

GÉOCHIMIE ET GÉOSTATISTIQUE DE L'HAUTÉRIVIEN INFÉRIEUR ET DES MINÉRALISATIONS À ZN-PB ASSOCIÉES DANS LE GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA - BASSIN DU HODNA-ALGÉRIE.

Nour El Houda TOUBI* et Hamid MEZGHACHE*

RÉSUMÉ

Les Monts du Hodna présentent un grand potentiel en Zn-Pb. Le gisement de Chaabet El Hamra, situé au sud de Sétif, en fait partie. Ce gisement a été exploré par l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) et est en cours d'exploitation par l'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux (ENOF). La minéralisation à Zn-Pb est encaissée dans l'Hautérivien inférieur.

Des échantillons prélevés dans les galeries du gisement ont été analysés par diffraction aux rayons X au Laboratoire Pétro-Minéralogie de l'ORGM- Boumerdès. Cette analyse a confirmé la composition minéralogique signalée par Pogrennoi et *al.* (1992) et Boutaleb (2001). L'étude géochimique et géostatistique a été faite sur 2044 données chimiques de carottes de sondages. La très forte variabilité des teneurs en Zn, Pb et Ag est due à une hétérogénéité des données géochimiques d'où la nécessité de procéder à une discrimination de celles-ci par faciès ou origine. La classification monovariée a permis de discriminer trois (03) sous-populations: la première correspond au fond géochimique, la deuxième et la troisième correspondent respectivement au minerai type 1: minerai moyen et minerai type 2: minerai riche. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a confirmé le résultat précédent. Elle montre la présence de trois (03) associations, la première donne les caractéristiques géochimiques de l'Hautérivien inférieur - diagénétique - et les deux autres caractérisent les deux types de minerais qui se seraient formés tardivement par la circulation de fluides - épigénétiques. Le variogramme vertical du Zn qui a été ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 4m$ ne montre aucun effet de trou. L'alternance des lentilles minéralisées avec le stérile dans le sens de l'épaisseur de l'Hautérivien inférieur n'est pas systématique. L'absence de l'effet de trou dans les autres variogrammes directionnels du Zn prouve que ces lentilles minéralisées sont irrégulièrement réparties dans tout le gisement. La variographie du Zn dans le plan de la couche de l'Hautérivien inférieur montre une anisotropie géométrique avec un grand axe orienté N130°, et d'une portée de 446m et un petit axe orienté N220°, d'une portée de 86m. Les valeurs des portées correspondraient aux dimensions moyennes des lentilles minéralisées.

Mots-clés - Zn/Pb - Chaabet El Hamra - Géochimie - Géostatistique.

* Université Badji Mokhtar, Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Laboratoire de Recherche de Géologie (LRG), BP. 12, Annaba, Algérie ; E-mail: toubihouda@hotmail.fr ; mezghache.hamid@univ-annaba.org.

GEOCHEMISTRY AND GEOSTATISTICS OF LOWER HAUTERIVIAN AND ASSOCIATED ZN-PB MINERALIZATION IN CHAABET EL HAMRA ORE DEPOSIT-HODNA BASIN-ALGERIA

ABSTRACT

The Mounts of Hodna have a great Zn-Pb potential. Chaabet El Hamra ore deposit which is located in the South of Setif, belongs to it. This deposit was explored by the Office National de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) and currently under exploitation by Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux (ENOF). The Zn-Pb mineralization is hosted in the Lower Hauterivian.

Ten (10) samples taken from the galleries of Chaabet El Hamra ore deposit were analyzed by X-rays diffraction at the Petro-Mineralogy Laboratory of ORGM-Boumerdès. This analysis confirmed the mineralogical composition announced by Pogrennoi and *al.*, 1992 and Boutaleb, 2001. The geochemical and geostatistic study was made on 2044 chemical data of drill-cores. The high variability of Zn, Pb and Ag contents is caused by the heterogeneity of the data that is why it is necessary to carry out a discrimination of those data by facies or origin. The monovariated classification made it possible to discriminate three (03) sub-populations: the first corresponds to the geochemical background, the second and the third correspond to the ore type 1: average ore and ore type 2: rich ore respectively. The Analysis in Principal Components (ACP) confirms the preceding result: It shows the presence of three (03) associations - the first characterizes the background of the Lower Hauterivian - diagenetic and the two others characterize the two types of ores which have been formed tardily by the circulation of fluids - epigenetic. The vertical Zn variogram was adjusted by a spherical model with range equal to 4m; and it does not show any hole effect. The alternation of the mineralized lenses with the sterile one in the thickness direction of Lower Hauterivian is not systematic. The absence of hole effect in the others directional variograms of Zn proves that these mineral-bearing lenses are irregularly distributed in all ore deposit. The Zn variography in the plan of the Lower Hauterivian shows a geometrical anisotropy with a large axis directed N130°, with a reach of 446m and a small axis directed N220° with a reach of 86m. The values of the quoted ranges would correspond to average dimensions of the mineral-bearing lenses.

Keywords - Zn/Pb - Chaabet El Hamra - Geochemistry - Geostatistics.

1. INTRODUCTION

Les Monts du Hodna constituent un ensemble montagneux localisé entre deux chaînes de l'Atlas: l'Atlas saharien au sud et l'Atlas tellien au nord de l'Algérie. Ces monts présentent un grand potentiel minier en Zn et Pb qui est généralement localisé dans les roches sédimentaires carbonatées. Parmi les étages contrôlant cette minéralisation, il y a

l'Hauterivien inférieur au niveau du gisement de Chaabet El Hamra. Ce dernier a été étudié par plusieurs chercheurs notamment Glaçon (1967) et Boutaleb (2001).

La présente étude a pour but la caractérisation géochimique et géostatistique de l'horizon porteur d'âge hauterivien inférieur et des minéralisations à Zn-Pb associées dans ce gisement. Elle se fera essentiellement à l'aide

des méthodes géo-informatiques. Ces études ont été menées avec le concours de l'ORGM et l'ENOF qui ont mis à notre disposition l'ensemble des données géologiques et géochimiques obtenues lors de différentes campagnes de prospection et d'exploration.

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le gisement de Chaabet El Hamra est situé à environ 250km au sud-est d'Alger, à 50km au sud de Sétif, à 4,5km au sud-est du village d'Aïn Azel et à 12km de la mine de Kherzet Youcef (fig.1).

3. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION ET DU GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA

Le gisement de Chaabet El Hamra, fait partie de la zone métallogénique des Monts du Hodna qui renferme d'importantes minéralisations en Pb-Zn localisées dans la région d'Aïn Azel. Il appartient au bloc de la plateforme d'Aïn M'lila et est associé au horst de Rahbat. (fig. 2) (Pogrennoi et *al.*, 1992).

3.1. Stratigraphie du gisement de Chaabet El Hamra

Le gisement est composé d'une séquence de roches sédimentaires carbonatées et terrigènes caractéristique d'un milieu de plate forme. L'âge de ces roches varie du Crétacé au Miocène (figs. 3 et 4). La stratigraphie du gisement réunit des dépôts du Valanginien, de l'Hautérvien inférieur et supérieur, du Barrémien inférieur et supérieur, du Miocène et du Quaternaire. L'Hautérvien inférieur représente l'horizon porteur des minéralisations à Zn-Pb du gisement de Chaabet El Hamra. Ce dernier, d'une puissance totale variant de 70 à 120m, est constitué essentiellement de dolo-

mies même si certains auteurs (Pogrennoi et *al.*, 1992) l'ont subdivisé en trois (03) termes:

- **HI- a:** ce terme est composé de dolomies grises massives, à grains fins, parfois, gréseuses, souvent à petites inclusions et nodules, de couleur blanchâtre, et parfois, de calcarénites noires dans la partie supérieure (2 à 5m du toit). Ce terme est discontinu et son épaisseur varie de 1 à 2m.

- **HI- b:** il est représenté par une superposition, de bas en haut, de marnes grises verdâtres (0,5 à 2m), siltites grise-brunâtres (2 à 5m), de dolomies grises (2 à 10m), de dolomies gréseuses (3 à 8m) et de marnes bariolées (5 à 10m).

- **HI- c:** ce dernier terme est également caractérisé par des dolomies à grains fins de couleur brunâtre et fortement hématitisées.

3.2. Structure géologique du gisement

Le gisement de Chaabet El Hamra se caractérise par une structure complexe en plis faillés. Il apparaît sous forme de dôme recoupé par deux grands accidents de direction orientée E-O donnant ainsi, naissance à trois blocs principaux: un bloc central, un bloc méridional et un bloc occidental. Chacun de ces blocs est caractérisé par un système de faille (fig. 4).

3.3. Les minéralisations du gisement de Chaabet El Hamra

Les minéralisations à Zn-Pb du gisement de Chaabet El Hamra sont localisées dans la couche de l'Hautérvien inférieur (Crétacé inférieur) (Pogrennoi et *al.*, 1992). Les corps de minerais ont une forme lenticulaire. Ces lentilles ont une épaisseur moyenne de 3m et se superposent généralement dans le sens de l'épaisseur de la couche de l'Hautérvien inférieur, intercalées par des dolomies stériles.



Fig.1 - Situation géographique du gisement de Chaabet El Hamra.

Geographic situation of Chaabet El Hamra ore deposit.

Cependant, le nombre des lentilles n'est pas systématiquement égal à six (06) le long de la couche porteuse comme énoncé par (Pogrennoi et *al.*, 1992). Dans la coupe géologique tracée à travers les sondages du profil 11 (fig. 5), les zones marquées en noir indiquent des teneurs faibles en Zn qui correspondraient au fond géochimique. Les zones marquées en vert et en rouge correspondraient à des lentilles de minerais. Dans cette coupe, le nombre de lentilles minéralisées à Zn est inférieur à 6.

Dans le but de préciser éventuellement la composition minéralogique de la gangue, dix (10) échantillons ont été prélevés dans la galerie, de la partie inférieure du gisement de Chaabet El Hamra (fig. 6). Ces échantillons ont été analysés par la méthode de diffraction aux rayons X effectuée au Laboratoire Pétro-Minéralogie de l'ORGM- Boumerdès. Ces analyses confirment la composition minéralogique signalée par Glacon (1967); Pogrennoi et *al.*, (1992) et Boutaleb (2001).

