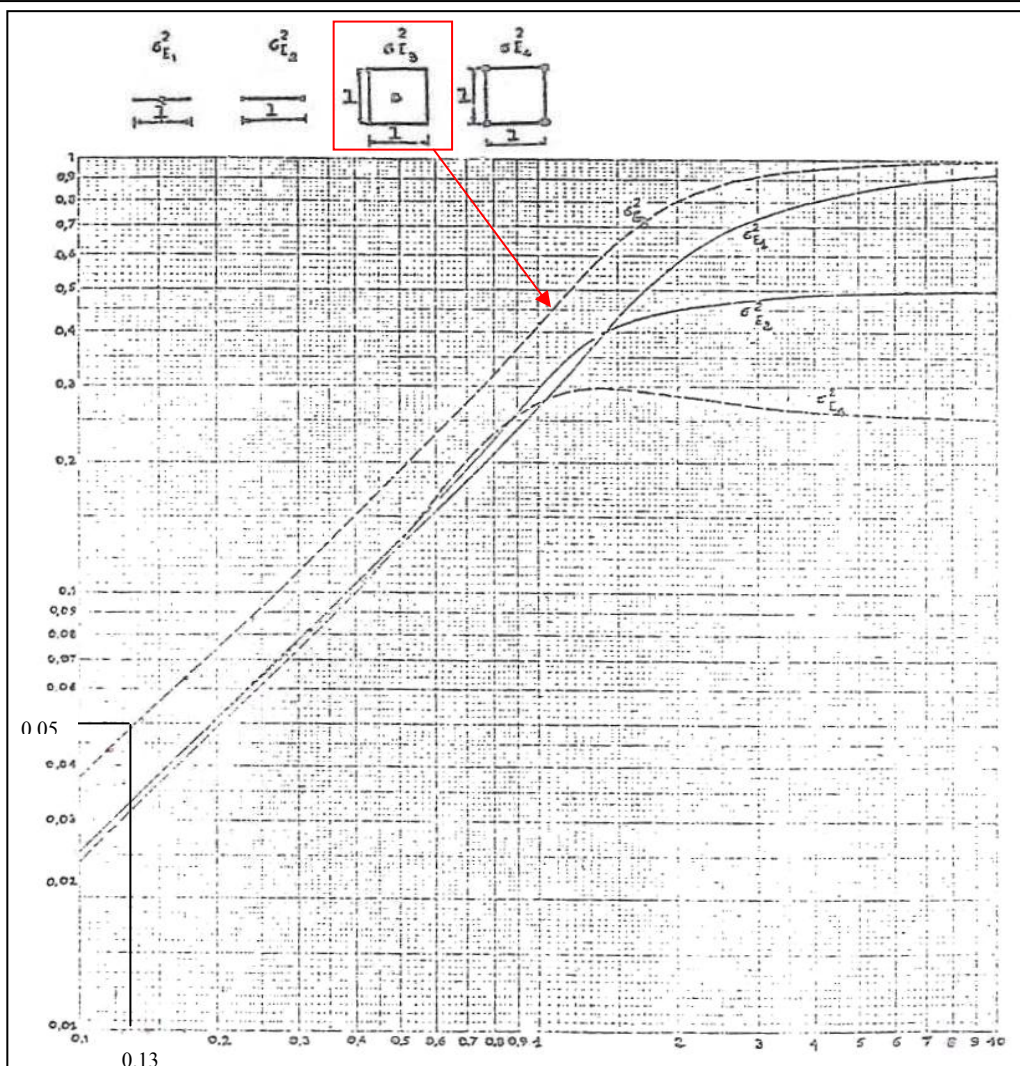


Fig. 37 – Abaque N° 7 : variance d'extension diverses, schéma sphérique (Journal A. G. & Huijbregts, 1978)

### III. - 3. - 1. - 2. - La prospection pour Pb

Le variogramme de surface de Pb dans le sous-secteur Ain Yaghout, montre une anisotropie directionnelle. L'orientation de la direction principale d'anisotropie décrivant la continuité maximale de la variable est orientée NE-SW (Fig. 38).

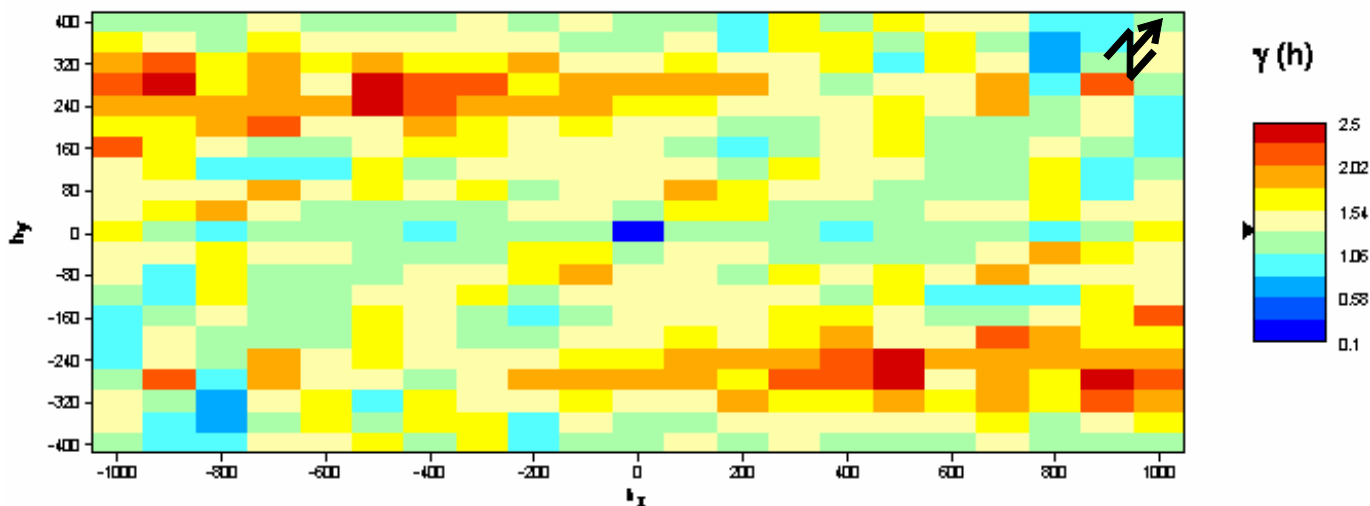


Fig. 38 - Variogramme de surface de Pb dans le sous-secteur Ain Yaghout

En se basant sur le variogramme de surface, les variogrammes omni- et directionnels ont été calculés (Fig. 39) dans des différentes directions: 0°, 35°, 90° et 125°. Tous ces variogrammes ont été ajustés à l'aide des modèles sphériques (Tableau. 2). Les variogrammes directionnels ont permis de préciser que la direction trigonométrique du grand axe est de 35° (Azimute: 15°) (Fig. 40).

Tableau. 2 – Paramètres du model de variogramme théorique dans le sous-secteur Ain Yaghout

<i>Direction</i>	<i>Model</i>	<i>Effet de pépité</i>	<i>Palier</i>	<i>Portée (m)</i>	$C_0/C$
Omni-	Sphérique	0.92	0.5	360	1.84
0°	Sphérique	0.78	0.53	385	1.47
35°	Sphérique	0.63	0.92	755	0.68
90°	Sphérique	0.75	0.7	90	1.07
125°	Sphérique	0.68	0.73	330	0.93

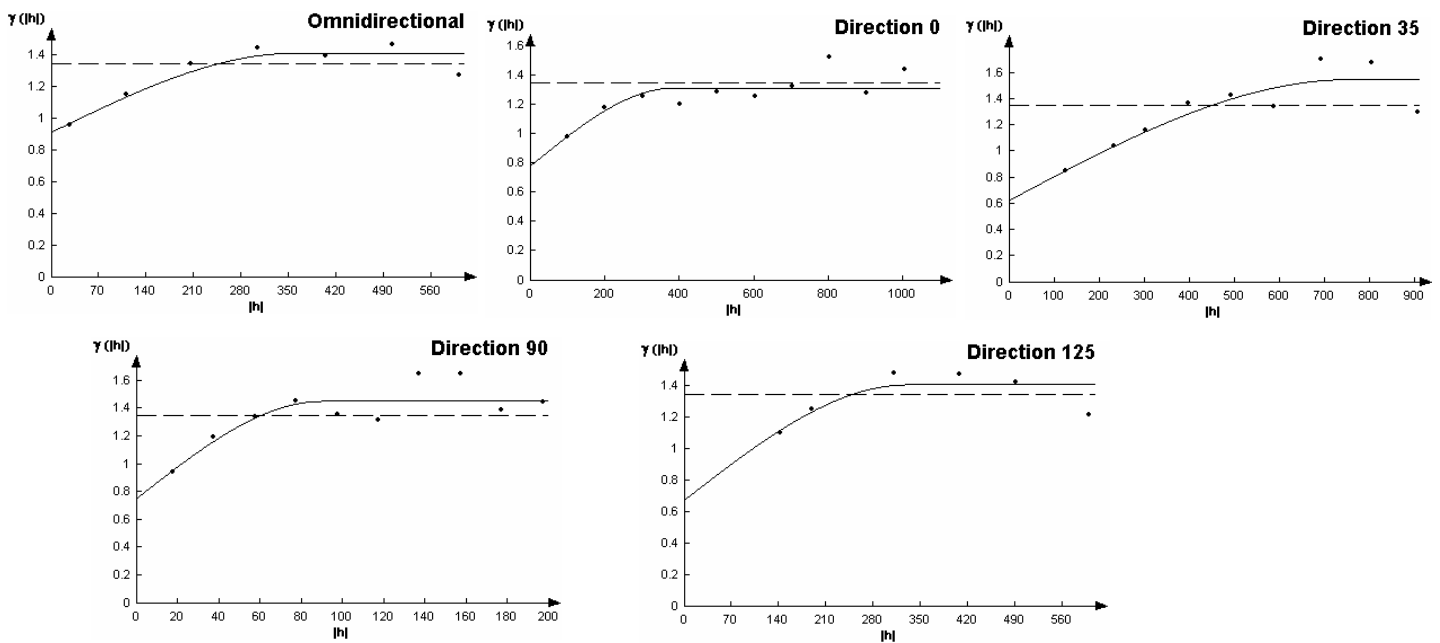


Fig. 39 - Variogramme omni- et directionnel de Pb dans le secteur Ain Yaghout

Les portées sont différentes dans le sous-secteur d'Ain Yaghout. Cependant l'effet de pépité est grand par rapport au palier (tableau. 2) – Le signal géochimique est très faible par rapport au « bruit de fond » - Ceci est dû à la méthode analytique de spectrométrie d'émission semi quantitative – méthode très peu précise puisqu'elle est semi-quantitative.

Cette étude variographique montre que :

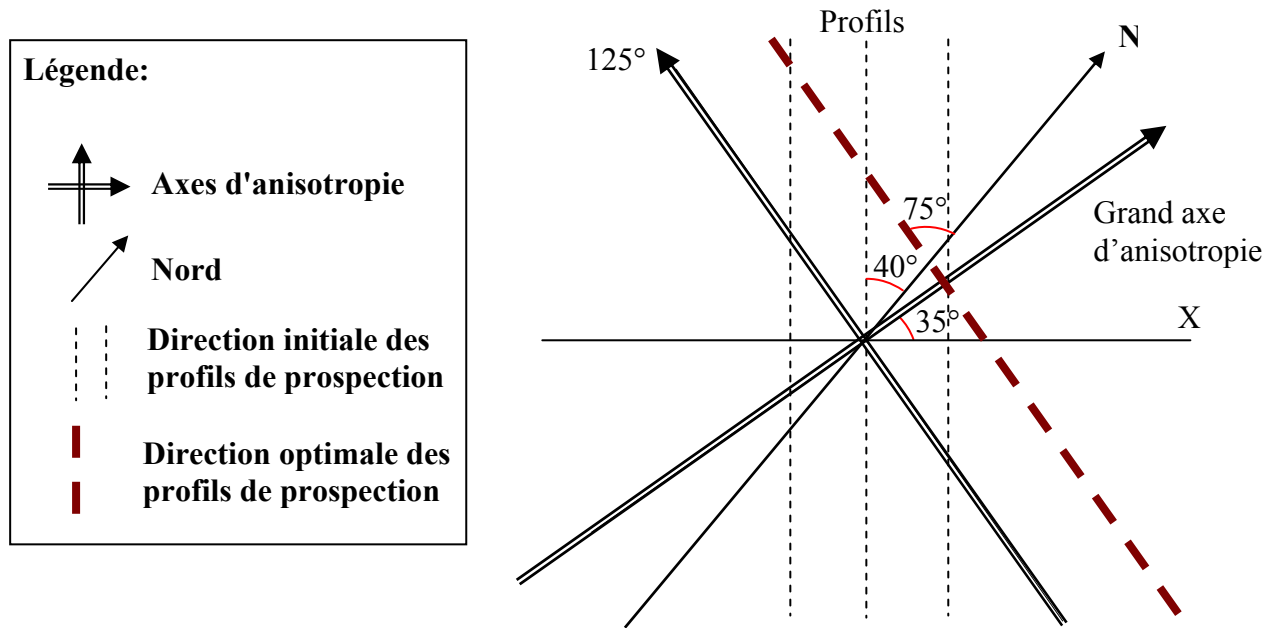


Fig. 40 – Position des axes d’anisotropie (35° et 125°) pour l’élément Pb et des profils de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout.

- 1 - Les profils de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout doivent être orientés perpendiculaire à la direction du grand, axe d’anisotropie – c’est-à-dire avec un azimute de 285° (Fig. 40), au lieu d’un azimute de 320° choisi précédemment.
- 2 - Afin d’apprécier la maille de prospection, la variance d’estimation ( $\sigma_{est}^2$ ) a été calculée pour la maille qui a été utilisée par l’ORGM (100mx20m), par la formule :

$$\sigma_{est}^2 = \sigma_{th}^2 C.$$

Où C : palier du variogramme moyen.

$\sigma_{th}^2$  : la variance théorique déterminée à l’aide d’une abaque (Fig. 37). Si on admet une maille carré centré dont le coté est égale à  $L = \sqrt{100 * 20} = 44.7m$

dont  $\frac{L}{a} = \frac{44.7}{360} = 0.125$ .

La projection de la valeur 0.21 sur l’abaque n°7,  $\sigma_{th}^2$  serait égale à  $0.08 * (10^{-3}\%)^2$ .

Le palier  $C = 2 (10^{-3}\%)^2$   
 $\sigma_{est\ réelle}^2 = 0.048 * 0.5 = 0.024 * (10^{-3}\%)^2$

Erreur relative est calculée par la formule suivante :  $E_r R = (tc * \frac{\sqrt{\sigma_{est}^2}}{T_{moy}}) * 100$

Pour un niveau de confiance 95%  $tc = 2$ .

$T_{moy}$  : teneur moyenne

$$E_r R = 2 * \frac{\sqrt{0.024}}{0.72} * 100 = 38\%$$

- 3 - Les portées renseignent sur la corrélation spatiale (zone d’influence) de Pb dans le sous-secteur Ain Yaghout et qui dépassent les 300m. En outre l’erreur relative est acceptable, ce qui permet de conclure que la maille de prospection (100mx20m) réalisée par l’ORGM est suffisante.

4 - L'effet de pépité très fort dans les différents variogrammes est dû principalement aux erreurs analytiques (analyse spectrale semi-quantitative). Ce qui incite à suggérer une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique).

5 - Les grands axes d'anisotropie pour les éléments Cu et Pb ont pratiquement le même angle d'azimute. Les profils de prospection seront orientés d'un azimute de 300° pour les deux éléments.

### III. - 3. - 2. - Variographie et évaluation des mailles de prospection dans le sous-secteur El Mounchar

#### III. - 3. - 2. - 1. - La prospection pour Cu

Le variogramme de surface de Cu dans le sous-secteur El Mounchar, montre une anisotropie, l'orientation de la direction principale d'anisotropie est NE – SW (Fig. 41).

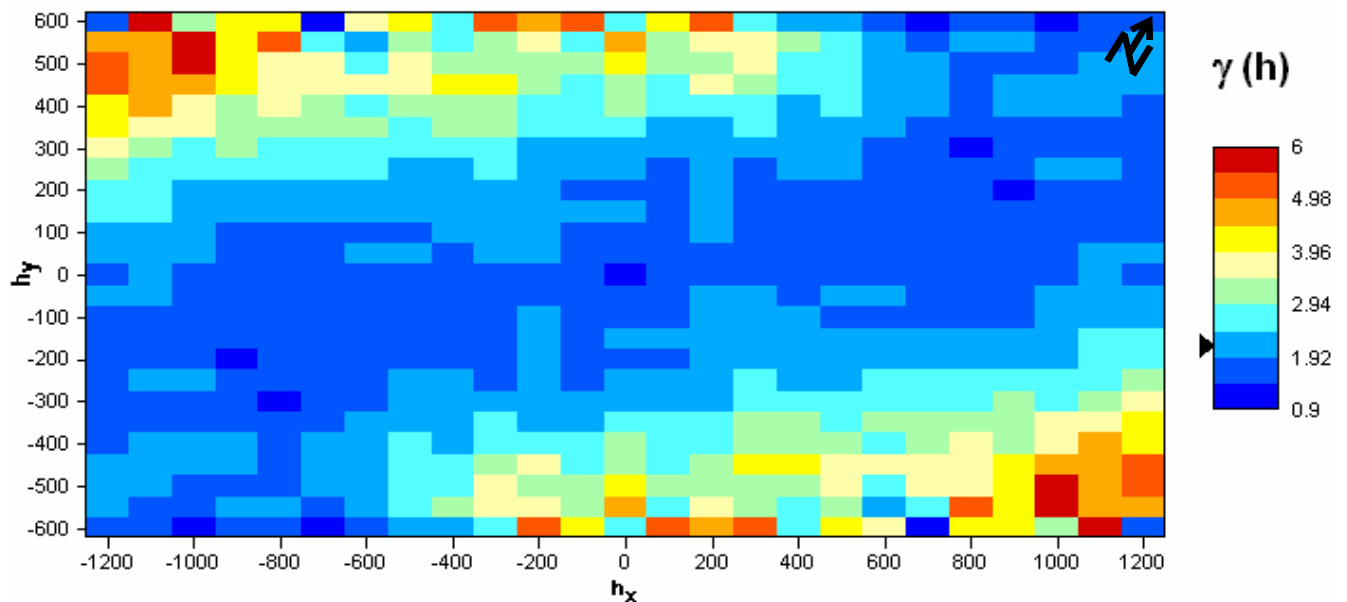


Fig. 41 - Variogramme de surface de Cu dans le sous-secteur El Mounchar

En se basant sur le variogramme de surface, les variogrammes omni- et directionnels ont été calculés (Fig. 39), dans des différentes directions : 0°, 35°, 90° et 125°, et ajustés à l'aide des modèles sphériques à l'exception le variogramme dans la direction 125° (Tableau. 3). Le variogramme de surface et les variogrammes directionnels montrent que le grand axe d'anisotropie est dans la direction trigonométrique 35° (Azimute : 25°) (Fig. 41).

Tableau. 3 – Paramètres du model de variogramme théorique de Cu dans le souss-secteur El Mounchar

Direction	Model	Effet de pépité	Palier	Portée (m)	$C_0/C$
Omni- 0°	Sphérique	1.5	0.5	264	3
	Sphérique	1.25	0.6	372	2.08
35°	Sphérique	1.55	0.46	653	3.36
90°	Sphérique	0.92	0.95	120	0.96
125°	Gaussien	1.53	2.5	880	0.612

Le palier dans la direction  $125^\circ$  ( $2.5 \cdot 10^{-3}\%$ )<sup>2</sup> est 5 fois plus grand que le palier dans la direction  $35^\circ$  ( $0.46 \cdot 10^{-3}\%$ )<sup>2</sup>, ce qui explique la variation des teneurs dans la direction  $125^\circ$  est très grande.

L'effet de pépite est de  $1.5 \cdot (10^{-3}\%)^2$ , les portées sont différentes dans le sous-secteur El Mounchar. Cependant l'effet de pépite est très fort par rapport au palier (Tableau. 3) – Le signal géochimique est très faible par rapport au « bruit de fond » - Ceci est dû à la méthode analytique de spectrométrie d'émission semi quantitative – méthode très peu précise puisqu'elle est semi-quantitative.

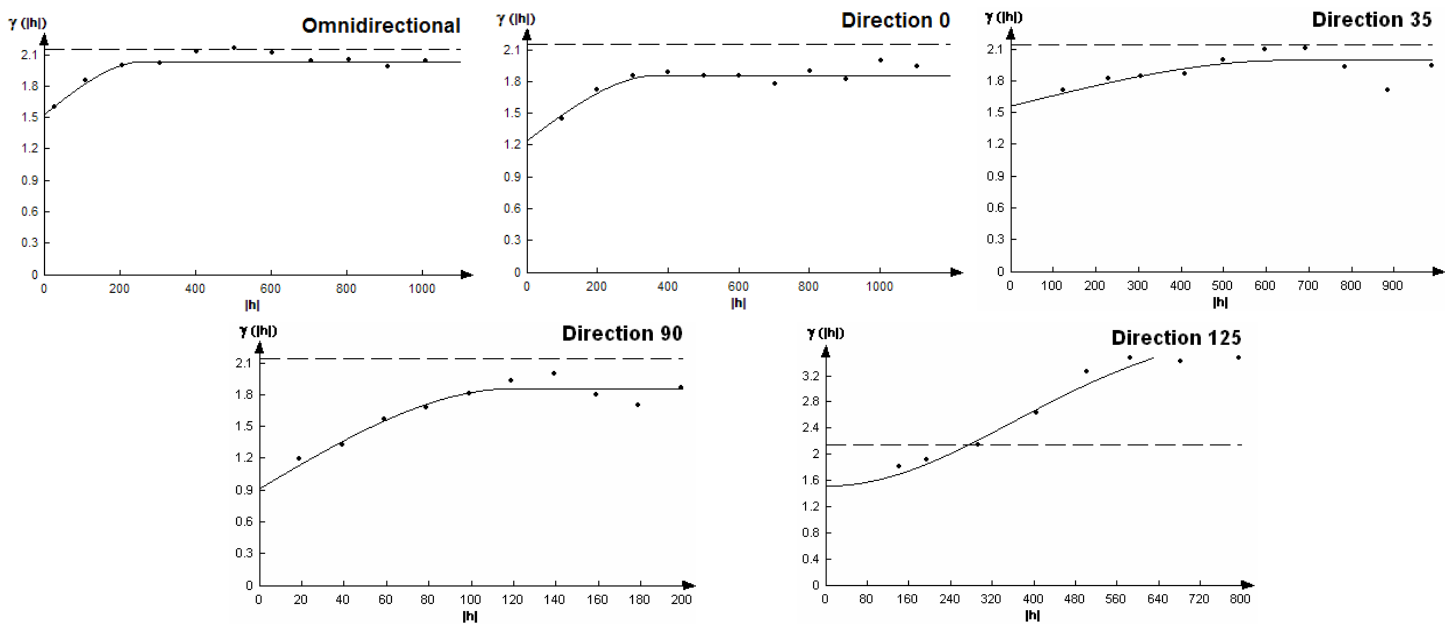


Fig. 42 - Variogramme omni- et directionnel de Cu dans le sous-secteur El Mounchar

Cette étude variographique montre que :

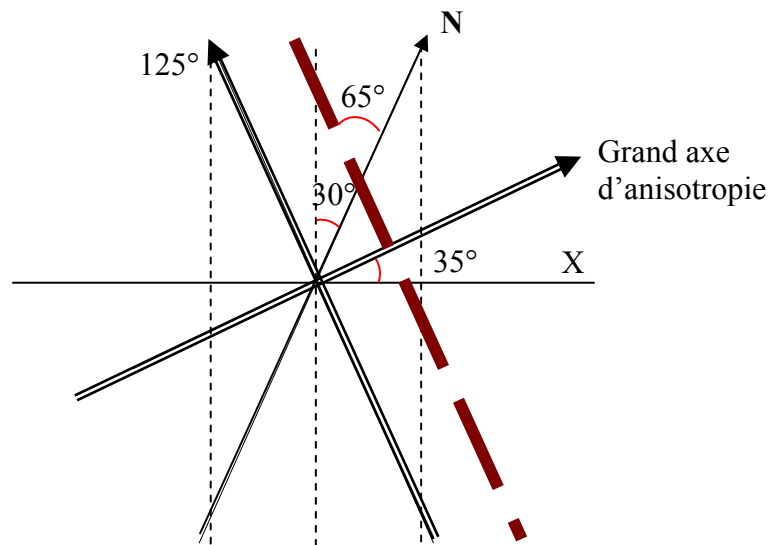
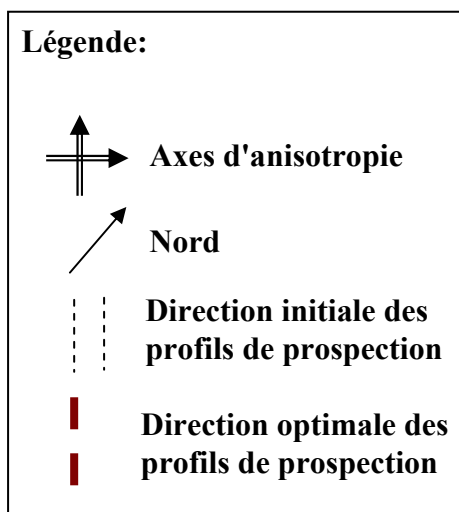


Fig. 43 - Position des axes d'anisotropie ( $35^\circ$  et  $125^\circ$ ) et des profils de prospection dans le sous-secteur El Mounchar

1 - Les profils de prospection dans le sous-secteur El Mounchar doivent être orientés perpendiculaire à la direction du grand, axe d'anisotropie – c'est-à-dire avec un azimute de 295° (Fig. 43), au lieu d'un azimute de 330° choisi précédemment.

2 - Afin d'apprécier la maille de prospection, la variance d'estimation ( $\sigma_{est}^2$ ) a été calculée pour la maille qui a été utilisée par l'ORGM (100mx20m), par la formule :

$$\sigma_{est}^2 = \sigma_{th}^2 C.$$

Où C : palier du variogramme moyen.

$\sigma_{th}^2$  : la variance théorique déterminée à l'aide d'une abaque (Fig. 37). Si on admet une maille carré centré dont le coté est égale à  $L = \sqrt{100 * 20} = 44.7m$

dont  $L/a = 44.7/264 = 0.17$ .

la projection de la valeur 0.17 sur l'abaque n°7,  $\sigma_{th}^2$  serait égale à  $0.065 * (10^{-3}\%)^2$ .

$$\sigma_{est\ réelle}^2 = 0.065 * 0.5 = 0.0325 * (10^{-3}\%)^2$$

Erreur relative est calculé par la formule suivante :

$$E_r R = (tc * \sqrt{\sigma_{est}^2} / T_{moy}) * 100$$

Où tc : est l'inverse de Gauss pour un niveau de confiance donné.

Pour un niveau de confiance 95%  $tc = 2$ .

$T_{moy}$  : teneur moyenne

$$E_r R = 2 * \sqrt{0.0325} / 1.33 * 100 = 27\%$$

3 - Les portées renseignent sur la corrélation spatiale (zone d'influence) de Cu dans le sous-secteur El Mounchar et qui dépassent les 300m. En outre l'erreur relative est acceptable, ce qui permet de conclure que la maille de prospection (100mx20m) réalisé par l'ORGM est suffisante.

4 - L'effet de pépité très fort dans les différents variogrammes est dû principalement aux erreurs analytiques (analyse spectrale semi-quantitative). Ce qui incite à suggérer une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique).

### III. - 3. - 2. - 2. - La prospection pour Pb

Le variogramme de surface de Pb dans le sous-secteur El Mounchar, montre une anisotropie directionnelle. L'orientation de la direction principale d'anisotropie décrivant la continuité maximale de la variable est orientée NE-SW (Fig. 44).

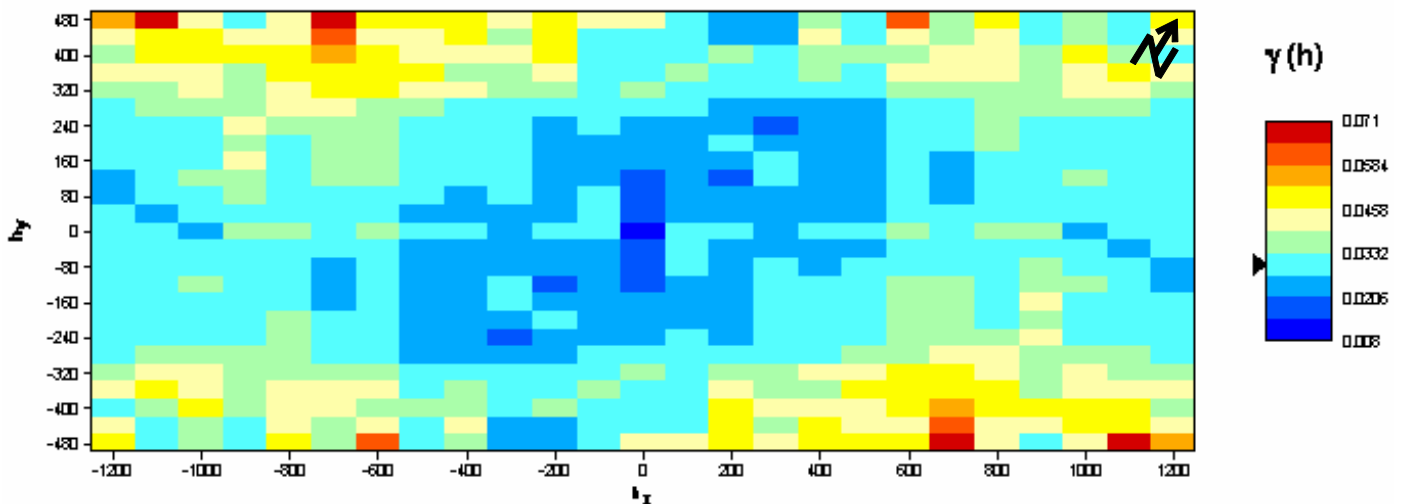


Fig. 44 - Variogramme de surface de Pb dans le sous-secteur El Mounhar

En se basant sur le variogramme de surface, les variogrammes omni- et directionnels ont été calculés (Fig. 45), dans des différentes directions : 0°, 25°, 90° et 115°, et ajustés à l'aide des modèles sphériques (Tableau. 4). Le variogramme de surface et les variogrammes directionnels montrent que le grand axe d'anisotropie est dans la direction trigonométrique de 25°.

Tableau. 4 – Paramètres du model de variogramme théorique de Pb dans le sous-secteur El Mounchar

Direction	Model	Effet de pépite	Palier	Portée (m)	$C_0/C$
Omni-	Sphérique	0.017	0.017	684	1
0°	Sphérique	0.011	0.02	874	0.55
25°	Sphérique	0.008	0.03	1200	0.26
90°	Sphérique	0.004	0.016	75	0.25
115°	Sphérique	0.032	0.043	462	0.74

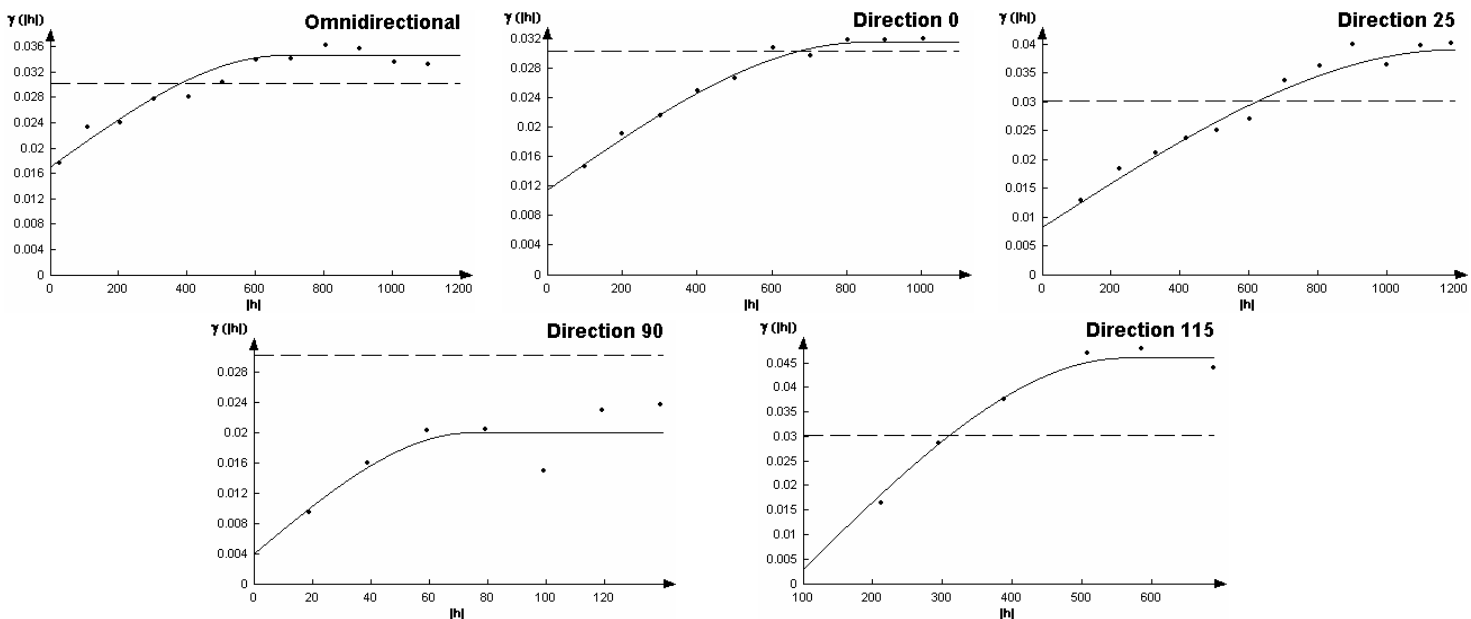


Fig. 45 - Variogramme omni- et directionnel de Pb dans le sous-secteur El Mounchar

Cette étude variographique montre que :

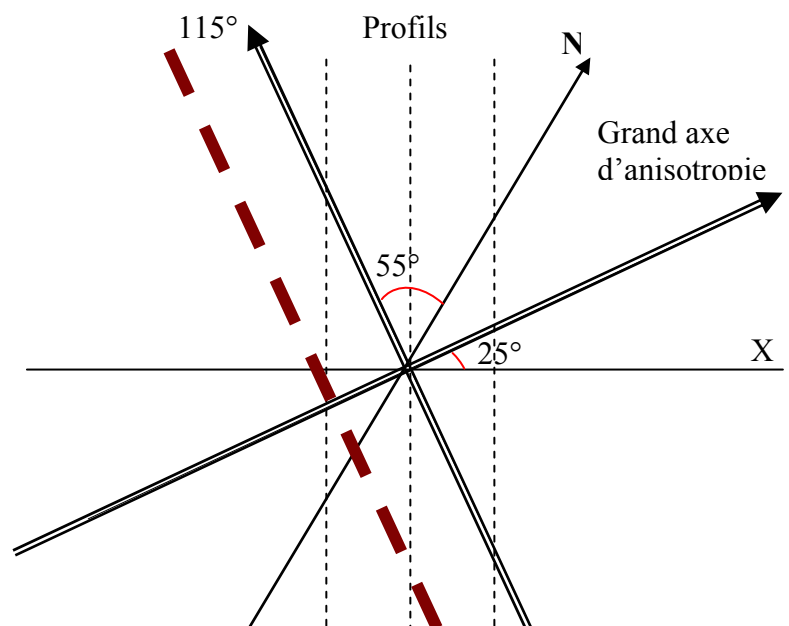
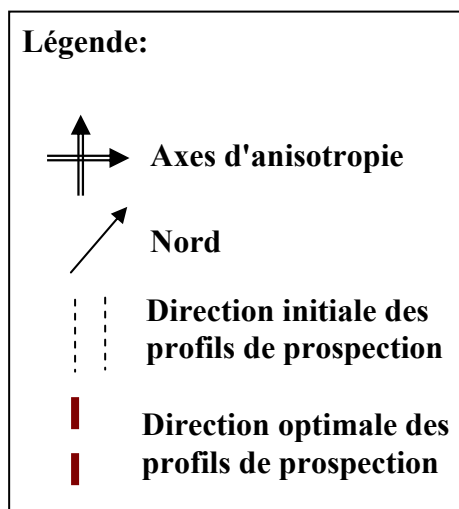


Fig. 46 – Position des axes d'anisotropie (25° et 115°) pour l'élément Pb et des profils de prospection dans le sous-secteur El Mounchar.

1 - Les profils de prospection dans le sous-secteur El Mounchar doivent être orientés perpendiculaire à la direction du grand axe d'anisotropie – c'est-à-dire avec un azimute de 305° (Fig. 46), au lieu d'un azimute de 330° choisi précédemment.

2 - Afin d'apprécier la maille de prospection, la variance d'estimation ( $\sigma_{est}^2$ ) a été calculée pour la maille qui a été utilisée par l'ORGM (100mx20m), par la formule :

$$\sigma_{est}^2 = \sigma_{th}^2 C.$$

Où C : palier du variogramme moyen.

$\sigma_{th}^2$  : la variance théorique déterminée à l'aide d'une abaque (Fig. 37). Si on admet une maille carré centré dont le coté est égale à  $L = \sqrt{100 * 20} = 44.7m$

$$\text{dont } \frac{L}{a} = \frac{44.7}{684} = 0.065.$$

la projection de la valeur 0.065 sur l'abaque n°7,  $\sigma_{th}^2$  serait égale à  $0.03 * (10^{-3}\%)^2$ .

$$\sigma_{est\ réelle}^2 = 0.03 * 0.017 = 0.0005 * (10^{-3}\%)^2$$

Erreur relative est calculé par la formule suivante :

$$E_r R = (tc * \sqrt{\sigma_{est}^2} / T_{moy}) * 100$$

Où tc : est l'inverse de Gauss pour un niveau de confiance donné.

Pour un niveau de confiance 95%  $tc = 2$ .

$T_{moy}$  : teneur moyenne

$$E_r R = 2 * \sqrt{0.0005} / 0.46 * 100 = 10\%$$

3 - Les portées renseignent sur la corrélation spatiale (zone d'influence) de Cu dans le sous-secteur El Mounchar et qui dépassent les 300m. En outre l'erreur relative est petite, ce qui permet de conclure que la maille de prospection (100mx20m) réalisé par l'ORGM est suffisante.

4 - L'effet de pépité très fort dans les différents variogrammes est dû principalement aux erreurs analytiques (analyse spectrale semi-quantitative). Ce qui incite à suggérer une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique).

5 - Les grands axes d'anisotropie des éléments Cu et Pb ont pratiquement le même angle d'azimute. Les profils de prospection seront orientés d'un azimute de 300° pour les deux éléments.

### III. - 3. - 3. - Variographie et évaluation des mailles de prospection dans le secteur Toumbait

#### III. - 3. - 3. - 1. - La prospection pour Cu

Le variogramme de surface de Cu dans le secteur Toumbait, montre une anisotropie directionnelle. L'orientation de la direction principale d'anisotropie décrivant la continuité maximale de la variable est orientée NE-SW (Fig. 47).

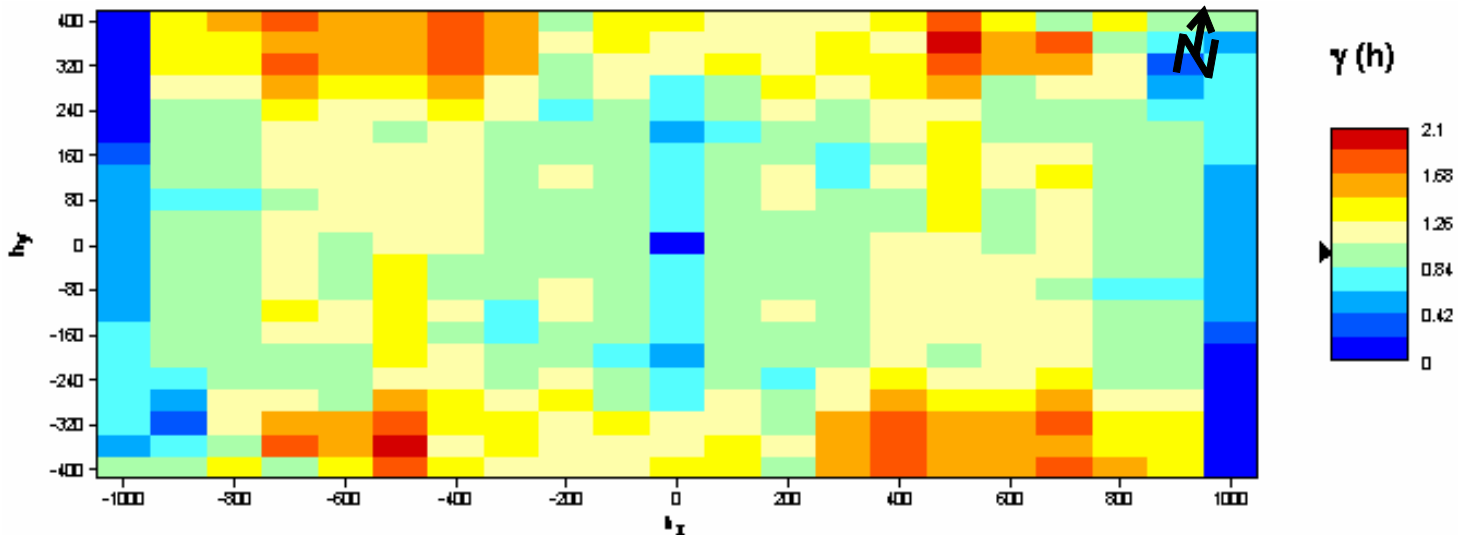


Fig. 47 - Variogramme de surface de Cu dans le secteur Toumbait

En se basant sur le variogramme de surface, les variogrammes omni- et directionnels ont été calculés (Fig. 48), dans des différentes directions : 0°, 30°, 90° et 120°, et ajustés à l'aide des modèles sphériques (Tableau. 5). Le variogramme de surface et les variogrammes directionnels montrent que le grand axe d'anisotropie est dans la direction trigonométrique 30° (Azimute : 50°).

Tableau. 5 – Paramètres du model de variogramme théorique de Cu dans le secteur Toumbait

Direction	Model	Effet de pépite	Palier	Portée (m)	$C_0/C$
Omni-	Sphérique	0.74	0.45	628	1.64
0°	Sphérique	0.38	0.68	670	0.56
30°	Sphérique	0.15	1.15	720	0.13
90°	Sphérique	0.31	0.48	140	0.64
120°	Sphérique	0.14	1.1	635	0.127

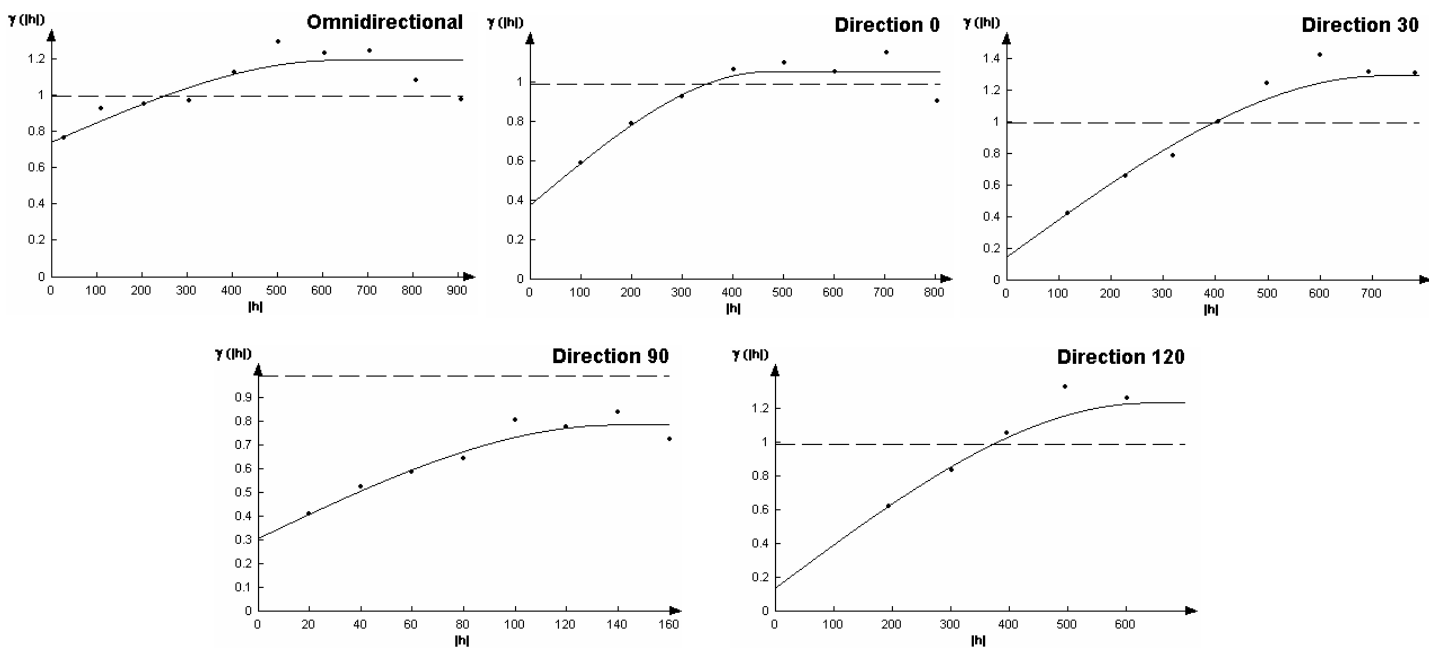


Fig. 48 - Variogramme omni- et directionnel de Cu dans le secteur Toumbait

Cette étude variographique montre que :

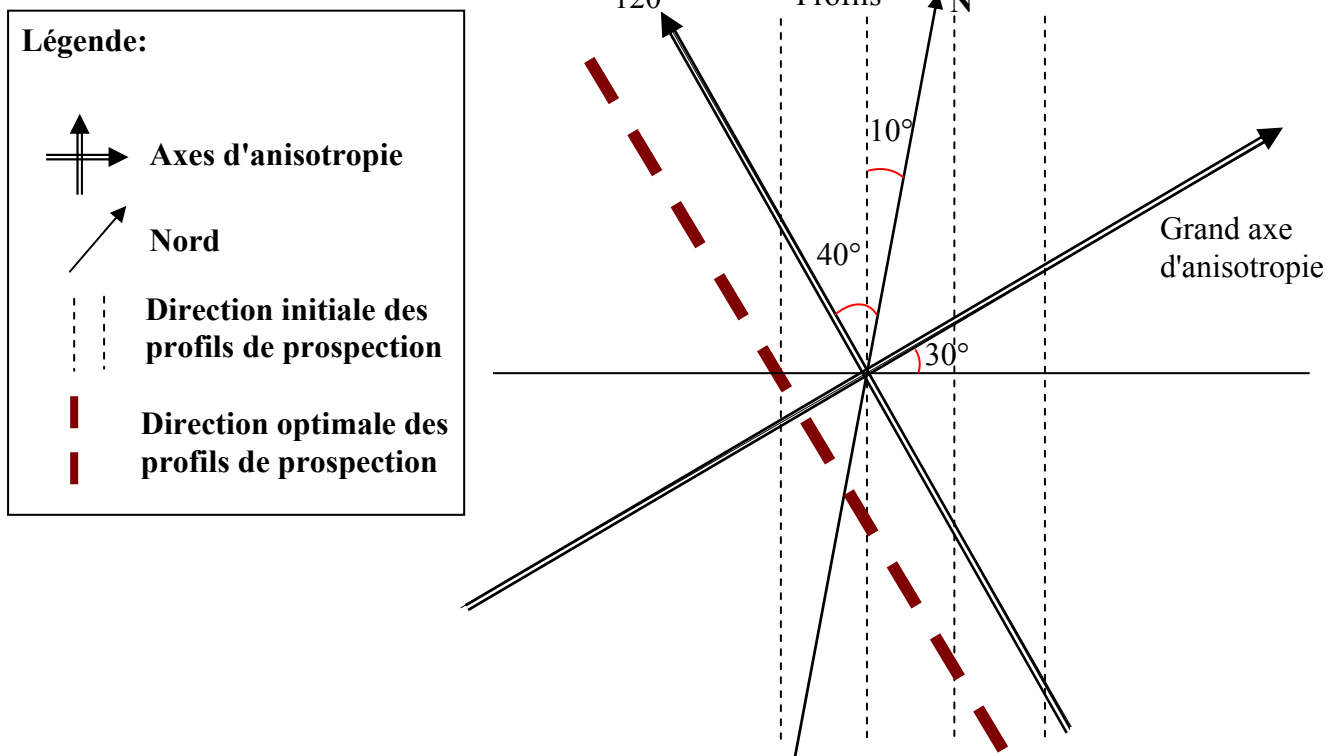


Fig. 49 – Position des axes d’anisotropie (30° et 120°) pour l’élément Cu et des profils de prospection dans le secteur Toumbait.

1 - Les profils de prospection dans le secteur Toumbait doivent être orientés perpendiculaire à la direction du grand axe d’anisotropie – c’est-à-dire avec un azimute de 320° (Fig. 49), au lieu d’un azimute de 350° choisi précédemment.

2 - Afin d’apprécier la maille de prospection, la variance d’estimation ( $\sigma_{est}^2$ ) a été calculée pour la maille qui a été utilisée par l’ORGM (100mx20m), par la formule :

$$\sigma_{est}^2 = \sigma_{th}^2 C.$$

Où C : palier du variogramme moyen.

$\sigma_{th}^2$  : la variance théorique déterminée à l’aide d’une abaque (Fig. 37). Si on admet une maille carré dont le coté est égale à  $L = \sqrt{100 * 20} = 44.7m$

dont  $L/a = 44.7/684 = 0.065$ .

La projection de la valeur 0.065 sur l’abaque n°7,  $\sigma_{th}^2$  serait égale à  $0.03 * (10^{-3}\%)^2$ .

$$\sigma_{est\ réelle}^2 = 0.03 * 0.017 = 0.0005 * (10^{-3}\%)^2$$

Erreure relative est calculé par la formule suivante :

$$E_r R = (tc * \sqrt{\sigma_{est}^2} / T_{moy}) * 100$$

Où tc : est l’inverse de Gauss pour un niveau de confiance donné.

Pour un niveau de confiance 95%  $tc = 2$ .

$T_{moy}$  : teneur moyenne

$$E_r R = 2 * \sqrt{0.0005} / 0.46 * 100 = 10\%$$

3 - Les portées renseignent sur la corrélation spatiale (zone d'influence) de Cu dans le secteur Toumbait et qui dépassent les 300m. Ce pendant l'erreur relative est petite, ce qui permet de conclure que la maille de prospection (100mx20m) réalisée par l'ORGM est suffisante.

4 - L'effet de pépité très fort dans les différents variogrammes est dû principalement aux erreurs analytiques (analyse spectrale semi-quantitative). Comme les autres éléments il est proposé une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique).

### III. - 3. - 3. - 2. - La prospection pour Pb

Le variogramme de surface de Pb dans le secteur Toumbait, montre une anisotropie, l'orientation de la direction principale d'anisotropie est vers NW – SE (Fig. 50).

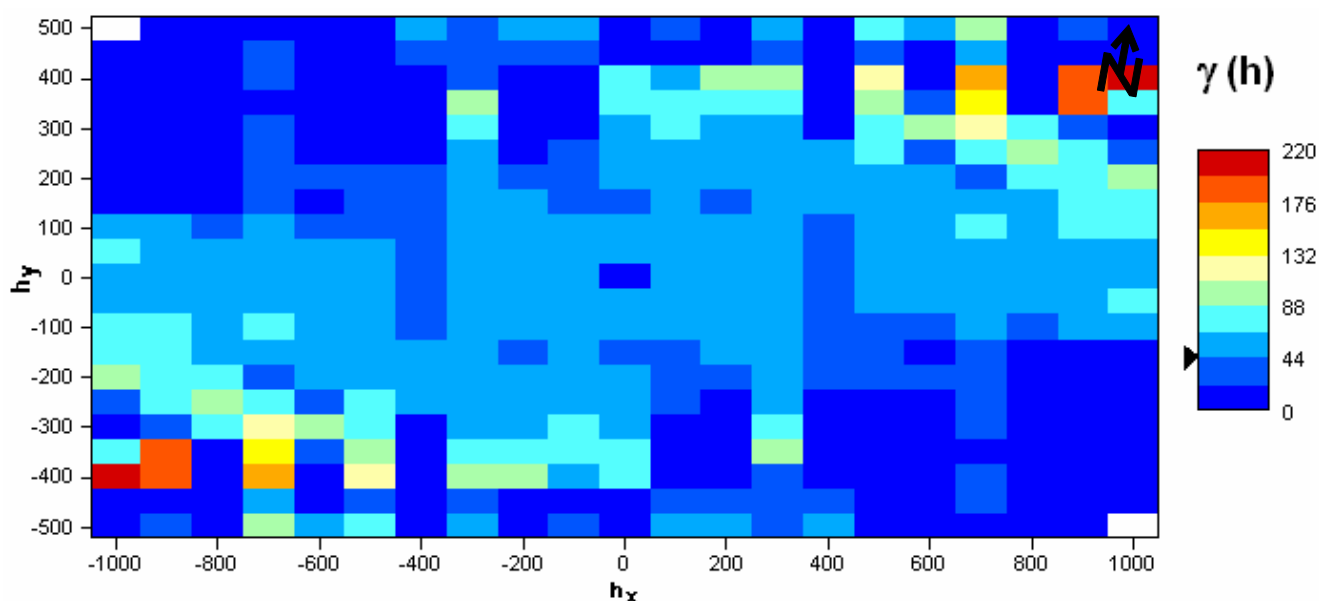


Fig. 50 - Variogramme de surface de Pb dans le secteur Toumbait

En se basant sur le variogramme de surface, les variogrammes omni- et directionnels ont été calculés (Fig. 51), dans des différentes directions : 0°, 55°, 90° et 145°, et ajustés à l'aide d'un modèle sphérique (Tableau. 6). Les variogrammes directionnels montrent que le grand axe d'anisotropie est dans la direction trigonométrique de 145° (Azimute : 295).

Tableau. 6 – Paramètres du modèle de variogramme théorique de Pb dans le secteur Toumbait

Direction	Model	Effet de pépité	Palier	Portée (m)	$C_0/C$
Omni-	Sphérique	36.18	11.75	300	3.07
0°	Sphérique	11	35	360	0.31
55°	Sphérique	11	4.61	313	2.38
90°	Sphérique	29.7	22.62	295	1.31
145°	Sphérique	9	5.41	450	1.66

Les variogrammes directionnels ont des paliers et des portées différentes dans le secteur de Toumbait, ce ci montre la présence d'un phénomène d'Anisotropie Zonale. Le traçage du grand axe et le petit axe d'anisotropie (Fig. 52) permet de visualiser la direction d'anisotropie.

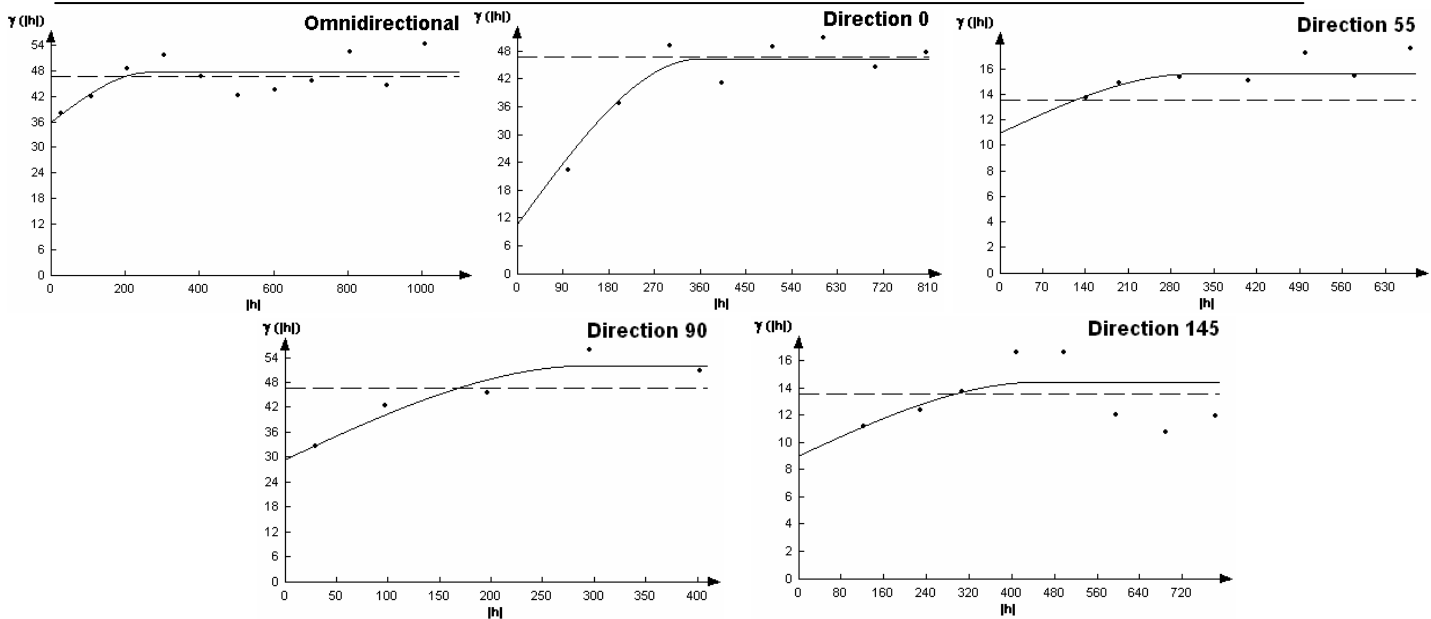


Fig. 51 - Variogramme omni- et directionnel de Pb dans le secteur Toumbait

Les résultats de cette variographie permettent de conclure que:

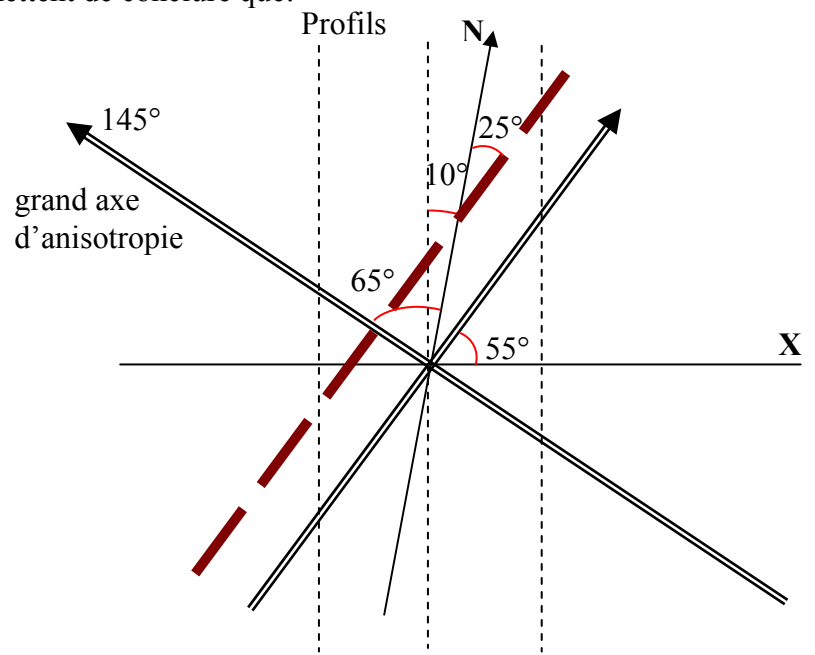
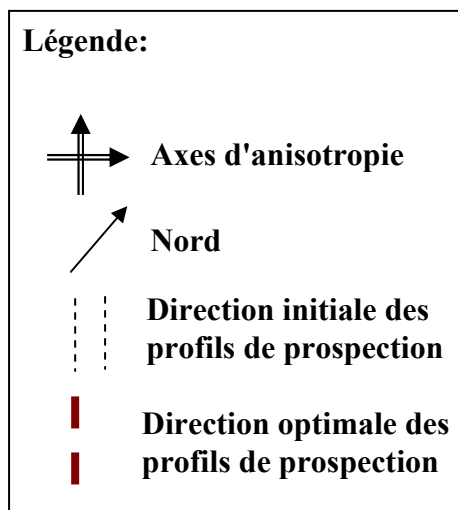


Fig. 52 - Position des axes d'anisotropie (55° et 145°) et des profils de prospection dans le secteur Toumbait.

- 1 - Les profils de prospection dans le secteur Toumbait doivent être orientés perpendiculaire à la direction du grand axe d'anisotropie – c'est-à-dire avec un azimute de 25° (Fig. 52), au lieu d'un azimute de 350° choisi précédemment.
- 2 - Afin d'apprécier la maille de prospection, la variance d'estimation ( $\sigma_{est}^2$ ) a été calculée pour la maille qui a été utilisée par l'ORGM (100mx20m), par la formule :

$$\sigma_{est}^2 = \sigma_{th}^2 C.$$

Où C : palier du variogramme moyen.

$\sigma^2_{th}$  : la variance théorique déterminée à l'aide d'une abaque (Fig. 37). Si on admet une maille carré centré dont le coté est égale à  $L = \sqrt{100 * 20} = 44.7m$

$$\text{dont } \frac{L}{a} = \frac{44.7}{300} = 0.14.$$

la projection de la valeur 0.14 sur l'abaque n°7,  $\sigma^2_{th}$  serait égale à  $0.055 * (10^{-3}\%)^2$ .

$$\sigma^2_{est\ réelle} = 0.05 * 11.75 = 0.57 * (10^{-3}\%)^2$$

L'erreure relative est calculée par la formule suivante :

$$\delta = (tc * \frac{\sqrt{\sigma^2_{est}}}{T_{moy}}) * 100$$

Où tc : est l'inverse de Gauss pour un niveau de confiance donné.

Pour un niveau de confiance 95%  $tc = 2$ .

$T_{moy}$  : teneur moyenne

$$\delta = 2 * \frac{\sqrt{0.57}}{3.14} * 100 = 48\%$$

- 3 - Les portées des variogrammes directionnels de Pb dans le secteur de Toumbait, dépassent les 300m. En outre l'erreure relative est acceptable, ce qui permet de dire que la maille de prospection (100mx20m) réalisée par l'ORGM est suffisante.
- 4 - L'effet de pépite est très fort dans les différents variogrammes. Ce ci est dû principalement à la mauvaise qualité analytique (analyse spectrale semi-quantitative). Comme pour les autres éléments, il est proposé une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique).
- 5 - Les grands axes d'anisotropie pour les éléments Cu et Pb sont différents. Les profils de prospection seront orientés de direction d'azimute de 310° pour le Cu et d'une direction d'azimute de 25° pour le Pb.

Les résultats obtenus par l'étude géostatistique dans les différents secteurs et sous-secteurs sont reportés dans le taleau 7:

Tableau. 7 - Synthèse des résultats obtenus par l'étude géostatistique dans le secteur de Toubait et les sous-secteurs Ain Yaghout, El Mounchar

secteur	sous-secteur	Elément étudié Cu-Pb	Direction des facteurs structuraux	Orientation des failles Minéralisées	Facteurs lithologiques	Grand axe d'anisotropie Cu	Grand axe d'anisotropie Pb	Direction optimale des profils de prospection pour Cu	Direction optimale des profils de prospection pour Pb
Bennt	Ain Yaghout	Cu Pb	NE-SW NW-SE	NE-SW NE-SW (contact Lias-Crétacé)	Calcaires (Aptien) et dolomies (Lias)	Direction 20° Azimute 30°	Direction 35° Azimute 15°	Direction 110° Azimute 300°	Direction 125° Azimute 285°
	El Mounchar	Cu Pb	NE-SW NW-SE	NE-SW NE-SW (Crétacé)	Calcaires (Aptien) et dolomies (Aptien)	Direction 35° Azimute 25°	Direction 25° Azimute 35°	Direction 125° Azimute 295°	Direction 115° Azimute 305°
Toubait		Cu Pb	NE-SW NW-SE	NE-SW NW-SE	dolomies (Lias) Filon baryto-calcique (encaissé dans des dolomies)	Direction 30° Azimute 50°	Direction 145° Azimute 295°	Direction 120° Azimute 320°	Direction 55° Azimute 25°

## Conclusion

Cette étude géostatistique (variographie et estimation des variances) a permis de conclure que :

1. - la maille de prospection (100mx20m) est largement suffisante dans le secteur de Toumbait et les sous-secteurs Ain Yaghout et El Mounchar. Cependant il est recommandé de réorienter les profils dans les sous-secteurs et secteur d'étude:

Dans le secteur Tarbennt (sous-secteur Ain Yaghout et El Mounchar), les profils de prospection doivent être orientés d'un azimute de 300° pour le Cu et le Pb, au lieu d'un azimute de 320° choisi précédemment.

Dans le secteur Toumbait, les profils de prospection doivent être orientés d'un azimute de 310° pour le Cu et d'un azimute de 25° pour le Pb, au lieu d'un azimute de 350° choisi précédemment.

2. - L'étude géostatistique a permis de confirmer l'orientation des failles minéralisées décrite dans la partie géologique.
3. - Les variogrammes directionnels ont des paliers et des portées différentes dans le secteur de Toumbait et les sous-secteurs Ain yaghout et El Mounchar, ce qui montre la présence d'un phénomène d'*Anisotropie Zonale*.
4. - Les effets de pépité sont très forts dans les différents variogrammes. Ce qui est dû principalement à la mauvaise qualité analytique (analyse spectrale semi-quantitative). Ce qui incite à suggérer une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique) pour les principaux éléments tels que Pb, Zn, Cu et Ag.
5. - Les axes d'anisotropies dans le secteur de Toumbait ne se correspondent pas pour les éléments Cu et Pb, pour le Cu ce sont les failles de direction NE- SW (50°) et pour le Pb ce sont les failles de direction NW-SE (295°), ce qui peut être expliqué par la présence de deux phases minéralisées.

## **IV. – DETERMINATION ET CARTOGRAPHIE DES ANOMALIES MONO ET MULTIVARIEES**

---

---

### **IV. - 1. - METHODES UTILISEES POUR LE TRAITEMENTDES DONNEES GEOCHIMIQUES ET RESULTATS**

#### **IV. - 1. - 1. - ACP des données géochimiques de différents secteurs**

Parmi les méthodes les plus utilisées, il y'a l'Analyse en Composantes Principales (ACP), qui se propose de fournir des représentations synthétiques de l'ensemble des valeurs numériques des analyses lithogéochimiques sous forme de tableau et graphique.

L'analyse en composantes principales (ACP) permet d'analyser plusieurs variables quantitatives observées sur n individus. Elle permet entre autres de regrouper des individus semblables, d'isoler des individus marginaux et d'étudier les relations entre les différentes variables.

Les principales étapes pour une ACP normée sont :

- la normalisation des valeurs des différentes variables (centrés et réduire les données).
- Le calcul de la matrice de corrélation et la recherche des facteurs de charges.
- Le tracé de cercle de corrélation des facteurs de charges (facteurs loading).
- Le calcul des facteurs scores ou classification des échantillons suivant l'axe factoriel.
- L'interprétation des cercles de corrélations.
- La cartographie des facteurs scores (visualisation de l'information).

#### **IV. - 1. - 1. - 1. - Secteur Tarbennt**

Le secteur de Tarbennt est subdivisé en 03 sous-secteurs : Ain Yaghout, El Haouia et El Mounchar.

##### **a. - Sous-secteur de Ain Yaghout**

Les coefficients de corrélation linéaire simple calculés à l'aide des teneurs des échantillons géochimiques (Tableau. 8) ont permis de déterminer les éléments chimiques les plus corrélés entre eux :

Tableau. 8 - Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur Ain Yaghout (Nombre des échantillons utilisés : 972)

Eléments	Mn	Mo	Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Ba
<b>Mn</b>	1							
<b>Mo</b>	0.0389	1						
<b>Cu</b>	-0.0124	<b>0.2773</b>	1					
<b>Zn</b>	-0.0342	<b>0.0791</b>	<b>0.0936</b>	1				
<b>Pb</b>	0.0147	-0.0073	0.0122	<b>0.11567</b>	1			
<b>Ag</b>	<b>0.3818</b>	<b>0.0846</b>	-0.0076	<b>0.5824</b>	<b>0.1464</b>	1		
<b>Sn</b>	-0.0182	<b>0.2702</b>	<b>0.2261</b>	<b>0.5326</b>	0.0068	<b>0.2250</b>	1	
<b>Ba</b>	<b>0.1888</b>	0.0010	<b>0.0730</b>	-0.0133	0.0198	-0.0124	0.0222	1

- Cu est corrélé positivement à Mo, Zn, Sn et Ba
- Zn est corrélé positivement à Pb, Ag, Mo, Cu et Sn
- Pb est corrélé positivement à Ag et Zn
- Ag est corrélé positivement à Mn, Mo, Zn, Pb et Sn
- Ba est corrélé positivement à Mn et Cu

Les cercles de corrélation (Fig. 53) et le tableau des corrélations entre facteurs loadings (charge) et éléments chimiques dosés (Tableau. 29 en annexe) ont permis de déterminer les différentes associations multi élémentaires suivantes :

- Association 1 : **Pb – Zn – Ag.**
- Association 2 : **Cu – Mo – (Sn).**
- Association 3 : **Ba – Mn.**

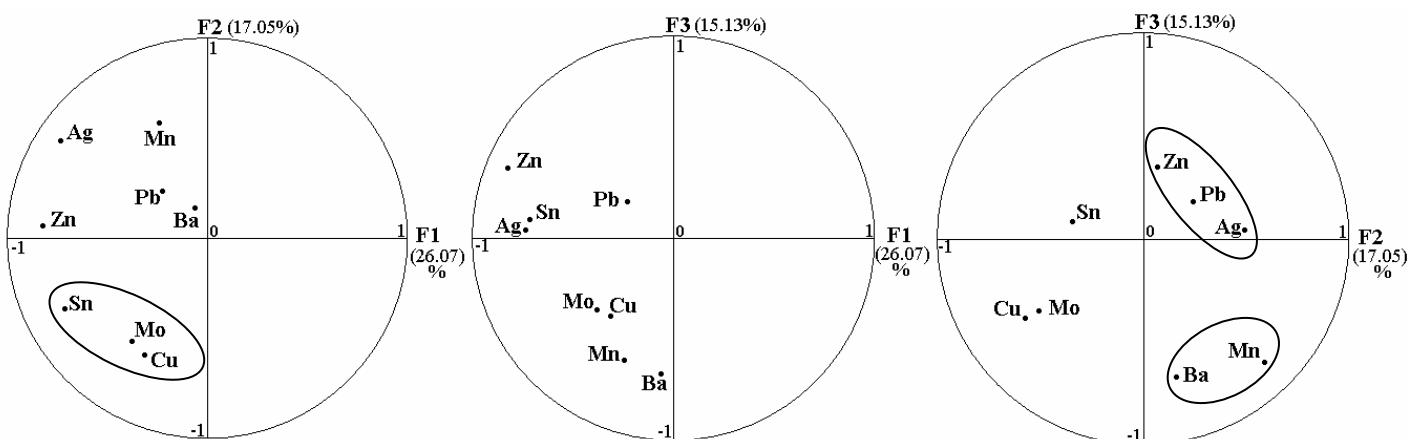


Fig. 53 – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du sous-secteur Ain Yaghout (Tarbennt, Batna)

La cartographie des facteurs F1, F2 et F3 a permis de localiser les anomalies multi élémentaires des associations susmentionnées (Fig. 54).

Pour la première association: Pb, Zn et Ag, six (6) anomalies numérotées de **1AY** à **6AY** sont localisées (Fig. 54). Pour l'association: Cu, Mo (Sn), seule deux anomalies sont localisées **1'AY** et **2'AY** et pour l'association: Ba et Mn trois anomalies sont localisées **1"AY**, **2"AY** et **3"AY**.

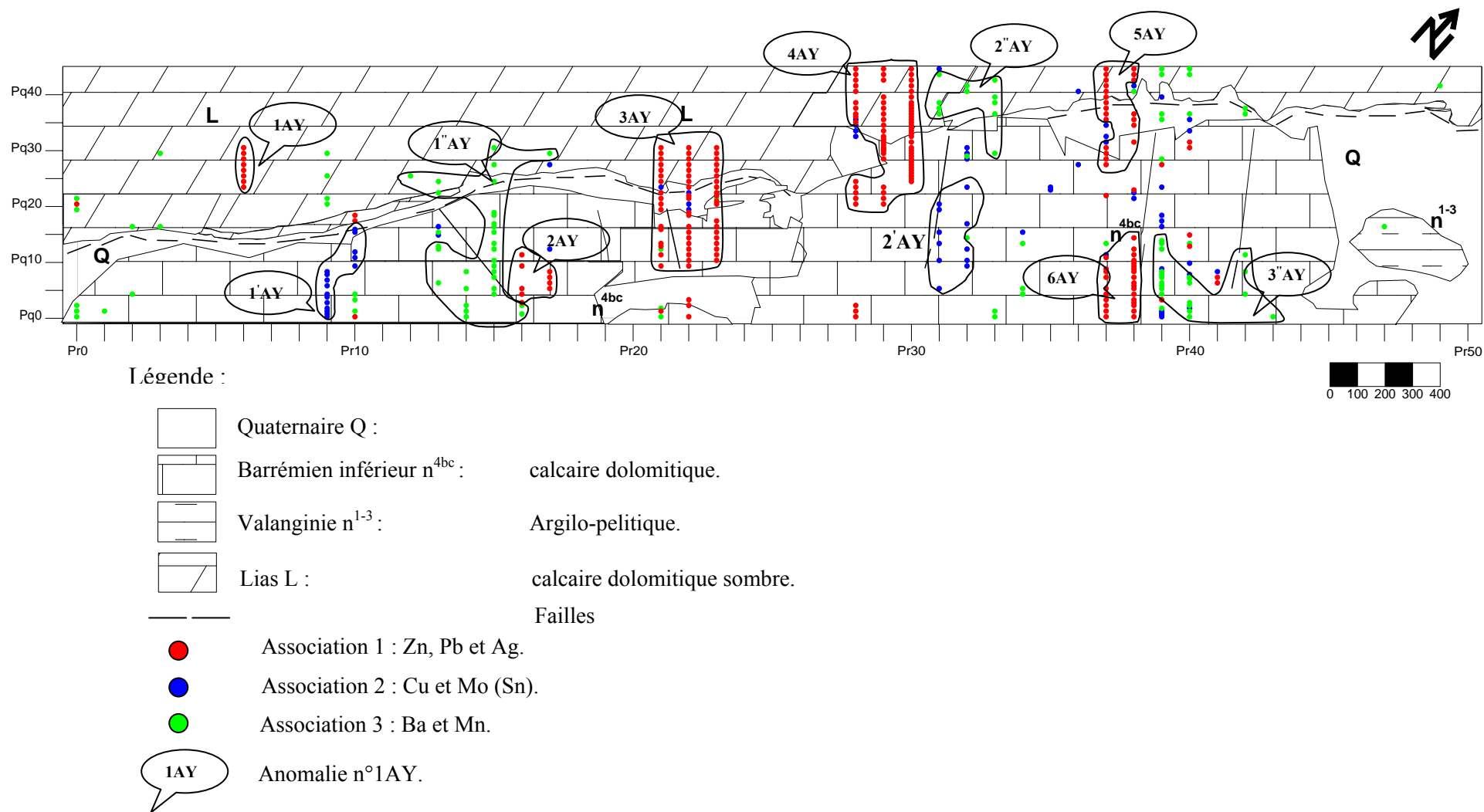


Fig. 54 – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le sous-secteur Ain Yaghout ( $F1 < 0$  et  $F2 < 0$ ), ( $F2 > 0$  et  $F3 > 0$ ) et ( $F2 < 0$  et  $F3 < 0$ )

**b. - Sous-secteur El Haouia**

Les coefficients de corrélation linéaire simple calculés à l'aide des teneurs des échantillons géochimique (Tableau. 9) ont permis de déterminer les éléments chimiques les plus corrélés entre eux.