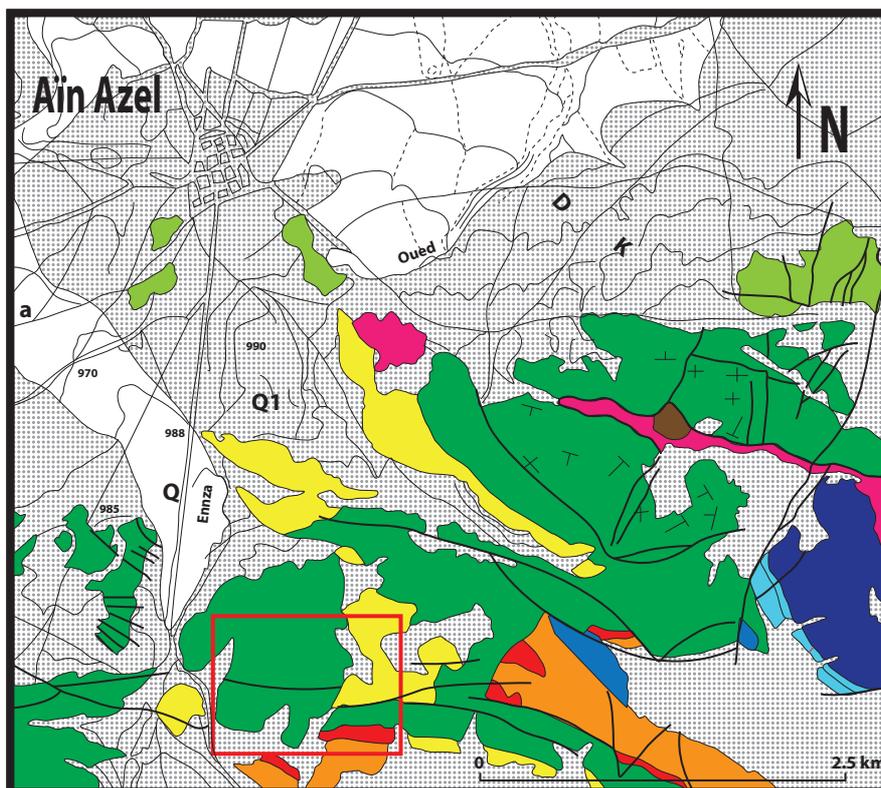
Cette dernière montre une paragenèse principalement constituée de sphalérite, galène, pyrite et marcassite. Les minéraux de gangue sont la dolomite, la calcite, la barytine et plus rarement le quartz et le gypse (Pogrennoi et *al.*, 1992). (figs. 7, 8 et 9).

4. DONNÉES ET MÉTHODES UTILISÉES

4.1. Données chimiques des carottes de sondages

Entre 1991 et 1992, EREM, ORGM et ENOF ont procédé à plusieurs campagnes d'exploitation dans le gisement à Zn-Pb de Chaabet El Hamra. Au final, 252 sondages carottés ont été effectués sur 31 profils (fig.4), totalisant 53 927 mètres linéaires de carotte, avec des mailles de 100 x100m et de 50x70m dans la partie orientale du profil 0 au profil 15. La partie occidentale du profil 15 au profil 31, quant à elle, s'est avérée stérile.

GÉOCHIMIE ET GÉOSTATISTIQUE DE L'HAUTERIVIEN INFÉRIEUR ET DES MINÉRALISATIONS À
Zn-Pb ASSOCIÉES DANS LE GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA- BASSIN DU HODNA-ALGÉRIE.



- Alluvions récentes.
 - Glacis polygéniques nappant le relief.
 - Miocène : conglomérats, marnes à Huîtres et calcaires gréseux.
 - Cénomanién sup. et Turonien : dolomies et calcaires à silic.
 - Aptien : calcaires à Orbitolines, dolomies.
 - Barrémien : dolomies, calcaires et grès.
 - Aptien marneux.
 - Nécomien : grès, pélites, marnes à Ammonites et Brachipodes.
 - Jurassiques sup. : calcaires fins à Saccocomidés, biomcrites à Calpionelles et à Pygopes.
 - Jurassique moy. : calcaires varicolores à biomcrites.
 - Lias sup. à Ammonites.
 - Lias carbonaté massif.
 - Trias : marnes bariolées à gypses bréchiques.
- Secteur du gisement de Chaabet El Hamra.

Fig. 2 - Carte géologique des environs de la mine de Chaabet El-Hamra (D'après la carte géologique 1/50.000 d'Aïn Azel, Sonatrach, 1977).

Geological map of Chaabet El-Hamra mine surroundings (according to the geological maps of Aïn Azel on 1/50 000 scale, Sonatrach, 1977).

Colonne stratigraphique (Stratigraphic column)		Description lithologique (Lithological description)
Miocène		Calcaires gréseux à pectens — Discordance —
Barrémien	Sup.	Grès à intercalations de dolomies gréseuses
	Inf.	Dolomies gréseuses Marnes Calcaires marneux Marnes et dolomies massives
Hauterivien	Sup.	Dolomies massives cavernueuses Grès à débris ligneux Dolomies massives minéralisées
	Inf.	Dolomies massives grises-sombres minéralisées
Valanginien		Grès et marnes argileuses

Fig. 3 - Colonne lithostratigraphique du gisement de Chaabet El Hamra (Boutaleb, 2001).

Lithostratigraphical column of Chaabet El Hamra ore deposit (Boutaleb, 2001).

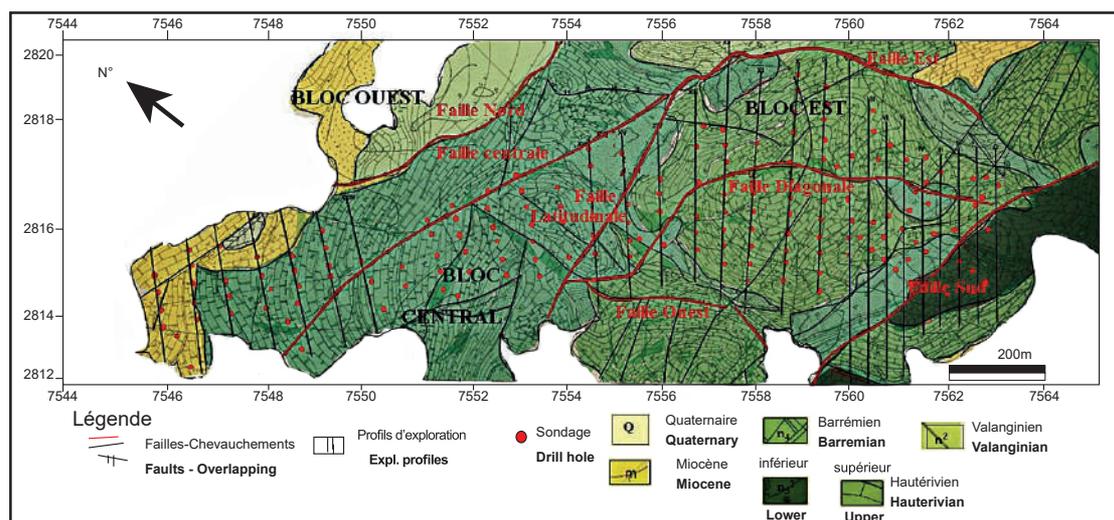


Fig. 4 - Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra (Kourichi et al., 1992) avec implantation des profils d'exploration.

Geological map of Chaabet El Hamra ore deposit (Kourichi and al., 1992) with establishment of exploration profiles.

GÉOCHIMIE ET GÉOSTATISTIQUE DE L'HAUTERIVIEN INFÉRIEUR ET DES MINÉRALISATIONS À
 ZN-Pb ASSOCIÉES DANS LE GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA- BASSIN DU HODNA-ALGÉRIE.

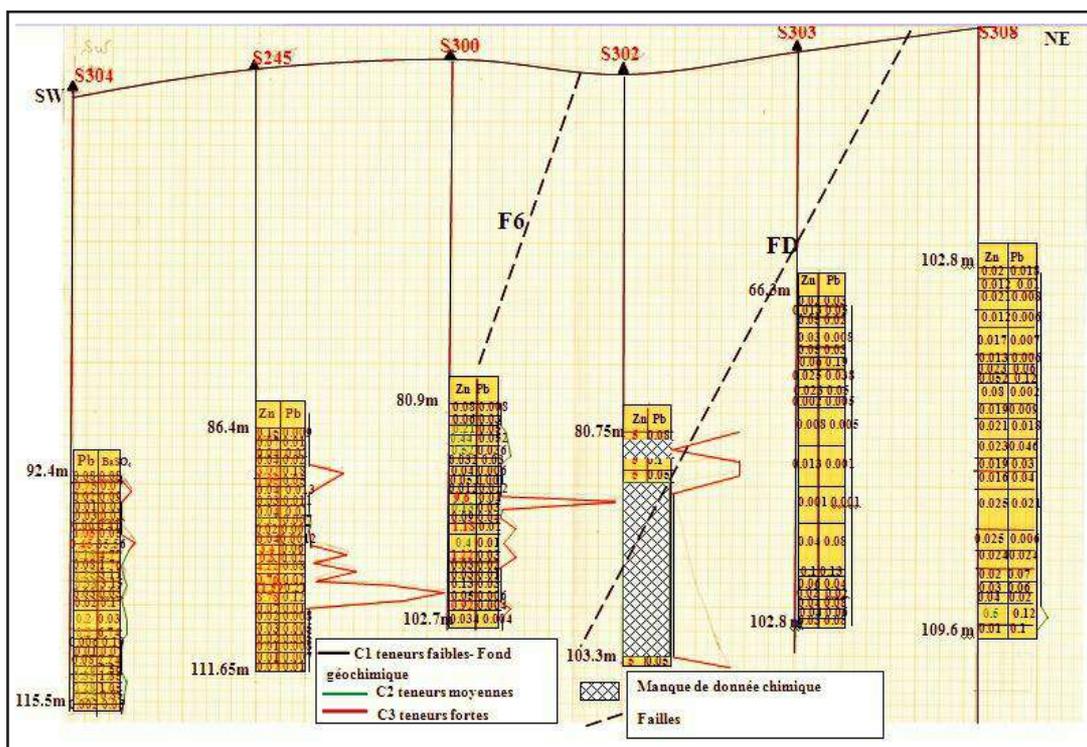


Fig. 5 - Coupe géologique du gisement de Chaabet El Hamra à travers le profil 11.
Geological cross section of Chaabet El Hamra ore deposit through profile 11.

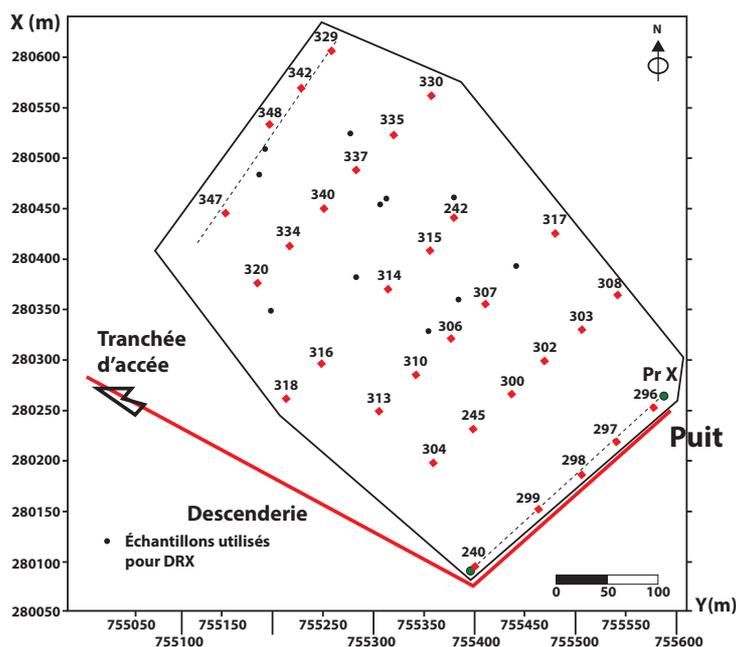


Fig. 6 - Gisement de Chaabet El Hamra localisation des échantillons utilisés pour DRX.
Chaabet El Hamra ore deposit localization of the samples used in DRX.

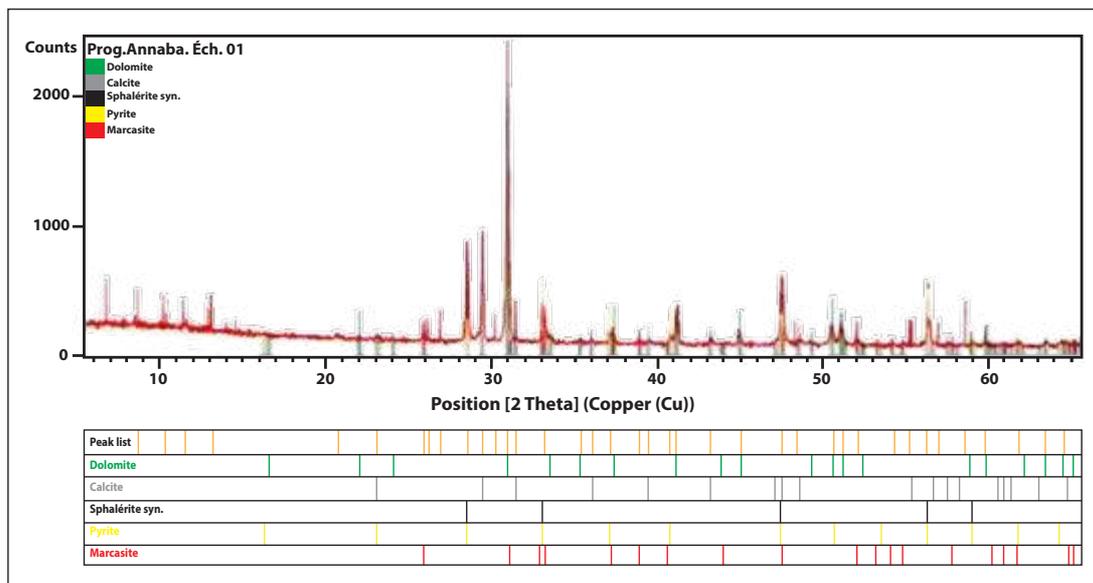


Fig. 7 - Diffractogramme de l'échantillon n°01 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX.

Diffractogram of sample n°01 taken from Chaabet El Hamra ore deposit and analyzed by DRX-method

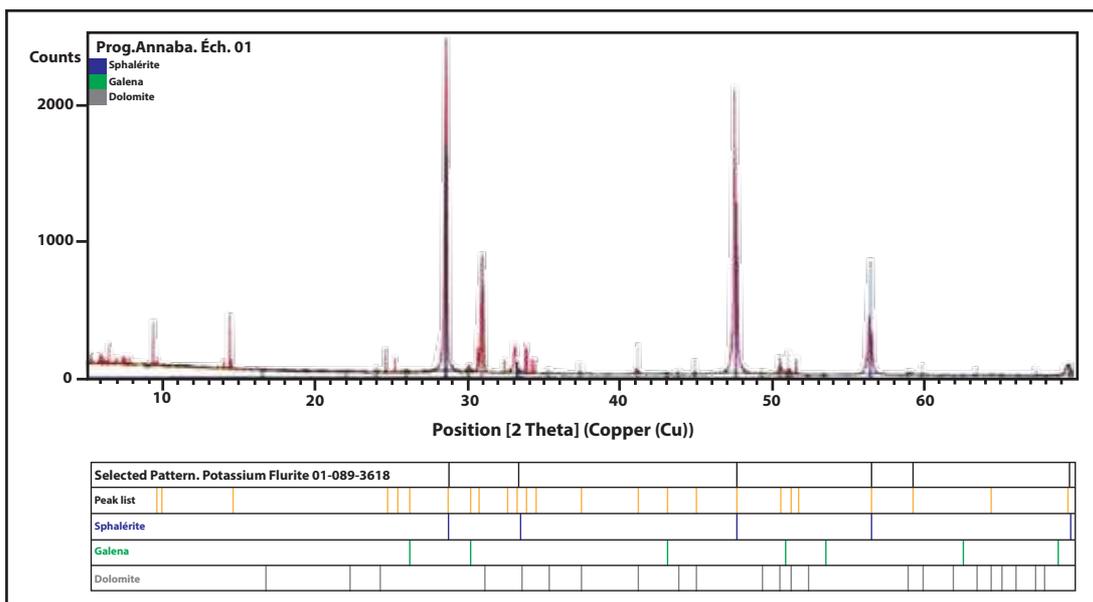


Fig. 8 - Diffractogramme de l'échantillon n°02 prélevé du gisement de Chaabet El Hamra analysé par la méthode de DRX.

Diffractogram of sample n°02 taken from Chaabet El Hamra ore deposit and analyzed by DRX method

GÉOCHIMIE ET GÉOSTATISTIQUE DE L'HAUTERIVIEN INFÉRIEUR ET DES MINÉRALISATIONS À
Zn-Pb ASSOCIÉES DANS LE GISEMENT DE CHAABET EL HAMRA- BASSIN DU HODNA-ALGÉRIE.

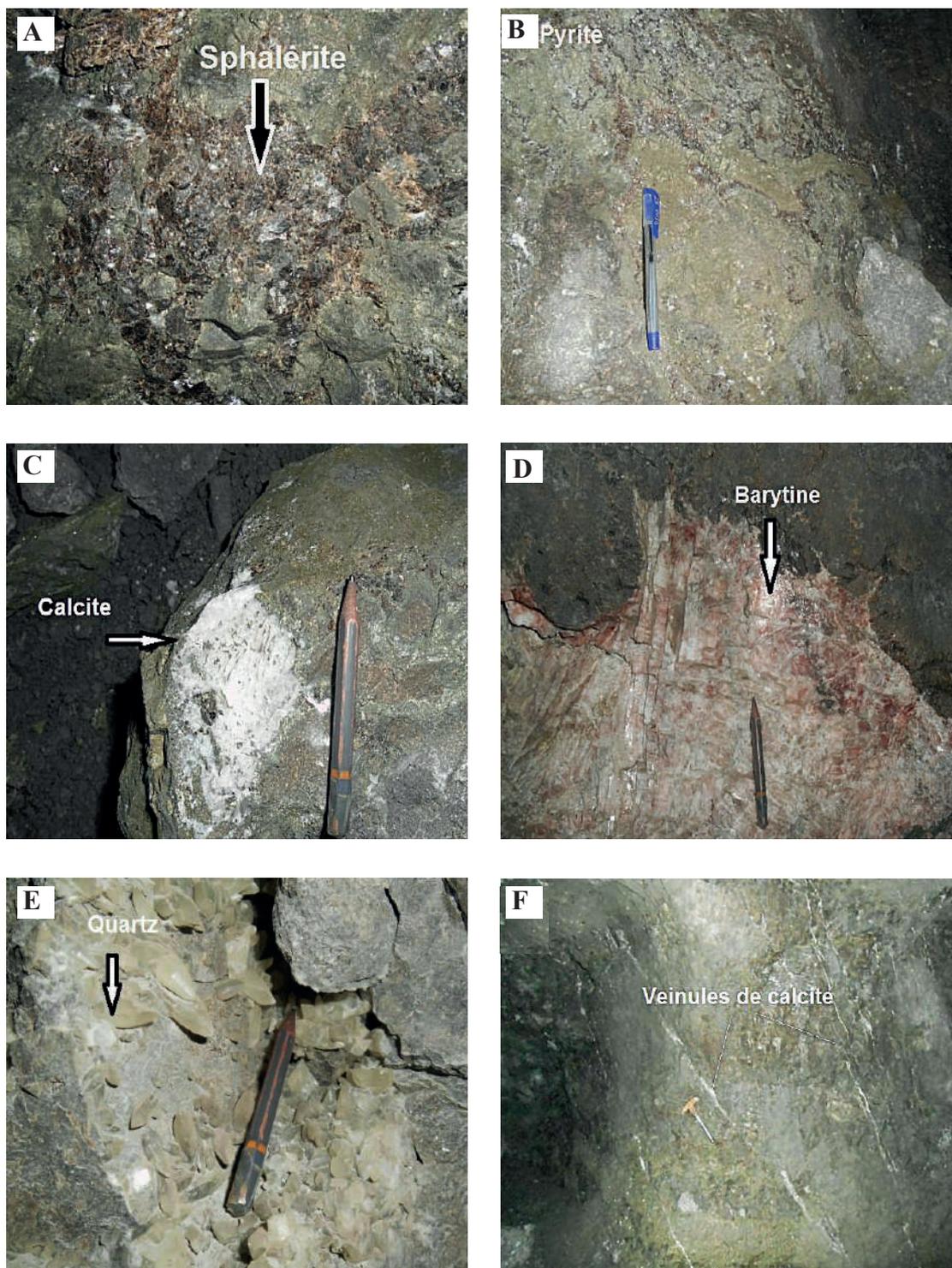


Fig. 9 - Association minéralogique: **A**- Sphalérite; **B**- Pyrite; **C** et **F**- Calcite; **D**- Barytine et **E**- Quartz.