Tableau. 9 - Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Haouia (Nombre des échantillons utilisés : 317)

Eléments	Cu	Pb	Zn	Ag	Sn	Mo	Mn	Ba	Sr
<b>Cu</b>	1								
<b>Pb</b>	0.0426	1							
<b>Zn</b>	-0.071	<b>0.3561</b>	1						
<b>Ag</b>	0.0028	<b>0.1913</b>	<b>0.2999</b>	1					
<b>Sn</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.2153</b>	<b>0.4088</b>	<b>0.3168</b>	1				
<b>Mo</b>	-0.039	<b>0.1404</b>	<b>0.2804</b>	<b>0.1968</b>	<b>0.6354</b>	1			
<b>Mn</b>	0.0772	<b>0.2102</b>	<b>0.1936</b>	<b>0.1431</b>	<b>0.198</b>	0.169	1		
<b>Ba</b>	-0.061	0.0894	0.0892	0.0142	<b>0.1835</b>	0.0848	<b>0.1206</b>	1	
<b>Sr</b>	<b>-0.359</b>	<b>0.1984</b>	<b>0.3539</b>	<b>0.2843</b>	<b>0.8396</b>	<b>0.5199</b>	<b>0.1997</b>	<b>0.1964</b>	1

- Cu est corrélé négativement à Sn et Sr
- Zn est corrélé positivement à Pb, Ag, Mo, Mn et Sn
- Pb est corrélé positivement à Ag, Sn, Mo, Mn, Sr et Zn
- Ag est corrélé positivement à Mn, Sn, Sr, Mo, Zn et Pb

Les cercles de corrélation (Fig. 55) et le tableau des corrélations entre facteurs loadings et éléments chimiques dosés (Tableau. 30 en annexe) ont permis de déterminer les différentes associations d'éléments suivantes :

- Association 1 : **Pb – Zn – Ag – Mn – (Cu)** corrélée positivement avec les facteurs de charges F1 et F2.
- Association 2 : **Sn – Mo – Sr** corrélée positivement avec le facteur de charge F1 et négativement avec le facteur de charge F2.

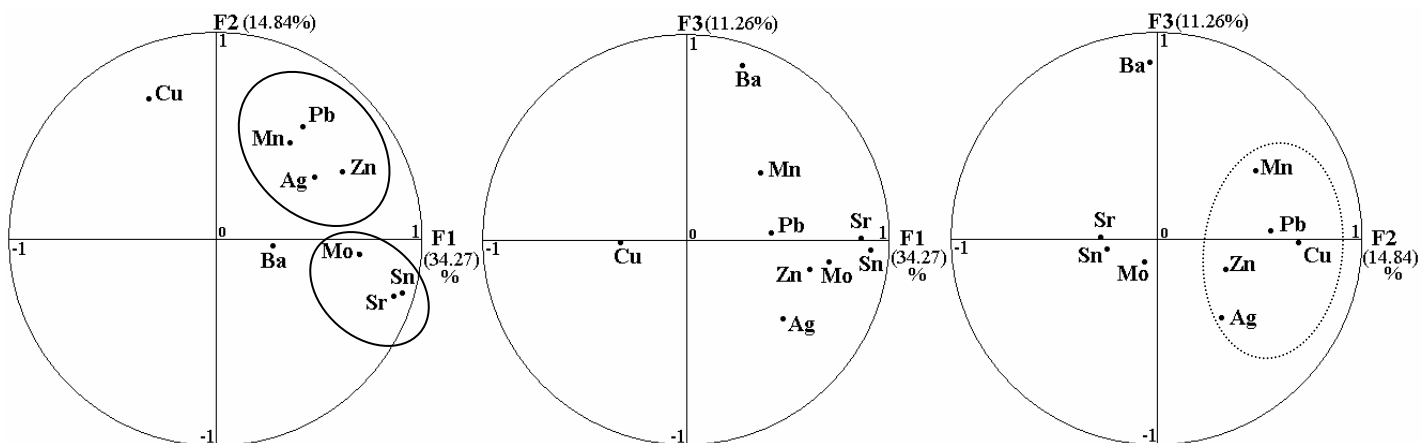


Fig. 55 – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du sous-secteur El Haouia (Tarbennt, Batna)

La cartographie des facteurs F1 et F2 a permis de localiser les anomalies multi élémentaires susmentionnées (Fig. 56). Pour l'association: Pb, Zn, Mn, Ag (Cu) quatre anomalies sont localisées **1Ha**, **2Ha**, **3Ha** et **4Ha** et pour l'association: Sr, Mo et Sn deux anomalies sont localisées **1'Ha** et **2'Ha** dans les parties Ouest et Est du sous-secteur.

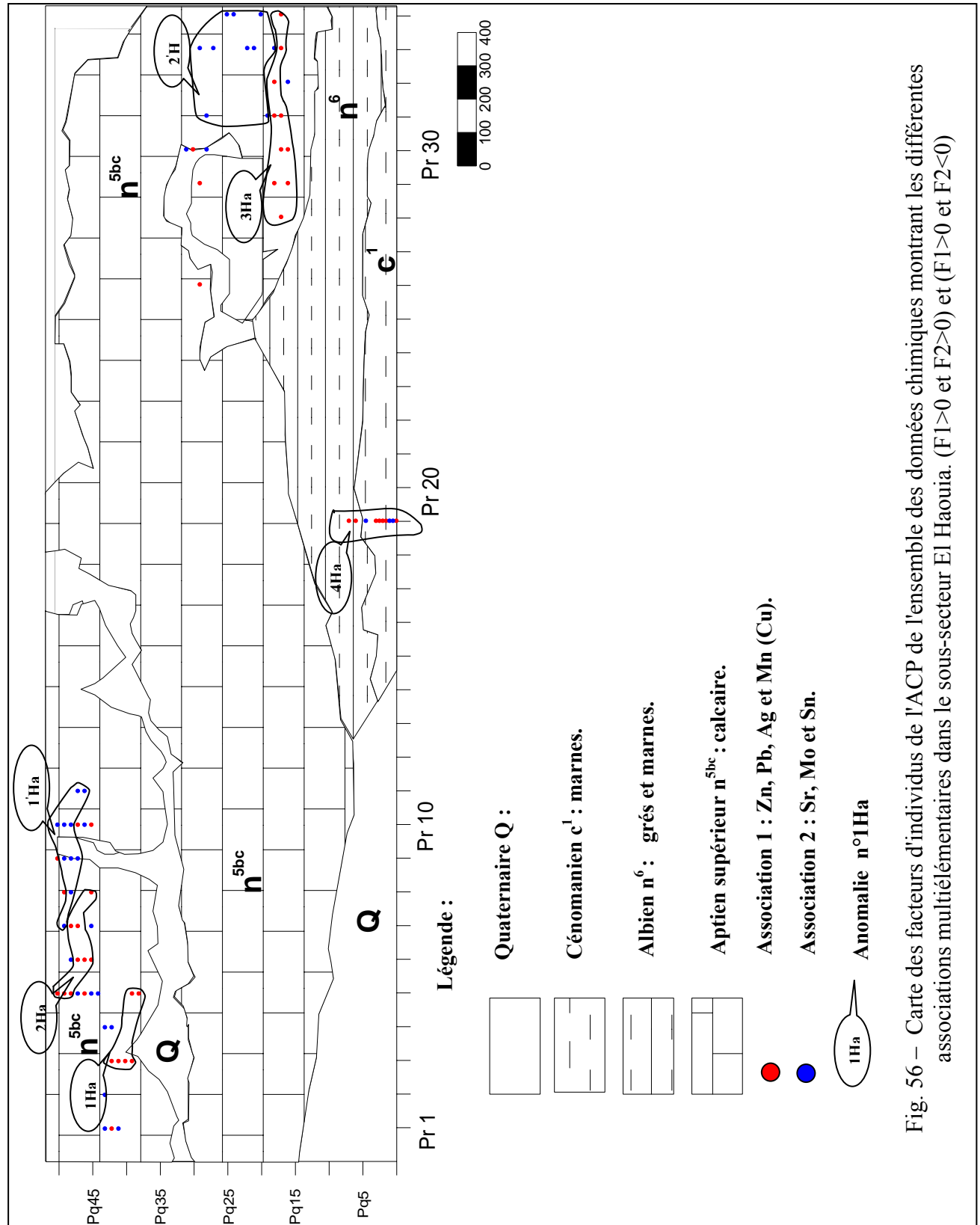


Fig. 56 – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multivariées dans le sous-secteur El Haouia. (F1>0 et F2>0) et (F1>0 et F2<0)

**c. – Sous-secteur El Mounchar**

Les coefficients de corrélation linéaire simple calculés à l'aide des teneurs des échantillons géochimiques (Tableau. 10) ont permis de déterminer les éléments chimiques les plus corrélés entre eux.

Tableau. 10 - Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Mounchar (Nombre des échantillons utilisés : 666)

Eléments	Mn	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Cd	Sn	Ba
<b>Mn</b>	1								
<b>Mo</b>	0.0092	1							
<b>Cu</b>	<b>0.1014</b>	0.0074	1						
<b>Pb</b>	<b>0.2695</b>	-0.003	<b>0.1863</b>	1					
<b>Zn</b>	<b>0.093</b>	0.0172	-0.014	<b>0.1242</b>	1				
<b>Ag</b>	0.0663	0.0048	<b>0.3518</b>	<b>0.1107</b>	0.0621	1			
<b>Cd</b>	-0.006	0.007	<b>0.2606</b>	<b>-0.119</b>	-0.024	<b>0.1133</b>	1		
<b>Sn</b>	-0.015	-0.036	<b>-0.132</b>	<b>0.1188</b>	<b>0.3682</b>	0.0605	<b>0.1178</b>	1	
<b>Ba</b>	<b>0.208</b>	0.0072	<b>0.1506</b>	0.0238	-0.063	<b>0.494</b>	-0.011	-0.038	1

- Cu est corrélé négativement à Mn, Pb, Ag, Cd et Ba et négativement à Sn
- Zn est corrélé positivement à Pb, Mn et Sn
- Pb est corrélé positivement à Mn, Cu, Ag, Sn et Zn et négativement à Cd
- Ag est corrélé positivement à Cu, Pb, Cd et Ba

Les cercles de corrélation (Fig. 57) et tableau des corrélations entre facteurs loadings (charge) et éléments chimiques dosés (Tableau. 31 en annexe) ont permis de déterminer les différentes associations d'éléments suivantes :

- Association 1 : **Cu – Ag – Ba** corrélée positivement avec les facteurs de charges F1 et F2.
- Association 2 : **Pb – Mn** corrélée négativement avec les facteurs de charges F2 et F3.
- Association 3 : **Zn – Sn** corrélée positivement avec le facteur F3 et négativement avec le facteur F2.

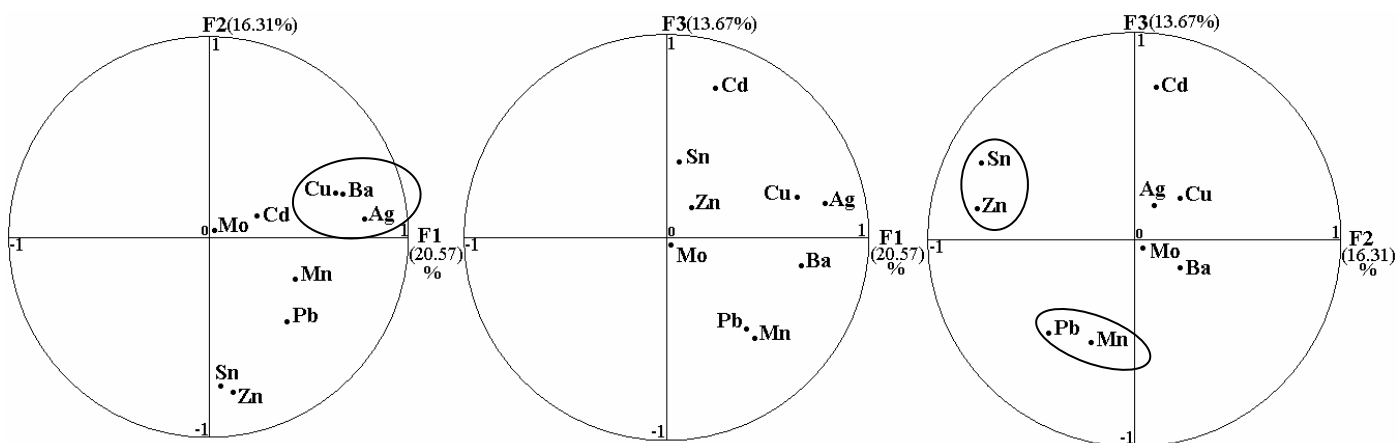


Fig. 57 – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du sous-secteur El Mounchar (Tarbennt, Batna)

La cartographie des facteurs F1, F2 et F3 a permis de localiser les anomalies multi élémentaires susmentionnées (Fig. 58). Pour l'association: Ag, Cu, Ba deux anomalies sont localisées **1Em** et **2Em**, alors que la deuxième association: Pb, Mn deux anomalies sont localisées **1'Em** et **2'Em** et pour la troisième: Zn et Sn une anomalie est localisée **1''Em**.

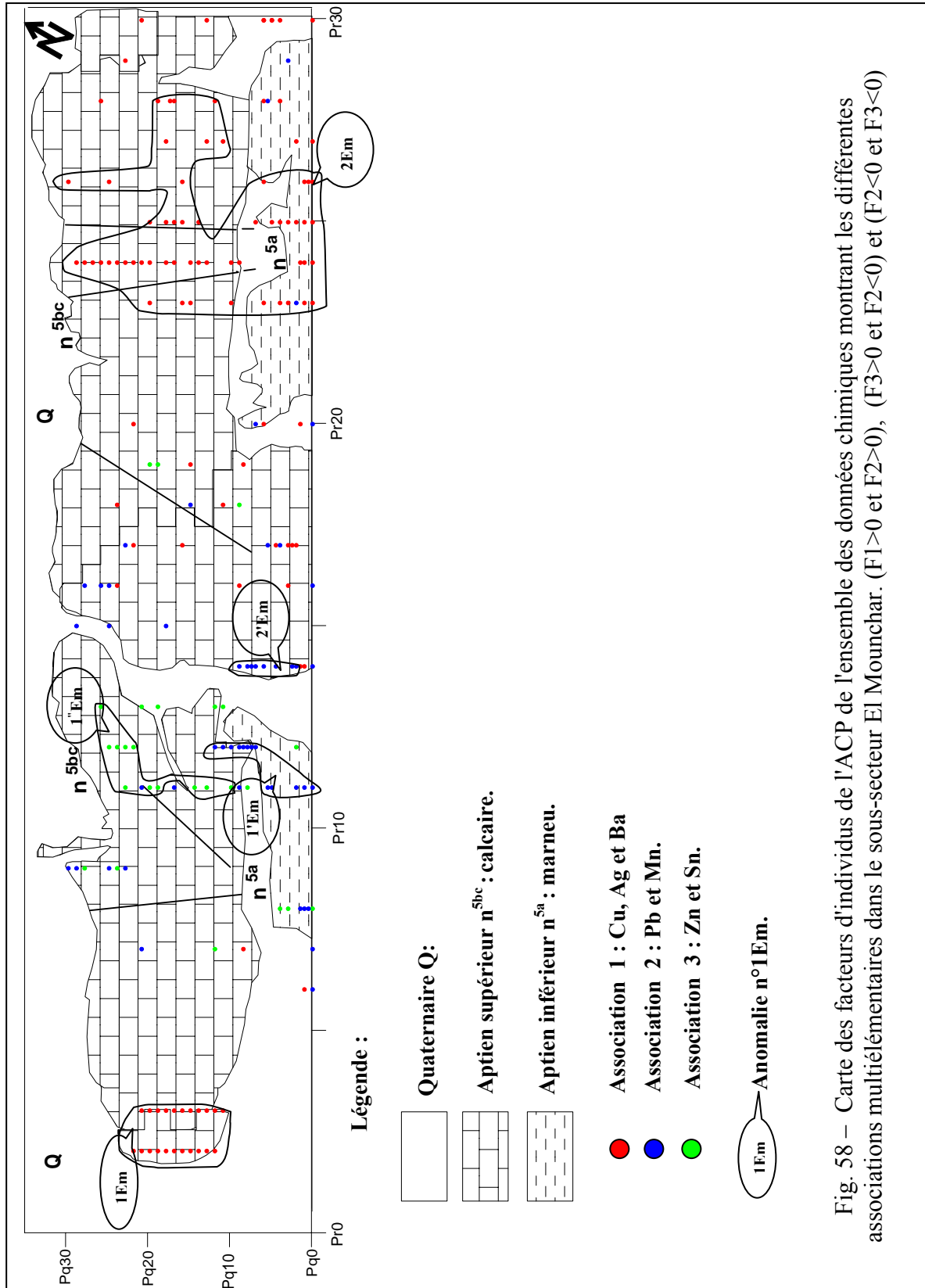


Fig. 58 – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le sous-secteur El Mounchar. ( $F1 > 0$  et  $F2 > 0$ ), ( $F3 > 0$  et  $F2 < 0$ ) et ( $F2 < 0$  et  $F3 < 0$ )

IV. - 1. - 1. - 2. - Secteur Djendli

Les coefficients de corrélation linéaire simple calculés à l'aide des teneurs des échantillons géochimiques (Tableau. 11), ont permis de déterminer les éléments chimiques les plus corrélés entre eux.

Tableau. 11 - Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le secteur Djendli (Nombre des échantillons utilisés : 657)

Eléments	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Sb	Zn	Ba
<b>Mn</b>	1							
<b>Mo</b>	-0.068	1						
<b>Cu</b>	0.058	<b>-0.230</b>	1					
<b>Pb</b>	<b>0.163</b>	<b>-0.084</b>	-0.011	1				
<b>Ag</b>	<b>0.154</b>	<b>-0.318</b>	<b>0.446</b>	<b>0.158</b>	1			
<b>Sb</b>	0.041	<b>-0.143</b>	<b>-0.211</b>	0.057	<b>0.101</b>	1		
<b>Zn</b>	<b>0.112</b>	<b>-0.194</b>	<b>0.306</b>	<b>0.078</b>	<b>0.481</b>	-0.035	1	
<b>Ba</b>	<b>0.181</b>	<b>-0.107</b>	<b>0.168</b>	<b>0.156</b>	<b>0.240</b>	-0.035	<b>0.297</b>	1

- Cu est corrélé négativement à Ag, Zn et Ba et négativement à Mo, Sb
- Zn est corrélé positivement à Pb, Mn, Cu, Ag et Ba et négativement Mo
- Pb est corrélé positivement à Mn, Ag, Ba et Zn et négativement à Mo
- Ag est corrélé positivement à Mn, Cu, Pb, Sb, Zn et Ba et négativement à Mo

Les cercles de corrélation (Fig. 59) et le tableau des corrélations entre facteurs loadings (charge) et éléments chimiques dosés (Tableau. 32 en annexe) ont permis de déterminer les différentes associations multi élémentaires suivantes :

- Association 1 : **Cu - Zn et Ag** Corrélée positivement avec le facteur F3 et négativement avec le facteur F2.
- Association 2 : **Pb - Mn et Ba** Corrélée positivement avec le facteur F1 et négativement avec le facteur F3.

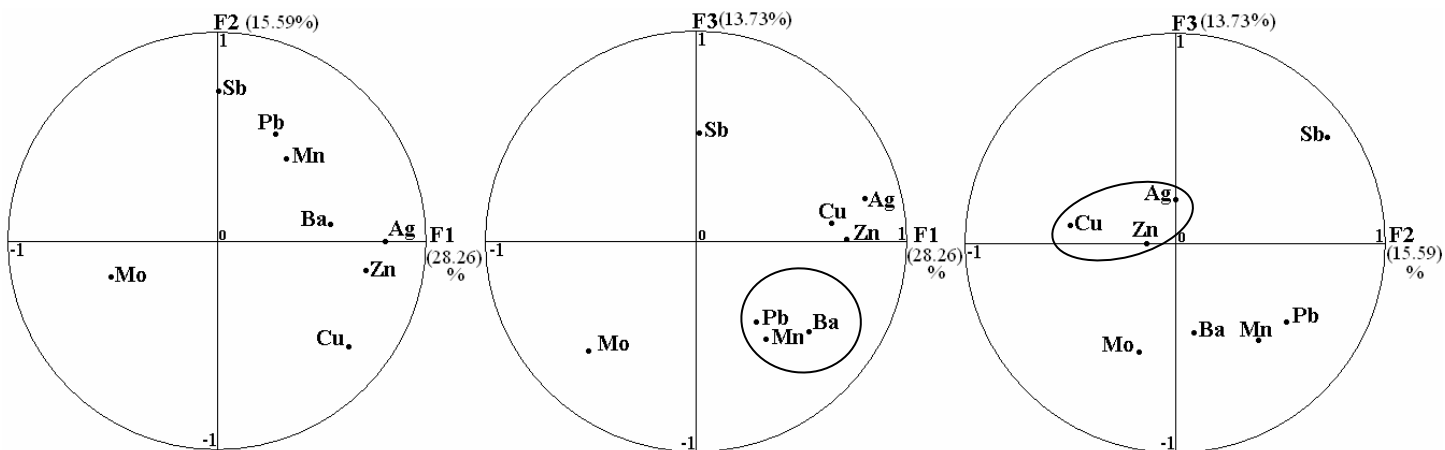


Fig. 59 – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du secteur Djendli (Batna)

La cartographie des facteurs F1, F2 et F3 a permis de localiser les anomalies multi élémentaires susmentionnées (Fig. 60). Pour la association: Cu, Ag et Zn deux anomalies sont localisées **1Dj** et **2Dj**, et pour la deuxième association Pb, Mn et Ba deux anomalies sont localisées **1'Dj**, **2'Dj** et **3'Dj**.

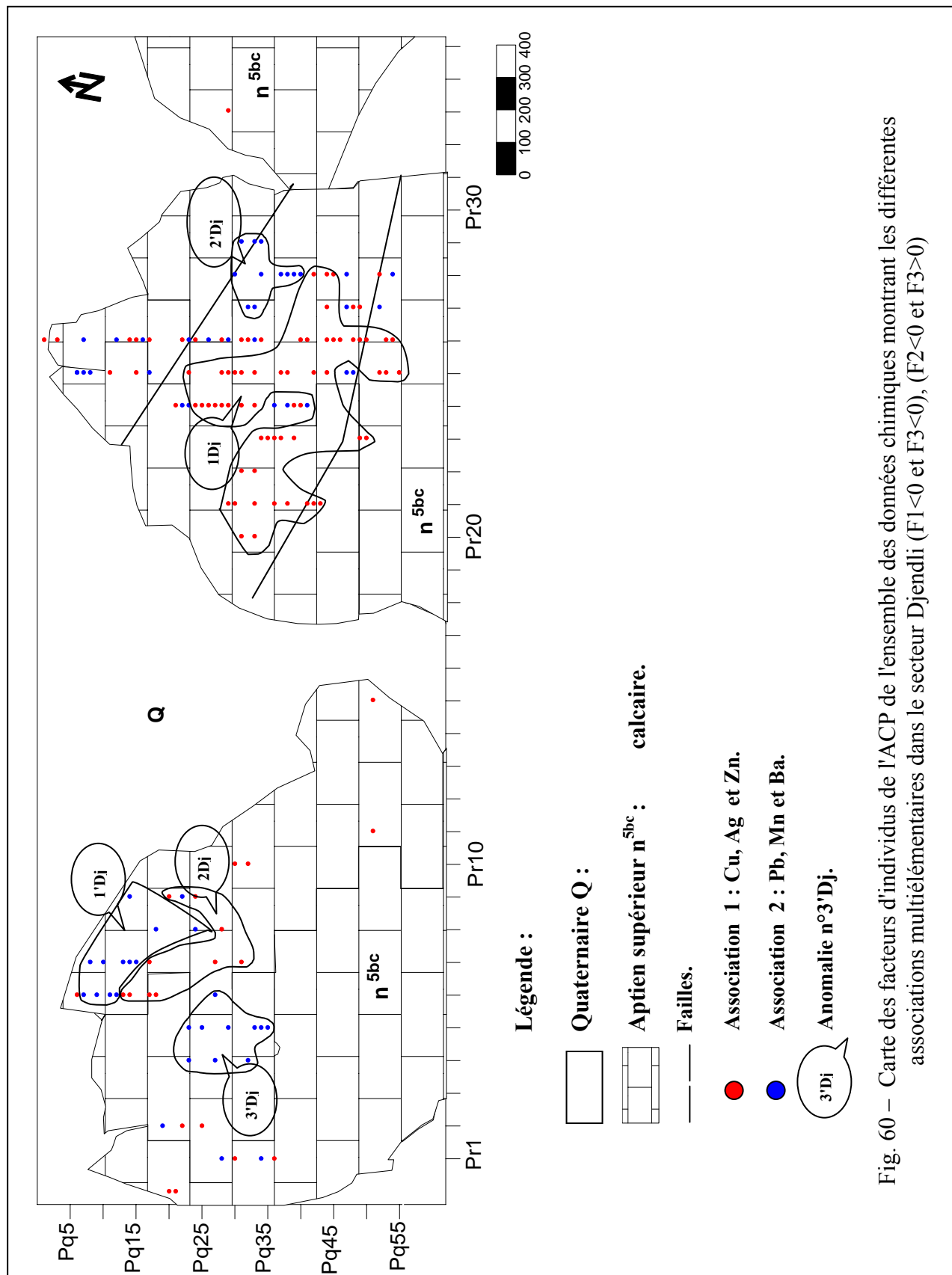


Fig. 60 – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le secteur Djendli ( $F1 < 0$  et  $F3 < 0$ ), ( $F2 < 0$  et  $F3 > 0$ )

IV. - 1. - 1. - 3. - Secteur Toumbait

Les coefficients de corrélation linéaire simple calculés à l'aide des teneurs des échantillons géochimiques (Tableau. 12) ont permis de déterminer les éléments chimiques les plus corrélés entre eux.

Tableau. 12 - Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le secteur Toumbait (Nombre des échantillons utilisés : 334)

Eléments	Mn	Co	Mo	Cu	Pb	Ag	Zn	Sn	Ba
<b>Mn</b>	1								
<b>Co</b>	0.1879	1							
<b>Mo</b>	0.0994	<b>0.3381</b>	1						
<b>Cu</b>	0.3154	-0.0219	0.0273	1					
<b>Pb</b>	0.0524	0.0336	0.0178	<b>0.3845</b>	1				
<b>Ag</b>	0.0064	0.0002	0.0165	<b>0.5154</b>	<b>0.3655</b>	1			
<b>Zn</b>	0.0217	0.0028	0.0018	<b>0.5885</b>	<b>0.4990</b>	<b>0.7830</b>	1		
<b>Sn</b>	0.3360	-0.020	0.0732	<b>0.2925</b>	-0.0045	0.0160	-0.0032	1	
<b>Ba</b>	0.0956	<b>0.6322</b>	<b>0.4848</b>	-0.0326	-0.0111	-0.0081	-0.0153	-0.0133	1

- Cu est corrélé négativement à Ag, Zn, Pb et Sn
- Zn est corrélé positivement à Pb, Cu et Ag
- Pb est corrélé positivement à Ag, Cu et Zn
- Ag est corrélé positivement à Cu, Pb et Zn

Les cercles de corrélation (Fig. 61) et le tableau des corrélations entre facteurs loadings (charge) et éléments chimiques dosés (Tableau. 33 en annexe) ont permis de déterminer les différentes associations multi élémentaires suivantes :

- Association 1 : **Pb – Zn – Ag – Cu (Sn).**
- Association 2 : **Co – Mo – Ba.**

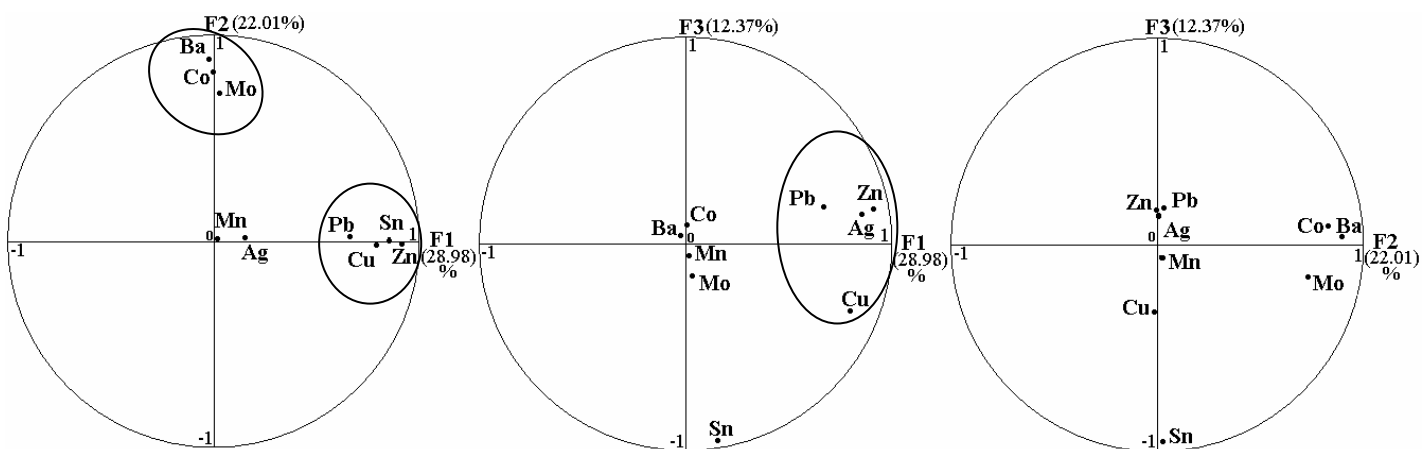


Fig. 61 – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du secteur Toumbait (Batna)

La cartographie des facteurs F1, F2 et F3 a permis de localiser les anomalies multi élémentaires susmentionnées (Fig. 62).

Pour la première association: Pb, Cu, Ag, Zn et Sn deux associations sont localisées **1Tm** et **2Tm** dans la partie Est et Ouest du sous-secteur, alors que la deuxième association: Ba, Mo et Co une anomalie est localisée **1Tm** dans la partie centre.

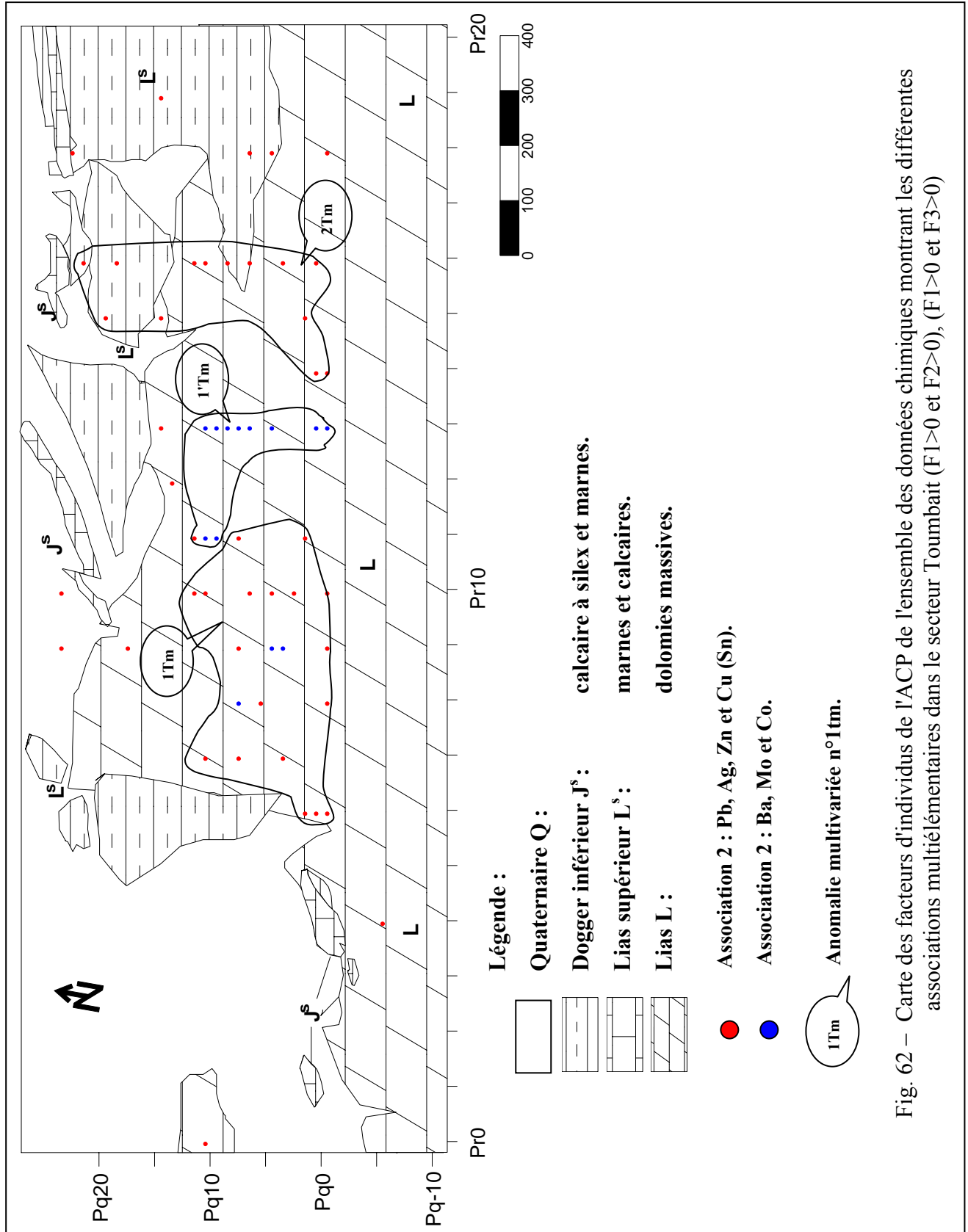


Fig. 62 – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le secteur Toumbait (F1>0 et F2>0), (F1>0 et F3>0)

IV. - 1. - 1. - 4. - Secteur Ain Bougda

A partir de calculs des coefficients de corrélation linéaire simple à l'aide des teneurs des échantillons géochimiques (Tableau. 13) a permis de déterminer les éléments chimiques les plus corrélés entre eux.

Tableau. 13 - Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le secteur Ain Bougda (Nombre des échantillons utilisés : 769)

Eléments	Mn	Mo	Cu	Pb	Ag	Zn	Sn
Mn	1						
Mo	<b>0.5270</b>	1					
Cu	<b>0.6479</b>	<b>0.6779</b>	1				
Pb	<b>0.6485</b>	<b>0.5153</b>	<b>0.6552</b>	1			
Ag	<b>0.4371</b>	<b>0.5491</b>	<b>0.6441</b>	<b>0.4674</b>	1		
Zn	<b>0.5448</b>	<b>0.4339</b>	<b>0.5482</b>	<b>0.6326</b>	<b>0.4992</b>	1	
Sn	<b>0.4059</b>	<b>0.5602</b>	<b>0.5992</b>	<b>0.4266</b>	<b>0.7343</b>	<b>0.4277</b>	1

- Cu est corrélé négativement à Ag, Zn, Pb, Mo, Mn et Sn
- Zn est corrélé positivement à Ag, Pb, Mo, Mn et Sn
- Pb est corrélé positivement à Ag, Zn, Mo, Mn et Sn
- Ag est corrélé positivement à Zn, Pb, Mo, Mn et Sn

Les cercles de corrélation (Fig. 63) le tableau des corrélations entre facteurs loadings (charge) et éléments dosés (Tableau. 34 en annexe) ont permis de déterminer les différentes associations d'éléments suivantes :

- Association 1 : **Pb – Zn – (Mn).**
- Association 2 : **Cu – Mo – Ag – Sn.**

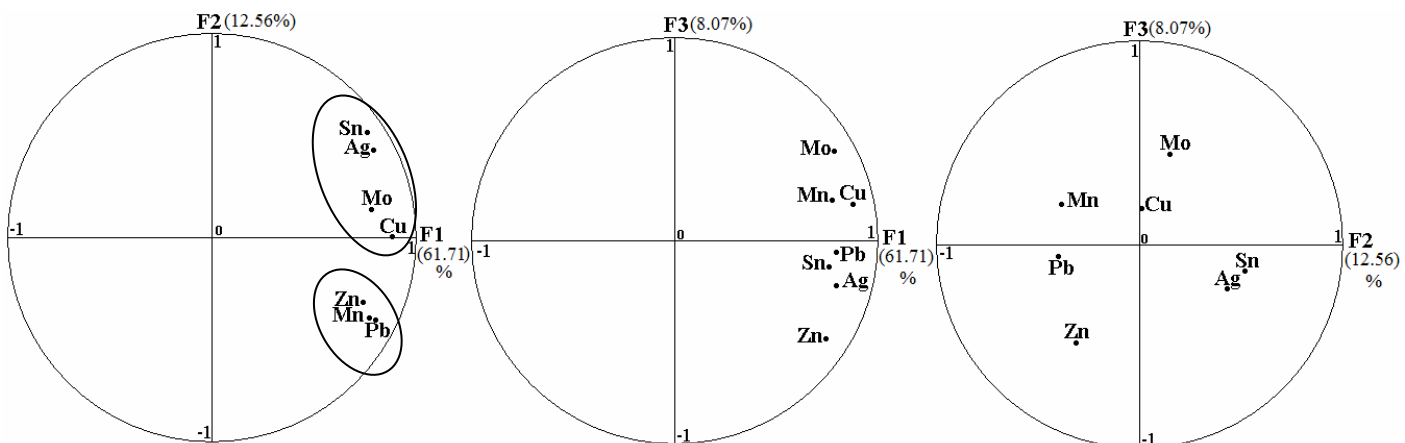


Fig. 63 – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du secteur Ain Bougda (Batna)

La cartographie des facteurs F1 et F2 a permis de localiser les anomalies multi élémentaires susmentionnées (Fig. 64).