Mineralogic association: A) Sphalérite; B) Pyrite; C) and F) Calcite; D) Barytine and E) Quartz.

Cette dernière a fait l'objet d'une étude géochimique et géostatistique (Toubi et Mezghache, 2016).

Les carottes prélevées dans l'Hautérien inférieur qui est un horizon porteur de la minéralisation ont été échantillonnées et analysées par le procédé de fluorescence X sur les éléments Zn, Pb et les éléments accessoires Ag, Cu, Cd, BaSO₂ et CaF₂.

L'intérêt de ces analyses est de rattacher ce gisement à un autre mieux connu et définir une province métallogénique. Cela permet aussi de détecter d'éventuelles zones de pollution.

La présente étude géochimique-géostatistique a porté sur les 2044 données chimiques de carottes prélevées des sondages implantés du Profil (Pr0) jusqu'au Profil (Pr15) (fig.10).

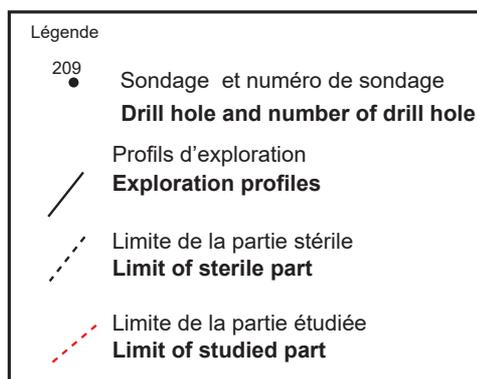
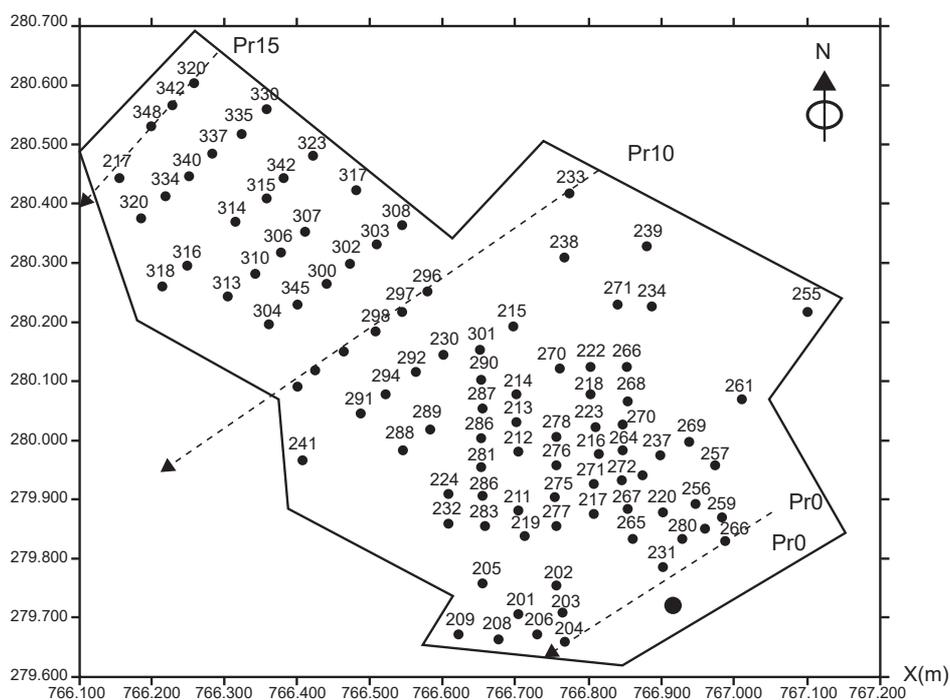


Fig. 10 - Plan d'implantation des sondages du Pr0 au Pr15 dans le gisement de Chaabet El Hamra.

Site plan of the surveys from Pr0 to Pr15 in the Chaabet El Hamra ore deposit

4.2. Méthodes utilisées

Les données chimiques d'exploration ont été analysées à l'aide de plusieurs méthodes.

4.2.1. Méthode de classification du « Passage par Zéro »

Cette méthode est basée sur le principe selon lequel, dans un ensemble de données, il y a autant de populations statistiques homogènes que de modes dans leur histogramme (fig.11 a). Elle consiste à discriminer les données hétérogènes en populations statistiques homogènes caractérisées chacune par une loi de distribution distincte.

Chacune de ces populations serait due à un phénomène géologique-géochimique particulier. Le graphe de probabilité est utilisé soit pour discriminer les populations composantes: si N est le nombre de points d'inflexion dans la courbe alors on a N+1 populations composantes (Mezghache, 1989). L'abscisse du point d'inflexion représente la limite entre deux populations composantes (fig. 11 b).

4.2.2. Calcul des fonctions indicatrices

Une fois l'ensemble des données discriminé en N classes et connaissant les poids de chacune des sous-populations composantes, on définit la fonction indicatrice (Mallet et Wild, 1984) d'appartenance d'un échantillon à une classe par :

$$I_i[\omega(x)] = \frac{p_i f_i(x)}{\sum_{i=1}^N p_i f_i(x)} \quad (1)$$

Où $f_i(x)$ sont les fonctions de densités des noyaux des classes i soit :

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x-m}{\sigma_i} \right]^2} \quad (2)$$

La fonction indicatrice $I_i[x(\omega)]$ variera de 0 à 1. Elle sera égale à 0 si ω est loin du noyau et n'appartient pas à la classe i, égale à 1 si ω appartient à la population i et entre 0 et 1 si ω appartient au mélange des populations.

$$\sum_{i=1}^N I_{i[x(\omega)]} = 1 \quad (3)$$

Toutes les données sont discriminées suivant leur appartenance à la classe i et elles sont enregistrées sous forme de fichier où les classes peuvent être visibles sur plan et sur carte.

4.2.3. Analyse multivariée: Analyse en Composante Principale (ACP)

L'ACP permet de fournir la synthèse de l'ensemble des valeurs numériques des analyses chimiques sous forme de tableaux et de graphes (Morineau, 1988). Les résultats des analyses chimiques sont représentés dans un tableau R de type variable – individu. (Chamussy et al., 1994). Les principales étapes pour une ACP normée sont:

- le calcul de la matrice de corrélation et la recherche des facteurs de charge;
- le tracé et l'interprétation de cercle de corrélation (fig.12) des facteurs de charge afin de visualiser les degrés d'associations et la signification des corrélations des éléments chimiques avec les facteurs de charge;
- le calcul et la cartographie des facteurs scores.

4.2.4. Géostatistique

La géostatistique est définie comme étant la théorie des variables régionalisées (VR) et des fonctions aléatoires réparties dans l'espace. Elle étudie les phénomènes naturels répartis

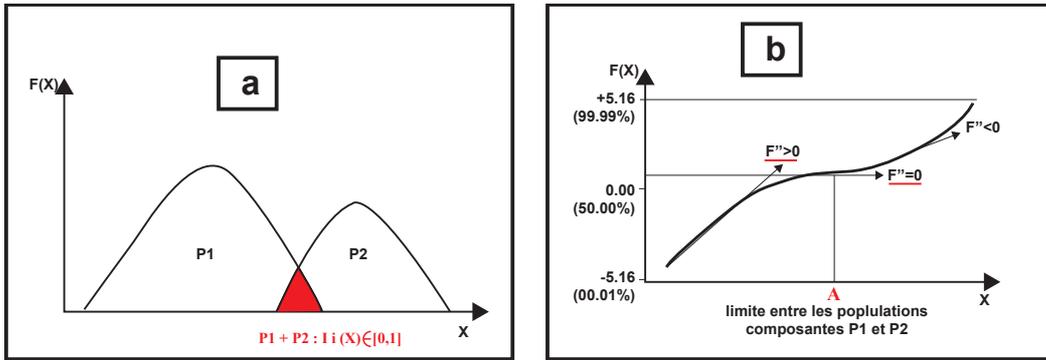


Fig. 11 - Représentation schématique d'un histogramme bimodal (a) et graphe de probabilité (b).
Schematic representation of bimodal histogram (a) and probability graph (b).

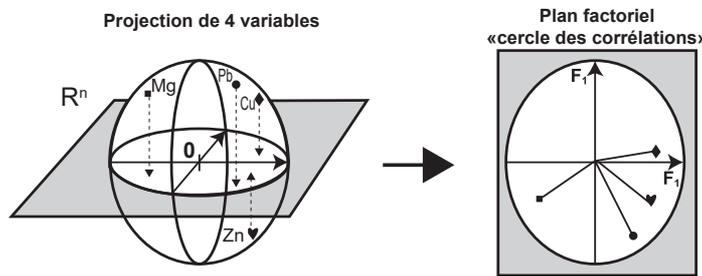


Fig.12 - Cercle de corrélation d'ACP.
Correlation circle of PCA.

dans l'espace (phénomènes régionalisés) et/ ou dans le temps (minéralisation, pollution, etc.).

La géostatistique est basée sur un outil d'analyse de la continuité spatiale des teneurs, appelé « variogramme » et une méthode d'estimation basée sur ce variogramme appelé «krigeage».

A. Variographie - Définition

Soient deux variables aléatoires, Z(x) et Z(x+h) mesurées en 2 points «x» et «x+h», la variabilité de la fonction aléatoire Z(x) entre ces deux points se caractérise par une fonction notée appelée: variogramme (Journal et Huijbregts, 1978).

$$E \{ [Z(x) - Z(x+h)]^2 \} = 2\gamma(x, h) \quad (4)$$

Le variogramme théorique $2\gamma(x, h)$ est défini comme étant l'espérance quadratique de la variable aléatoire. Le variogramme ne dépend pas de la localisation x, mais seulement de h soit en module, soit en module et en direction (hypothèse intrinsèque) le variogramme expérimental peut être estimé à l'aide de la formule suivante:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (5) \text{ Où :}$$

N(h) est le nombre de couples, Z(x) et Z(x+h) sur les valeurs mesurées aux points x et x+h qui sont séparés par le vecteur h. Les résultats obtenus peuvent être représentés sous forme graphique (fig.13). Ce variogramme expérimental doit être ajusté par un modèle mathématique qui lui correspond et qui doit être opérationnel et simple à l'emploi (Journal et Huijbregts, 1978; Chauvet, 1999).

- Palier $\sigma^2 = C_0 + C$: variance de la variable aléatoire et qui correspond aux écarts les plus grands, en moyenne entre deux variables aléatoires.