Pour l'association: PB, Zn et Mn trois anomalies sont localisées **1Ab** à **3Ab**, alors que pour l'association: Cu, Ag, Mo et Sn deux associations sont localisées **1'Ab** à **2'Ab**

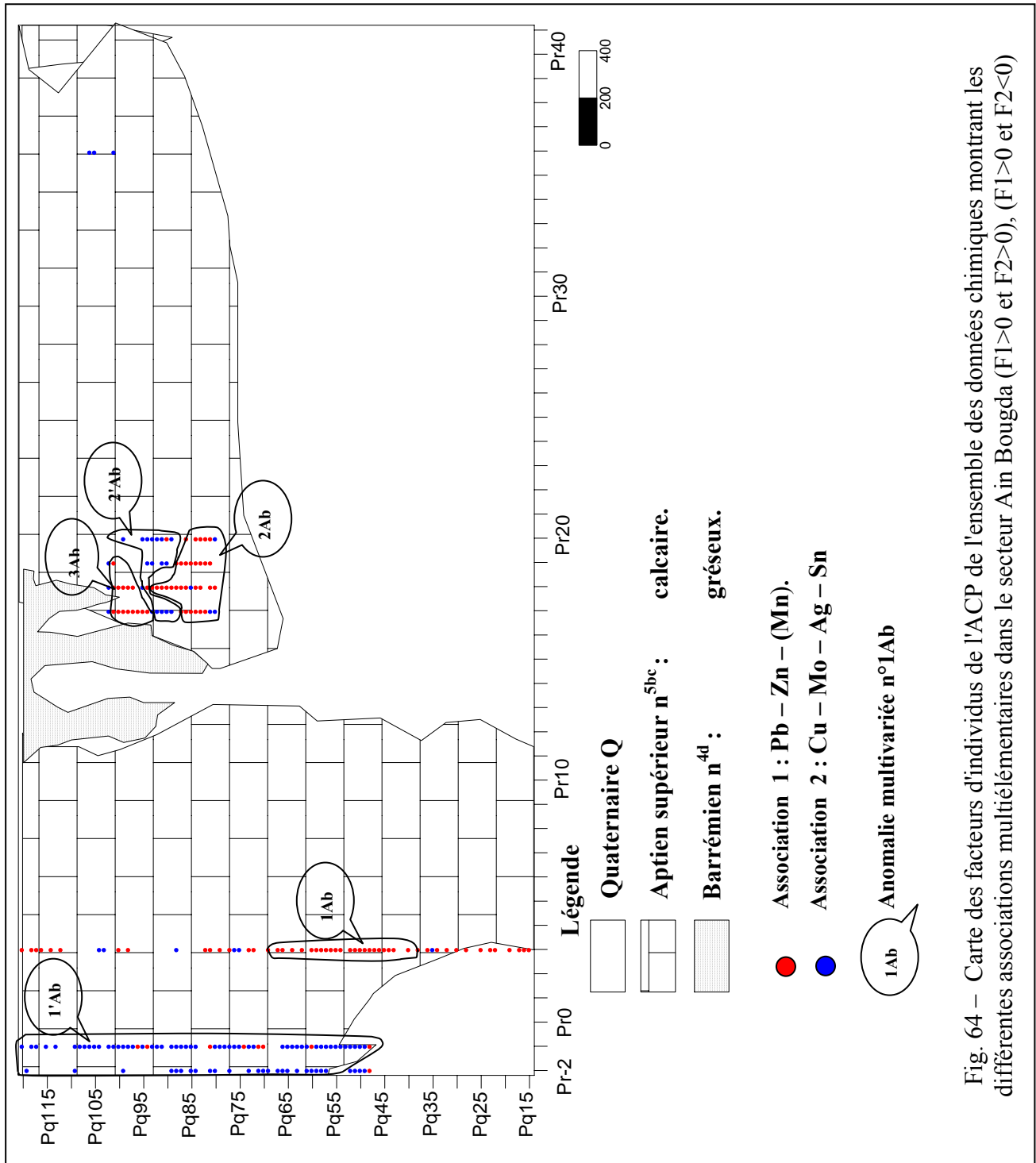



Fig. 64 – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multivariées dans le secteur Ain Bougda ( $F1 > 0$  et  $F2 < 0$ ), ( $F1 > 0$  et  $F2 < 0$ )

Les résultats des analyses en composantes principales normées effectuées dans les différents secteurs et sous-secteurs montrent les associations chimiques multiélémentaires (Tableau. 14) dont les principales sont:

 **Pb, Zn et Ag.**

 **Pb, Zn, Ag et Cu.**

 **Pb, Zn.**

 **Cu, Ag.**

Ces associations pourraient s'exprimer minéralogiquement comme suit:

- Une minéralisation sulfurée plombo-zincifère (Galène et Sphalérite) à contenu argentifer (Pb, Zn et Ag).
- Une minéralisation zincifère sulfurée (Sphalérite et Smithsonite) (Zns).
- Une minéralisation plombifère sulfurée (Galène et Cérusite) à la quelle s'ajoute des oxydes de manganèses (Pbs).
- Une minéralisation cuprifère sulfurée (Cu).

Ces associations chimiques sont probablement la conséquence d'une minéralisation multiphasée.

Tableau. 14 – Résultats d'analyse en composantes principales normée dans les secteurs d'étude

Secteurs d'étude		Association chimique	Nombre d'anomalies	Anomalie Multivariée (ACP)
Secteur Tarbennt	S/secteur Ain	Association: Pb, Zn et Ag	<b>06</b>	<b>1AY, 2AY, 3AY, 4AY, 5AY, et 6AY</b>
	Yaghout	Association: Cu et Mo (Sn)	<b>02</b>	<b>1'AY, 2'AY</b>
		Association: Ba et Mn	<b>03</b>	<b>1''AY, 2''AY et 3''AY</b>
	S/secteur El Haouia	Association: Zn, Pb, Ag, Mn (Cu)	<b>04</b>	<b>1Ha, 2Ha, 3Ha et 4Ha</b>
	El Mounchar	Association: Sr, Mo et Sn	<b>02</b>	<b>1'Ha et 2'Ha</b>
			Association: Cu, Ag et Ba	<b>02</b>
Association: Pb et Mn		<b>02</b>	<b>1'Em et 2'Em</b>	
Mounchar	Association: Zn et Sn	<b>01</b>	<b>1''Em</b>	
Secteur Djendli		Association: Cu, Ag et Zn	<b>02</b>	<b>1Dj et 2Dj</b>
		Association: Pb, Mn et Ba	<b>03</b>	<b>1'Dj, 2'Dj et 3'Dj</b>
Secteur Toumbait		Association: Pb, Zn, Ag et Cu (Sn)	<b>02</b>	<b>1Tm et 2Tm</b>
		Association: Ba, Mo et Co	<b>01</b>	<b>1'Tm</b>
Secteur Ain Bougda		Association: Pb, Zn et Mn	<b>03</b>	<b>1Ab, 2Ab et 3Ab</b>
		Association: Cu, Ag, Mo et Sn	<b>02</b>	<b>1'Ab et 2'Ab</b>

#### IV. - 1. - 2. - Détermination et localisation des anomalies monovariées dans les différents secteurs et sous secteurs

Au total 4615 échantillons lithogéochimique ont été prélevés dans les différents secteurs est sous-secteurs. L'analyse spectrale semi-quantitative a porté sur les éléments: Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, Ba, Mn, Sn, Cd, As et Mo.

L'analyse statistique monovariée permet de résumer graphiquement ou par calcul, les caractéristiques essentielles de la distribution d'une variable donnée. Les paramètres de distribution sont couramment utilisés pour l'estimation des seuils et la cartographie des anomalies monovariées pour l'élément chimique donné.

#### IV. - 1. - 2. - 1. - Secteur de Tarbennt

##### a. - Sous-secteur de Ain Yaghout

Au total, 1447 échantillons ont été prélevés sur la roche mère carbonatée. L'analyse spectrale semi-quantitative a été portée sur les éléments : Mn, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Sn, Sr, Ba et Ni. Les paramètres statistiques des éléments chimiques ont été calculés (Tableau. 15).

Tableau. 15 - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur d'Ain Yaghout

Eléments	Mn	Mo	Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Sr	Ba	Ni
Unité	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-4</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-5</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %
Seuil. det	1	4	1	1	1	1	4	1	3	5
Val. abs	127	42	13	5	40	27	266	804	34	872
T.>.seuil	554	172	970	36	168	36	31	8	78	111
T. min	0.25	1	0.25	0.25	0.25	0.25	1	0.25	0.75	1
T. max	100	100	30	20	30	6	8	3	60	8
T. moy	1.95	3.03	2.16	0.37	0.72	0.37	1.49	0.28	1.18	2.52
Ec. type	6.08	6.7	2.39	0.55	1.59	0.36	0.76	0.18	2.27	1.67
C. V %	32.07	45.22	90.37	67.27	45.28	102.7	196	155.55	51.98	150.89

Seuil. Det	Teneur limite minimale de détection quantifiée
Val. Abs	Nombre des teneurs absentes
T.>.seuil	Nombre des teneurs supérieurs à la valeur limite de détection
T. min	Teneur minimale
T. moy	Teneur moyenne arithmétique des échantillons
Ec. Type	Ecart type
C. V %	Coefficient de variation

Le traitement monovarié a porté sur les éléments chimiques des polymétaux : Pb, Cu, Zn et Ag. Les teneurs de chacun des éléments chimiques sus cités sont présentés sous forme de graphes Histogramme et Graphe de probabilité.

Le but de cette représentation est de connaître la loi de distribution des données. Cet outil très simple permet de vérifier l'homogénéité ou non d'une série de données chimiques.

**a. Cuivre (Cu)**

Le graphe de probabilité de l'élément Cu (Fig. 65) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $5 \cdot 10^{-3}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $5 \cdot 10^{-3}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 88% et la deuxième classe représente 12% de la population.

**b. Argent (Ag)**

Le graphe de probabilité de l'élément Ag (Fig. 66) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $1 \cdot 10^{-5}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $1 \cdot 10^{-5}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 96% et la deuxième classe représente 4% de la population.

**c. Plomb (Pb)**

Le graphe de probabilité de l'élément Pb (Fig. 67) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $2 \cdot 10^{-3}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $2 \cdot 10^{-3}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 94% et la deuxième classe représente 6% de la population.

**d. Zinc (Zn)**

Le graphe de probabilité de l'élément Zn (Fig. 68) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $2 \cdot 10^{-2}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $2 \cdot 10^{-2}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 99% et la deuxième classe représente 1% de la population.

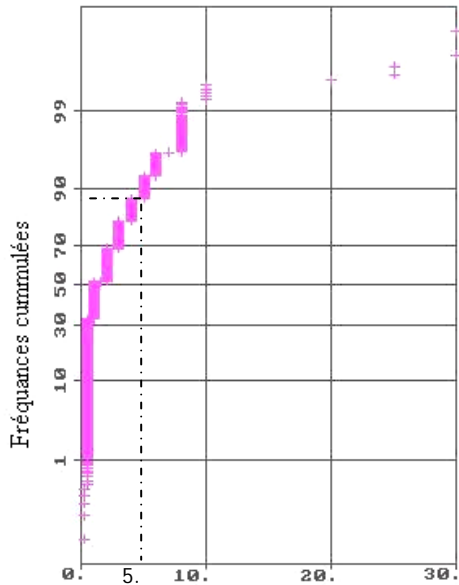


Fig. 65 - Graphe de probabilité de Cu

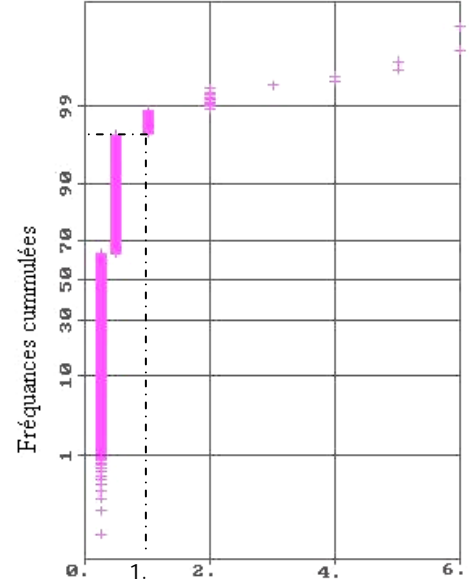


Fig. 66 - Graphe de probabilité de Ag

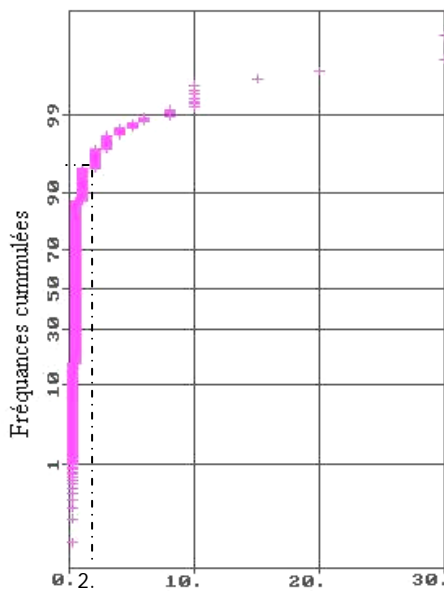


Fig. 67 - Graphe de probabilité de Pb

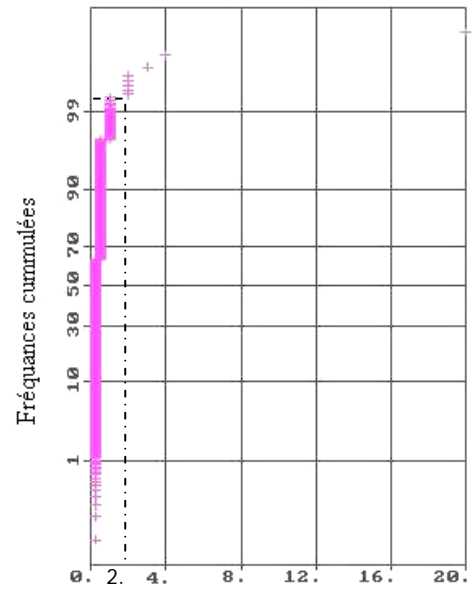
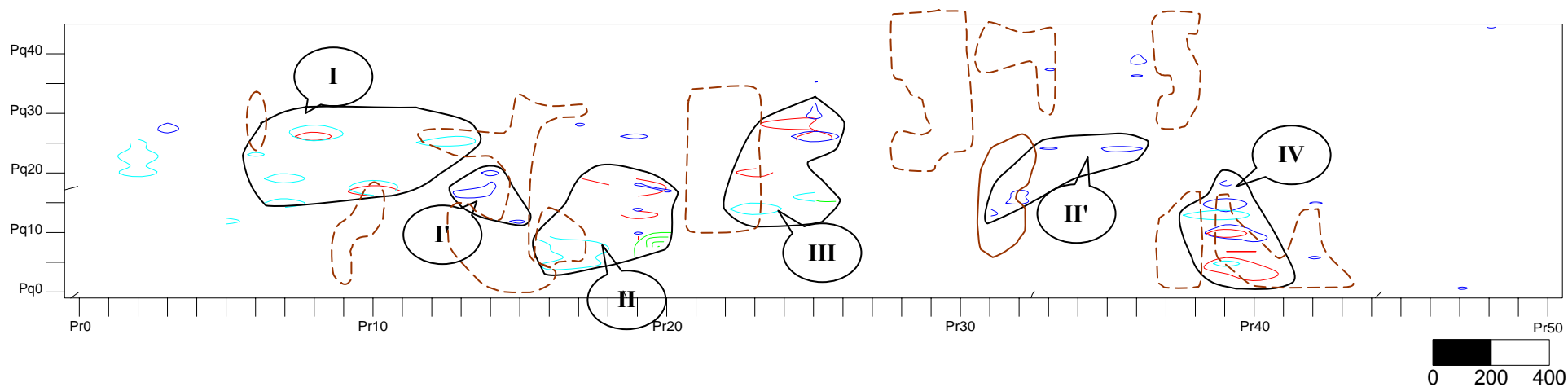


Fig. 68 - Graphe de probabilité de Zn

La superposition des cartes des isoteneurs des éléments chimiques (Fig. 69) a permis de distinguer les anomalies mono et multiélémentaires suivantes:

- Quatre anomalies multiélémentaires: Pb, Ag et Zn (Cu), notés **I**, **II**, **III** et **IV**.
- Deux anomalies pour l'élément Cu, notés **I'** et **II'**.



**Légende**

- Teneurs  $> 7 \cdot 10^{-3} \%$  en Cu
- Teneurs  $> 1 \cdot 10^{-5} \%$  en Ag
- Teneurs  $> 3 \cdot 10^{-3} \%$  en Pb
- Teneurs  $> 1.5 \cdot 10^{-2} \%$  en Zn
- I Zone anormale à fort potentiel géochimique (superposition de plusieurs anomalies monovariées)
- Anomalies multivariées (des différentes associations chimiques, résultat ACP Fig. 54)

Fig. 69 – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le sous-secteur Ain Yaghout

**b. - Sous-secteur El Haouia**

Au total, 394 échantillons ont été prélevés sur la roche mère carbonatée. L'analyse spectrale semi-quantitative a été portée sur les éléments : Mn, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Sn, Sr, Ba et As. Les paramètres statistiques des éléments chimiques ont été calculés (Tableau. 16).

Tableau. 16 - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Haouia

Eléments	Mn	Mo.	Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Sr	Ba	As
Unité	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-4</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-5</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %
Seuil. Det	1	4	1	1	1	1	4	1	3	1
Val. Abs	77	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T.>.seuil	102	17	297	19	122	93	1	20	20	3
T. min	0.25	1	0.25	0.25	0.25	0.25	1	0.25	0.75	0.25
T. max	25	60	8	4	20	30	10	2	15	8
T. moy	1.19	1.75	2.01	0.39	1.07	0.87	1.36	0.39	1.14	0.30
Ec. type	1.95	3.33	1.49	0.34	1.69	2.18	0.64	0.21	1.26	0.62
C. V %	60.02	52.55	134.89	114.7	63.31	39.9	212.5	185.71	90.47	48.38

(Légende voir Tableau. 15).

**a. Cuivre (Cu)**

Le graphe de probabilité de l'élément Cu (Fig. 70) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 4 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 4 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 80% et la deuxième classe représente 20% de la population.

**b. Argent (Ag)**

Le graphe de probabilité de l'élément Ag (Fig. 71) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 2 10<sup>-5</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 2 10<sup>-5</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 89% et la deuxième classe représente 11% de la population.

**c. Plomb (Pb)**

Le graphe de probabilité de l'élément Pb (Fig. 72) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 2 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 2 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 88% et la deuxième classe représente 12% de la population.

**d. Zinc (Zn)**

Le graphe de probabilité de l'élément Zn (Fig. 73) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $1 \cdot 10^{-2}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $1 \cdot 10^{-2}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 94% et la deuxième classe représente 6% de la population.

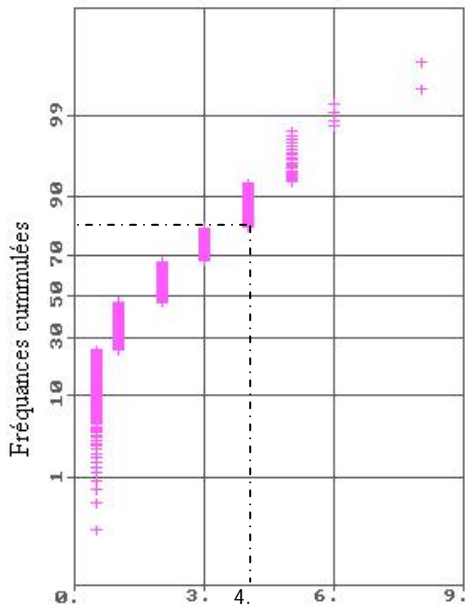


Fig. 70 -Graphe de probabilité de Cu

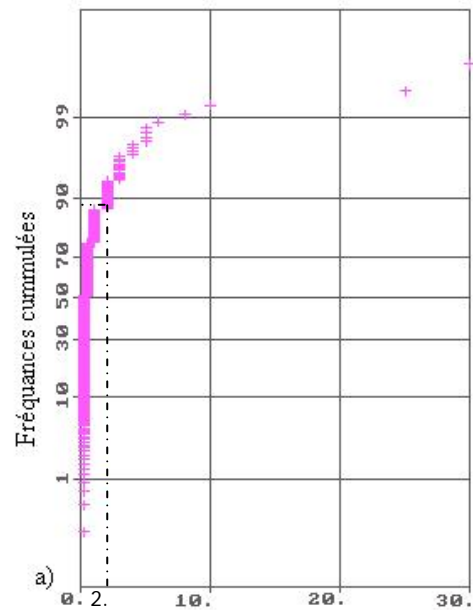


Fig. 71 - Graphe de probabilité de Ag

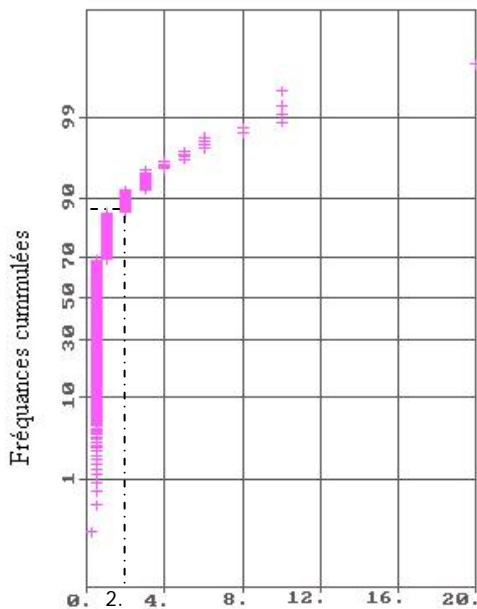


Fig. 72 - Graphe de probabilité de Pb

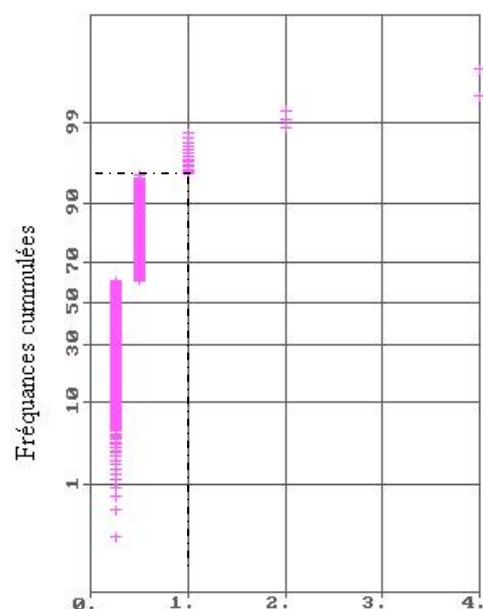


Fig. 73 - Graphe de probabilité de Zn

La superposition des cartes des isoteneurs des éléments chimiques (Fig. 74) a permis de distinguer les anomalies mono et multiélémentaires suivantes:

- Trois anomalies multiélémentaires: Pb, Ag, Zn et Cu, notés **I**, **II** et **III**.

- Une anomalie multiélémentaire: Pb, Cu et Zn, noté I'.
- Une anomalie multiélémentaire: Pb et Zn, noté I''.
- Une anomalie pour l'élément Cu, noté I'''.

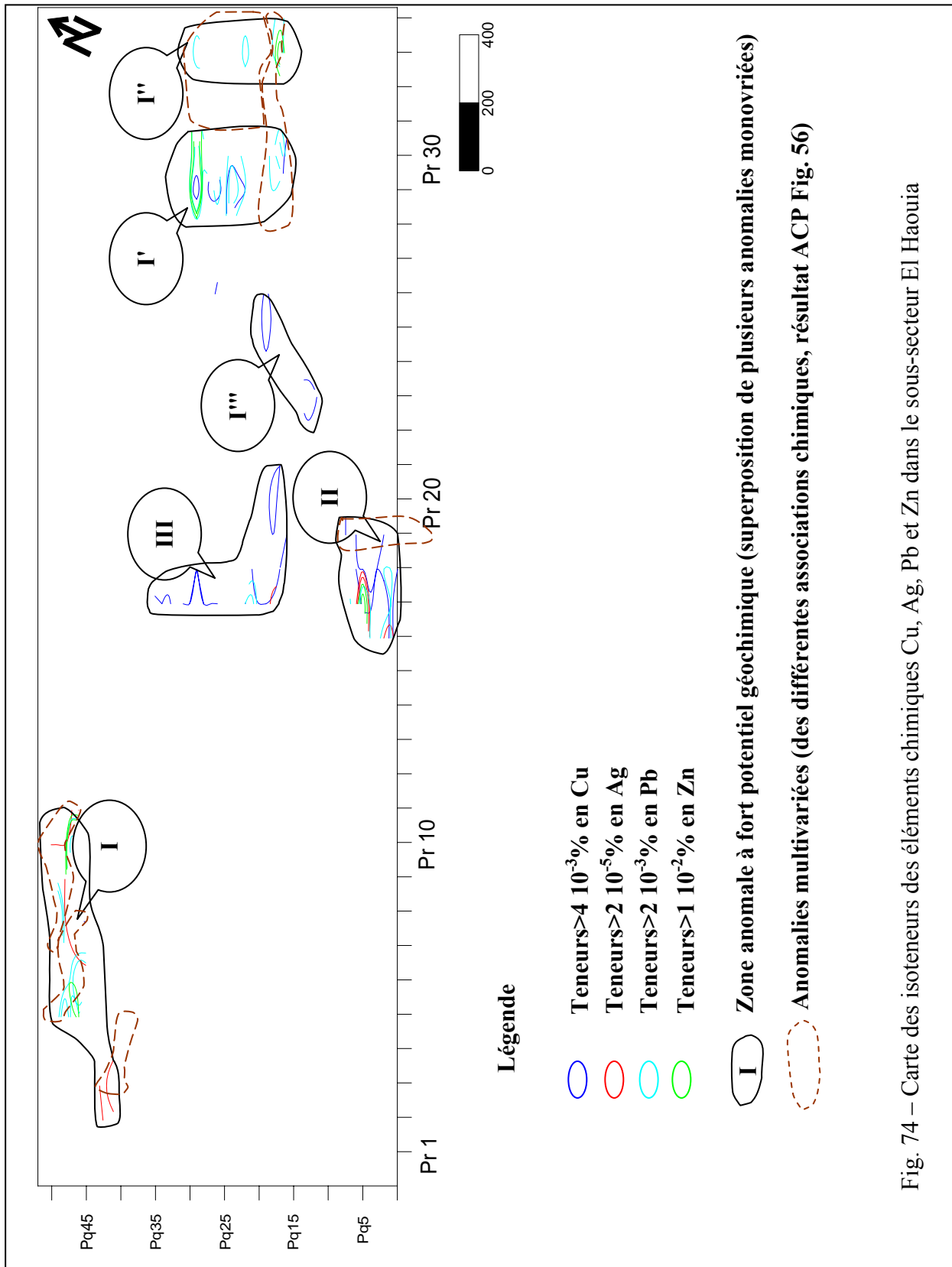


Fig. 74 – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le sous-secteur El Haouia

**c. - Sous-secteur El Mounchar**

Au total, 711 échantillons ont été prélevés sur la roche mère carbonatée. L'analyse spectrale semi-quantitative a été portée sur les éléments : Mn, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Sn, Sr, Ba et Cd. Les paramètres statistiques des éléments chimiques ont été calculés (Tableau. 17).

Tableau. 17 - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Mounchar

Elément s	Mn	Mo	Cu	Zn	Pb	Ag	Cd	Sr	Ba	Sn
Unité	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-4</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-5</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %
Seuil.det	1	4	1	1	1	1	4	1	3	1
Val. Abs	1	1	1	1	1	1	23	302	45	1
T.>.seuil	111	30	300	1	25	13	1	299	189	22
T. min	0.25	1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.75	0.25
T. max	10	30	30	3	6	30	1	4	100	25
T. moy	0.8	1.51	1.33	0.28	0.46	0.38	0.25	1.06	2.64	0.42
Ec. type	1.41	1.85	1.82	0.09	0.27	1.16	0.05	0.62	7.34	1.33
C. V %	176.25	122.51	136.84	32.14	58.69	305.25	4.74	57.94	278.03	316.33

(Légende voire Tableau. 15).

**a. Cuivre (Cu)**

Le graphe de probabilité de l'élément Cu (Fig. 75) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 2 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 2 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 88% et la deuxième classe représente 12% de la population.

**b. Argent (Ag)**

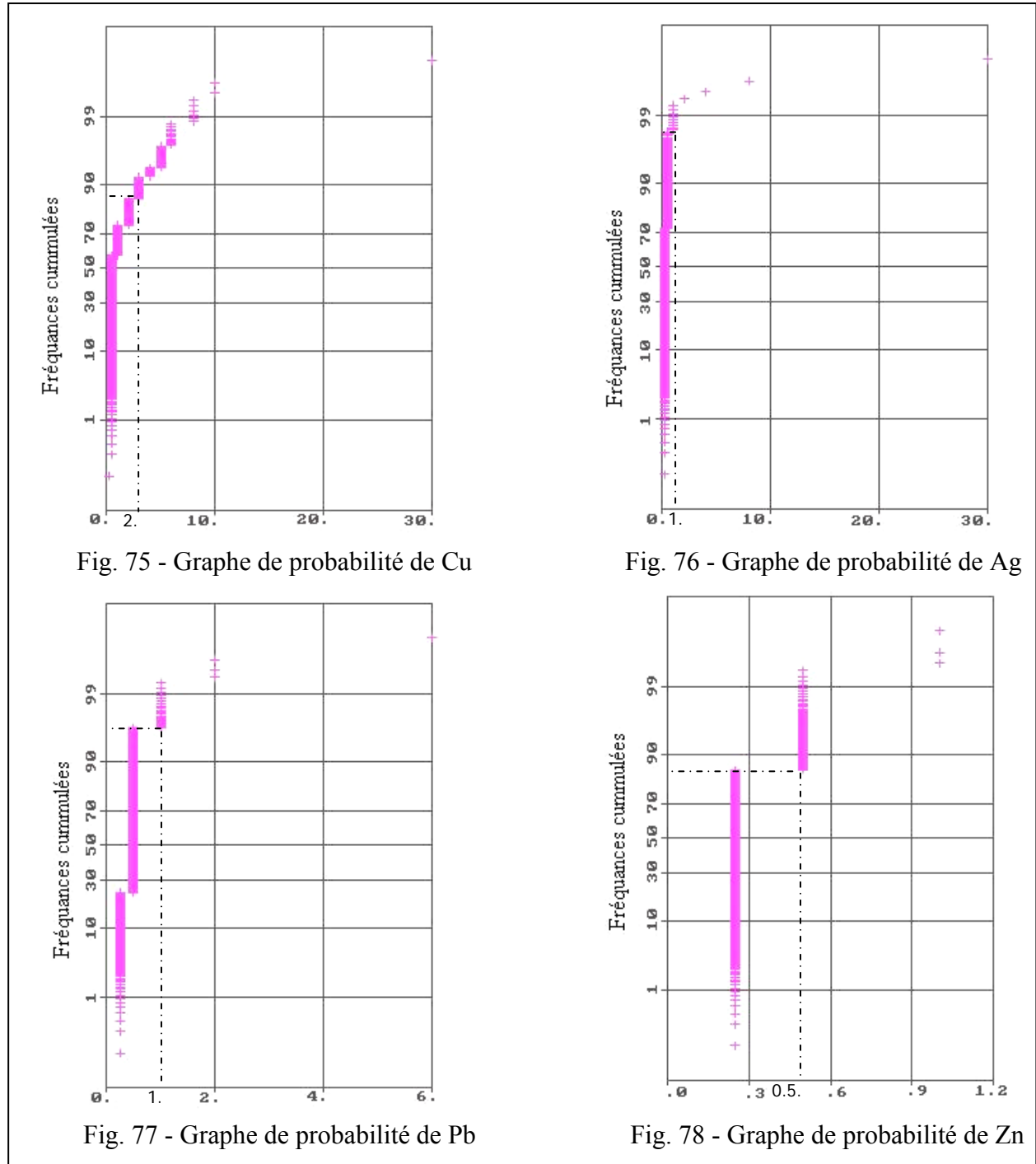
Le graphe de probabilité de l'élément Ag (Fig. 76) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 1 10<sup>-5</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 1 10<sup>-5</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 98% et la deuxième classe représente 2% de la population.

**c. Plomb (Pb)**

Le graphe de probabilité de l'élément Pb (Fig. 77) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 1 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 1 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 95% et la deuxième classe représente 5% de la population.

**d. Zinc (Zn)**

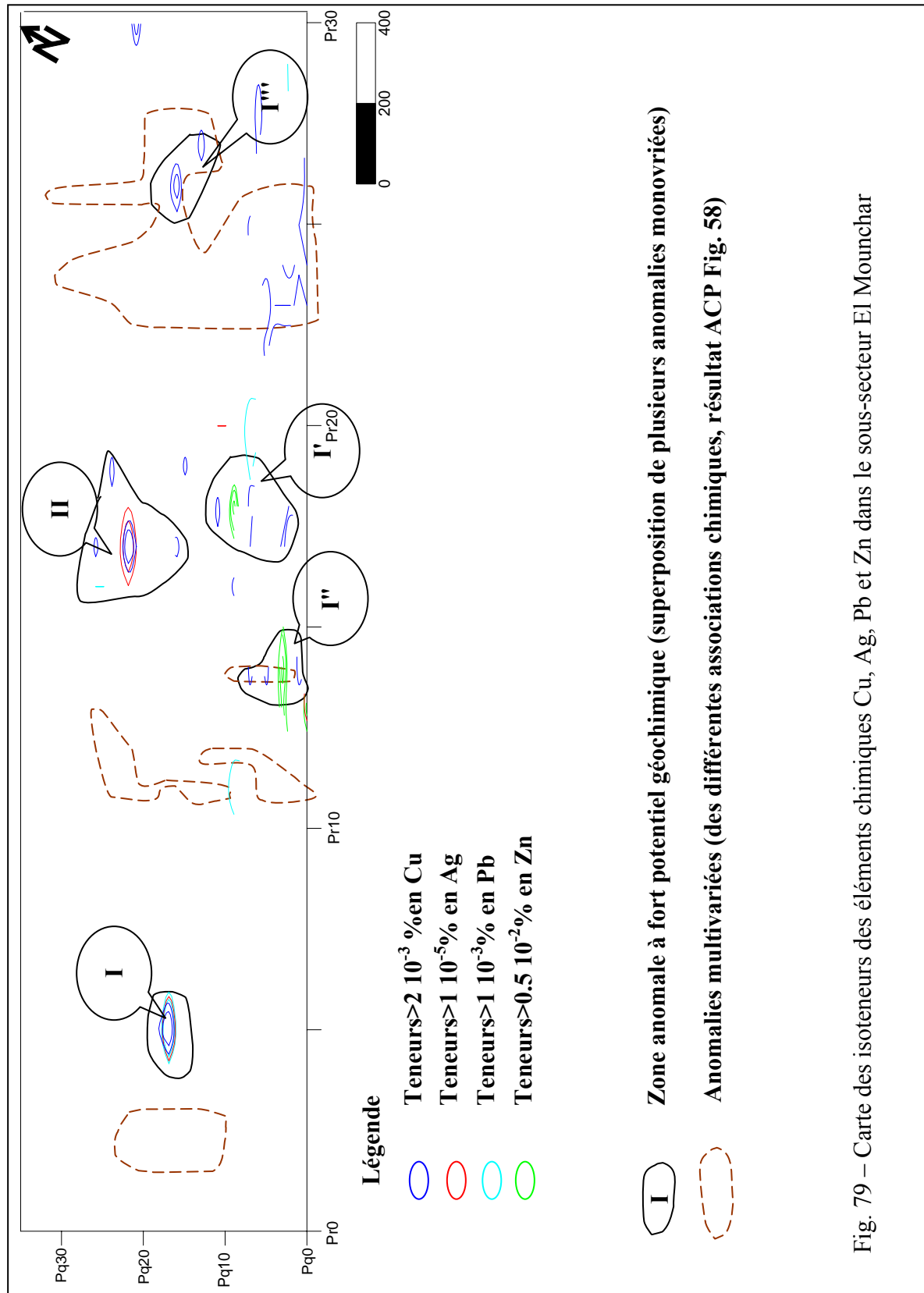
Le graphe de probabilité de l'élément Zn (Fig. 78) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieures à 0.5 10<sup>-2</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 0.5 10<sup>-2</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 87% et la deuxième classe représente 13% de la population.



La superposition des cartes des isoteneurs des éléments chimiques (Fig. 79) a permis de déceler les anomalies mono et multiélémentaires suivantes:

- Deux anomalies multiélémentaires: Pb, Ag et Cu, notés **I et II**.

- Une anomalie multiélémentaire: Pb, Cu et Zn, noté I'.
- Une anomalie pour l'élément Cu et Zn noté I''.
- Une anomalie pour l'élément Cu noté I'''.



#### IV. - 1. - 2. - 2. - Secteur Djendli

Au total, 676 échantillons ont été prélevés sur la roche mère carbonatée. L'analyse spectrale semi-quantitative a été portée sur les éléments : Mn, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Sn et Ba. Les paramètres statistiques des éléments chimiques ont été calculés (Tableau. 18).

Tableau. 18 - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le secteur Djendli

éléments	Mn	Mo	Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Ba
Unité	$10^{-2}\%$	$10^{-4}\%$	$10^{-3}\%$	$10^{-2}\%$	$10^{-3}\%$	$10^{-5}\%$	$10^{-2}\%$	$10^{-2}\%$
Seuil. det	1	4	1	1	1	1	1	3
Val. Abs	0	21	0	0	0	0	0	0
T.>.seuil	130	22	90	20	117	6	9	1
T. min	0.25	1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.75
T. max	20	30	500	80	300	40	6	6
T. moy	2.68	1.59	2.38	1	3.72	1.24	0.28	0.76
Ec. type	2.46	1.79	24.55	4.56	23.56	3.26	0.22	0.09
C. V %	91.88	112.6	1041.2	454	438.39	261.63	77.97	11.84

(Légende voir Tableau. 15).

##### a. Cuivre (Cu)

Le graphe de probabilité de l'élément Cu (Fig. 80) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $2 \cdot 10^{-3}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $2 \cdot 10^{-3}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 93% et la deuxième classe représente 7% de la population.

##### b. Argent (Ag)

Le graphe de probabilité de l'élément Ag (Fig. 81) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $2 \cdot 10^{-5}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $2 \cdot 10^{-5}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 96% et la deuxième classe représente 4% de la population.

##### c. Plomb (Pb)

Le graphe de probabilité de l'élément Pb (Fig. 82) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à  $6 \cdot 10^{-3}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $4 \cdot 10^{-3}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 72% et la deuxième classe représente 28% de la population.

**d. Zinc (Zn)**

Le graphe de probabilité de l'élément Zn (Fig. 83) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieures à  $2 \cdot 10^{-2}\%$  représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieures à  $2 \cdot 10^{-2}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 89% et la deuxième classe représente 11% de la population.