- Effet de pépite: C_0 : variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique. L'effet de pépite est l'équivalent du «bruit blanc» des physiciens (Journel et Huijbregts, 1978).

B. Principaux types de variogrammes expérimentaux

• Variogramme à effet de pépite pur

On dit qu'il y a effet de pépite pur lorsque le variogramme observé ne traduit que la seule constante de pépite (variogramme plat). $\gamma(h) = C_0$ dès que $h > 0$. Il y a alors indépendance spatiale et la géostatistique retrouve tous les résultats de la statistique des variables indépendantes.

• Variogramme à palier

Ce sont des variogrammes présentant un palier C . Ce palier n'est autre que la valeur à l'origine $C(0)$ de la covariance correspondante. La fonction $2\gamma(h)$ est constante et égale à C quelle que soit la valeur de $h \geq 0$. Le comportement des variogrammes à l'origine est soit linéaire soit parabolique.

• Variogramme sans palier-croissance linéaire

Ce sont des variogrammes théoriques qui correspondent à des variogrammes expérimentaux dont la croissance ne présente pas de palier dans les limites $h < b$ où b est la limite de l'observation. $\gamma(h)$ tend vers $-\infty$ quand h tend vers $+\infty$. Deux types de schéma sont assez souvent utilisés, ce sont: les schémas en h avec $0 < \lambda < 2$ et les schémas logarithmiques (ou de WIJSIEN).

• Variogramme à effet de trou

Le variogramme $\gamma(h)$ présente un effet de trou si sa croissance n'est pas monotone. Il marque une pseudo-périodicité entre des zones faibles, ou pseudo-faibles et des zones riches. Les schémas à effet de trou présentent une allure sinusoïdale au niveau du palier (fig.14).

4.3. Logiciels géo-informatiques

4.3.1. Statgeo

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

4.3.2. Statistica

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

4.3.3. Surfer 8

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

4.3.4. Geostatistical toolbox

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

4.3.5. Surpac version 4.1.M

Ce logiciel, version 4.1.M a été acquis par le Laboratoire de Métallurgie Physique et Propriété des Matériaux de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba (Pr. Tayeb SERRADJ) et

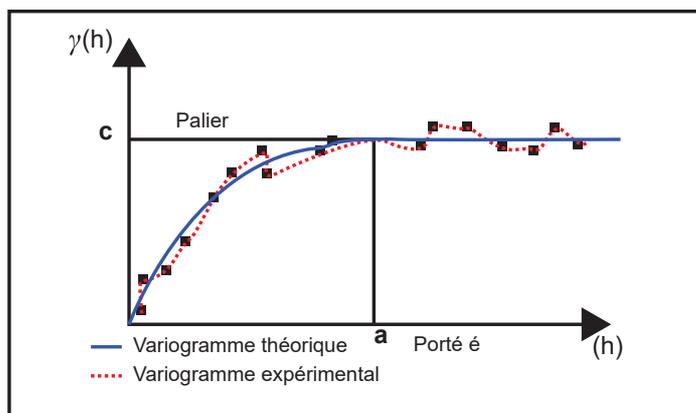


Fig. 13 - Représentation graphique du variogramme.

Graphic representation of variogram.

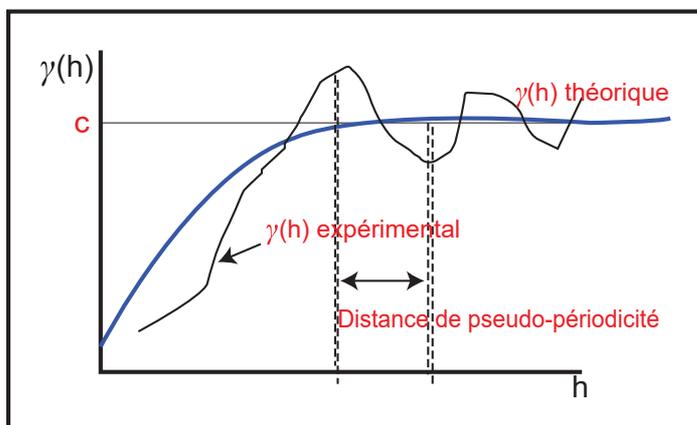


Fig. 14 - Représentation graphique d'un variogramme à effet de trou ajusté.

Graphic representation of adjusted hole effect variogram.

a été utilisé, essentiellement, pour le calcul et l'ajustement des variogrammes expérimentaux.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. Traitement statistique des données de la partie minéralisée du gisement de Chaabet El Hamra (Pr0 - Pr15)

5.1.1. Statistiques élémentaires

Les paramètres statistiques des éléments chimiques Zn, Pb, Ag, BaSO₄, CaF₂ et Cd ont été calculés à l'aide du logiciel Statgeo

sur un nombre de 2044 échantillons (tabl. I). Les teneurs en Zn varient de 0,0001% à 38% avec une moyenne de 0,98% et un coefficient de variation de 319%. Les teneurs en Pb varient de 0,0009% à 5,25% avec une moyenne de 0,057% et un coefficient de variation de 435%. Les teneurs en Cd varient de 0,0001% à 1% avec une moyenne de 0,008% et un coefficient de variation de 675%. Les teneurs en BaSO₄ varient de 0,0025% à 85,08% avec une moyenne de 0,99% et un coefficient de variation égal à 525,25%.

Les teneurs en CaF₂ varient de 0,0025% à 8,51% avec une moyenne de 0,094% et un

coefficient de variation égal à 446,80%. Les teneurs en Ag varient de 0,001g/t à 23,00g/t avec une moyenne de 2,63g/t et un coefficient de variation égal à 87,83%. Les fortes valeurs des coefficients de variations pour les éléments chimiques Zn, Pb, Cd, CaF₂ et BaSO₄ laissent suspecter une hétérogénéité de données géochimiques provenant de différents faciès ou origine. Pour Ag, la faible valeur du coefficient de variation 87,83% indique qu'il s'agit d'un seul type de faciès ou origine. Il n'y a pas d'enrichissement relatif de l'Ag.

5.1.2. Classification monovariée

La classification monovariée par la méthode du «passage par Zéro» (Sinclair, 1974; Mezghache, 1989) a été appliquée à l'aide du logiciel Statgeo. Les résultats de la classification monovariée sur 2044 données géochimiques ont montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en trois (03) sous-populations (tabl. II).

Pour le Zn, la sous-population 1 représente de faibles teneurs en Zn 0,039% de moyenne avec un taux de 57% de l'ensemble des échantillons. La sous-population 2 représente 25%

de l'ensemble de données avec une teneur moyenne de Zn de 0,26%. La sous-population 3 représente 18% de l'ensemble des teneurs avec une teneur moyenne de Zn qui est égale à 4,96%.

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

5.2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES NORMÉES – ACP

Au total, trois ACP ont été faites: une ACP sur l'ensemble de données chimiques et deux ACP sur les résultats des fonctions indicatrices.

5.2.1. ACP sur l'ensemble des données chimiques

L'établissement de la matrice de corrélation a permis de quantifier les relations linéaires de

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

Statistical parameters of the data set of Chaabat El Hamra desposit (data from Pr0 to Pr15).

	Zn (%)	Pb(%)	Ag (g/t)	BaSO ₄ (%)	CaF ₂ (%)	Cd (%)
N. éch.	2044	2004	1621	1205	1205	1616
Min	0,0001	0,0009	0,0010	0,0025	0,0025	0,0001
Max	38,0000	5,2500	23,0000	85,0800	85,0800	1,0000
Moy	0,9800	0,0570	2,6300	0,9900	0,9900	0,0080
E-type%	3,1300	0,2500	2,3100	5,2000	5,2000	0,0540
Coef. Variation	318,99	435,08	87,83	525,25	525,25	675,00

liaison entre les éléments chimiques (tabl. III). Une corrélation linéaire positive a été enregistrée entre les éléments Pb, Zn, Ag et Cd. CaF_2 corrélés positivement à Ag et négativement à BaSO_4 .

La signification du coefficient de corrélation dépend du nombre de données utilisées pour son calcul (Baccini, 2010). Généralement, ce dernier n'est significatif que s'il satisfait aux conditions d'approximation suivantes :

$$Cs \leq -\frac{2}{\sqrt{n-1}} \text{ et } Cs \geq \frac{2}{\sqrt{n-1}}$$

Pour N (Nombre d'échantillon) = 2044;

$Cs \leq -0.04$ pour les valeurs négatives et

$Cs \geq +0.04$ pour les valeurs positives.

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charge (tabl. IV). Les cercles de corrélations ont été tracés et interprétés (fig. 15).

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

Statistical parameters of the monovariated classification of Chaabat El Hamra desposit data (data from Pr0 to Pr15).

	Nombre d'éch.	% d'éch.	Min.	Max.	Moy.	E.Type	Coef. de variation
Zn1 (%)	1172	57,36	0,0001	0,1064	0,0390	0,0260	65,06
Zn2 (%)	503	24,62	0,1070	0,6800	0,2620	0,1460	55,43
Zn3 (%)	368	18,01	0,7000	38,0000	4,9600	5,9100	119,27
Pb1 (%)	1917	95,71	0,0009	0,1500	0,0246	0,0254	103,24
Pb2 (%)	56	2,80	0,1670	0,5300	0,3060	0,0990	41,52
Pb3 (%)	30	1,50	0,6200	5,2500	1,6900	1,1260	66,65
Ag1 (g/t)	1211	74,75	0,0100	3,4000	1,5400	0,9500	61,73
Ag2 (g/t)	323	19,94	3,5000	6,2000	4,9700	0,2900	5,84
Ag3 (g/t)	86	5,31	6,2500	23,0000	9,2400	2,5300	27,44
BaSO_4 1 (%)	1000	82,92	0,0025	0,3600	0,0370	0,0460	122,04
BaSO_4 2 (%)	75	6,22	0,3600	0,9500	0,6050	0,17700	29,41
BaSO_4 3 (%)	131	10,86	0,9860	85,0850	8,4900	13,6800	161,54
CaF_2 1 (%)	82	8,01	0,0025	0,0250	0,0045	0,0026	57,26
CaF_2 2 (%)	918	89,65	0,0075	0,3500	0,0520	0,0350	67,24
CaF_2 3 (%)	24	2,34	0,4000	8,5100	1,9900	1,4800	74,37
Cd1 (%)	1498	92,64	0,00005	0,0082	0,0014	0,0016	109,50
Cd2 (%)	73	4,51	0,0081	0,0280	0,0155	0,0058	37,44
Cd3 (%)	46	2,84	0,0290	1,0000	0,2020	0,2580	127,46

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

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

Simple linear correlation of the data set of Chaabat El Hamra desposit (data from Pr0 to Pr15).