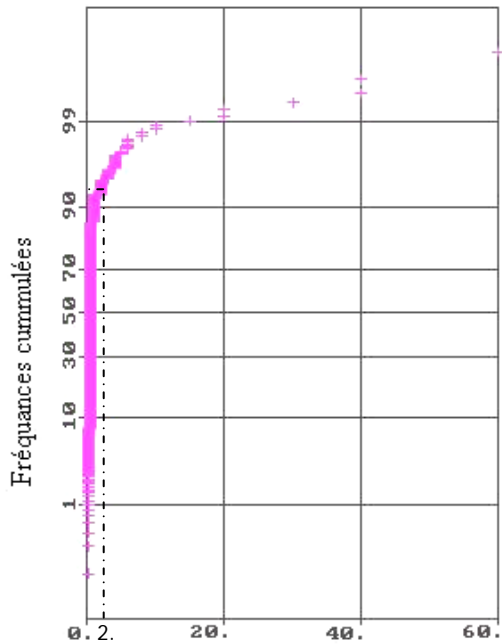


Fig. 80 - Graphe de probabilité de Cu

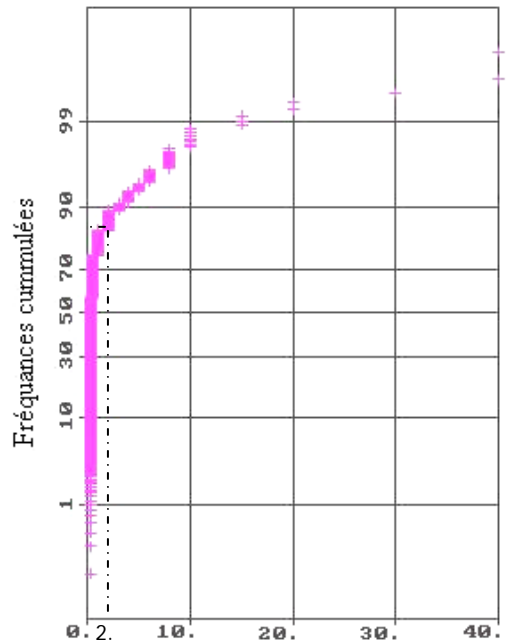


Fig. 81 - Graphe de probabilité de Ag

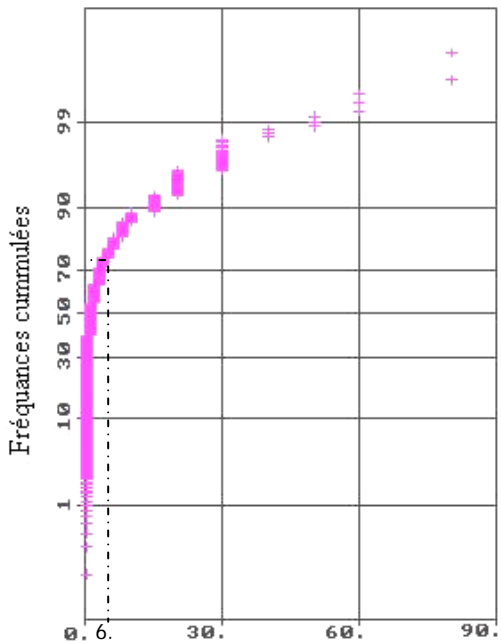


Fig. 82 - Graphe de probabilité de Pb

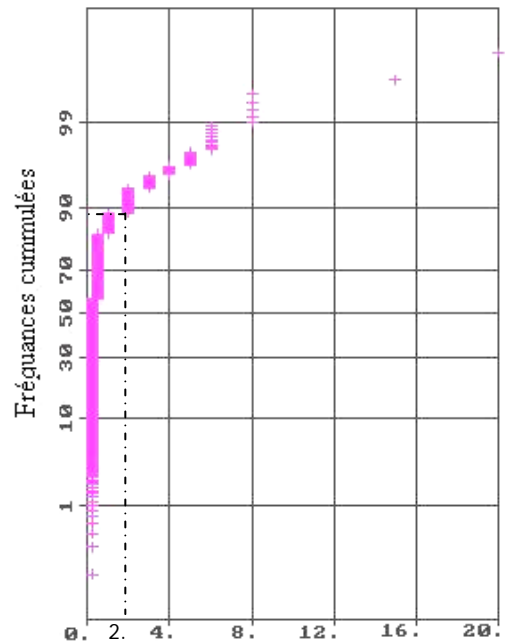


Fig. 83 - Graphe de probabilité de Zn

La superposition des cartes des isoteneurs des éléments chimiques (Fig. 84) a permis de déceler les anomalies mono et multiélémentaires suivantes:

- Trois anomalies multiélémentaires: Pb, Ag, Zn et Cu, notés **I**, **II** et **III**.
- Une anomalie multiélémentaire: Pb et Ag, noté **I'**.

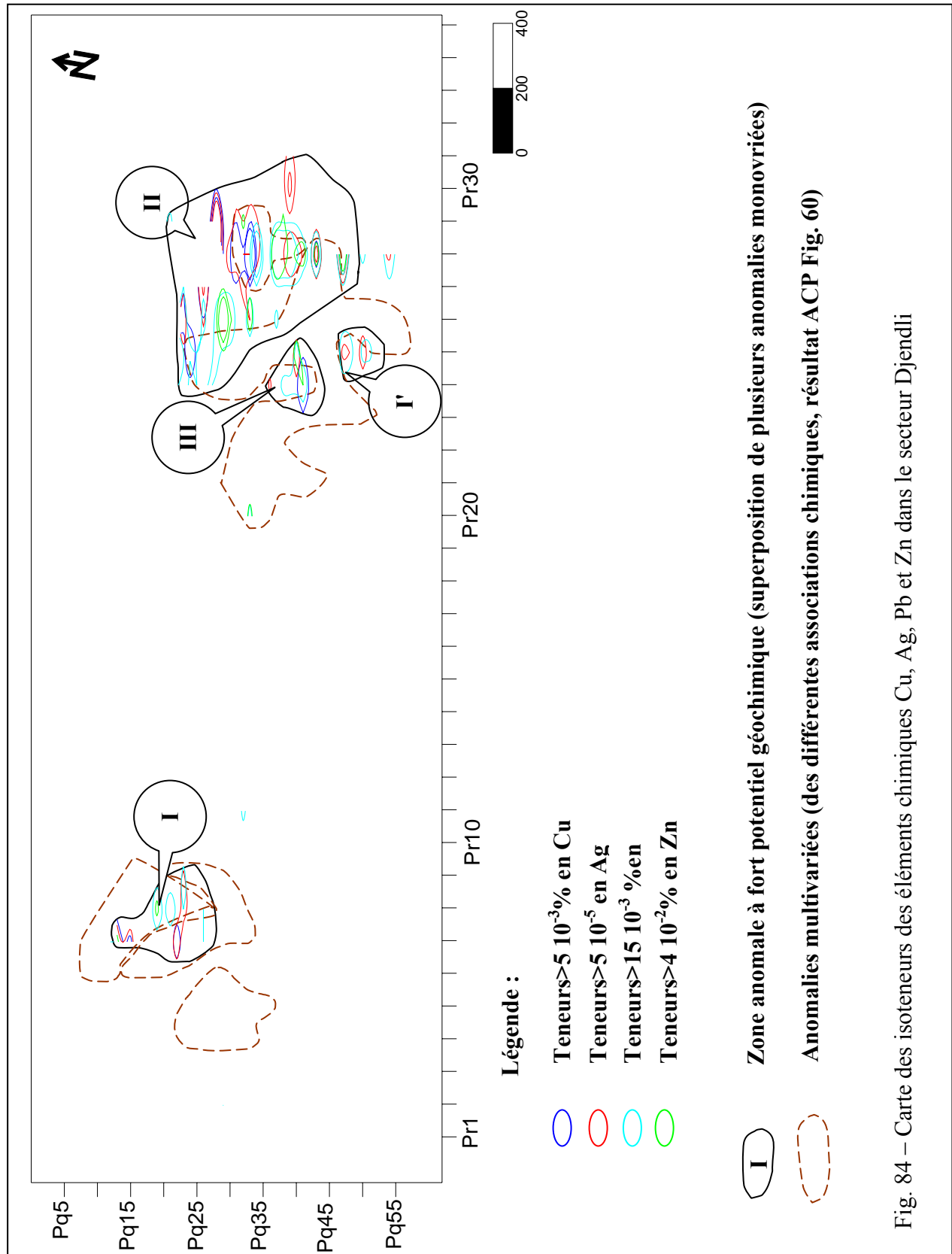


Fig. 84 – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le secteur Djendli

#### IV. - 1. - 2. - 3. - Secteur Toumbait

Au total, 354 échantillons ont été prélevés sur la roche mère carbonatée. L'analyse spectrale semi-quantitative a été portée sur les éléments : Mn, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Co, Sn et Ba. Les paramètres statistiques des éléments chimiques ont été calculés (Tableau. 19).

Tableau. 19 - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans secteur Toumbait

éléments	Mn	Co	Mo	Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Ba
Unité	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-4</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-5</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %
Seuil. Det	1	4	4	1	1	1	1	4	3
Val. Abs	0	0	20	0	0	0	0	0	0
T.>.seuil	129	4	8	90	20	117	6	9	1
T. min	0.25	1	1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.75
T. max	40	3	10	10	15	300	20	6	6
T. moy	2.68	1.05	1.75	0.93	0.44	3.14	0.35	0.33	0.77
Ec. type	2.46	0.31	0.94	1.14	1.11	17.25	1.11	0.51	0.28
C. V %	91.79	29.52	53.71	122.8	252.27	549.36	317.14	154.54	36.36

(Légende voir Tableau. 15).

##### a. Cuivre (Cu)

Le graphe de probabilité de l'élément Cu (Fig. 85) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 1 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 1 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 74% et la deuxième classe représente 26% de la population.

##### b. Argent (Ag)

Le graphe de probabilité de l'élément Ag (Fig. 86) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 1 10<sup>-5</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 1 10<sup>-5</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 97% et la deuxième classe représente 3% de la population.

##### c. Plomb (Pb)

Le graphe de probabilité de l'élément Pb (Fig. 87) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 15 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 15 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 95% et la deuxième classe représente 5% de la population.

##### d. Zinc (Zn)

Le graphe de probabilité de l'élément Zn (Fig. 88) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 2 10<sup>-2</sup>% représente

le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $2 \cdot 10^{-2}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 94% et la deuxième classe représente 6% de la population.

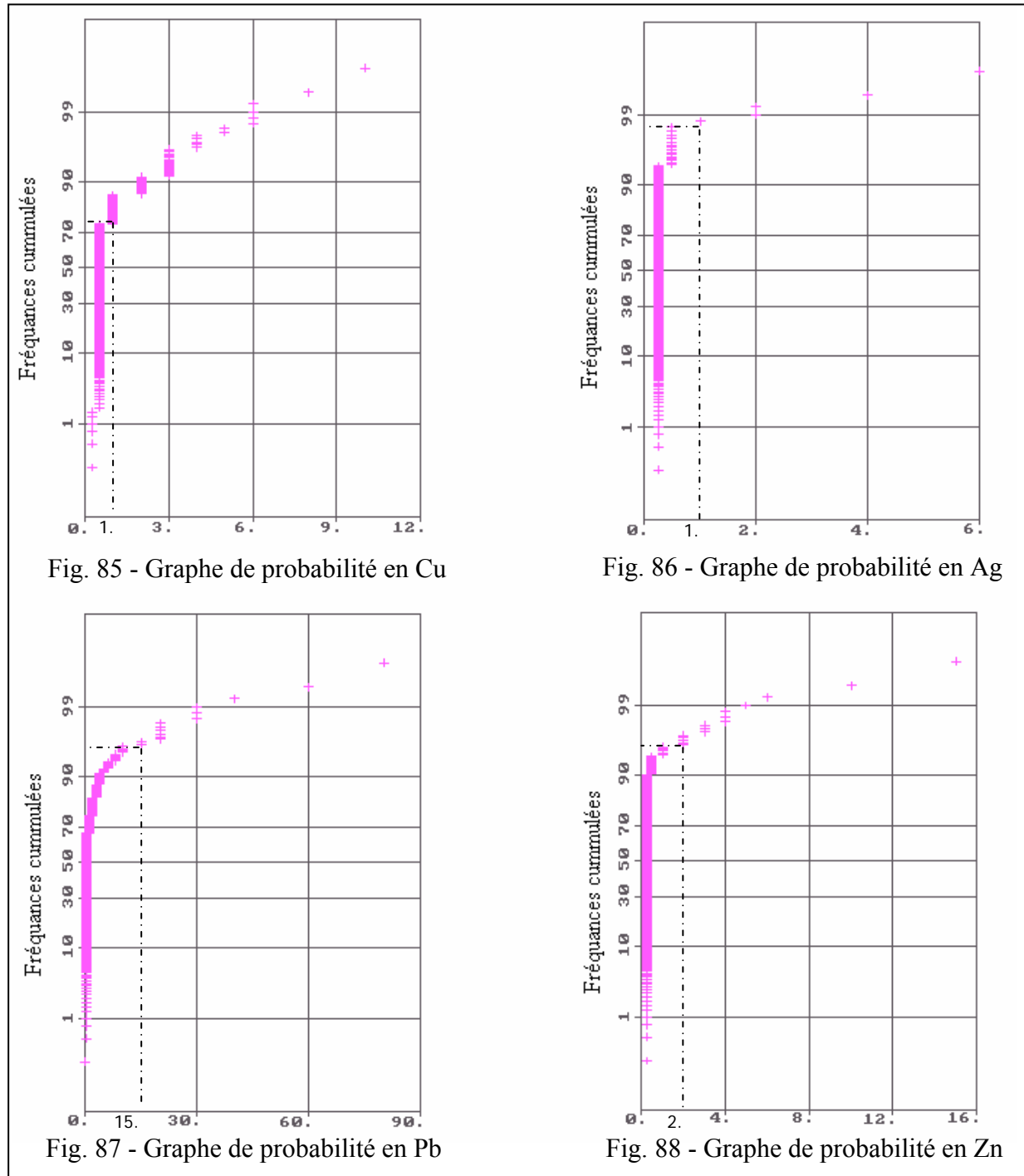


Fig. 85 - Graphe de probabilité en Cu

Fig. 86 - Graphe de probabilité en Ag

Fig. 87 - Graphe de probabilité en Pb

Fig. 88 - Graphe de probabilité en Zn

La superposition des cartes des isoteneurs des éléments chimiques (Fig. 89) a permis de déceler les anomalies mono et multiélémentaires suivantes:

- Une anomalie multiélémentaire: Pb, Ag, Zn et Cu, notés **I**.
- Une anomalie multiélémentaire: Cu, Pb et Ag, noté **I'**.
- Une anomalie pour l'élément Cu noté **I''**.
- Une anomalie multiélémentaire: Pb et Zn, noté **I'''**.

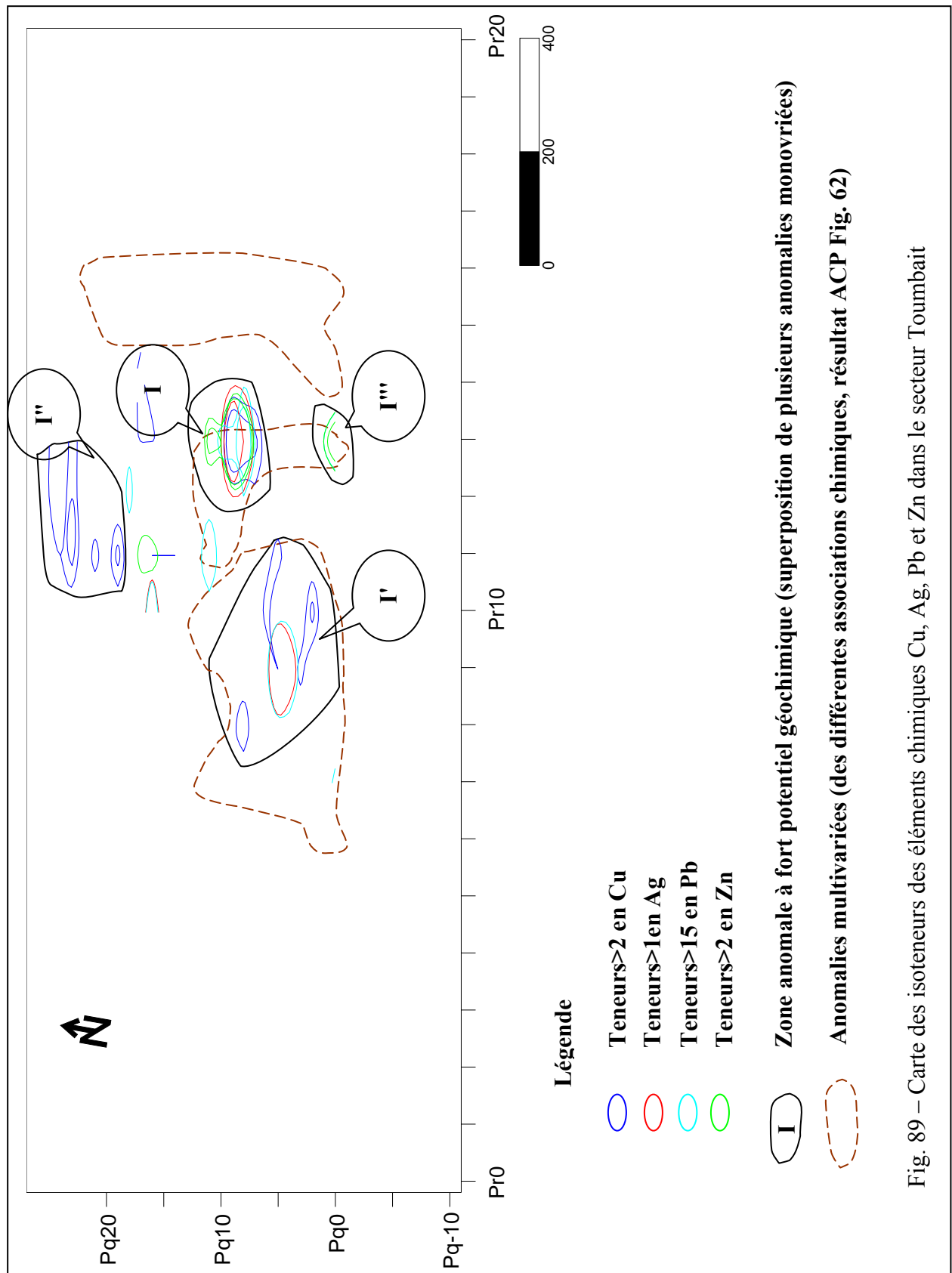


Fig. 89 – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le secteur Toumbait

#### IV. - 1. - 2. - 4. - Secteur Ain Bougda

Au total, 1088 échantillons ont été prélevés sur la roche mère carbonatée. L'analyse spectrale semi-quantitative a été portée sur les éléments : Mn, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Co, Ba et Sn. Les paramètres statistiques des éléments chimiques ont été calculés (Tableau. 20).

Tableau. 20 - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans secteur Ain Bougda

éléments	Mn	Mo	Cu	Zn	Pb	Ag	Co	Sn	Ba
Unité	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-4</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-3</sup> %	10 <sup>-5</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %	10 <sup>-2</sup> %
Seuil.det	1	4	1	1	1	1	4	4	3
Val. Abs	140	0	0	2	2	3	550	319	332
T.>.seuil	575	342	473	202	578	161	81	32	244
T. min	0.25	1	0.25	0.25	0.25	0.25	1	1	0.75
T. max	20	20	5	4	15	50	8	6	10
T. moy	0.99	2.91	1.07	0.55	1.54	0.39	2.20	1.66	1.69
Ec. type	0.89	1.51	0.84	0.41	1.55	0.18	1.45	0.79	1.17
C. V %	89.89	51.89	78.50	74.54	1.064	46.15	65.90	47.59	69.23

(Légende voir Tableau. 15).

##### a. Cuivre (Cu)

Le graphe de probabilité de l'élément Cu (Fig. 90) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 6 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 6 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 97% et la deuxième classe représente 3% de la population.

##### b. Argent (Ag)

Le graphe de probabilité de l'élément Ag (Fig. 91) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 4 10<sup>-5</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 4 10<sup>-5</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 96% et la deuxième classe représente 4% de la population.

##### c. Plomb (Pb)

Le graphe de probabilité de l'élément Pb (Fig. 92) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 4 10<sup>-3</sup>% représente le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à 4 10<sup>-3</sup>% est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 98% et la deuxième classe représente 2% de la population.

##### d. Zinc (Zn)

Le graphe de probabilité de l'élément Zn (Fig. 93) a permis de discriminer deux classes de teneurs : la première classe qui formée des teneurs inférieurs à 2 10<sup>-2</sup>% représente

le fond géochimique tandis que la deuxième classe de teneurs supérieurs à  $2 \cdot 10^{-2}\%$  est anormale. Au point d'inflexion la première classe représente 98% et la deuxième classe représente 2% de la population.

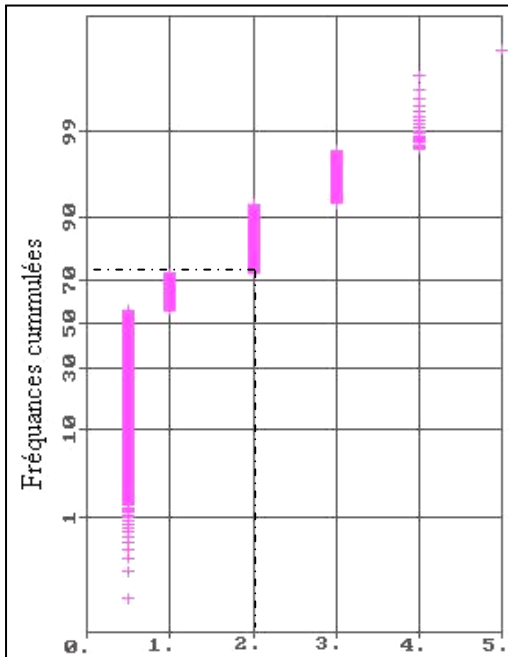


Fig. 90 - Graphe de probabilité de Cu

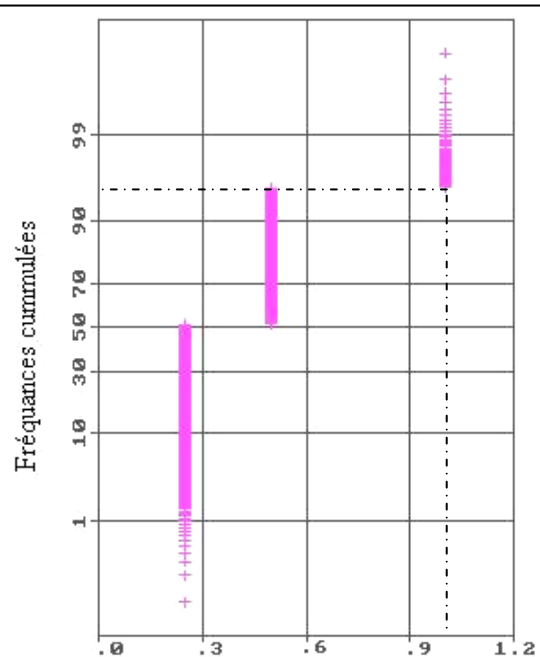


Fig. 91 - Graphe de probabilité de Ag

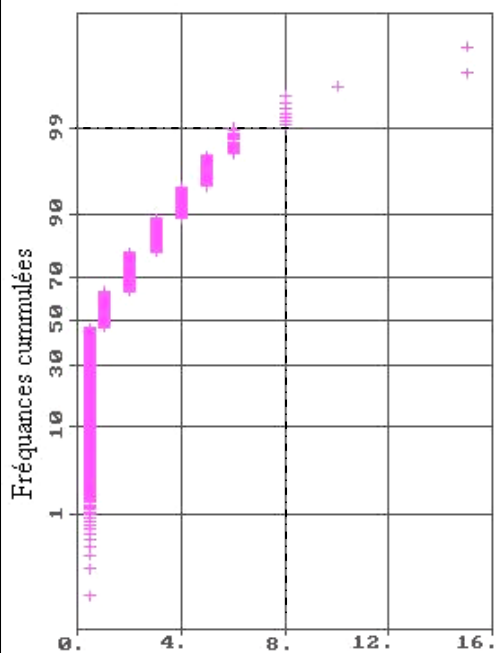


Fig. 92 - Graphe de probabilité de Pb

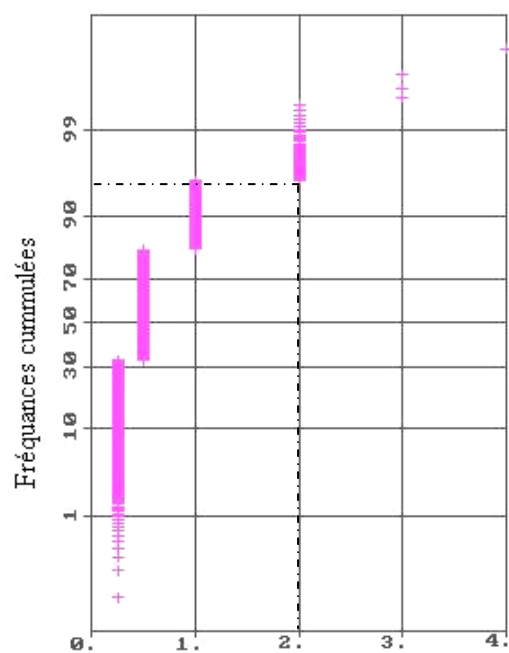


Fig. 93 - Graphe de probabilité de Zn

La superposition des cartes des isoteneurs des éléments chimiques (Fig. 94) a permis de déceler les anomalies mono et multiélémentaires suivantes:

- Deux anomalies multiélémentaires: Pb, Ag, Zn et Cu, notés **I** et **II**.
- Une anomalie pour Ag, noté **I'**.

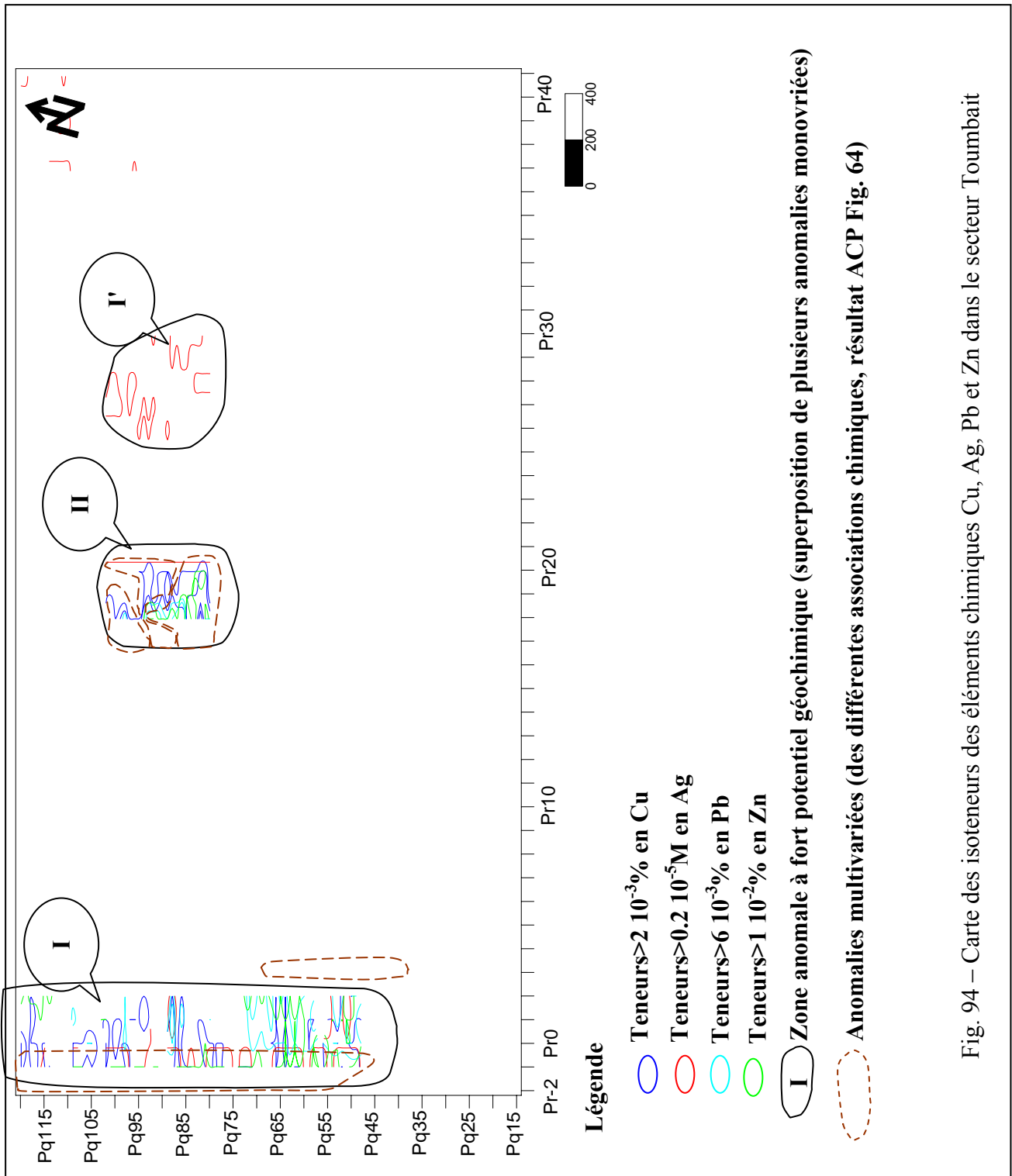


Fig. 94 – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le secteur Toumbait

#### **IV. - 2. - DETERMINATION DES ZONES PRIORITAIRES A LA PROSPECTION DANS LES DIFFERENTS SECTEURS ET SOUS-SECTEURS :**

Afin de dégager des zones correspondantes aux anomalies à Pb, Zn, Ag et Cu dans les différents secteurs et sous-secteurs, qui seraient prioritaire à la prospection future des cartes de synthèse ont été établies (Figs. 95, 96, 97, 98, 99 et 100). Ces cartes sont obtenues par la superposition de deux types de cartes qui sont la résultat de :

- La cartographie des facteurs scores dont les associations chimiques multiélémentaires sont corrélées.
- La cartographie des anomalies monovariables faitent sur les éléments Pb, Zn, Ag et Cu

Trois principales anomalies multivaribles ont été localisées dans le sous-secteur Ain Yaghout : **A**, **B** (Pb, Zn, Ag et Cu) et **C** (Pb, Ag et Cu) (Fig. 95).

Trois principales anomalies multivaribles ont été localisées dans le sous-secteur El Haouia : **A** (Pb, Zn et Cu) et **B**, **C** (Pb, Zn, Ag et Cu) (Fig. 96).

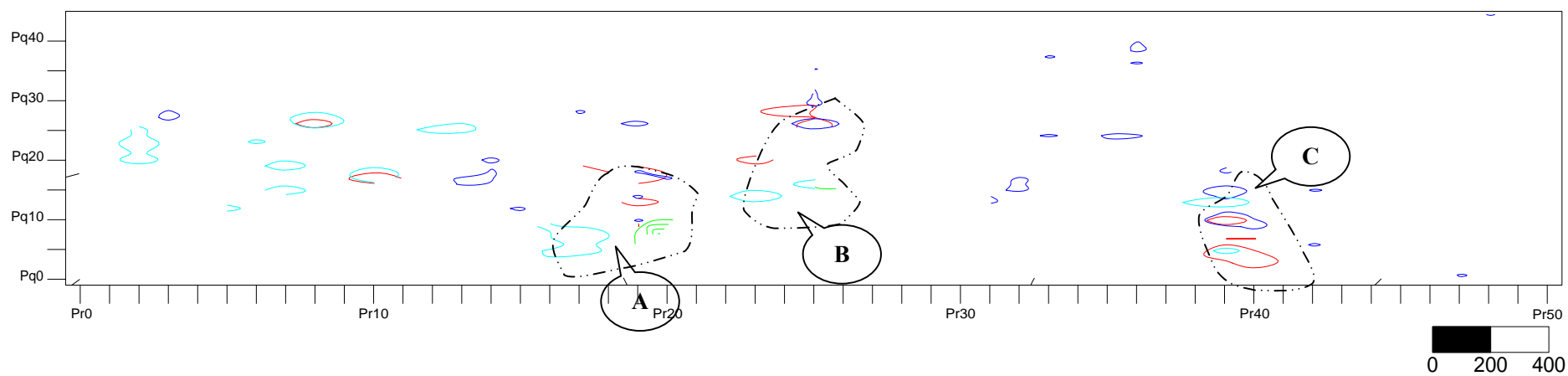
Quatre principales anomalies multivaribles ont été localisées dans le sous-secteur El Mounchar : **A**, **B** (Cu, Ag et Pb) et **C**, **D** (Pb, Cu et Zn) (Fig. 97).

Deux principales anomalies multivaribles ont été localisées dans le secteur Djendli : **A** et **B** (Pb, Zn, Ag et Cu) (Fig. 98).

Deux principales anomalies multivaribles ont été localisées dans le secteur Toumbait : **A** (Pb, Zn, Ag et Cu) et **II** (Pb, Ag et Cu) (Fig. 99).

Deuxs principales anomalies multivaribles ont été localisées dans le secteur Ain Bougda : **A**, **B** (Pb, Zn, Ag et Cu) (Fig. 100).

Les résultats obtenus par le traitement des des données géocimiques dans les différents secteurs et sous-secteurs sont représentés dans le tableau 21:



**Légende**

- Teneurs  $>7 \cdot 10^{-3} \%$  en Cu
- Teneurs  $>1 \cdot 10^{-5} \%$  en Ag
- Teneurs  $>3 \cdot 10^{-3} \%$  en Pb
- Teneurs  $>1.5 \cdot 10^{-2} \%$  en Zn

**A** Zone anormale: superposition de plusieurs anomalies monovariées (Fig. 69) et anomalies multivariées-ACP (Fig. 54)

Fig. 95 – Carte de localisation des zones anormales prioritaires a la prospection future dans le sous-secteur Ain Yaghout

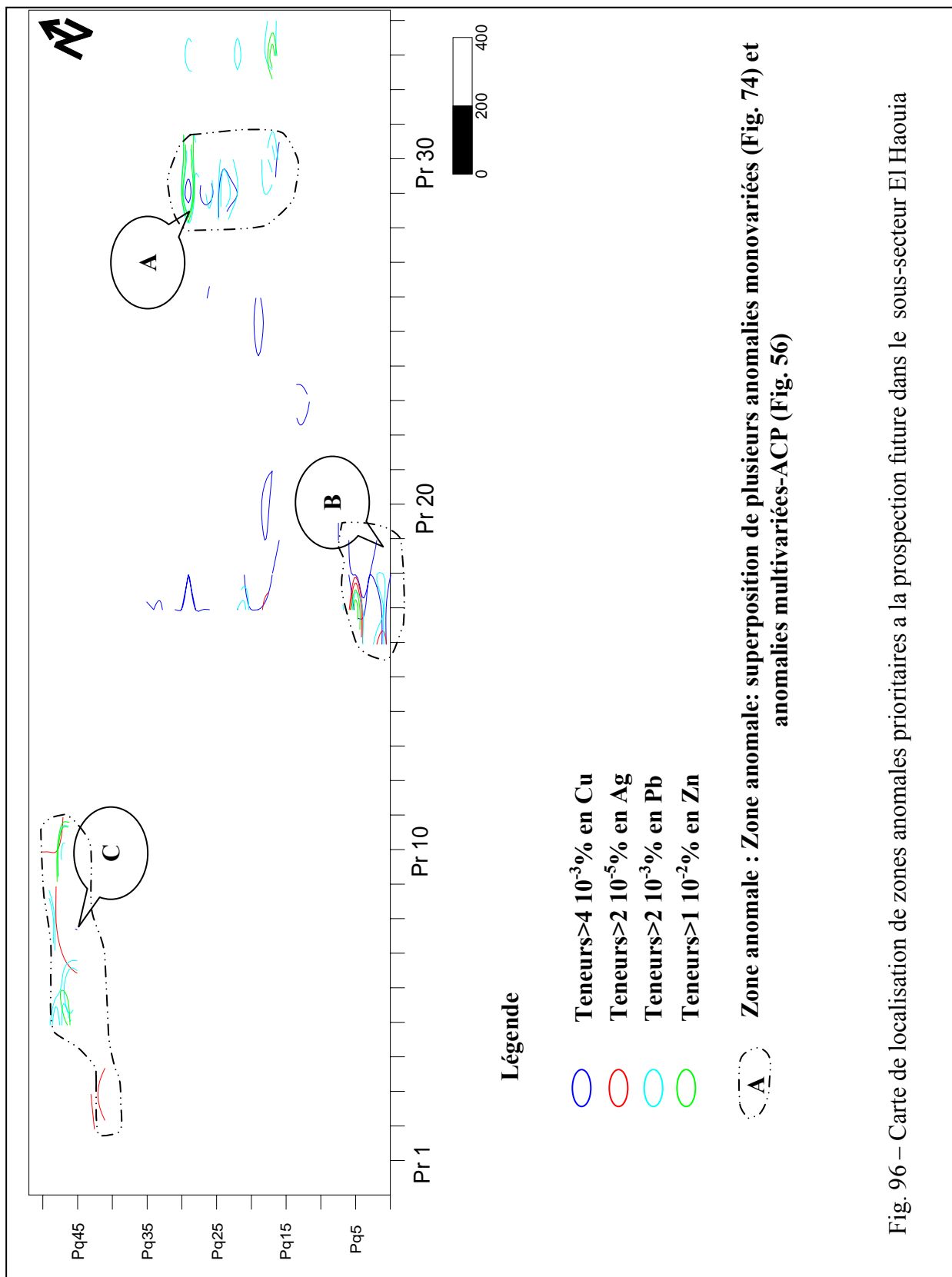


Fig. 96 – Carte de localisation de zones anormales prioritaires a la prospection future dans le sous-secteur El Haouia

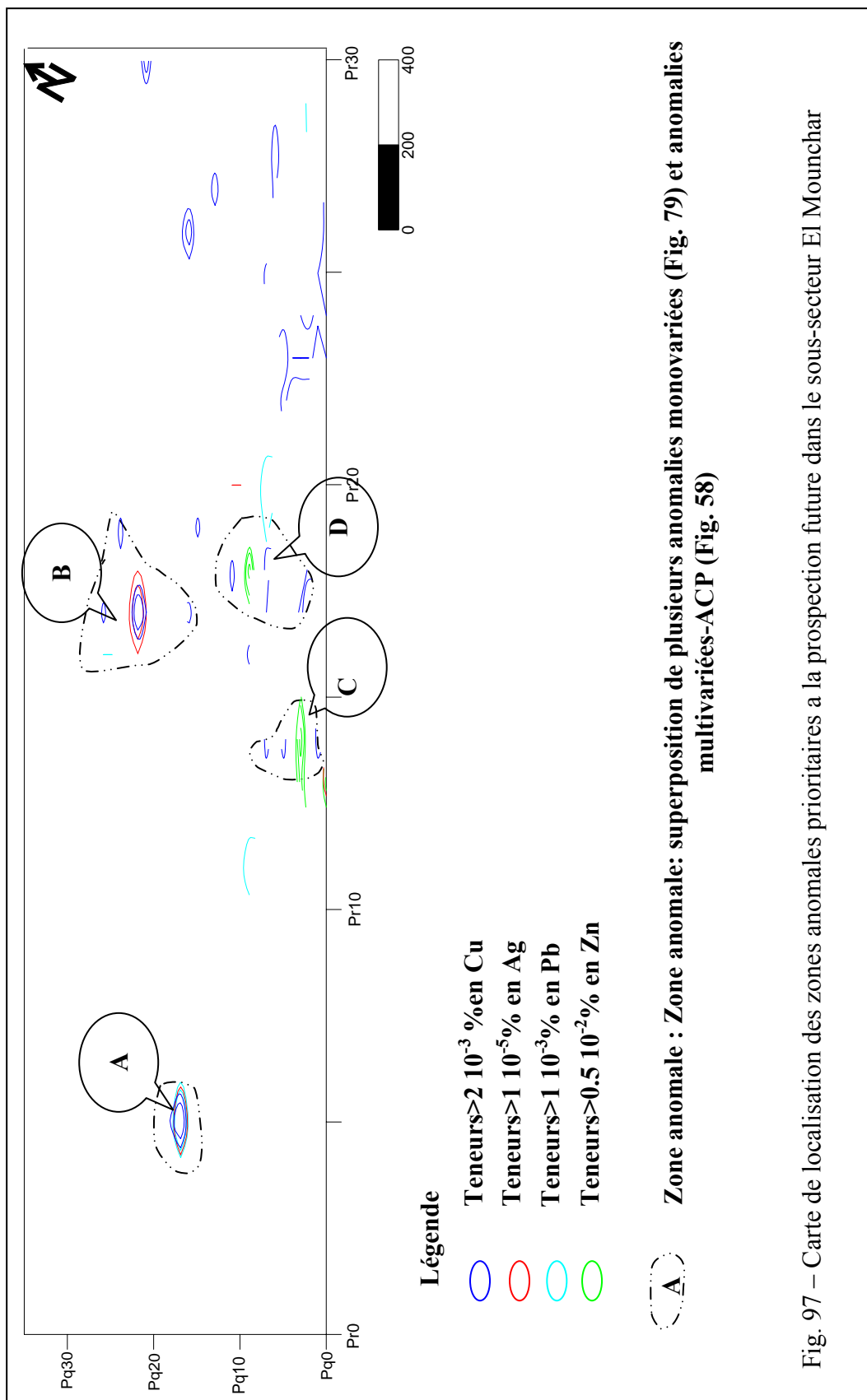


Fig. 97 – Carte de localisation des zones anormales prioritaires à la prospection future dans le sous-secteur El Mounchar