	Pb	Zn	Ag	BaSO_4	CaF_2	Cd
Pb	1,00					
Zn	0,46*	1,00				
Ag	0,11*	0,14*	1,00			
BaSO_4	-0,01	-0,02	0,03	1,00		
CaF_2	0,02	-0,02	0,16*	-0,07*	1,00	
Cd	0,02	0,12*	-0,01	-0,01	-0,02	1,00

*- Coefficient de corrélation significatif.

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

Load factors of the data set of Chaabet El Hamra ore deposit (Data from Pr0 to Pr15)

	Pb	Zn	Ag	BaSO ₄	CaF ₂	Cd	Val. prop.
F1 (25,77%)	0,80	0,83	0,41	-0,04	0,12	0,21	0,21
F2 (19,05%)	0,12	0,20	-0,56	0,20	-0,79	0,34	0,34
F3 (17,06%)	0,02	-0,02	0,29	0,89	-0,14	-0,35	-0,35

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 44,82% (F1= 25,77%, F2 = 19,05%) (fig. 15), montrent la présence de trois associations chimiques (fig.15 a): la première association composée de Zn et Pb corrélée positivement au facteur F1, la deuxième association composée de BaSO₄ et Cd corrélée positivement au facteur F2, cependant, BaSO₄ est corrélé positivement au F3 alors que Cd est corrélé négativement au même facteur (fig. 15 b), la troisième association composée de CaF₂ et Ag est corrélée négativement au facteur F2 et une association chimique (fig. 15 b) composée de Pb, Zn, Cd, CaF₂ et Ag corrélée positivement avec F1.

5.2.2. ACP des fonctions indicatrices

Afin de déterminer les relations entre les dix huit (18) sous-populations composantes, une matrice de corrélation linéaire simple a été calculée et une ACP a été effectuée (tabl. V et VI). La matrice de corrélation linéaire simple montre une corrélation positive entre Zn1, Pb1, Cd1, Ag1 et BaSO₄(2).

Ces faibles teneurs en Zn, Pb, Ag et Cd caractérisent le Fond géochimique-faciès Hautérivien inférieur par contre le BaSO₄(2) indique que les sulfates de baryum existent initialement avec de fortes teneurs dans les dépôts de l'Hautérivien inférieur. Zn2 est corrélé positivement à Pb2, Ag2 et Cd1, c'est le minerai type 1.

Dans ce minerai, le Cd est faible et n'a pas subi un enrichissement. Zn3 est corrélé positivement avec Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, BaSO₄(1) et CaF₂(3), c'est le minerai type 2.

Dans ce minerai les teneurs en Pb peuvent être aussi bien faibles qu'élevées. Les coefficients de corrélations écrits en gras sont significatifs.

Sur la base des résultats de la matrice de corrélation linéaire simple, une analyse en composantes principales a été effectuée, les vecteurs et les valeurs propres calculés (tabl. VI) et les cercles de corrélations ont été tracés et interprétés (fig.16).

La représentation graphique des corrélations entre 18 variables d'une part et les facteurs de charge F1 et F2 d'autre part, qui représentent le maximum de variance cumulée de 31,37% (F1= 17,49%, F2= 13,88%) (fig. 16) montre la présence de deux principales associations chimiques:

La première constituée de Zn1, Pb1, Ag1, Cd1 et Ag1 avec la présence de BaSO₄ (2 et 3) caractérisant le faciès Hautérivien inférieur-Fond géochimique. Cette association révèle que BaSO₄ existe initialement avec de fortes teneurs dans les dépôts de l'Hautérivien inférieur. La deuxième association constituée par Zn2, Zn3, Pb2, Pb3, Cd2, Cd3, Ag2, Ag3, CaF₂ (2), CaF₂ (3) et BaSO₄ (1) caractérise les minéralisations localisées dans l'Hautérivien inférieur.

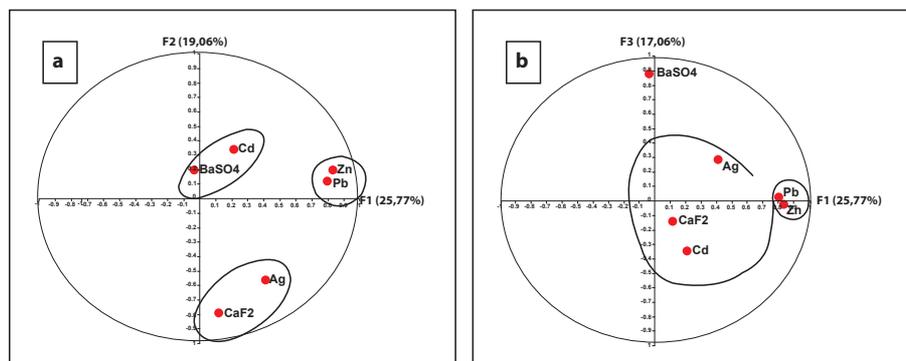


Fig. 15- Cercles de corrélation de l'ensemble des données du gisement de Chaabet El Hamra du Pr0 au Pr15.

Correlation circles of the whole data of Chaabet El Hamra ore deposit from Pr0 to Pr15.

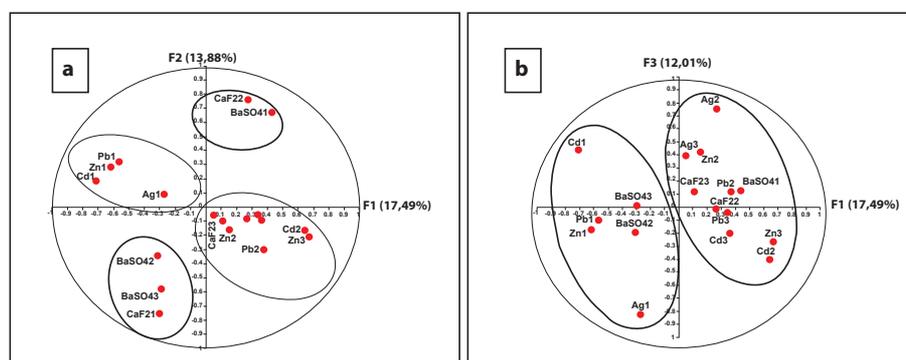


Fig.16- Cercles de corrélation de l'ensemble des sous-populations composantes (18 variables).

Correlation circles of all of the component subpopulations.

Afin de discriminer les types des minerais de la minéralisation à Zn-Pb, une ACP a été refaite en éliminant les deux éléments BaSO_4 et CaF_2 . Seules 12 variables ont été prises en considération (Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Ag1, Ag2, Ag3, Cd1, Cd2 et Cd3). La matrice de corrélation calculée (tabl. VII) a permis de montrer trois corrélations positives celle Zn1 avec Pb1, Cd1 et celle de Zn2 avec Pb2 et celle de Zn3 avec Zn2, Pb3, Cd2 et Cd3.

Les facteurs de charge ont été calculés (tabl. VIII) et les cercles de corrélations tracés et interprétés (fig.17).

La représentation graphique des corrélations entre 12 variables après élimination

des deux éléments chimiques BaSO_4 et CaF_2 avec les facteurs de charge F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 42,77% (F1= 26,07%, F2= 16,74%) (fig.17) montre clairement l'existence de trois associations chimiques:

La première, constituée de Zn1, Pb1, Ag1 et Cd1, est corrélée négativement à F1, la deuxième association, formée de Zn2, Pb2 et Ag2 est corrélée positivement à F1 et F2, la troisième association, formée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2, est corrélée positivement à F1. L'association 1 caractérise la géochimie des dépôts de l'Hautérivien inférieur: fond géochimique, l'association 2 caractérise le premier type de minerais et l'association 3 carac-

térise le deuxième type de minerai-minerai riche. Ces associations permettent de conclure que Cd existe à de faibles teneurs dans le fond géochimique, pour ensuite s'enrichir dans le 2^{ème} type de minerai (présence de Cd2 et Cd3).

5.3. DISCUSSION ET INTERPRÉTATION

L'analyse monovariée et l'ACP ont permis de déterminer trois (3) associations. Chacune de ces associations exprime un type de faciès ou phénomène géologique.

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

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

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

Du point de vue géologique, ces résultats suggèrent donc l'existence de trois phases:

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

Phase 2: sous-population 2, ayant des teneurs relativement plus élevées, la formation de cette sous-population ne peut être expliquée que par un apport supplémentaire grâce

à des phénomènes de migration (Toubi et Mezghache, 2016). Elle représente le minerai type 1 qui est donc de formation épigénétique.

Phase 3: sous-population 3, formée plus tardivement, elle est due à la mise en place du minerai riche en Zn- minerai type 2. Les teneurs en Cd de cette sous-population montrent un enrichissement relatif en cet élément. Cette phase serait liée à un nouvel épisode de circulations de fluides minéralisateurs aidé par des processus tectoniques donc épigénétique tardive. Pour BaSO₄ dans cette sous population, elle ne peut être que d'origine hydrothermale comme signalée par Boutaleb (2001).

De par sa morphologie, le gisement a été classé comme stratiforme par Pogrennoi et *al.* (1992).

5.4. ÉTUDE GÉOSTATISTIQUE

Dans la présente étude, le traitement géostatistique est basé essentiellement sur la variographie du Zn afin d'analyser sa continuité spatiale et donc celle de la minéralisation zincifère. Les variogrammes directionnels, dans la direction verticale (fig. 18) et les directions N130° et N220° (figs. 19 et 20), ont été calculés et ajustés pour l'ensemble des données de sondages du Pr0 au Pr15 (tabl. IX, X et XI) à l'aide du logiciel Surpack.

La couche minéralisée, explorée et prise en compte pour l'étude géostatistique, a une longueur moyenne de 1500m et une largeur moyenne de 500m.

5.4.1. Variogramme vertical

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

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

Simple linear correlation matrix of signaling functions (18 variables)
Total number of samples N= 907.