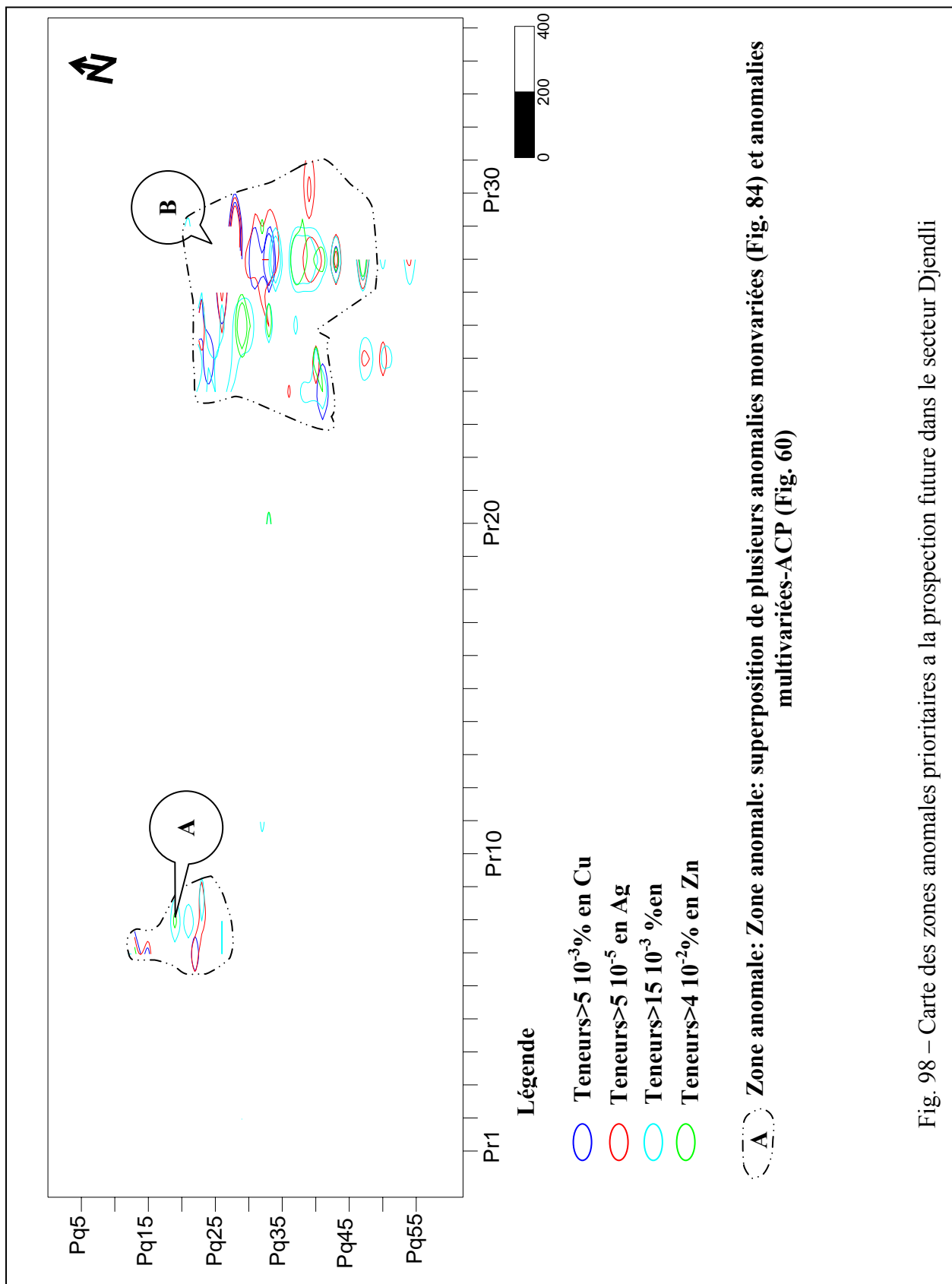


Fig. 98 – Carte des zones anormales prioritaires à la prospection future dans le secteur Djendli

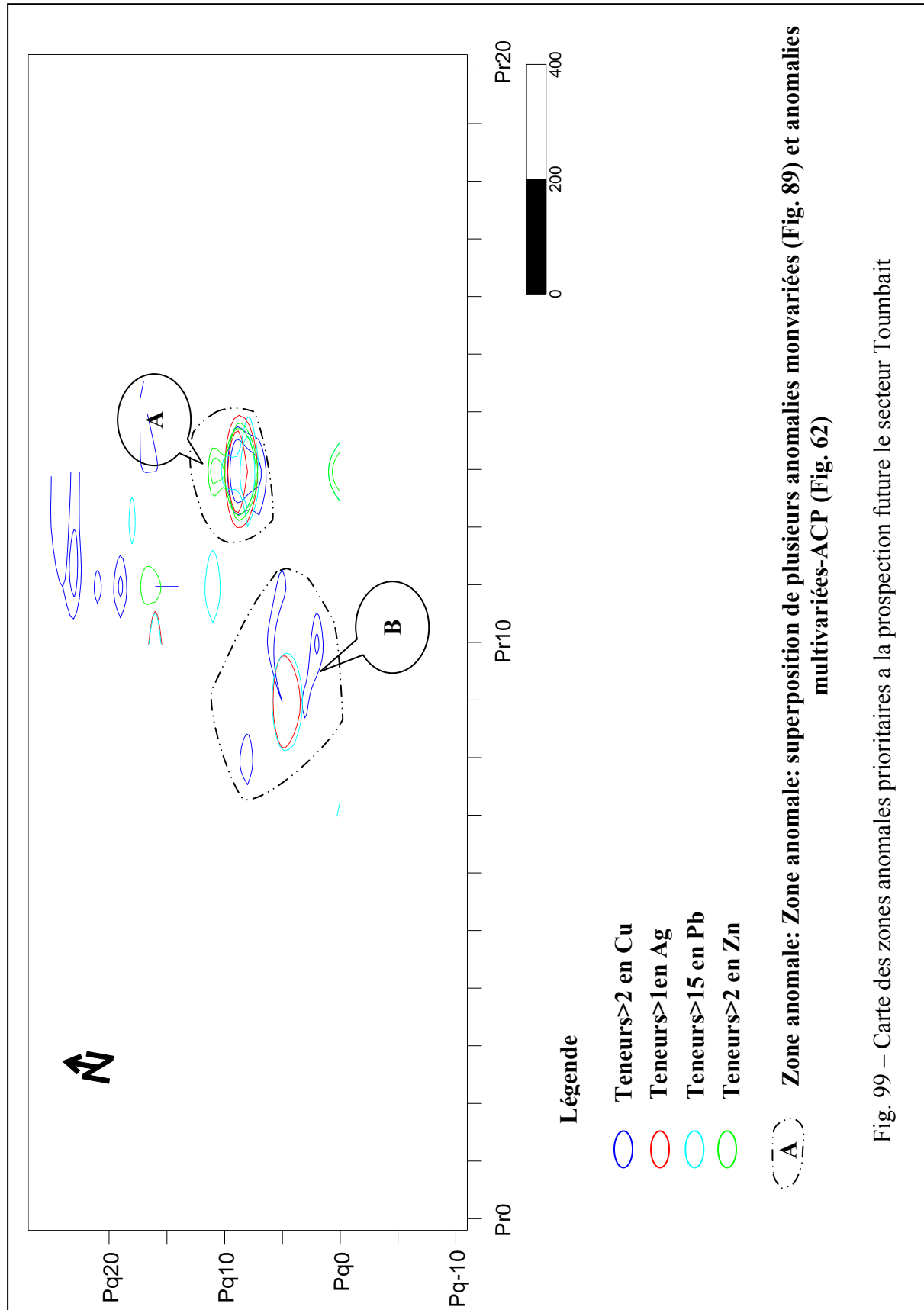


Fig. 99 – Carte des zones anomalies prioritaires a la prospection future le secteur Toumbait

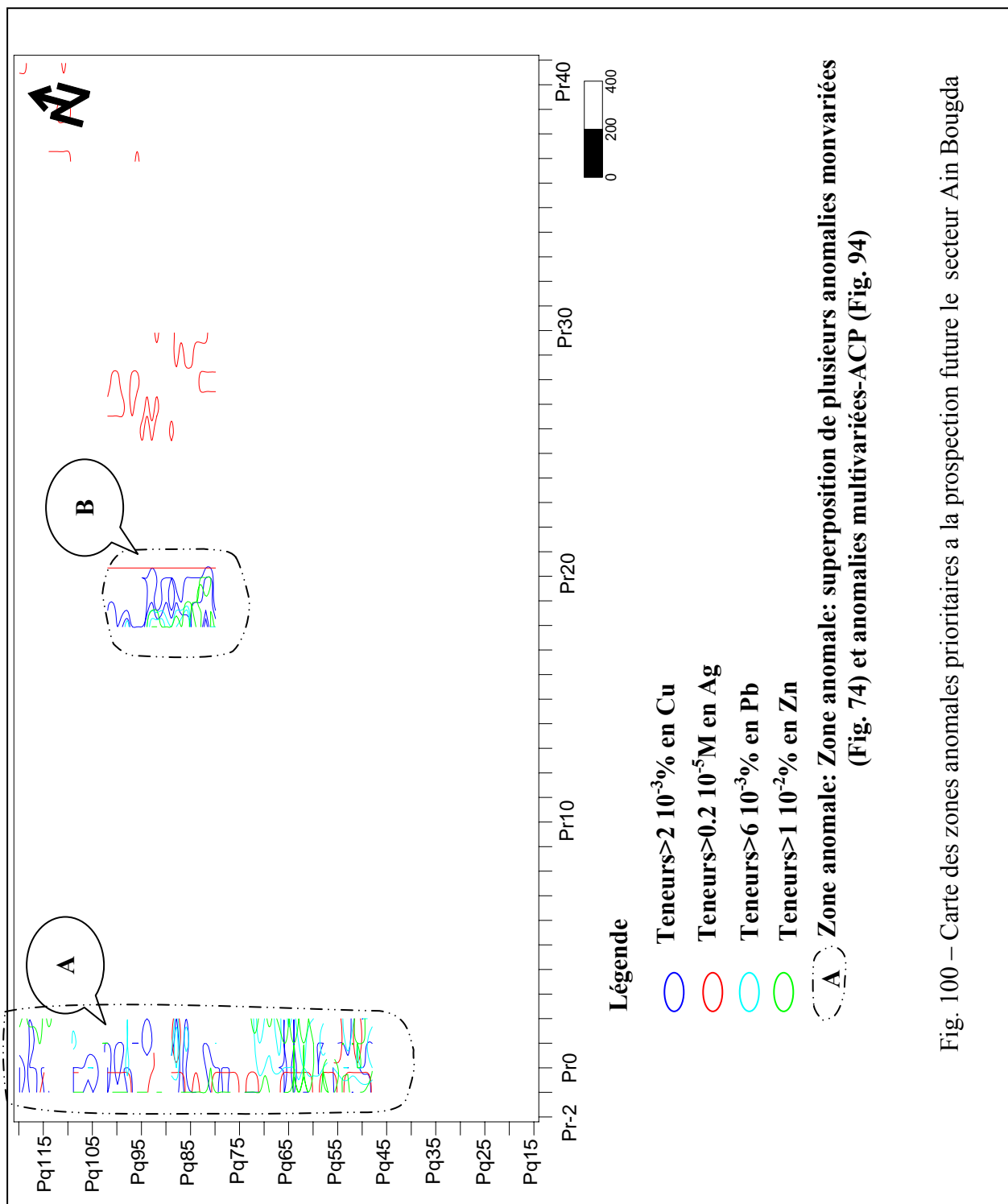


Fig. 100 – Carte des zones anomalies prioritaires a la prospection future le secteur Ain Bougda

Tableau. 21 – Tableau récapitulatif des résultats du traitement mono et multivariées et la cartographie des données géochimiques dans tous les secteurs d'étude

Secteurs d'étude		Traitement multivarié (ACP)			Traitement monovarié			Zones prioritaires à la prospection future	
		Association chimique	Nombre d'anomalie multivariée	Zone anormale	Association multiélémentaires	Nombre d'anomalie multivariées	Zones anormales		
Secteur Tarbennt	S/Secteur Ain Yaghout	Pb, Zn et Ag	06	1AY, 2AY, 3AY, 4AY, 5AY et 6AY	Pb, Ag et Zn (Cu)  Cu	04	I, II, III et IV  I' et II'	A, B et C (Fig. 95)	
		Cu et Mo (Sn)	02	1'AY et 2'AY		02			
		Ba et Mn	03	1"AY, 2"AY et 3"AY					
	S/Secteur El Haouia	Zn, Pb, Ag, Mn (Cu)	04	1Ha, 2Ha, 3Ha et 4Ha	Pb, Ag, Zn et Cu Pb, Cu et Zn	03 01	I, II et III I'		A, B et C (Fig. 96)
		Sr, Mo et Sn	02	1'Ha et 2'Ha -	Pb et Zn Cu	01 01	I'' I'''		
	S/Secteur EL Mounchar	Cu, Ag et Ba	02	1Em, 2Em	Pb, Ag et Cu Pb, Cu et Zn Cu et Zn Cu	02	I et II I' I'' I'''		A, B, C et D (Fig. 97)
Pb et Mn		02	1'Em, 2'Em	01					
Zn et Sn		01	1"Em	01 01					
Secteur Djendli	Cu, Ag et Zn	02	1Dj et 2Dj	Pb, Ag, Zn et Cu  Pb et Ag	03 01	I, II et III I'	A et B (Fig. 98)		
	Pb, Mn et Ba	03	1'Dj, 2'Dj et 3'Dj						
Secteur Toumbait	Pb, Zn, Ag et Cu (Sn)	02	1Tm et 2TM	Pb, Ag, Zn et Cu Cu, Pb et Ag Cu PB et Zn	01 01 01 01	I I' I'' I'''	A et B (Fig. 99)		
	Ba, Mo et Co	01	1'Tm						
Secteur Ain Bougda	Pb, Zn et Mn	03	1AB, 2AB et 3AB	Pb, Ag, Zn et Cu  Ag	02	I I'	A et B (Fig. 100)		
	Cu, Ag, Mo et Sn	02	1'AB et 2'AB		01				

## V. – ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES (AFC)

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) : analyser des croisements entre 2 variables qualitatives. Lorsque le test du  $\chi^2$  détecte une relation significative entre ces 2 variables, l'AFC permet d'écrire et d'analyser cette relation.

Les principales étapes pour une AFC sont :

- Transformation du tableau de contingence (en terme de fréquence).
- Hypothèse d'indépendance (par le test  $\chi^2$  de Karl Pearson).
- Représentation simultanée des résultats.

### V. - 1. – DEMARCHE ET PRINCIPE

Nous allons utiliser, pour illustrer notre propos, une table de contingence **K** à *n* lignes et *p* colonnes obtenu en ventilant une population des teneurs en Cuivre (classe) suivant leurs distributions dans les secteurs de prélèvement (Tableau. 22).

Tableau. 22 - Répartition des effectifs selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna)

Secteur d'étude	Centre de classe																Tot
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	40	60	500	
<b>Ain Yaghout</b>	747	243	168	103	72	49	2	4	5	0	1	2	2	0	0	0	<b>1398</b>
<b>El Haouia</b>	185	80	54	46	22	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>393</b>
<b>Mounchar</b>	531	78	44	14	22	12	0	6	2	0	0	0	1	0	0	0	<b>710</b>
<b>Toumbait</b>	305	18	17	5	2	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>353</b>
<b>Djendli</b>	621	15	8	9	2	5	0	2	2	1	2	0	1	2	1	2	<b>673</b>
<b>Ain Bougda</b>	795	213	61	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1088</b>
<b>Total</b>	<b>3184</b>	<b>647</b>	<b>352</b>	<b>195</b>	<b>121</b>	<b>74</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4615</b>

En lignes est présentée la variable "secteur d'étude" à *n* = 6 modalités (ou catégories) et en colonnes est présentée la donnée variable "teneur en Cu" à *p* = 16 modalités.

On a les relations suivantes :

$$k_{.j} = \sum_i^n k_{ij} \quad k_{i.} = \sum_j^p k_{ij} \quad k = \sum_{i,j} k_{ij}$$

Où: K est nombre total d'observations de tableau.

$K_{ij}$  est nombre d'observations de la colonne j dans la ligne i

$K_{i.}$  est nombre total d'observations de la ligne i.

$K_{.j}$  est nombre total d'observations de la colonne j.

Qui, en termes de fréquences relatives, donnent lieu aux relations :

$$f_{ij} = \frac{k_{ij}}{k} \quad f_{i.} = \sum_j f_{ij} \quad f_{.j} = \sum_i f_{ij} \quad \sum_{i,j} f_{ij} = 1$$

$f_{ij}$  est la probabilité **conjointe** d'appartenir à la fois à i et à j.

$f_{i.}$  est la probabilité **marginale** d'appartenir à i.

$f_{.j}$  est la probabilité **marginale** d'appartenir à j.

Y a t'il indépendance entre les teneurs en Cu (classe) et les secteurs d'étude ? Si non quel type de lien ?

Pour analyser un tableau de contingence (Tableau. 22), ce n'est pas le tableau d'effectifs bruts qui nous intéresse mais les tableaux de répartitions en pourcentage à l'intérieur d'une ligne ou d'une colonne.

On note les profils – lignes :

$$\frac{f_{ij}}{f_{i.}} = \frac{k_{ij}}{k_{i.}}$$

$\frac{f_{ij}}{f_{i.}}$  est la probabilité **conditionnelle** d'appartenir à i étant donné que l'on appartient à j (Tableau. 23).

On note les profils - lignes :

$$\frac{f_{ij}}{f_{.j}} = \frac{k_{ij}}{k_{.j}}$$

$\frac{f_{ij}}{f_{.j}}$  est la probabilité **conditionnelle** d'appartenir à j étant donné que l'on appartient à i (Tableau. 24) .

Le tableau 23 des profils - lignes (multipliés par 100) indique la répartition de la teneur de cuivre (classe) pour chaque modalité de secteur d'étude. Ce sont, en somme, les probabilités conditionnelles d'avoir les teneurs en cuivre j sachant que est le secteur i. Cette répartition sur l'ensemble de la population étudiée donne le profil moyen :

$$f_{i.} = \frac{k_{i.}}{k}$$

Le tableau 24 des profils - colonnes (multipliés par 100) fournit la répartition des secteurs d'étude suivant chaque modalité de la teneur de cuivre (classe) et le profil moyen :

$$f_{.j} = \frac{k_{.j}}{k}$$

Tableau. 23 - Répartition des poids relatif (profil ligne) selon les teneurs en Cu (classe) dans chaque secteur d'étude (Batna)

Secteur d'étude	Centre de classe																
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	40	60	500	Tot
<b>Ain yaghout</b>	53.43	17.38	12.01	7.36	5.15	3.50	0.14	0.28	0.35	0	0.07	0.14	0.14	0	0	1	<b>100</b>
<b>El Haouia</b>	47.07	20.35	13.74	11.70	5.59	1.01	0	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>100</b>
<b>Mounchar</b>	74.78	10.98	6.19	1.97	3.09	1.69	0	0.84	0.28	0	0	0	0.14	0	0	0	<b>100</b>
<b>Toumbait</b>	86.40	5.09	4.81	1.41	0.56	1.13	0	0.28	0.28	0	0	0	0	0	0	0	<b>100</b>
<b>Djendli</b>	92.27	2.22	1.18	1.33	0.29	0.74	0	0.29	0.29	0.14	0.29	0	0.14	0.29	0.14	0.29	<b>100</b>
<b>Ain Bougda</b>	73.07	19.57	5.6	1.65	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>100</b>
<b>Profl moyen</b>	<b>69</b>	<b>14.02</b>	<b>7.63</b>	<b>4.23</b>	<b>2.62</b>	<b>1.60</b>	<b>0.04</b>	<b>0.33</b>	<b>0.22</b>	<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>100</b>

Tableau. 24 - Répartition des poids relatif (profil colonne) selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna)

Secteur d'étude	Centre de classe																profil moyen
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	40	60	500	
<b>Ain yagout</b>	23.46	37.56	47.73	52.82	59.51	66.22	100	26.67	50	0	33.33	100	50	0	0	0	<b>30.3</b>
<b>El Haouia</b>	5.810	12.36	15.34	23.59	18.18	5.4	0	13.33	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>8.52</b>
<b>Mounchar</b>	16.68	12.05	12.5	7.18	18.18	16.22	0	40	20	0	0	0	25	0	0	0	<b>15.38</b>
<b>Toumbait</b>	9.58	2.8	4.83	2.56	1.65	5.4	0	6.67	10	0	0	0	0	0	0	0	<b>7.65</b>
<b>Djendli</b>	19.50	2.31	2.27	4.62	1.65	6.76	0	13.33	20	100	66.67	0	25	100	100	100	<b>14.58</b>
<b>Ain Bougda</b>	24.97	32.92	17.33	9.23	0.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>23.57</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

## V. - 2. – HYPOTHESE D'INDEPENDANCE

Consultons le tableau 25 des fréquences observées  $f_{ij}$  qui n'est autre que le tableau 28 divisé par sa somme (4615) et multiplié par 100 pour plus de lisibilité.

Construisons le tableau de "fréquences théoriques"  $f_i \cdot f_j$  sous l'hypothèse d'indépendance (Tableau. 26).

Une fois calculées les fréquences théoriques, il faut mesurer l'écart entre l'ensemble des fréquences théoriques et l'ensemble des fréquences observées. Pour ce faire, on applique la formule :

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(f_{ij} - f_i \cdot f_j)^2}{f_i \cdot f_j} \quad \text{ou} \quad \chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(k_{ij} - k_{ij}^*)^2}{k_{ij}^*}$$

dont  $k_{ij}^* = k_j \cdot f_i$ .

Cette statistique s'appelle le Khi-deux de Pearson, aussi dénotée  $\chi^2$  comme dans la formule. Les valeurs reportés dans le tableau 22 sont les contributions des cellules individuelles au Khi-deux (les calculs sont obtenues à partir du logiciel *STATISTICA 5.1*).

Le Khi-deux est simplement la somme de tous les éléments de tableau 27.

Tableau. 25 - Tableau des fréquences observées (répartition des poids relatif) des teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna)

Secteur d'étude	Centre de classe																profil moyen
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	40	60	500	
<b>Ain yahgout</b>	16.18	5.26	3.64	2.23	1.56	1.06	0.04	0.08	0.1	0	0.02	0.04	0.04	0	0	0	<b>30.3</b>
<b>El Haouia</b>	4	1.73	1.17	0.99	0.47	0.08	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>8.52</b>
<b>Mounchar</b>	11.5	1.69	0.95	0.3	0.47	0.26	0	0.13	0.04	0	0	0	0.02	0	0	0	<b>15.38</b>
<b>Toumbait</b>	6.6	0.39	0.36	0.1	0.43	0.08	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	<b>7.65</b>
<b>Djendli</b>	13.45	0.32	0.17	0.19	0.43	0.1	0	0.04	0.04	0.02	0.04	0	0.02	0.04	0.02	0.04	<b>14.58</b>
<b>Ain Bougda</b>	17.22	4.61	1.32	0.39	0.21	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>23.57</b>
<b>Profil moyen</b>	<b>69</b>	<b>14.02</b>	<b>7.63</b>	<b>4.23</b>	<b>2.62</b>	<b>1.60</b>	<b>0.04</b>	<b>0.33</b>	<b>0.22</b>	<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>100</b>

Tableau. 26 - Tableau des fréquences théoriques (répartition des poids relatif) des teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna)

Secteur d'étude	Centre de classe																profil moyen
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	40	60	500	
<b>Ain Yaghout</b>	20.9	4.93	2.31	1.28	0.79	0.48	0.01	0.1	0.07	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	<b>30.3</b>
<b>El Haouia</b>	5.87	1.19	0.65	0.36	0.22	0.14	0	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0	0	<b>8.52</b>
<b>Mounchar</b>	10.61	2.16	1.17	0.65	0.4	0.25	0	0.05	0.03	0	0.01	0	0.01	0	0	0	<b>15.38</b>
<b>Toumbait</b>	5.27	1.07	0.58	0.32	0.2	0.12	0	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0	0	<b>7.65</b>
<b>Djendli</b>	10.06	2.04	1.11	0.62	0.38	0.23	0	0.05	0.03	0	0.01	0	0.01	0	0	0	<b>14.58</b>
<b>Ain Bougda</b>	16.26	3.30	1.8	1	0.62	0.38	0.01	0.07	0.05	0	0.02	0.01	0.03	0.01	0	0.01	<b>23.57</b>
<b>Profil moyen</b>	<b>69</b>	<b>14.02</b>	<b>7.63</b>	<b>4.23</b>	<b>2.62</b>	<b>1.60</b>	<b>0.04</b>	<b>0.33</b>	<b>0.22</b>	<b>0.02</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>100</b>

Tableau. 27 - Calcul du Khi-deux des teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna)

Secteur d'étude	Centre de classe																
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	40	60	500	Total
<b>Ain Yaghout</b>	49.05	11.27	35.32	32.67	34.08	31.51	3.21	0.07	1.28	0.30	0.01	3.21	0.51	0.61	0.30	0.61	<b>204.03</b>
<b>El Haouia</b>	27.37	11.26	19.26	52.03	13.28	0.84	0.17	0.41	0.85	0.09	0.26	0.17	0.34	0.17	0.09	0.17	<b>126.73</b>
<b>Mounchar</b>	3.46	4.66	1.9	8.53	0.62	0.03	0.31	5.91	0.14	0.15	0.46	0.31	0.24	0.31	0.15	0.31	<b>27.49</b>
<b>Toumbait</b>	15.51	20.04	3.66	6.59	5.69	0.49	0.15	0.02	0.07	0.08	0.23	0.15	0.31	0.15	0.08	0.15	<b>53.36</b>
<b>Djendli</b>	52.87	66.74	36.58	13.29	13.87	3.11	0.29	0.02	0.20	5	5.58	0.29	0.30	10.01	5	10.01	<b>223.15</b>
<b>Ain Bougda</b>	2.62	23.97	5.82	17.02	26.56	17.45	0.47	3.54	2.36	0.24	0.71	0.47	0.94	0.47	0.24	0.47	<b>103.35</b>
<b>Total</b>	<b>150.88</b>	<b>137.93</b>	<b>102.54</b>	<b>130.13</b>	<b>94.10</b>	<b>53.44</b>	<b>4.60</b>	<b>9.95</b>	<b>4.90</b>	<b>5.86</b>	<b>7.24</b>	<b>4.60</b>	<b>2.64</b>	<b>11.71</b>	<b>5.86</b>	<b>11.71</b>	<b>738.11</b>

Le tableau ci-dessous (Tableau. 28) donne les valeurs des valeurs propres non nulles de l'analyse de l'inertie totale (0.1556), somme des valeurs propres, multipliée par l'effectif total de la table (4615) donne la valeur 738. 11 qui doit être une réalisation d'un  $\chi^2$  à 75 degrés de liberté dans l'hypothèse d'indépendance des lignes et des colonnes de la table.

Tableau. 28 - Valeurs propres et inertie de toutes les dimensions des teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna)

Nombre de dimension	Valeur propre	Inertie (%)	Inertie cumulée (%)
<b>1</b>	<b>0.1208</b>	<b>75.55</b>	<b>75.55</b>
<b>2</b>	<b>0.0259</b>	<b>16.25</b>	<b>91.80</b>
3	0.0074	4.64	96.45
4	0.0041	2.57	99.02
5	0.0015	0.97	100

Comme on peut le voir sur le tableau 28, les deux premiers plans principaux restituent tout de même 91,80% de la variance. L'information restituée par le premier plan principal est donc de bonne qualité.

Afin d'avoir une vision globale des classements effectués par les élèves, on projette toutes les variables sur le premier plan principal.

Dans l'hypothèse d'indépendance des lignes et des colonnes de la table, cette quantité serait une réalisation d'un  $\chi^2$  à 75 degrés de liberté (noté **ddl**) [ $75 = (16-1) (6-1)$ ].

Lorsque le nombre de degrés de liberté  $n$  dépasse 30, on considère que la variable est une variable normale (de Laplace - Gauss) centrée réduite.

$$u = \frac{\chi_n^2 - n}{\sqrt{2n}}$$

Ici,  $u = 54.13$  (54.13 écarts-types de la moyenne). L'hypothèse d'indépendance est évidemment rejetée et donc il y a dépendance entre les teneurs en cuivre et les secteurs.

### V. - 3. – REPRESENTATION GRAPHIQUE

La représentation graphique permis de visualisée cette dépendance entre les teneurs en cuivre et les secteurs d'études ; on calculant les coordonnées des deux variables (avec logiciel STATISTICA 5.1) permis d'obtenir la figure 101.

Regardons les regroupements de variables pour les différentes modalités (Fig. 101). On peut voir groupes qui sont opposés. Les variables secteurs (Ain Yaghout et El haouia) sont très proches. Il en est de même pour les secteurs (El Mounchar, Toumbait et Djendli).

Les deux groupes mis en évidence sur la figure 101, peuvent se définir comme :

- Groupe 1 : La distribution des teneurs en élément Cu est la même dans les secteurs : El Mounchar, Toumbait et Djendli.
- Groupe 2 : la distribution des teneurs en Cu est la même dans les sou-secteurs : Ain Yaghout et El haouia.

La présence de ces deux groupes peut être dû à la présence de mineralisation biphasées.

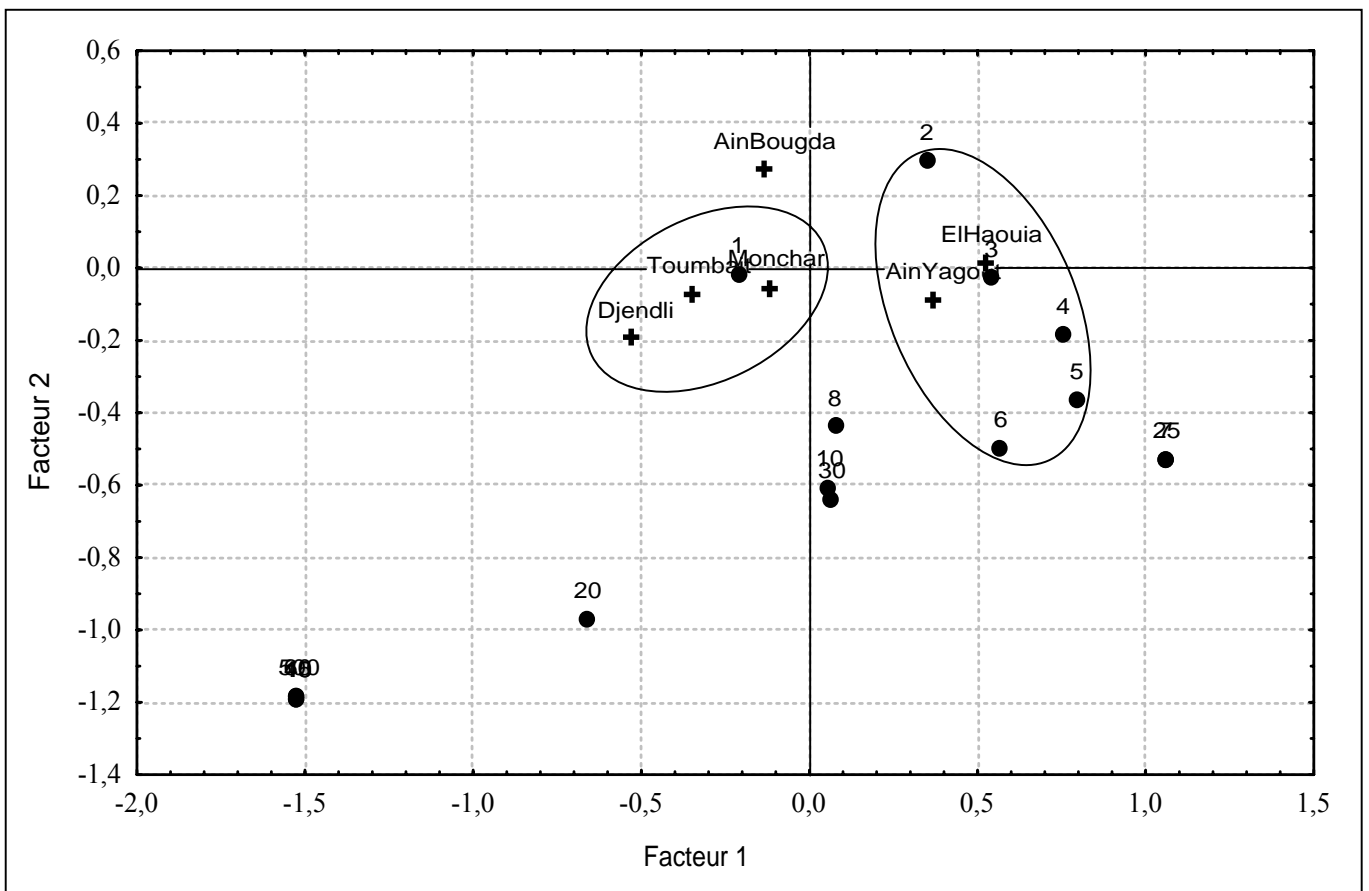


Fig. 101 - Représentation graphique simultanée des coordonnées des secteurs d'études et centre des classes des teneurs en Cu (Batna).

## CONCLUSION GENERALE

Les secteurs prospectés sont situés sur les Wilayas de Batna, Oum El Bouaghi et la ville de Ain M'lila. Ils appartiennent au même district métallogénique. Les concentrations polymétalliques et/ou Barityne des Aurès se localisent dans les formations carbonatées d'âge crétacé.

**A.** - La minéralisation des secteurs se caractérise principalement, par une morphologie en filons, strates et amas encaissés dans les formations carbonatées. La faille Nord atlasique a joué un rôle est très important. Elle est à l'origine de la formation des constructions récifales dans la région et des structures anticlinales spécifiques. Cet accident de socle se manifeste d'une manière irrégulière en affleurement. Les données gîtologiques et géochimiques mettent en évidence un contrôle efficace de cette minéralisation par la fracturation de direction NE-SW et NW-SE.

1. - Dans le secteur de Tarbennt, les indices mineralisés de Zn, Pb et Cu sont localisés le long du contact Jurassique – Crétacé au voisinage de la grande faille de Ain Yaghout et des accidents tectoniques de direction NE-SW. La paragenèse minérale est composée de cuivre gris, malachite – azurite, galène et sphalérite.
2. - Dans le secteur de Toumbait, les indices mineralisés de galène sont localisés dans des filons de direction NW-SE.
3. - Dans le secteur de Djendli, la minéralisation se manifeste par la présence de minéraux secondaires de Zn, Cu et Pb, représentés essentiellement par une minéralisation zincifère avec une composition minéralogique représentée par l'hémimorphite et la smithsonite en plus de la sphalérite (Fig. 16). Une minéralisation plombifère composée de galène et d'anglésite avec une gangue calcito-barytique et une minéralisation cuprifère représentée par du cuivre gris avec des minéraux secondaires comme la malachite et azurite (Fig. 13, 14 et 15). Elle est accompagnée le plus souvent par une gangue quartzo-barityque.
4. - Dans le secteur de Ain Bougda, la minéralisation est représentée par la sphalérite, pyrite, calamine et de la galène localisée dans des calcaires et dolomies. Les minéraux de gangue sont la calcite et la barytine.

**B.** - L'étude géostatistique réalisée dans les secteurs Tarbennt et Toumbait a permis de conclure que :

1. - la maille de prospection (100mx20m) est largement suffisante dans le secteur de Toumbait et les sous-secteurs Ain Yaghout et El Mounchar. Cependant il est recommandé de réorienter les profils comme suit:

- Dans le secteur Tarbennt (sous-secteur Ain Yaghout et El Mounchar), les profils de prospection doivent être orientés d'un azimute de 300° pour le Cu et le Pb, au lieu d'un azimute de 320° choisi précédemment.

- Dans le secteur Toumbait, les profils de prospection doivent être orientés d'un azimute de 310° pour le Cu et d'un azimute de 25° pour le Pb, au lieu un azimute de 350° choisi précédemment.

2. - L'étude géostatistique a permis de confirmer l'orientation des failles minéralisées décrites dans la partie gîtologique.
3. Les variogrammes directionnels ont des paliers et des portées différentes dans le secteur de Toumbait et les sous-secteurs Ain Yaghout et El Mounchar, ce ci montre la présence d'un phénomène *d'Anisotropie Zonale*.
4. - Les effets de pépite sont très forts dans les différents variogrammes. Ce ci est dû principalement à la mauvaise qualité analytique (analyse spectrale semi-quantitative). Ce qui incite à suggérer une méthode d'analyse chimique plus précise (absorption atomique) pour les principaux éléments tel que Pb, Zn, Cu et Ag.
5. Les axes d'anisotropies ne se correspondent pas pour le Cu et le Pb, pour le Cu se sont les failles de direction NE- SW (50°) et pour le Pb un se sont les failles de direction NW-SE (295°). Ce ci peut être expliqué par la présence de deux phases minéralisées.