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	BaSO ₄ (1)	BaSO ₄ (2)	BaSO ₄ (3)	CaF ₂ (1)	CaF ₂ (2)	CaF ₂ (3)	
Zn1	1,00																		
Zn2	-0,72	1,00																	
Zn3	-0,52	-0,23	1,00																
Pb1	0,35	-0,14	-0,32	1,00															
Pb2	-0,24	0,18	0,12	-0,80	1,00														
Pb3	-0,19	-0,06	0,33	-0,36	-0,27	1,00													
Ag1	0,11	-0,10	-0,04	0,08	-0,04	-0,06	1,00												
Ag2	-0,10	0,08	0,04	-0,09	0,05	0,06	-0,95	1,00											
Ag3	-0,05	0,06	-0,01	0,01	-0,02	0,01	-0,40	0,10	1,00										
Cd1	0,26	0,10	-0,48	0,18	-0,11	-0,11	0,03	-0,04	0,03	1,00									
Cd2	-0,23	-0,10	0,44	-0,17	0,10	0,12	-0,02	0,03	-0,02	-0,91	1,00								
Cd3	-0,13	-0,03	0,22	-0,07	0,05	0,03	-0,03	0,04	-0,01	-0,50	0,09	1,00							
BaSO ₄ 1	-0,08	0,02	0,09	-0,04	-0,02	0,09	-0,07	0,07	0,01	-0,09	0,08	0,04	1,00						
BaSO ₄ 2	0,07	-0,06	-0,03	0,11	-0,07	-0,05	0,09	-0,08	-0,05	0,06	-0,05	-0,03	-0,65	1,00					
BaSO ₄ 3	0,04	0,03	-0,09	-0,04	0,09	-0,07	0,01	-0,02	0,03	0,07	-0,06	-0,03	-0,74	-0,03	1,00				
CaF ₂ 1	0,01	0,02	-0,04	0,01	0,01	-0,02	0,01	-0,02	0,03	0,04	-0,03	-0,03	-0,31	0,15	0,27	1,00			
CaF ₂ 2	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,03	-0,04	0,03	0,03	0,30	-0,15	-0,26	-0,98	1,00		
CaF ₂ 3	-0,06	-0,03	0,13	-0,05	-0,05	0,16	-0,11	0,11	0,01	0,01	0,01	-0,01	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,16	1,00	

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

Charge factors of the whole chemical elements (18 variables) signaling functions.

	Zn1	Zn2	Zn3	Pb1	Pb2	Pb3	Ag1	Ag2	Ag3	Cd1	Cd2	Cd3	BaSO ₄ (1)	BaSO ₄ (2)	BaSO ₄ (3)	CaF ₂ (1)	CaF ₂ (2)	CaF ₂ (3)	
F1																			
17,49%	-0,62	0,15	0,67	-0,57	0,37	0,34	-0,27	0,27	0,05	-0,71	0,64	0,36	0,43	-0,31	-0,29	-0,30	0,27	0,11	
F2																			
13,88%	0,29	-0,16	-0,21	0,32	-0,30	-0,06	0,09	-0,08	-0,06	0,19	-0,17	-0,09	0,67	-0,34	-0,58	-0,75	0,76	-0,10	
F3																			
12,01%	-0,17	0,42	-0,27	-0,10	0,12	-0,04	-0,82	0,75	0,40	0,44	-0,40	-0,20	0,12	-0,19	0,01	-0,01	-0,02	0,10	

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

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

Simple linear correlation matrix of signaling functions (12 variables)
Total number of samples N= 1526.

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

Les coefficients de corrélations écrits en gras sont significatifs.

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

Load factors of the indicator functions of the whole chemical elements data (12 variables).

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

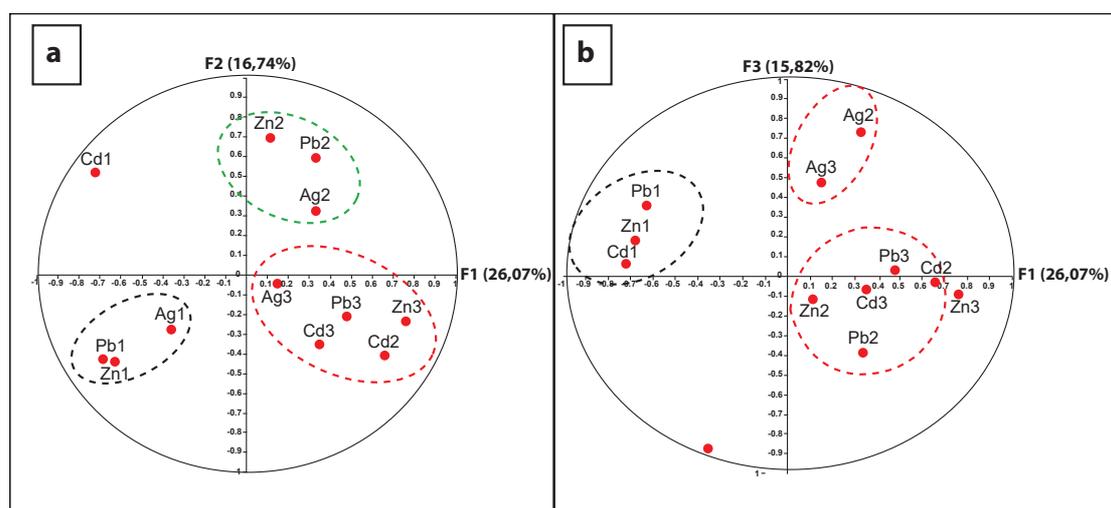


Fig. 17 - Cercles de corrélations de l'ensemble des sous-populations composantes (12 variables).

Correlations circles of all of the component subpopulations.

Tableau IX - Données du variogramme vertical des teneurs en Zn .

Zn occurrences vertical variogram data.

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

La tolérance angulaire es de 20° (fig. 18, tabl. IX).

Le variogramme vertical (fig. 18) ne présente pas d'effet de trou.

La pseudo-périodicité n'est donc pas systématique; ceci exclue l'hypothèse selon laquelle le gisement de Chaabet El Hamra serait constitué de six (06) lentilles qui se superposent dans l'Hautérivien inférieur (Pogrenoi et *al.*,1992).

Le gisement est constitué de lentilles minéralisées certes, mais ces dernières ne sont pas régulièrement réparties comme le montre la figure 5.

5.4.2. Variogrammes directionnels dans le plan de la couche minéralisée

•Direction N130°- direction de la couche minéralisée- perpendiculaire aux profils d'exploration.

Le variogramme dans la direction N130° des teneurs en Zn pour un ensemble de 1559 données ayant une teneur moyenne de 0,71% et un écart type de 1,68% a été

construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a=446,561\text{m}$, d'un effet de pépite $C_0=(0,63\%)^2$, et d'un palier $C=(3,28\%)^2$.

La tolérance angulaire directionnelle est de 5° et un pendage de 12° (fig. 19, tabl. X).

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

Le variogramme de direction N220° des teneurs en Zn a été construit et ajusté par un modèle sphérique de portée $a = 86,42\text{m}$, d'un effet de pépite $C_0=(0,67\%)^2$, et d'un palier $C=(4,34\%)^2$. La tolérance angulaire directionnelle est de 20° et le pendage es t de 12° (fig. 20, tabl. XI).

Les variogrammes directionnels (figs.19, 20 et 21) montrent l'existence d'une anisotropie géométrique dont le grand axe est orienté suivant la direction, et le pendage de la couche minéralisée - N130°, pendage 12° - avec une portée de 446,61m et le petit axe N220° perpendiculaire à la direction de la couche minéralisée et parallèle aux profils d'exploration, avec une portée de 86,42m. Le coefficient d'anisotropie est de 0,19.

Tableau X - Données du variogramme du Zn dans la direction N130°.

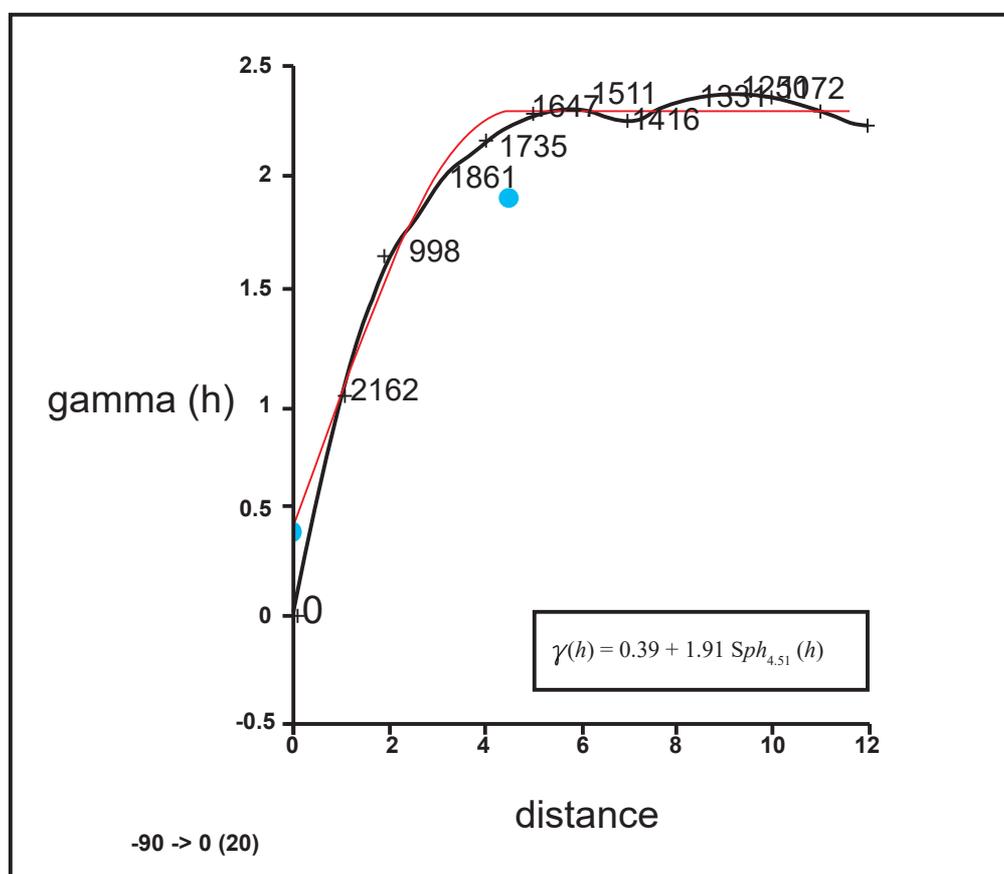
Zn variogram data in N130° direction.

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

Tableau XI - Données du variogramme du Zn dans la direction N220°.

Zn variogram data N220° direction.