**C.** - Le traitement multivariée (ACP) des données géochimiques dans les différents secteurs et sous-secteurs à permis la détermination et la cartographie des associations chimiques multiélémentaires, dont les corrélations inter élémentaires montrent de bonne signification. Ces associations pourraient être s'exprimées minéralogiquement comme suite :

1. - Une minéralisation sulfurée plombo-zincifère (Galène et Sphalérite) à contenu argentifère.
2. - Une minéralisation zincifère sulfurée (Sphalérite et smithsonite).
3. - Une minéralisation plombifère sulfurée (Galène et Cérusite) à la quelle s'ajoute des oxydes de manganèses.
4. - Une minéralisation cuprifère sulfurée.

**D.** - Le traitement monovarié a permis la cartographie des zones anormales. Les résultats du traitement mono et mutlivarié sont de base pour localiser les zones à fort potentiel géochimique pour une future prospection détaillée (sondage), dont les résultats sont comme suites:

Trois principales anomalies multivariables ont été localisées dans le sous-secteur Ain Yaghout : **A**, **B** (Pb, Zn, Ag et Cu) et **C** (Pb, Ag et Cu) (Fig. 95).

Trois principales anomalies multivariables ont été localisées dans le sous-secteur El Haouia : **A** (Pb, Zn et Cu) et **B**, **C** (Pb, Zn, Ag et Cu) (Fig. 96).

Quatre principales anomalies multivariables ont été localisées dans le sous-secteur El Mounchar : **A**, **B** (Cu, Ag et Pb) et **C**, **D** (Pb, Cu et Zn) (Fig. 97).

Deux principales anomalies multivariables ont été localisées dans le secteur Djendli : **A** et **B** (Pb, Zn, Ag et Cu) (Fig. 98).

Deux principales anomalies multivariables ont été localisées dans le secteur Toumbait : **A** (Pb, Zn, Ag et Cu) et **II** (Pb, Ag et Cu) (Fig. 99).

Deux principales anomalies multivariables ont été localisées dans le secteur Ain Bougda : **A**, **B** (Pb, Zn, Ag et Cu) (Fig. 100).

**E.** - L'analyse factorielle des correspondances a permis de déceler deux groupes de secteurs, dans le premier : El Mounchar, Toumbait et Djendli dont la distribution des teneurs en Cu est identique, et dans le deuxième : Ain Yaghout et El Haouia les teneurs en Cu ont aussi la même distribution. La présence de ces deux groupes peut être dû à la présence de minéralisations biphasées.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bär, C. B. (1957)** : Etude géologique de la feuille au 1/50.000 d'Ain M'lila (Algérie). *Publ. Serv. Géol. Algérie, Bull, n°9.*
- Boulemia, S (2004)** : Etude des minéralisations polymétalliques dans les secteur Souabaa, région Ouenza El-Aouinet (Algérie-Nord Orientale). *Thèse Magister, Univ constantine.*
- Boutaleb, A. (2001)** : Les minéralisations Pb-Zn du domaine Sétifien-Hodna : Gîtologie, pétrographie des dolomies, microthermométrie et implications métallogénique. *Thèse. Doct. D'Etat, USTHB (FSTGAT), Alger. Algérie.*
- Bureau, D. (1971)** : Le Crétacé inférieur des Monts de Batna (Aurès). Lithologie et premières observations lithostratigraphiques. *Bull. Soc. Géol de France (7), XIII, n°3-4, pp.374 à 385.*
- Bureau, D. (1972)** : Esquisse géologique des monts du Belezma. *Publ. Serv. Géol. Algérie, (Nlle série) Bull, n°45, pp.73 à 92.*
- Buyse M. (1983)**: Les différentes approches conduisant a l'analyse des correspondances. E.O.R.T.C. Data center Rue Héger-Bordet, 1, 1000 Bruxelles Belgique.
- Chamussy H. & Charre J. & Dumolard P. & Durand M. G. & Le Berre M. (1994)** : Initiation aux pratiques statistiques en géographie. *Edition Masson, 245p.*
- Chauvet P. (1999)** : Aide mémoire de géostatistique linéaire. Ecole de mine de paris. *Edition les Presses.*
- EREM. (1984)** : Rapport sur les recherches systématiques et les travaux de prospection géologique au 1\50.000 concernant les feuilles 142 (Ras El Oued), 169 (Souk Ouled Nadja), 170 (Boutaleb), 172 (Merouana), 174 (Boulahilet), 175 (Garaet El Tarf), 199 (N'Gaous), 200 (Batna), 201 (Tazoult), réalisées pour l'équipe Hodna et Batna entre 1981 1984. *Rapport. Inédit (Azov et al).*
- EREM. (1986)**: Rapport sur les recherches géologiques systématiques réalisées par l'équipe de Batna sur le territoires des feuilles 146 (Ain Yaghout), 147 (Ain Kercha), 173 (El Madher) en 1985 à 1986. *Rapport. Inédit (Danilov, V et al).*
- EREM. (1991)** : Projet de prospection des polymétaux dans les monts des Aurès. *Rapport. Inédit (Bairaktorav, I).*
- Elena A. (2005)** : Analyse exploratoire d'un jeu de données de concentration en ozone troposphérique, Application à la Zone Métropolitaine de la Vallée de Mexico, travail pratique de master. Institut national de l'ecologie. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- Glaçon, J. (1967)**: Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du tell Sétifien (algérie). *Publ. Serv. Géol. Algérie, (Nlle série) Bull, n°32.*

**Glangeod (1933):** Rapport Inédit SONATRACH 1970.

**Guellal, S & Vila, J (1973):** Etude géologique du permis Ain Baida. *Rapport. Inédit (SONATRACH).*

**Guirau, R. (1990):** Evolution post-triasique de l'avant pay de la chaîne alpine en Algérie. (d'après l'étude du bassin du hodna et les régions voisines), mémoire n°31 université d'avignon, faculté des sciences labo de géologie.

**Haddouche, O. (2003) :** Contribution à l'étude géologique et géochimique des minéralisations à Pb-Zn, Fe, Ba (Sr) de la région d'EL Ouasta (Souk Ahras). *Thèse Magistère, FSTGA., USTHB Bab Ezzouar Alger.*

**Harkat, M. (2004) :** Contrôle eustatique et Paléogéographique de la sédimentation du Crétacé supérieur du bassin des Aurès (Algérie). *Publ. Serv.géol. Algérie (Nlle série). Bull. n°3, pp 273 à 288.*

**Henni, A. (1995) :** Caractérisation minéralogique et géochimique des sphalérites de l'Algérie. *Publ. Serv.géol. Algérie (Nlle série). Vol 6. n°3, pp 225 à 237.*

**Kazi Tani, N. (1986) :** Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse Doct.ès Sciences, Univ. Pau et des pays de l'Adour, 2 tomes.*

**Janiak, S. (1951) :** Etude géologique de la région d'Ain Yaghout et du Djebel Bou Arif. *Rapport B.R.M.A, inédit.*

**Labidi, K & Menasria MK (1995):** Contribution de la géophysique à l'étude des minéralisations polymétalliques du gisement de Tenoun-Kenine (District Batna). Mémoire ingénieur, Univ Annaba.

**Journel A. G. (1978):** Cours de géostatistique, 3<sup>ème</sup> année. Tome II, *institut national polytechnique de Lorraine, France, 122p.*

**Journel A. G. & Huijbregts (1978):** Mining geostatistics. *Academic Press, London, U. K, 600p.*

**Laffite, R. (1939) :** Etude géologique de l'aurès. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie. 2<sup>ème</sup> série, strati. Descriptions régionales n° 15.*

**Lansier, J. (1965) :** Contribution à l'étude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique des haut plaines algériennes (Ain Sefra, Mechria, Nador et Hodna). *Thèse 3 Cycle, Univ. Paris, mém. ron. Inédit.*

**Nezzal, F. (1989) :** Etude sédimentologique et paléogéographique de l'Albo-Aptien des hautes plaines constantinoises (Est-Algérien) : contrôle paléogéographique de la dolomitisation tardive et des minéralisations Pb-Zn stratbound. *Thèse magister, univ constantine.*

- Marcotte D. (1997)** : Géostatistique minière. *Ecole polytechnique, Lorraine, France, 230p.*
- Marmi, R. (1989)** : Méthodologie de prospection géochimique appliquée à la recherche de gisement polymétallique du type Pb-Zn cas Bou Arif-Batna (Algérie). *Thèse Magister, Univ constantine.*
- Marmi, R & Benaissa, A. (2000)** : Application des méthodes géochimiques et géophysiques (E.M-V.L.F) dans la recherche des minéralisations polymétalliques de type Pb-Zn au Djebel bou-Arif (Algérie du Nord orientale). *Publ. Serv.géol. Algérie. Vol 12. n°1, pp3 à 13.*
- Matheron G. (1971)**: La théorie des variables régionalisées et ses applications. Les cahiers des CMM5. Paris ENSMP, 212p.
- Matheron G. (1973)**: The Intrinsic random functions and their application. In *Advances in Applied Probability. Dec. 1973, n°3, pp439-468.*
- Mezghache H. (1991)** : Détermination, localisation et estimation globale des différents types de minerai de phosphate dans le gisement de Kef Es-Sennoun – Djebel Onk – Algérie. Rapport E. N. Ferphos, 42p.
- Mezghache, H. (2000)** : Cour de géochimie appliquée. *Univ, Annaba.*
- Morineau, A. (1988)** : Analyse en Composantes Principales. *Edition CISIA. Ceresta, France, 198p.*
- Mostfaoui L. (1997)** : Evaluation des réserves globales du phosphate de Djebel Onk Nord par les méthodes géostatistiques. Mém. Ingénieur, Univ. Annaba, 94p.
- Palm R. (1993): Notes des sttistique et d'informatique. Les méthodes d'analyse factorielle: principes et applications. Faculté des Sciences Agronomiques GEMBLoux (Belgique).
- ORGM. (1994)** : Rapport des travaux de prospection des polymétaux dans les monts de Batna et Aurès. *Rapport. Inédit (Douha, D et al).*
- ORGM. (1997)** : Projet de prospection de Cu-Pb dans les secteurs de Hanout Kébir et Chémora. *Rapport. Inédit (Arrouche, Y).*
- Pannatier, Y (1996)**: Variowin software for spatial data analysis in 2D. *Springer, 91 pp.*
- Ploner A. & Dutter R. (2000)** : New directions in geostatistics. In : *Journal of statistical planning and inference*, edition Elsevier, pp 499-509.
- Popov, A. (1968)** : Les types morphologiques et répartition des gisements de Pb-Zn en Algérie.
- Rouvier, H. (1990)** : Les concentrations polymétalliques liées aux diapirs évaporitiques des confins algéro-tunisiens. *Rapport interne EREM, Boumerdes-Algérie, 71 p.*

**Sami, L. (2003)** : Etude géologique et gîtologique des minéralisations polymétalliques autour de Dj. Mesloula. *Thèse Magistère, FSTGA., USTHB Bab Ezzouar Alger.*

**Touahri, B. (1987)** : Géochimie et métallogénie des minéralisations à Pb-Zn du Nord de l'Algérie. *Thèse Doct. d'Etat, Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 1 vol., 300p.*

**Vila, J. M. (1977)** : Notices explicatives de la carte géologique au 1/50.000 : Ain Yaghout (146), Ain Kercha (147), Ain el Ksar (173), Tazoult (201) et Boulhilet (174).

**Vila, J. M. (1980)** : La chaîne alpine d'Algérie nord-orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse Doct. d'Etat, Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 665p.*

**Vila, J. M.; Benkherouf, F; Charrière A. (1994)** : Interprétation du matériel triasique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens): un vaste « glacier de sel » sous-marin albien, à l'image des structures *off-shore* d'Aquitaine. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 318, série II, p. 109-116.*

**Vila, J. M. (1994)** : Mise au point et données nouvelles sur les terrains triasiques des confins algéro-tunisiens : Trias allochtone, « glaciers de sel » sous-marins et vrais diapirs. *Mém. Serv. Géol. Algérie, n°6, pp. 105-152.*

**Vila, J. M. (1996)** : Halocinèse distensive albienne à « glacier de sel » sous-marin et plissements tertiaires du secteur Ouenza-Ladjebel-Méridéf. *Bull. Serv. Géol. Algérie, vol 7, n°1, pp3-34.*

**Vila, J. M.; Ben Youcef, M.; Chikhaoui, M.; Ghanmi, M.; Kechid-Benkherouf, F. (1996):** Les grands <glaciers de sel> sous-marins albiens des confins algéro-tunisiens. *Mém. n°10. Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières. Tunisie.*

**Vila, J. M. (2001)** : Les avantages d'une approche multi-source (biostratigraphie, sédimentologie, forages, profils sismiques et gravimétrie) pour l'étude de l'halocinèse Crétacée (« glaciers de sel », tectonique en radeaux et dômes de sel) et de l'halotectonique tertiaire (plissement des « glaciers de sel », genèse des dômes de sel-plis) des confins algéro-tunisiens. *Bull. Serv. Géol. Algérie, vol 12, n° 2, pp 129-167.*

**Zerdazi, A. (1990)** : Etude gravimétrique du môle d'Aïn M'Lila et de l'Atlas saharien septentrional (Nord-Est de l'Algérie). *Thèse Doct. Es Sciences, Fac. Des Sciences, Univ. De Lausanne, 227 p., 79 fig., 19 tabl, 30 pl. h.-t.*

**Zhang, C; Selinus, O & Wong, P (2000):** Spatial structures of cobalt, lead and zinc contents in tills in southeastern Sweden. *GFF, Vol 122 (Pt. 2, June), pp. 213-217. Stockholm. ISSN 1103-5897.*

## LISTE DES FIGURES

**Fig. 1** – Situation géographique des secteurs d'étude.

**Fig. 2** – Esquisse géologique, structurale et d'emplacement d'indices minérales dans la région de Batna-Aurès (SONAREM ; Jarikov 1968).

**Fig. 3** – Colonne stratigraphique de la région Batna-Aurès (ORGM 2003, d'après Vila 1970 ; Kozlov 1971 ; Azov 1984).

**Fig. 4** - Principaux ensembles structuraux de l'Afrique du nord (d'après Caire, 1967).

**Fig. 5** - Coupe Nord-Sud du Nord de l'Algérie (d'après Caire, 1971).

**Fig. 6** – Carte géologique simplifiée montrant les monts d'Ain Yaghout (Batna).

**Fig. 7** - Sphalérite (Sph) à grain automorphe, Barytine (Ba). *Section polie LP&N. Gx10 (sous-secteur Ain Yaghout).*

**Fig. 8** - Sphalérite (Sph), Barytine (Ba). *Section polie LP&N. Gx10 (sous-secteur Ain Yaghout).*

**Fig. 9** - Sphalérite (Sph) coroner par la Malachite (Ml), Barytine (Ba). *Section polie LP&N. Gx10 (sous-secteur El Haouia).*

**Fig. 10** - Sphalérite (Sph) coroner par la Malachite (Ml), Barytine (Ba). *Section polie LP&N. Gx5 (sous-secteur El Haouia).*

**Fig. 11** - Carte géologique simplifiée montrant les monts de Toubait (Batna).

**Fig. 12** - Carte géologique schématique du secteur Djendli (Nord-Est Dj Bou Arif ; Batna).

**Fig. 13** - Azurite (Az), Malachite (Ml), Quartz (Qz). *Section polie LP&N. Gx10 (secteur Djendli).*

**Fig. 14** - Malachite (Ml), Barytine (Ba) et Quartz (Qz). *Section polie LP. Gx10 (secteur Djendli).*

**Fig. 15** - Azurite (Az), Malachite (Ml), Oxydes de Fer (Ox) *Section polie LP. Gx10 (secteur Djendli).*

**Fig. 16** - Sphalérite (Sph) *Section polie LP&N. Gx10 (secteur Djendli).*

**Fig. 17** – Carte géologique schématique du secteur Ain Bougda (Sud Dj Bou Arif ; Batna).

**Fig. 18** - Pyrite (Py) en cristaux et disséminée dans les roches carbonatée. *Section polie LP&N. Gx10 (secteur Ain Bougda).*

**Fig. 19** - Pyrite (Py) en cristaux remplissant les fissures et les filonnets dans les roches carbonatée (Ca) ; *Section polie LN. Gx10 (secteur Ain Bougda).*

**Fig. 20** - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans le sous-secteur Ain Yaghout (Tarbennt, Batna) (Maille 100x20m).

**Fig. 21** - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans sous-secteur El Haouia (Tarbennt, Batna) (Maille 100x20m).

**Fig. 22** - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans sous-secteur El Mounchar (Tarbennt, Batna) (Maille 100x20m).

**Fig. 23** - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans secteur Djendli (Batna) (Maille 100x20m).

**Fig. 24** - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans secteur Toumbait (Batna) (Maille 100x20m).

**Fig. 25** - Schéma géologique et Plan d'échantillonnage dans secteur Ain Bougda (Batna) (Maille 100x20m)

**Fig. 26** – Représentation schématique des points de mesure de la variable.

**Fig. 27** - Méthode de calcul du variogramme expérimental.

**Fig. 28** – Graphe d'un variogramme expérimental et son model d'ajustement.

**Fig. 29** – La représentation des composantes du vecteur  $\vec{h}_{kl}$

**Fig. 30** - Exemple de variogramme de surface.

**Fig. 31** – Illustration d'un mauvais choix du lag spacing.

**Fig. 32** - Estimation élémentaire d'une teneur moyenne  $Z_v$  par une autre teneur moyenne  $Z_v$ .

**Fig. 33** - Estimation d'une variance  $\sigma^2$  par un nombre d'informations.

**Fig. 34** – Variogramme de surface de Cu dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Fig. 35** – Variogramme omni- et directionnel de Cu dans secteur Ain Yaghout

**Fig. 36** – les axes d'anisotropie ( $20^\circ$  et  $110^\circ$ ) dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Fig. 37** – Abaque N° 7 : variance d'extension diverses, schéma sphérique (Journal, et G1978).

**Fig. 38** - Variogramme de surface de Pb dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Fig. 39** - Variogramme omni- et directionnel de Pb dans le secteur Ain Yaghout.

**Fig. 40** – Position des axes d'anisotropie ( $35^\circ$  et  $125^\circ$ ) pour l'élément Pb et des profils de prospection dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Fig. 41** – Variogramme de surface de Cu dans le sous-secteur El Mounchar.

**Fig. 42** – Variogramme omni- et directionnel de Cu dans secteur El Mounchar.

**Fig. 43** – les axes d'anisotropie ( $35^\circ$  et  $125^\circ$ ) dans le sous-secteur El Mounchar.

**Fig. 44** - Variogramme de surface de Pb dans le sous-secteur El Mounhar.

**Fig. 45** - Variogramme omni- et directionnel de Pb dans le sous-secteur El Mounchar

**Fig. 46** – Position des axes d'anisotropie ( $25^\circ$  et  $115^\circ$ ) pour l'élément Pb et des profils de prospection dans le sous-secteur El Mounchar.

**Fig. 47** – Variogramme de surface de Pb dans le secteur Toumbait.

**Fig. 48** – Variogramme omni- et directionnel de Cu dans secteur Toumbait.

**Fig. 49** – les axes d'anisotropie ( $40^\circ$  et  $130^\circ$ ) dans le secteur Toumbait.

**Fig. 50** - Variogramme de surface de Pb dans le secteur Toumbait.

**Fig. 51** - Variogramme omni- et directionnel de Pb dans le secteur Toumbait.

**Fig. 52** - Position des axes d'anisotropie ( $55^\circ$  et  $145^\circ$ ) et des profils de prospection dans le secteur Toumbait.

**Fig. 53** – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du sous-secteur Ain Yaghout (Tarbennt, Batna).

**Fig. 54** – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le sous-secteur Ain Yaghout ( $F1 < 0$  et  $F2 < 0$ ), ( $F2 > 0$  et  $F3 > 0$ ) et ( $F2 < 0$  et  $F3 < 0$ )

**Fig. 55** – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du sous-secteur El Haouia (Tarbennt, Batna).

**Fig. 56** – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le sous-secteur El Haouia. ( $F1 > 0$  et  $F2 > 0$ ) et ( $F1 > 0$  et  $F2 < 0$ ).

**Fig. 57** – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du sous-secteur El Mounchar (Tarbennt, Batna).

**Fig. 58** – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le sous-secteur El Mounchar. ( $F1 > 0$  et  $F2 > 0$ ), ( $F3 > 0$  et  $F2 < 0$ ) et ( $F2 < 0$  et  $F3 < 0$ ).

**Fig. 59** – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du secteur Djendli (Batna)

**Fig. 60** – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le secteur Djendli ( $F1 < 0$  et  $F3 < 0$ ), ( $F2 < 0$  et  $F3 > 0$ ).

**Fig. 61** – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du secteur Toumbait (Batna).

**Fig. 62** – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le secteur Toumbait ( $F1 > 0$  et  $F2 > 0$ ), ( $F1 > 0$  et  $F3 > 0$ ).

**Fig. 63** – Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des teneurs des échantillons du secteur Ain Bougda (Batna).

**Fig. 64** – Carte des facteurs d'individus de l'ACP de l'ensemble des données chimiques montrant les différentes associations multiélémentaires dans le secteur Ain Bougda ( $F1 > 0$  et  $F2 > 0$ ), ( $F1 > 0$  et  $F2 < 0$ ).

**Figs. 65, 66, 67 et 68** - Graphe de probabilité de Cu, Ag, Pb et Zn dans sous-secteur Ain Yaghout.

**Fig. 69** – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Figs. 70, 71, 72 et 73** - Graphe de probabilité de Cu, Ag, Pb et Zn dans sous-secteur El Haouia.

**Fig. 74** – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le sous-secteur El Haouia.

**Figs. 75, 76, 77 et 78** - Graphe de probabilité de Cu, Ag, Pb et Zn dans sous-secteur El Mounchar.

**Fig. 79** – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le sous-secteur El Mounchar.

**Figs. 80, 81, 82 et 83** – Graphe de probabilité de Cu, Ag, Pb et Zn dans secteur Djendli.

**Fig. 84** – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le secteur Djendli.

**Figs. 85, 86, 87 et 88** – Graphe de probabilité de Cu, Ag, Pb et Zn dans secteur Toumbait.

**Fig. 89** – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le secteur Toumbait.

**Figs. 90, 91, 92 et 93** - Graphe de probabilité de Cu, Ag, Pb et Zn dans secteur Ain Bougda.

**Fig. 94** – Carte des isoteneurs des éléments chimiques Cu, Ag, Pb et Zn dans le secteur Ain Bougda.

**Fig. 95** – Carte de localisation des zones anormales prioritaires a la prospection future dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Fig. 96** – Carte de localisation de zones anormales prioritaires a la prospection future dans le sous-secteur El Haouia.

**Fig. 97** – Carte de localisation des zones anormales prioritaires a la prospection future dans le sous-secteur El Mounchar.

**Fig. 98** – Carte des zones anormales prioritaires a la prospection future dans le secteur Djendli.

**Fig. 99** – Carte des zones anormales prioritaires a la prospection future le secteur Toumbait.

**Fig. 100** – Carte des zones anormales prioritaires a la prospection future le secteur Ain Bougda.

**Fig. 101** - Représentation graphique simultanée des coordonnées des secteurs d'études et centre des classes des teneurs en Cu (Batna).

**Fig. 102** – Ajustement d'un nuage statistique par une droite (régression linéaire simple).

**Fig. 103** – Représentation de nuage de points individus.

**Fig. 104** – Représentation géométrique de la distance  $i-i'$

**Fig. 105** – Ajustement d'un nuage statistique dans l'espace des échantillons (ACP).

**Fig. 106** – Représentation de cercle de corrélation.

**Fig. 107** – Schéma de la représentation simultanée.

## LISTES DES TABLEAUX

**Tab. 1** - Paramètres du model de variogramme théorique de Cu dans le sous-secteur Ain Yaghout.

**Tab. 2** - Paramètres du model de variogramme théorique de Pb dans le sous-secteur Ain Yaghout;

**Tab. 3** - Paramètres du model de variogramme théorique de Cu dans le sous-secteur El Mounchar.

**Tab. 4** – Paramètres du model de variogramme théorique de Pb dans le sous-secteur El Mounchar

**Tab. 5** – Paramètres du model de variogramme théorique de Cu dans le secteur Toumbait.

**Tab. 6** – Paramètres du model de variogramme théorique de Pb dans le secteur Toumbait

**Tab. 7** - Synthèse des résultats obtenus par l'étude variographique dans les sous-secteurs Ain Yaghout, El Mounchar et secteur de Toumbait

**Tab. 8** – Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur Ain Yaghout (Nombre des échantillons utilisés : 972).

**Tab. 9** – Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Haouia (Nombre des échantillons utilisés : 317).

**Tab. 10** – Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Mounchar (Nombre des échantillons utilisés : 666).

**Tab. 11** – Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le secteur Djendli (Nombre des échantillons utilisés : 657).

**Tab. 12** – Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le secteur Toumbait (Nombre des échantillons utilisés : 334).

**Tab. 13** – Matrice de corrélation simple des éléments chimiques analysés dans le secteur Ain Bougda (Nombre des échantillons utilisés : 769).

**Tab. 14** – Résultats d'analyse en composantes principales normée dans les secteurs d'étude.

**Tab. 15** - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur d'Ain Yaghout

**Tab. 16** - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Haouia.

**Tab. 17** – Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le sous-secteur El Mounchar.

**Tab. 18** - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans le secteur Djendli.

**Tab. 19** - Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans secteur Toubait.

**Tab. 20** – Paramètres statistiques des éléments chimiques analysés dans secteur Ain Bougda

**Tab. 21** – Tableau récapitulatif des résultats du traitement mono et multivariées et cartographie des données géochimiques dans tous les secteurs et sous-secteurs.

**Tab. 22** – Répartition des effectifs selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna).

**Tab. 23** - Répartition des poids relatif (profil ligne) selon les teneurs en Cu (classe) dans chaque secteur d'étude (Batna).

**Tab. 24** - Répartition des poids relatif (profil colonne) selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna).

**Tab. 25** - Tableau des fréquences observées (répartition des poids relatif selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna).

**Tab. 26** - Tableau des fréquences théoriques (répartition des poids relatif selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna).

**Tab. 27** - Calcul du Khi-deux (répartition des poids relatif selon les teneurs en Cu (classe) dans les secteurs d'étude (Batna).

**Tab. 28** - Valeurs propres et inertie de toutes les dimensions (les teneurs en Cu (classe)) dans les secteurs d'étude (Batna).

# ANNEXE

## METHODES UTILISEES POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES GEOCHIMIQUES

### I. - Statistique mono et bivariée

Ce traitement permet de déterminer les paramètres statistiques de la distribution de chaque variable, de position centrale (moyenne, intervalle de variation...ect) et de dispersion (variance, coefficient de variation...ect), et de résumer graphiquement les caractéristiques essentielles de la distribution de chaque variable.

L'histogramme d'une variable donnée visualise la répartition des effectifs dans un certain intervalle de variation prise par cette variable. L'allure générale de l'histogramme et/ou de la courbe des fréquences cumulées permet d'apprécier l'homogénéité ou l'hétérogénéité des données; ainsi que la loi de distribution des variables.

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

Le coefficient de corrélation est calculé par la formule suivante :

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

et estimée par:

$$r = (\overline{XY} - \overline{X}\overline{Y}) / (S_x S_y)$$

Avec  $\overline{X}$  et  $\overline{Y}$  : teneurs moyenne des variables X et Y

$S_x$  et  $S_y$  : écarts types des variables X et Y.

Les coefficients de corrélation simples sont regroupés dans un tableau récapitulatif appelé "**matrice de corrélation**". Notons que le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1.

La modélisation linéaire bivariée par la méthode des moindres carrés (régression) permet de déterminer, si la dépendance existait, d'estimer la valeur d'un élément à partir de celle de l'autre.

**La régression linéaire** bivariée peut être simple ou orthogonale. Pour notre étude on a appliqué la méthode de régression linéaire simple.

A partir d'une série de données bivariées et en présence d'une dépendance entre ces variables, il serait alors possible d'ajuster le nuage statistique (Fig. 102) par une droite d'équation:

$$Y = a X + b$$

Avec Y: variable expliquée ou interne

X: variable explicative ou exogène.

a: coefficient de l'équation.

b: terme constant de l'équation

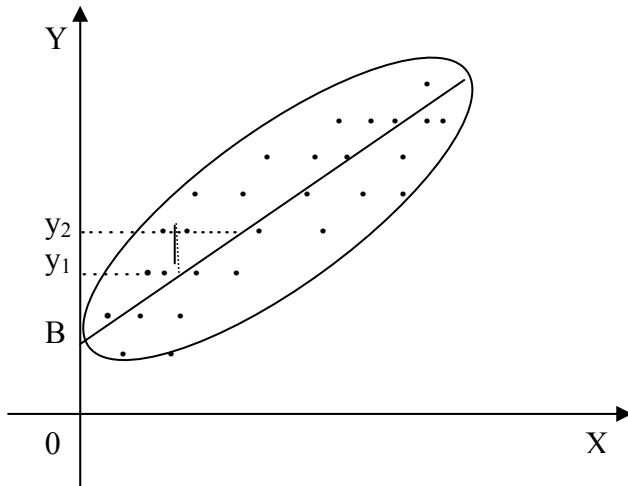


Fig. 102 - Ajustement d'un nuage statistique par une droite (régression linéaire simple)

Pour l'équation de régression linéaire simple par la méthode des moindres carrés, il est démontré que le coefficient "a" est calculé par la formule :

$$a = \text{cov}(xy) / \sigma_x^2$$

et le terme constant "b" est égale:  $b = \bar{Y} - a \bar{X}$

Dans ce cas, l'erreur qui serait faite, serait uniquement sur la variable expliquée (Y).

## II. - Analyse des données multivariées

L'analyse des données désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de collecter, d'organiser, d'analyser, de présenter que l'ont appelons les données. L'analyse approfondie des données, fait découvrir des méthodes d'analyse des données multidimensionnelles. Ces méthodes utilisent des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogènes, des liens entre individus et variables, des ressemblances ou des différences entre variables, etc.

L'analyse en composantes principales (ACP) permet d'analyser plusieurs variables quantitatives observées sur n individus. Elle permet entre autres de regrouper des individus semblables, d'isoler des individus marginaux et d'étudier les relations entre les différentes variables.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) : analyser des croisements entre 2 variables qualitatives. Lorsque le test du  $\chi^2$  détecte une relation significative entre ces 2 variables, l'AFC permet de d'écrire et d'analyser cette relation.

L'analyse en composantes principales (ACP) est adaptée aux tableaux rectangulaires de mesures, dont les colonnes figurent les variables à valeurs numériques continues (des mesures, des taux, ect), et dont les lignes représentent les individus sur lesquels les variables sont mesurées.

L'analyse des correspondances est une méthode adaptée aux tableaux de contingence et permet d'étudier les éventuelles relations existant entre deux variables nominales. Le

tableau de contingence (dit aussi de dépendance, ou tableau croisé) est obtenu en ventilant une population selon deux variables nominales. L'ensemble des colonnes du tableau désigne les modalités d'une variable et l'ensemble des lignes correspond à celles de l'autre variable. De ce fait, les lignes et les colonnes, qui désignent deux partitions d'une même population, jouent des rôles symétriques et ont traitées de façon analogue.

## II. - 1. - Analyse directe

### a. - Représentation géométrique

Les représentations géométriques entre les lignes et entre les colonnes du tableau de données permettent de représenter visuellement les proximités entre les individus et entre les variables.

#### o Le nuage des points individus

On obtient un nuage de  $n$  points lignes ou individus dans un espace à  $p$  dimensions (Fig. 103). Dans  $R^p$ , les  $n(n-1)/2$  distances attachées aux couples de points qui représentent des individus ont une interprétation directe pour l'utilisateur :

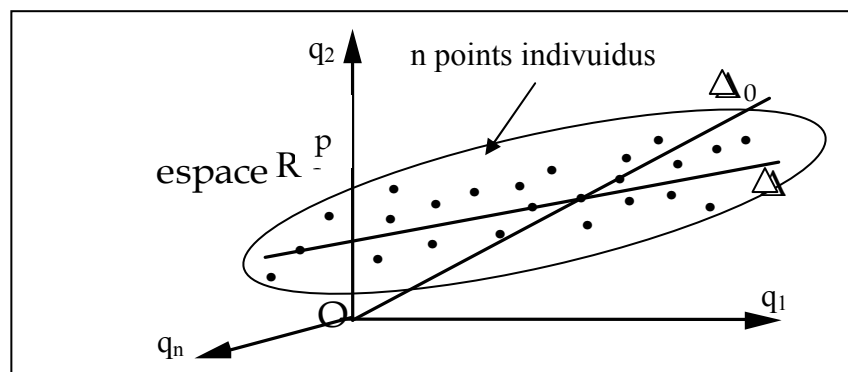


Fig. 103 - Représentation de nuage de points individus

Dans  $R^p$  - chaque point est défini par  $P$  coordonnées.

#### o Le nuage des points variables

De façon analogue, nous pouvons représenter les  $q$  colonnes (variables) du tableau de données comme  $q$  points dans un espace à  $n$  dimensions.

Dans  $R^n$  - chaque point est défini par  $n$  coordonnées. Deux points - lignes ou deux points - colonnes apparaissent proche l'un de l'autre si les deux lignes ont des mesures semblables des variables (colonnes) ou (individus - échantillons) et éloignés l'un de l'autre si les mesures sont différentes.

Pour évaluer la proximité entre les points, on utilise la mesure de distance la plus usuelle qui est la distance Euclidienne (Fig. 104).

$$D(i-i') = \sum_{j=1}^n \sqrt{(x_{ij} - x_{i'j})^2}$$

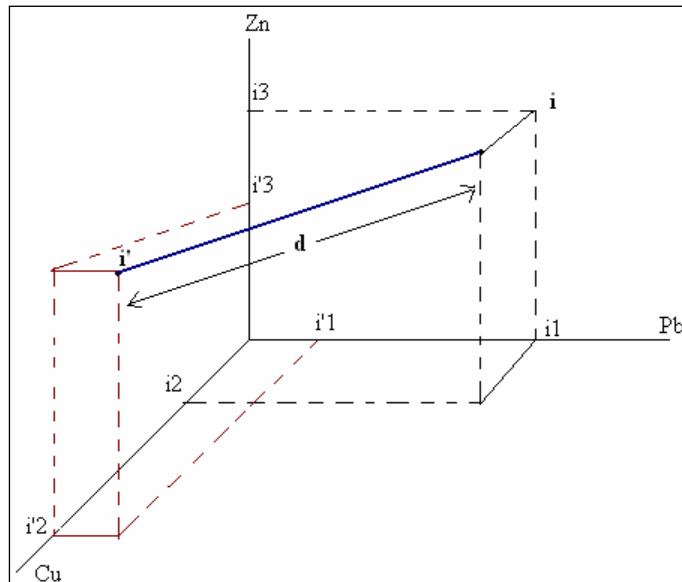
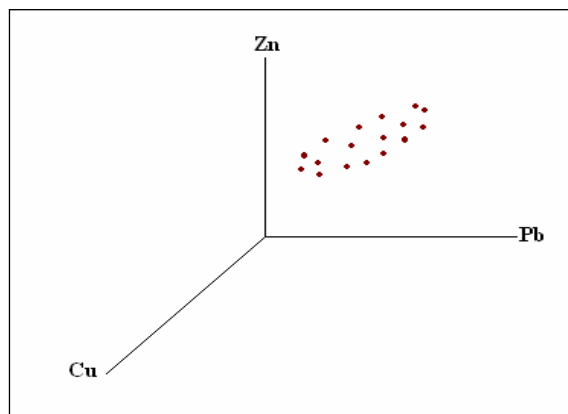


Fig. 104 - Représentation géométrique de la distance  $i-i'$

### b. - Matrice d'inertie d'un nuage

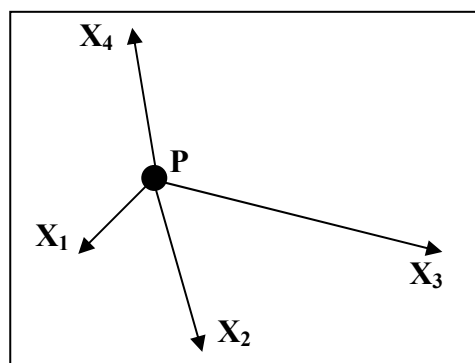
Soit  $R^k$  avec  $n$  points repérés par leurs coordonnées  $X_{ij}$   $Z_n/i$  ( $i$  varie de 1 à  $n$  et  $j$  varie de 1 à 3).



Si en plus à chaque point on associe un point  $m_i$  l'ensemble des points muni d'un masse  $m_i$  est appelé nuage de points qu'on le note  $N(I)$ .

Soit cette espace est muni d'un métrique euclidienne canonique on appel inertie du point  $N(I)$  par rapport au point  $P$  ou  $G$  l'expression suivant:

$$InP(I) = \sum_{i=1}^n m_i \|X_i - P\|^2$$

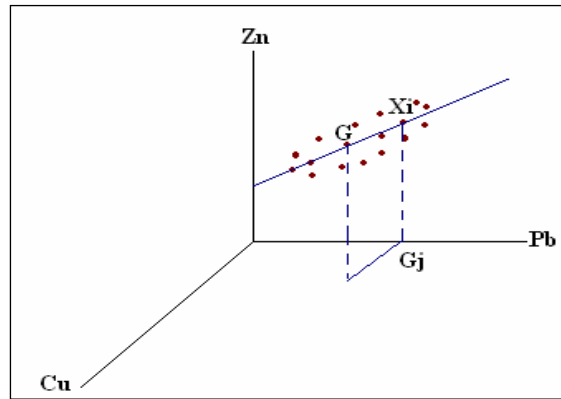


Dans la pratique le point P est placé à l'origine ou au centre de gravité du nuage de points, dans ce cas on écrit:

$$InG(I) = \sum_{i=1}^n m_i d^2(i, G)$$

$$G(j) = \sum_{i=1}^n P_i X_i$$

Où: (j): Centre de gravité ou point moyen



**L'inertie** est une mesure des dispersions pondérées des points. Elle correspond à la variance (dispersion autour de la moyenne).

### c. Inertie d'un nuage par rapport à une droite

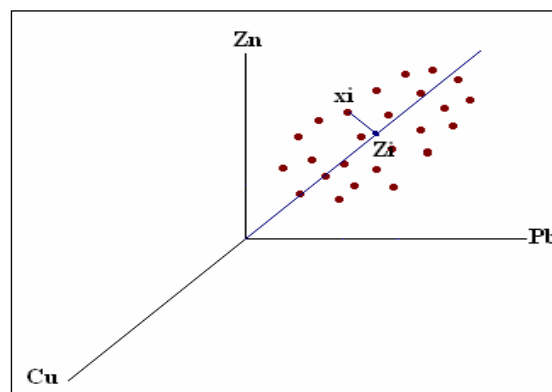
L'inertie par rapport à P ou G dont la projection est munie d'une masse  $m_i$ . On appelle inertie par rapport au point P ou G expliquée par la direction de la droite U passant par P ou G si l'on associe à chaque  $Z_i$ , la masse  $m_i$  l'expression suivante:

$$InG(I) = \sum_{i=1}^n m_i \|X_i - P\|^2$$

Si G est remplacé par P (l'origine)

$$Z_i = XU$$

$$Z_i^2 = U^T X^T X U$$



$$In(U) = \sum_{i=1}^n m_i U^T X^T X U$$

$$In(U) = U^T \sum_{i=1}^n m_i X^T X U \text{ on pose } V = \sum_{i=1}^n m_i X^T X$$

$$In(U) = U^T V U$$

$$V_{jj'} = \sum_{i=1}^n m_i (X_{ij} * X_{ij'})$$

"V" est appelé matrice d'inertie et de terme générale:

Peut correspondre à une matrice variance covariance considérons  $B_{ij} = V_{ij} \sqrt{m_i}$  dans ce cas

$$V = B^T B$$

"V" est une matrice diagonalisable on peut chercher les valeurs propres et les vecteurs propres.

Remarque : V peut être la matrice de corrélation – Si les variables étaient centrées et réduite,

$$\text{In}(U) = U^T B^T B U$$

Si  $V U_\alpha = \lambda_\alpha U_\alpha$  où :  $U_\alpha$  sont les vecteurs propres et  $\lambda_\alpha$  sont les valeurs propres.

Il y a un certain nombre d'algorithmes permettant de diagonaliser la matrice "V" on peut donc écrire:

$$\text{In}(U_\alpha) = U_\alpha^T V U_\alpha$$

On remplace  $V U_\alpha$  par  $\lambda_\alpha U_\alpha$  on obtient

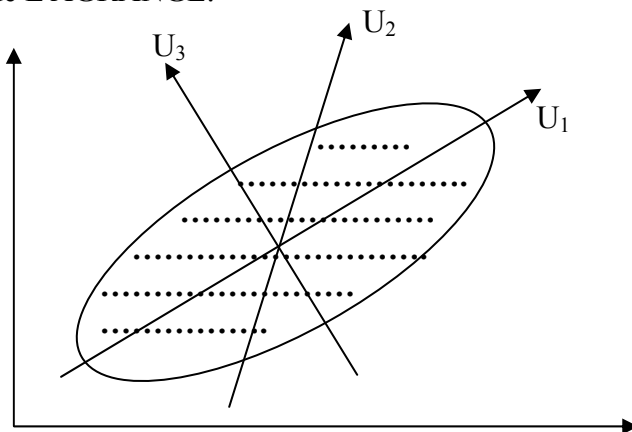
$$\text{In}(U_\alpha) = \lambda_\alpha U_\alpha^T U_\alpha = \lambda_\alpha$$

Alors l'inertie d'un nuage de points par rapport à  $U_\alpha$  est égale à la valeur propre correspondante  $\lambda_\alpha$  où:

$\text{In}(U_1) = \lambda_1$ ,  $\text{In}(U_2) = \lambda_2$  et  $\text{In}(U_3) = \lambda_3$ . dont  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ .

L'inertie totale égale à la somme de valeurs propres:  $\text{In}(U_\alpha) = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$

Le premier axe factoriel qui donne l'allongement maximal est le vecteur propre  $U_1$  correspondant à  $\lambda_1$  qui est la plus grande valeur propre de "V". Il s'agit donc de projeter ce nuage de points dans de nouveaux repères. On trouve aisément l'allongement maximal par la méthode de L'AGRANGE.



La recherche des autres axes factoriels, s'est de chercher les p vecteurs propres qui maximisent l'inertie, correspondant au p valeurs propres:

$$\text{In}(U^1, U^2, \dots, U^p) = \sum_{\alpha=1}^p \lambda_\alpha$$

La diagonalisation de la matrice V (matrice d'inertie) permet d'obtenir les p vecteurs propres  $U_\alpha$  et les p valeurs propres  $\lambda_\alpha$ . Le vecteur  $U_\alpha$  est connu par ces coordonnées dans l'espace  $R^k$ .

Les coordonnées des points  $X^i$  sur les axes factorielles qui sont obtenus par:

$$F_\alpha(i) = X^i U_\alpha \quad F_\alpha(i) = \sum_{j=1}^k U_{\alpha j} X_{ij}$$

$F_\alpha(i)$  est le facteur de rang  $\alpha$  associé à l'individu i.

Ces nouveaux axes sont :

- Facteurs de charges: s'il agit des Vecteurs propres de la matrice d'inertie de  $R^n$ . Les coordonnées des variables sont recalculées.
- Facteur des individus s'il agit de projeter des individus.

Ces coordonnées sont considérées comme des coefficients de corrélation avec les facteurs de charges, s'il s'agit de ces derniers.

La variance (dispersions) suivant chacun des facteurs est égale à la valeur propre calculé représentent le pourcentage d'informations expliquées par chacun de ces facteurs. La variance cumulée représente l'information totale.

## II. - 2. - Analyse duale

L'étude précédente était faite dans RK - Le nuage de points N(I). Supposons que  $m_i=1$  et les données sont enregistrées sous forme de tableau X(n,k).

Posant :

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{n}} \Rightarrow Y(n,k) \text{ avec } y_{ij} \text{ comme terme général.}$$

Considérons le nuage N(j) dans  $R_n$ . N(I) est appelé nuage directe et N(J) est appelé nuage duale.

La matrice d'inertie est désignée par G avec :  $G_{(n,n)} = Y_{(n,k)} Y_{(k,n)}^T$

V(k,k) et G(n,n) ont les mêmes valeurs propres.

Les relations suivantes ont été démontrées :

$$W_{\alpha(n,1)} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_\alpha}} Y_{(n,k)} U_{\alpha(k,1)} \quad \text{et} \quad U_{\alpha(k,1)} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_\alpha}} Y_{(k,n)}^T W_{\alpha(n,1)}$$

Si  $k < n$  alors il vaudrait mieux diagonaliser V(k,k).

Les relations sus-mentionnées permettent de passer très aisément de l'analyse directe à l'analyse duale. On peut identifier les valeurs et vecteurs propres de la matrice duale en appliquant les relations sus-mentionnées. Ceci permet d'économiser une diagonalisation de matrice qui coûte du temps et de l'argent.

La coordonnée de la variable j sur  $W_\alpha$  est :  $G_\alpha(j) = \sum_i w_{\alpha i} y_{ij}$

## II. - 3. - Analyse en Composantes Principales (ACP)

Afin de déterminer les différentes associations des éléments chimiques, on est amené à rechercher les liens qui existent entre eux. Ainsi, il s'agit de traiter les données de plusieurs variables simultanément. Parmi les méthodes utilisées, il y a l'Analyse en Composantes Principales qui se propose de fournir la synthèse de l'ensemble des valeurs numériques des analyses chimiques sous forme de tableaux et de graphes (Morineau, 1988).

Les résultats des analyses chimiques sont représentés dans un tableau R de type variable – individu, avec q colonnes représentant les éléments analysés (variables) et n lignes représentant les individus (analyse chimique d'un échantillon) (Chamussy et al, 1994).

L'Analyse en Composantes Principales "A.C.P" se propose de :

- Réduire l'ensemble des q variables de n échantillons, non pas par la sélection des échantillons et des variables, mais par la construction d'un ensemble de nouvelles variables appelées "facteurs".
- Ajuster le nuage de points ainsi obtenu, c'est-à-dire de le projeter au mieux sur un axe, un plan ou un hyperplan (espace vectoriel à n dimensions rapporté à une origine fixe).

### b - Réduction de l'ensemble du nuage de points

#### o Le centre de gravité du nuage statistique

Le centre de gravité de nuage formé par les q variables des n échantillons est en général un échantillon fictif dont les teneurs auraient pour valeurs les moyennes des différentes variables.

$$g = \{\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j, \dots\}$$

$$\text{avec : } \bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \dots, \bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \dots \text{etc}$$

Les liaisons de variables prises deux à deux peuvent être regroupées dans un tableau V qu'on appellera tableau des variances et des covariances ou matrice de corrélation.

#### o Calcul de la matrice V

L'ensemble des q variables des n échantillons (individus) géochimiques peut être donné sous la forme d'un tableau de n ligne et de q colonne

$$[X_{ij}] = \begin{vmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1q} \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{iq} \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nq} \end{vmatrix} \quad \begin{matrix} i = 1 \text{ à } n \\ J = 1 \text{ à } q \end{matrix}$$

La matrice  $\sqrt{n} |Y_{nq}|$  des données centrées et réduites est obtenue à partir du tableau  $X_{nq}$  avec :

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j \cdot \sqrt{n}}$$

Où  $X_{ij}$  : teneur de la variable j;  
 $\overline{X_j}$  : moyenne de la variable j ;  
 $\sigma_j$  : écart type de la variable j;  
n : nombre d'individus  
On obtient alors la matrice  $Y_{nq}$ :

$$[ Y_{nq} ] = \begin{vmatrix} y_{11} & \dots & y_{1j} & \dots & y_{1q} \\ y_{i1} & \dots & y_{ij} & \dots & y_{iq} \\ y_{n1} & \dots & y_{nj} & \dots & y_{nq} \end{vmatrix}$$

La matrice V est une matrice de dimension (q, q), symétrique par rapport à la diagonale et de terme général :  $V = Y^T \cdot Y$

Il s'agit de la matrice de corrélation simple :

$$V = \begin{vmatrix} 1 & & & \\ V_{11} & \dots & & \\ V_{i1} & \dots & V_{ij} & \dots & 1 \\ V_{q1} & \dots & V_{qj} & \dots & \dots & V_{qq} \end{vmatrix}$$

### c - Ajustement du nuage pour l'espace des échantillons

#### o Inertie du nuage

Un échantillon peut être considéré comme un point défini par q coordonnées représentant les valeurs des q variables, c'est-à-dire, un vecteur d'un espace vectoriel  $R^q$ . il est donc possible par analogie avec la géométrie et la physique de mesurer la distance entre deux échantillons  $e_1$  et  $e_2$ .

Soit deux axes d'angle  $\theta$  dont l'origine est confondue avec le centre de gravité du nuage (Fig. 105). La distance entre les deux échantillons  $e_1$  et  $e_2$  par rapport au centre de gravité du nuage est donnée par le carré suivant:

$$D^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 - 2(x_1 - x_2)(y_1 - y_2) \cos \theta$$

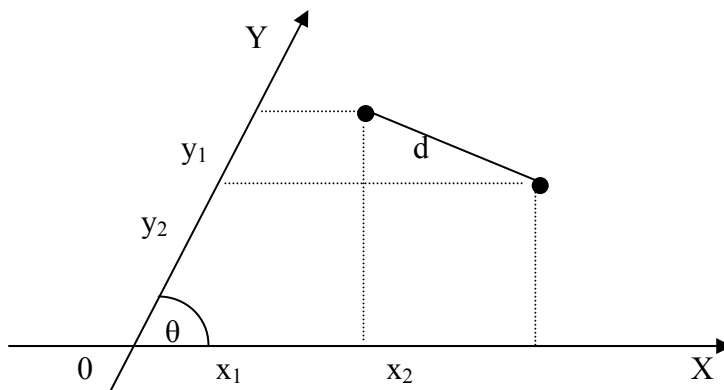
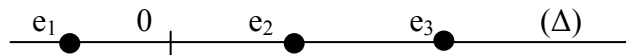


Fig. 105 - Ajustement d'un nuage statistique dans l'espace des échantillons (ACP)

On appelle inertie du nuage la moyenne des carrés des  $n(n-1)/2$  distances entre les  $n$  points du nuage.

○ **Plan et axe principal du nuage**

Le plan principal du nuage est le plan qui rend maximum l'inertie des points  $p$  projetés sur lui. L'axe principal est la droite  $(\Delta)$  qui passe par le centre de gravité du nuage de telle sorte que les  $c_i$  représentant les mesures algébriques des projections des  $p$  échantillons sur  $(\Delta)$  rendent maximale l'inertie.



○ **Les axes factoriels**

L'espace des échantillons est un espace vectoriel dont l'axe principal et les autres axes sont obtenus par diagonalisation de la matrice  $V$ . Plusieurs méthodes peuvent être appliquées pour la diagonalisation de la matrice  $V$  ; elles aboutissent toutes à la matrice  $A$  des valeurs propres.

$$A = \begin{vmatrix} \lambda_1 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \lambda_2 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \lambda_q \end{vmatrix}$$

Les vecteurs propres  $V_1, V_2, \dots, V_q$  associés aux valeurs propres écrits dans un ordre croissant constituent les axes de l'espace des échantillons.

○ **Les coordonnées des échantillons dans l'espace vectoriel  $R^q$**

Les coordonnées sont obtenues par :

$$M_{sc} = Y * V_t$$

Avec  $M_{sc}$  : Matrice des facteurs scores (coordonnées).

$Y$  : Matrice des variables centrées et réduites.

$V_t$  : Matrice des vecteurs propres.

○ **Représentation graphique des échantillons**

Les coordonnées des échantillons dans un plan sont données par les composantes  $M_i$ . La cartographie des échantillons se fait alors par la sélection de deux facteurs scores (axes) et ce selon la configuration envisagée.

**d - Ajustement de nuage pour l'espace des variables**

Un ensemble de  $q$  variables associées à un échantillon est un vecteur  $x_j$  d'un espace vectoriel  $R$  de dimension  $n$  ( $R^n$ ).

Dans l'espace  $R^q$ , on mesure la distance entre les échantillons. Dans l'espace  $R^n$ , on définit une corrélation entre variables par le cosinus des angles  $\theta_i$  formés par les vecteurs pris deux à deux (Nacer, 1998).

o **Le cercle de corrélation**

On démontre que le coefficient simple de corrélation des variables avec les axes factorielles  $F_i$  est égal à la  $i^{\text{ème}}$  composante du  $j^{\text{ème}}$  vecteur multiplié par  $\sqrt{\lambda_i}$ . C'est-à-dire :

$$r_{ij} = \sqrt{a_{ij}} \cdot Vt_{ij} \quad i = 1 \text{ à } q \text{ et } j = 1 \text{ à } n$$

Avec A : matrice des valeurs propres,  $a_{ij}$  un élément de A.

On en déduit que la somme des carrés de coefficients de corrélations d'ordre i est

$$\text{égale : } \sum_{j=1}^q r^2_{ij} = \lambda_i$$

Si on représente chaque variable par un point dont les coordonnées sont les coefficients de corrélations d'ordre  $r_{ij}$ , les variables s'inscrivent alors dans un cercle de rayon 1 appelé "**cercle de corrélation**" (Fig. 106). Ce cercle aura pour abscisses et ordonnées les coordonnées relatives à deux axes choisis au préalable.

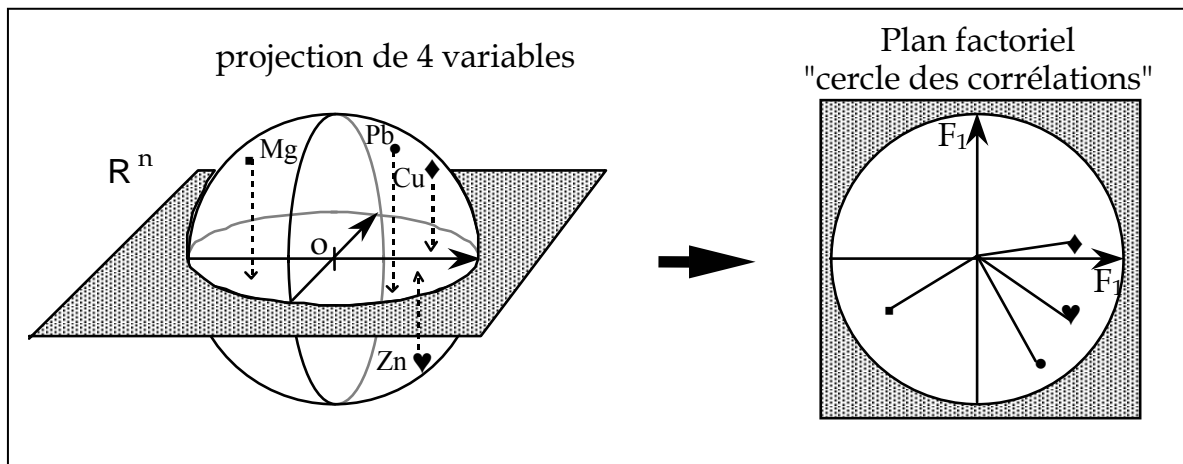


Fig. 106 - Représentation de cercle de corrélation

**II. - 4. - Analyse des correspondances**

**II. - 4. - 1. - Introduction**

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est développée par Benzécri (1969), elle vise à rassembler en un nombre réduit de dimensions la plus grande partie de l'information initiale en s'attachant non pas aux valeurs absolues mais aux correspondances entre les variables, c'est-à-dire aux valeurs relatives. Cette réduction est d'autant plus utile que le nombre de dimensions initial est élevé. La notion de "réduction" est commune à toutes les techniques factorielles (c'est-à-dire où l'on extrait des facteurs). L'AFC offre la particularité (contrairement aux ACP) de fournir un espace de représentation commun aux variables et aux individus. Pour cela l'AFC raisonne à partir de tableau réduit ou de fréquences.

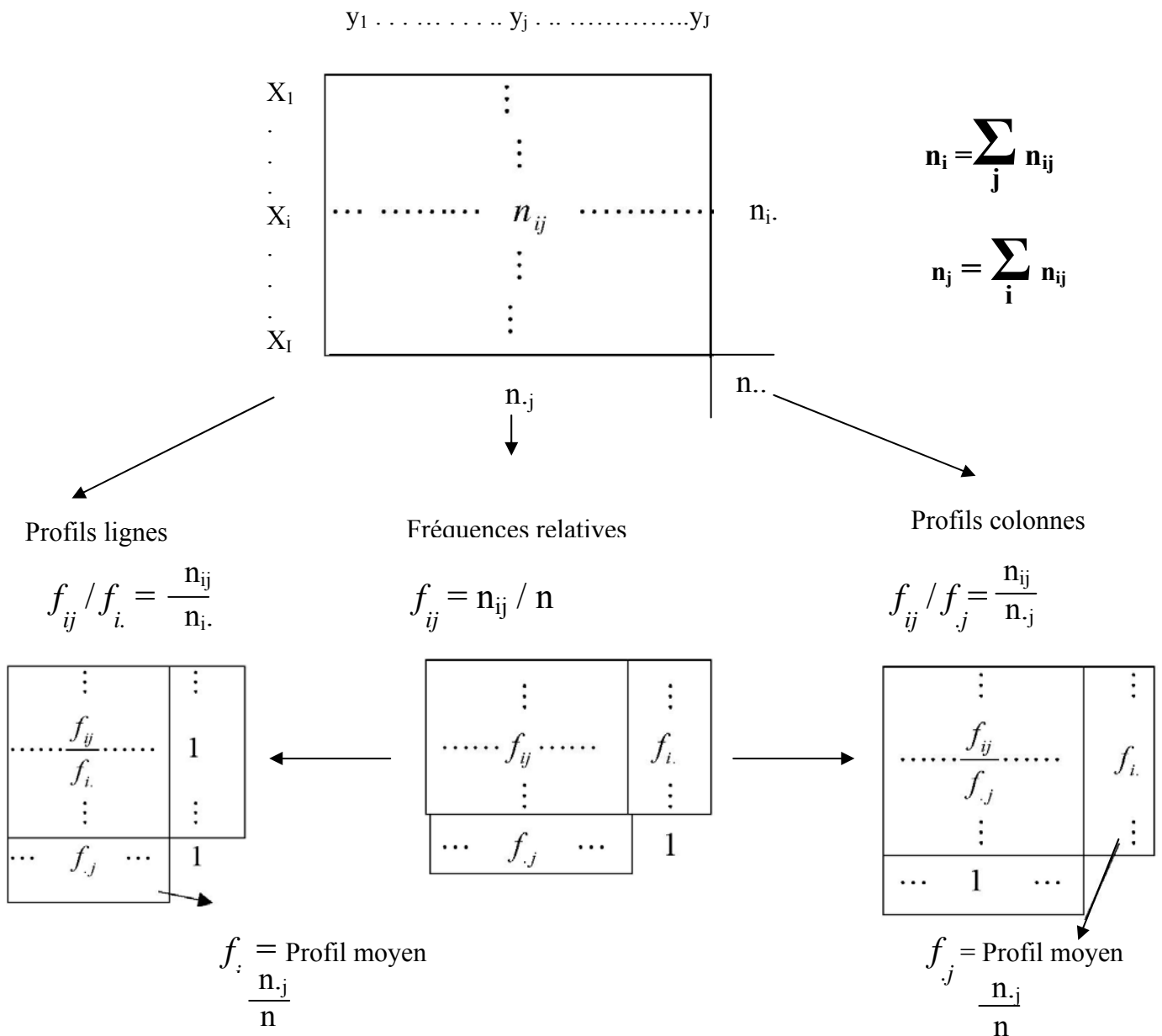
## II. - 4. - 2. - Démarche et principe

### a. - Transformation du tableau de contingence

Pour analyser un tableau de contingence, ce n'est pas le tableau d'effectifs bruts qui nous intéresse mais les tableaux des profils-lignes et celui des profils-colonnes c'est-à-dire les répartitions en pourcentage à l'intérieur d'une ligne ou d'une colonne.

Tableau des contingences (2 variables : X et Y)

Tableau croisé indiquant les fréquences observations des modalités (ou catégories) des 2 variables qualitatives.



### b. - Hypothèse d'indépendance

On s'intéresse aux liens éventuels entre les teneurs en cuivre (classe) et les terrains d'études. On sait qu'il y a indépendance entre deux variables aléatoires *i* et *j* prenant leurs

valeurs sur deux ensembles de tailles  $n$  et  $p$ , dont la loi jointe est  $p_{ij}$  et les lois marginales  $p_i$  et  $p_j$ , si pour tout  $i$  et pour tout  $j$  on a (avec les notations usuelles) :

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j$$

La traduction de cette relation en termes d'estimations empiriques est la suivante :

$$f_{ij} = f_i \cdot f_j$$

Naturellement, mêmes sous l'hypothèse d'indépendance, une telle relation n'est qu'approximativement vraie. Le classique test du  $\chi^2$  de Karl Pearson pour les tables de contingence permet précisément d'apprécier l'écart entre les lois empiriques  $f_{ij}$  et  $f_i \cdot f_j$ .

Ainsi, examiner les proximités entre les profils revient à examiner la proximité entre chaque profil et son profil moyen, ce qui permet d'étudier la liaison entre deux variables nominales, c'est-à-dire l'écart à l'indépendance.

### c. - Construction des nuages

Pour l'analyse d'un tableau de contingence, nous raisonnerons en termes de profils, ce qui permet de rendre comparables les modalités d'une même variable. Les proximités entre les points s'interpréteront en terme de similitude.

#### ➤ Nuage des $n$ lignes

L'ensemble des profils-lignes forme un nuage de  $n$  points dans l'espace des  $p$  colonnes. Chaque point  $i$  a pour coordonnées dans  $\mathbb{R}^p$  :

$$\left\{ \frac{f_{ij}}{f_i}; j = 1, 2, \dots, p \right\}$$

Il est affecté d'une masse  $f_i$  qui est sa fréquence relative.

Puisque  $\sum_{j=1}^p \frac{f_{ij}}{f_i} = 1$ , les  $n$  points du nuage sont situés dans un sous-espace à  $p-1$  dimensions.

Le centre de gravité de ce nuage est la moyenne des profils-lignes affectés de leurs masses et correspond au profil moyen.

sur l'ensemble de la population. Sa  $j^{\text{ème}}$  composante vaut :  $\sum_{i=1}^n f_i \cdot \frac{f_{ij}}{f_i} = f_{.j}$

C'est la fréquence marginale des colonnes.

#### ➤ Nuage des $p$ colonnes

De la même façon, l'ensemble des  $p$  profils-colonnes constitue un nuage de  $p$  points dans l'espace des  $n$  lignes.

Les coordonnées dans  $\mathbb{R}^n$  du point  $j$  sont données par :  $\left\{ \frac{f_{ij}}{f_{.j}}; i = 1, 2, \dots, n \right\}$

Chaque point est affecté d'une masse  $f_{.j}$ .  $\sum_{i=1}^n \frac{f_{ij}}{f_{.j}} = 1$   
Les  $p$  points du nuage sont situés dans un espace à  $n-1$  dimensions puisque :

Le centre de gravité du nuage des profils-colonnes est le profil moyen de la variable.

$$\sum_{j=1}^p f_{.j} \frac{f_{ij}}{f_{.j}} = f_i$$

Sa ième composante vaut :

C'est la fréquence marginale des lignes.

#### **d. - Critère d'ajustement**

On cherche à représenter géométriquement les similitudes entre les différentes modalités d'une même variable, ce qui nous conduit à représenter les proximités entre les profils et le profil moyen défini sur l'ensemble de la population. Ceci nous amène, comme en analyse en composantes principales dans le cas des points-individus, à considérer le nuage de points centré sur son centre de gravité.

Dans la construction des nuages de  $R^p$  et de  $R^n$ , le choix des profils comme coordonnées donne à toutes les modalités de couleur des yeux et celles de cheveux la même importance. L'importance est cependant restituée au travers de la masse affectée à chaque point (proportionnelle à sa fréquence), afin de ne pas privilégier les classes d'effectifs faibles et de respecter la répartition réelle de la population. Cette masse interviendra d'une part lors du calcul des coordonnées du centre de gravité du nuage et d'autre part dans le critère d'ajustement.

Pour le calcul de l'ajustement, la quantité à rendre maximale sera donc la somme pondérée des carrés des distances entre les points et le centre de gravité du nuage (c'est-à-dire l'inertie de la droite d'allongement maximum du nuage) en utilisant une distance entre profils qu'il reste à définir.

#### **e. - Choix des distances**

La distance euclidienne usuelle entre deux points-lignes exprimée sur le tableau d'effectifs bruts ne ferait que traduire les différences d'effectifs entre deux modalités des variables. En revanche, la distance euclidienne usuelle entre deux profils-lignes traduit bien la ressemblance ou la différence entre les deux modalités des variables sans tenir compte des effectifs totaux de ces modalités :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p \left( \frac{f_{ij}}{f_{i.}} - \frac{f_{i'j}}{f_{i'.}} \right)^2$$

Cependant, cette distance favorise les colonnes qui ont une masse  $f_{.j}$  importante. Pour remédier à cela, et aussi pour d'autres propriétés qui seront développées ci-dessous, on pondère chaque écart par l'inverse de la masse de la colonne et l'on calcule

Une nouvelle distance appelée *la distance du  $\chi^2$*  :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p \frac{1}{f_{.j}} \left( \frac{f_{ij}}{f_{i.}} - \frac{f_{i'j}}{f_{i'.}} \right)^2$$

On définit de la même manière la distance entre les profils-colonnes par :

$$d^2(j, j') = \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_{i.}} \left( \frac{f_{ij}}{f_{.j}} - \frac{f_{i'j'}}{f_{.j'}} \right)^2$$

C'est cette distance pondérée, ainsi que le rôle symétrique joué par les lignes et les colonnes du tableau de contingence, qui particularisent l'analyse des correspondances et lui assurent des propriétés remarquables que ne possède pas l'analyse en composantes principales : l'équivalence distributionnelle et les relations de transition.

#### **f. - Equivalence distributionnelle**

La propriété d'équivalence distributionnelle permet d'agréger deux modalités d'une même variable ayant des profils identiques en une nouvelle modalité affectée de la somme de

leurs masses, sans rien changer, ni aux distances entre les modalités de cette variable, ni aux distances entre les modalités de l'autre variable. Si par exemple les deux profils-lignes  $i'$  et  $i''$  sont identiques dans  $R^p$ , on les agrège en un profil-ligne  $i$  dont la masse sera la somme des fréquences des deux profils  $i'$  et  $i''$ . Les deux points  $i'$  et  $i''$  étant confondus cela ne modifie pas la configuration du nuage de points dans  $R^p$ . Mais surtout, les distances entre colonnes restent inchangées. Il en est de même pour des profils-colonnes dans  $R^n$  ayant les mêmes propriétés.

Cette propriété est fondamentale puisqu'elle garantit une certaine invariance des résultats vis-à-vis de la nomenclature choisie pour la construction des modalités d'une variable, sous condition de regrouper des modalités aux profils semblables.

### g. - Représentation simultanée

Les relations quasi-barycentriques justifient la représentation simultanée des lignes et des colonnes. Les figures ci-après (fig. 107) illustrent schématiquement le processus de l'analyse des correspondances. Si les méthodes factorielles sont fondées sur le calcul des distances entre points - lignes et entre points - colonnes, la distance entre un point - ligne et un point - colonne n'a pas de sens puisque ces points sont dans des espaces différents. L'analyse des correspondances offre cependant la possibilité de positionner et d'interpréter un point d'un ensemble relatif à un espace par rapport à l'ensemble des autres points définis dans l'autre espace.

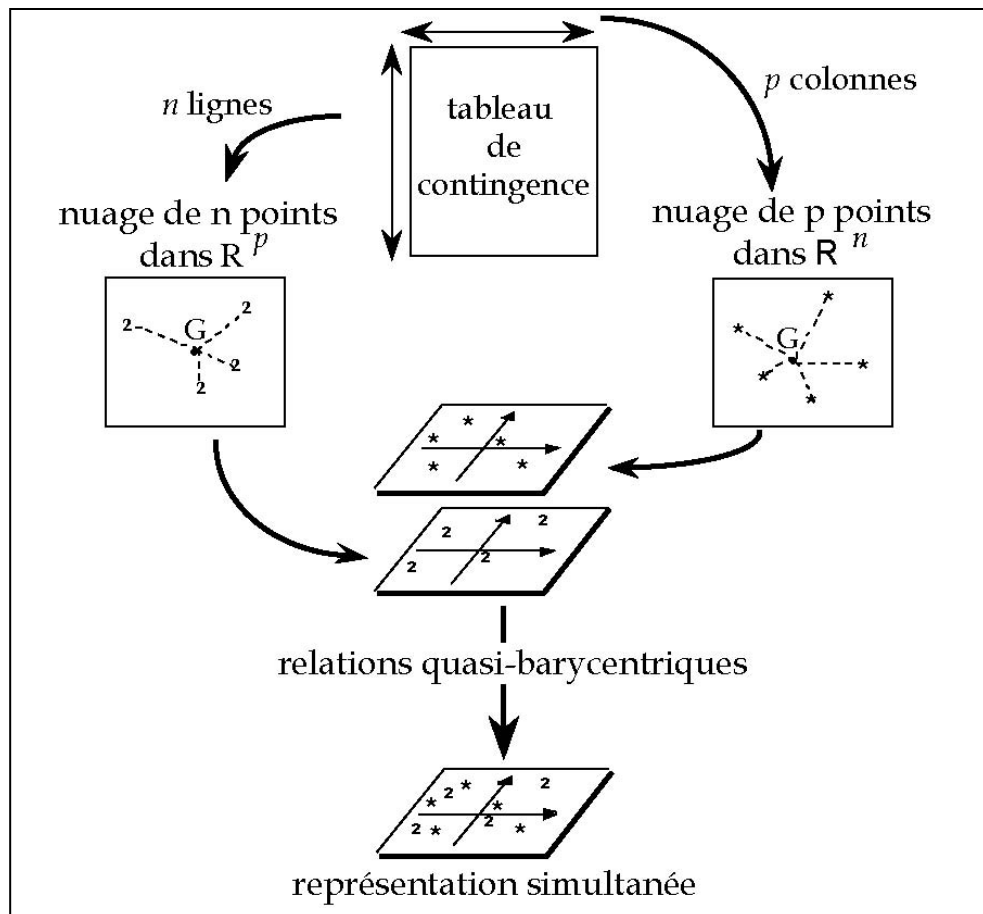


Fig. 107 - Schéma de la représentation simultanée

Les relations barycentriques vont justifier et donner un sens à la représentation simultanée des deux nuages définis dans les deux espaces.

### II. - 4. - 3. - Règles d'interprétation : inertie, formes de nuages

Les nuages de points - lignes et de points - colonnes vont être représentés dans les plans de projection formés par les premiers axes factoriels pris deux à deux. La lecture des graphiques nécessite cependant des règles d'interprétation, en particulier pour apprécier les proximités, identifier les éléments responsables de la formation des facteurs et ceux qui en sont des caractéristiques. Ces règles s'appuient sur le bilan de l'opération de réduction que constitue la séquence des valeurs propres et des pourcentages d'inertie, ainsi que sur un ensemble de coefficients classiques : les contributions absolues et les cosinus carrés.

### II. - 4. - 4. - Inertie et test d'indépendance

En analyse des correspondances, la valeur de l'inertie globale est liée au test classique du  $\chi^2$ . L'inertie totale  $I$  du nuage de points par rapport au centre de gravité s'écrit :

$$I = \sum_{i=1}^n f_{i.} d^2(i, G) = \sum_{j=1}^p f_{.j} d^2(j, G) = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{ij} - f_{i.} f_{.j}}{f_{i.} f_{.j}} \right)^2$$

L'effectif total étant  $k$ , on reconnaît en  $kI$  la statistique qui est asymptotiquement distribuée suivant la loi du  $\chi^2$  à  $(n-1)(p-1)$  degrés de liberté (sous l'hypothèse d'indépendance) :

$$\chi^2 = kI$$

L'inertie s'exprime également par :

$$I = \sum_{\alpha=1}^{p-1} \lambda_{\alpha}$$

La somme des valeurs propres non triviales d'une analyse des correspondances a donc une interprétation statistique simple. On pourra rejeter l'hypothèse nulle d'indépendance des variables en lignes et en colonnes si la valeur observée  $\chi^2$  dépasse la valeur  $\chi^2_0$  qui a une probabilité d'être dépassée inférieure à un seuil fixé au préalable.

La valeur de l'inertie est un indicateur de la dispersion du nuage et mesure la liaison entre les deux variables.

Cependant, on ne s'intéresse pas seulement à la dispersion du nuage mais surtout à l'existence de directions privilégiées dans ce nuage. On consulte les inerties de chaque axe (valeurs propres) ainsi que les taux d'inertie correspondants. Cet examen nous renseigne sur la forme du nuage : forme "sphérique" (pas de direction privilégiée) ou forme non sphérique (directions privilégiées).

Tableau. 29 – Corrélations Facteurs Loadings / éléments chimiques dosés dans le sous-secteur Ain Yagout (Tarbennt, Batna)

Fac.load	F1	F2	F3
Val.pro	2.086	1.364	1.2111
Var.rel %	26.078	17.052	15.139
Var.cum %	26.078	43.130	58.269
Mn	-0.243	0.581	-0.590
Mo	-0.382	-0.504	-0.414
Cu	-0.316	-0.570	-0.376
Zn	-0.822	0.066	0.353
Pb	-0.227	0.241	0.187
Ag	-0.714	0.489	0.050
Sn	-0.714	-0.344	-0.658
Ba	-0.064	0.158	-0.658

Tableau. 30 – Corrélations Facteurs Loadings / éléments chimiques dosés dans le sous-secteur El Haouia (Tarbennt, Batna)

Fac.laod	F1	F2	F3
Val.pro	3.085	1.336	1.014
Var.rel %	34.279	14.849	11.267
Var.cum %	34.279	49.083	60.346
Cu	-0.326	0.688	-0.014
Pb	0.408	0.547	0.040
Zn	0.608	0.327	-0.139
Ag	0.469	0.305	-0.383
Sn	0.902	-0.252	-0.04
Mo	0.688	-0.063	-0.103
Mn	0.356	0.469	0.33
Ba	0.265	-0.022	0.851
Sr	0.856	-0.270	0.009

Tableau. 31 - Corrélations Facteurs Loadings / éléments chimiques dosés dans le sous-secteur El Mounchar (Tarbennt, Batna)

Fac.laod	F1	F2	F3
Val.pro	1.851	1.468	1.230
Var.rel %	20.574	16.319	13.671
Var.cum %	20.574	36.894	50.565
Mn	0.430	-0.209	-0.488
Mo	0.02	0.036	-0.033
Cu	0.635	0.219	0.202
Pb	0.386	-0.416	-0.446
Zn	0.117	-0.763	0.15
Ag	0.774	0.094	0.168
Cd	0.236	0.1	0.736
Sn	0.055	-0.743	0.373
Ba	0.663	0.218	-0.133

Tableau. 32 – Corrélations Facteurs Loadings / éléments chimiques dosés dans le secteur Djendli (Batna)

Fac.laod	F1	F2	F3
Val.pro	2.260	1.247	1.098
Var.rel %	28.260	15.591	13.731
Var.cum %	28.260	43.851	57.851
Mn	0.33	0.392	-0.458
Mo	-0.508	-0.169	-0.509
Cu	0.629	-0.499	0.086
Pb	0.281	0.519	-0.375
Ag	0.798	0.003	0.206
Sb	0.004	0.720	0.509
Zn	0.707	-0.138	-0.005
Ba	0.528	0.083	-0.422

Tableau. 33 – Corrélations Facteurs Loadings / éléments chimiques dosés dans le secteur Toumbait (Batna)

Fac.laod	F1	F2	F3
Val.pro	2.6422	2.0335	1.4007
Var.rel %	29.3580	22.5955	15.5637
Var.cum %	29.3580	51.9535	67.5173
Mn	-0.2435	-0.3247	-0.6906
Co	-0.0517	-0.8107	0.1596
Mo	-0.0701	-0.7048	0.0822
Cu	-0.8094	0.0156	-0.2842
Pb	-0.6498	0.0449	0.1846
Ag	-0.8231	0.0947	0.2417
Zn	-0.8828	0.1052	0.2467
Sn	-0.2008	-0.1229	-0.7813
Ba	-0.0204	-0.8582	0.2163

Tableau. 34 – Corrélations Facteurs Loadings / éléments chimiques dosés dans le secteur Ain Bougda (Batna)

Fac.laod	F1	F2	F3
Val.pro	4.3203	0.8795	0.5649
Var.rel %	61.7195	12.5648	8.070
Var.cum %	61.7195	74.2843	82.3544
Mn	0.7660	-0.3870	0.2033
Mo	0.7774	0.1439	0.4427
Cu	0.8754	-0.0048	0.1836
Pb	0.7916	-0.3978	-0.0537
Ag	0.7885	0.4304	-0.2156
Zn	0.7384	-0.3154	-0.4778
Sn	0.7541	0.5156	-0.1264