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



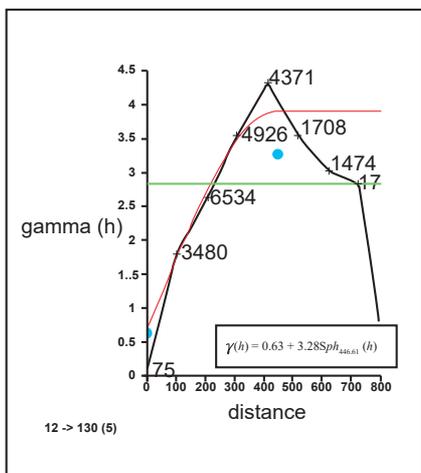
-90° : angle de pendage vertical vers le bas;

0 : direction du pendage;

20° : tolérance angulaire du pendage.

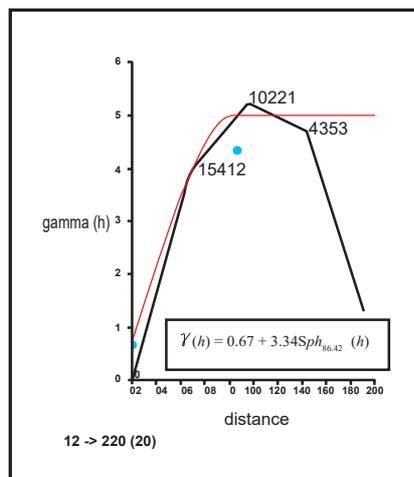
Fig. 18 - Variogramme vertical des données de sondages du Pr0 au Pr15.

Vertical variogram of drills holes data from Pr0 to Pr15.



12° : angle de pendage du plan ;
 130° : direction du pendage ;
 5° : tolérance angulaire dans la direction.

Fig. 19- Variogramme du Zn direction N130°.
 Directional variogram of Zn direction N130°.



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

Fig. 20- Variogramme du Zn direction N220°.
 Directional variogram of Zn direction N220°.

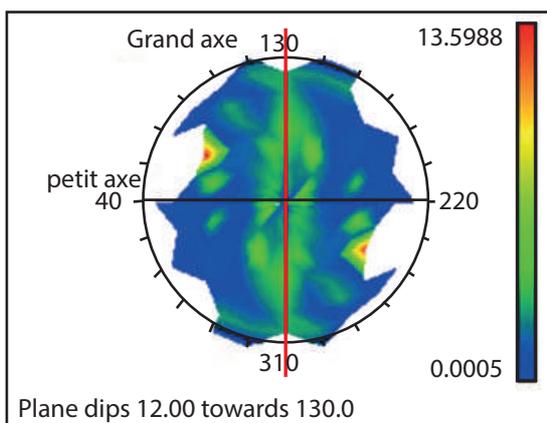


Fig. 21- Variogramme de surface du Zn.
 Surface variogram of Zn.

CONCLUSIONS

Le gisement de Chaabet El Hamra renferme des minéralisations à Zn-Pb, encaissées dans les roches dolomitiques de l'Hautérivien inférieur. Une analyse minéralogique par la méthode de diffraction aux rayons X effectuée au Laboratoire Pétro-Minéralogie de l'ORGM-Boumerdès sur (10) échantillons

prélevés au niveau de la galerie d'exploitation du gisement, a confirmé que les principaux minéraux sont: la sphalérite, la pyrite, la marçassite et la galène. Les minéraux de gangue sont la calcite, la barytine, la dolomite et plus rarement le quartz.

L'analyse statistique des données sur les six éléments Pb, Zn, Ag, Cd, CaF₂ et BaSO₄

du gisement de Chaabet El Hamra a été effectuée à l'aide de trois méthodes statistiques: monovariée, bivariée et multivariée (ACP).

Les coefficients de variations des éléments chimiques Zn, Pb, Cd, CaF₂ et BaSO₄ ont été calculés. Ils présentent de fortes valeurs qui sont respectivement de 319%, 435%, 675%, 446,8% et 525,25%. Ces dernières sont dues à l'hétérogénéité des données géochimiques provenant de plusieurs origines.

La classification monvariée par la méthode de passage par zéro a montré que les teneurs de chaque élément chimique se subdivisent en trois (03) sous-populations. Ce résultat prouve la présence de trois origines distinctes. Pour l'élément Zn, la sous-population 1 représentée par 57% de l'ensemble des échantillons géochimiques de carotte, désigne la classe de faible teneur avec une moyenne de 0,039%: c'est la sous-population des échantillons prélevés dans les roches non minéralisées de l'Hautérivien inférieur - fond géochimique.

La sous-population 2 qui représente 25% de l'ensemble de données avec une teneur moyenne de Zn de 0,26%, désigne la sous-population d'un minerai de teneur moyenne. La sous-population 3 qui représente 18% de l'ensemble des teneurs avec une teneur moyenne de Zn de 4,96%, désigne la sous-population de minerai de forte teneur.

Les fonctions indicatrices ou probabilités d'appartenance à une sous-population composante ont été calculées pour l'ensemble des éléments. Au total, 18 sous-populations composantes ont été obtenues : Zn1, Zn2, Zn3, Pb1, Pb2, Pb3, Ag1, Ag2, Ag3, BaSO₄(1), BaSO₄(2), BaSO₄(3), CaF₂(1), CaF₂(2), CaF₂(3), Cd1, Cd2 et Cd3. Une ACP a été faite sur les résultats des fonctions indicatrices des 18 composantes. Elle confirme la présence de trois principales associations chimiques représentant chacune un « faciès »

géologique: la première association constituée des éléments chimiques: Zn1, Pb1, Ag1, Cd1, Ag1 et BaSO₄ (2 et 3), représente la sous-population de faibles teneurs sauf pour BaSO₄. Elle représente le faciès lithogéochimique de l'Hautérivien inférieur - Fond géochimique. La deuxième association constituée par Zn2, Pb2, Ag2, CaF₂ (2), CaF₂ (3) et BaSO₄ (1) représente la sous-population de teneurs moyennes en Zn, cette association caractérise le minerai moyen- minerai type 1. La troisième association constituée de Zn3, Pb3, Ag3, Cd3 et Cd2 représente la sous-population de fortes teneurs en Zn minerai riche; elle correspond à un autre type de minerai-minerai type 2. Du point de vue géologique, ces résultats suggèrent l'existence de trois phases :

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

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

Phase 3: sous-population 3, formée plus tardivement, elle est due à la mise en place du minerai riche en Zn- minerai type 2.

Les teneurs en Cd de cette sous-population montrent un enrichissement relatif en cet élément. Cette phase serait liée à un nouvel épisode de circulations de fluides minéralisateurs aidé par des processus tectoniques donc épigénétique tardive. Pour BaSO₄ dans cette sous-population, elle ne peut être que d'origine hydrothermale.

L'étude géostatistique a porté principalement sur la variographie du Zn. Le variogramme vertical ne montre aucun effet de trou.

La pseudo-périodicité n'est donc pas systématique: l'idée selon laquelle l'horizon haut-erivien inférieur porteur de ces minéralisations est constitué de six (06) lentilles minéralisées qui se superposent, n'est pas toujours vérifiée. Les lentilles minéralisées existent certes, mais elles sont réparties d'une façon irrégulière dans le gisement.

Les variogrammes directionnels du Zn calculés dans les différentes directions ne sont pas, non plus, à effet de trou. Ils montrent l'existence d'une anisotropie géométrique avec le grand axe orienté N130° et une portée de 446,61m. Cette direction est celle de la continuité maximale de la minéralisation à Zn-Pb.

Le petit axe de direction N220° a une portée de 86,42m. Les valeurs des portées de cette anisotropie correspondraient aux dimensions moyennes des lentilles minéralisées. Ces résultats géostatistiques peuvent être utilisés pour optimiser la maille d'exploration de ce type de gisement.

BIBLIOGRAPHIE

- BACCINI, A. 2010.** Cours de statistique descriptive élémentaire. *Institut de Mathématique. Univ. Paul Sabatier -Toulouse*, 40p.
- BOUTALEB, A. 2001.** Les minéralisations à Pb Zn du domaine Sétifen-Hodna : géologie, pétrographie des dolomies, micro-thermométrie et implications métallogéniques. *Thèse de Doctorat, USTHB*, 350p.
- CHAMUSSY, H., CHARRE, J., DUMOLARD, P., DURAND, M.-G. ET LE BERRE, M. 1994.** Initiation aux pratiques statistiques en géographie. *Edition Masson*, 245p.
- CHAUVET, P. 1999.** Aide mémoire de géostatistique linéaire application du domaine minier. *Les Presses de l'École des Mines de Paris*, 140p.
- FROIDEVAUX, R. 1990.** Géostatistical toolbox primer, version 1.30. FSS International, Troinex, Switzerland.
- GLAÇON, J. 1967.** Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifen. (Algérie). *Thèse de Doctorat, tomes 1 et 2. Publication du Service Géologique de l'Algérie*, 356p.
- JOURNEL, A., AND HUIJBREGTS, G. 1978.** Mining geostatistics. *Academic Press, London, U.K.*, 600p.
- KOURICHI, R., BELARIBI, EL., GHALEM, S., ILIEV, CH., OUZOAZ, S., AOUN, F., CHEMAOUNI, Y. ET BOUCHAREB, S. 1992.** Carte géologique du gisement de Chaabet El Hamra, Échelle 1/2000.
- MALLET, J.-L. AND WILD, P. 1984.** An analogue to correspondence analysis with fuzzy characteristic function. *Sci. de la Terre, série Inf. Géol. n°20, part 1*, pp.121-135.
- MEZGHACHE, H. 1989.** Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol-application à la zone mercurielle Nord numidique (Algérie). *Thèse de Doctorat Nouvelle, CNRS-CRPG-INPL, Nancy - France*, 175p.
- MORINEAU, A. 1988.** Analyse en Composantes Principales. Editions CISIA. Ceresta, France, Pogrennoi, M., Tourqui, M., Frolov, N., Bouzid, S. et Chennaf, A. 1992. Rapport final sur les travaux d'évaluation du gisement de Chaabet El Hamra. *Rapport inédit, ORGM*, tome 1, 141p.
- SINCLAIR, A.- J. 1974.** Sélection of threshold values in geochemical data using probability graphs. *Journal of Geochemical Exploration*, 3, pp. 129-149.
- SONATRACH, 1977.** Carte géologique d'Aïn Azel au 1/50.000.
- TOUBI, N.-E.-H. ET MEZGHACHE, H. 2016.** Caractérisation géochimique de l'Hauterivien inférieur dans le gisement de Chaabet El Hamra-Bassin de Sétif. *1^{er} Colloque International sur la Géologie de la Chaîne des Maghrébides et des régions voisines, Univ. Ferhat Abbas, Sétif*.