



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen
Faculté des Sciences de la Nature de La Vie et des Sciences de la Terre
Et de l'Univers
Département des Sciences de le Terre et de l'Univers

MEMOIRE

Présenté à :
Faculté des Sciences de la Nature de
La Vie et des Sciences de la Terre
Et de l'Univers.

Pour l'obtention du diplôme de :
MASTER EN GEOLOGIE.

Cartographie et perspectives minières, secteur central « Algérois », les
Maghrébides.

Spécialité : GEOLOGIE DES BASSINS SEDEMENTAIRES

Par :

M^{elle}. CHABANE SABAH.
M^{elle}. KHEBICHAT ZOHRA.

Soutenu publiquement le 11 juin 2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mr. ADACI Mohamed	P.R	Univ.Tlemcen	Président
Mr . BELMOUHOU.B.A	M.C.B	Univ.Tlemcen	Encadreur.
M ^{me} . ADACI Djamila	M.C.B	Univ.Tlemcen	Examineur.

Année Universitaire : 2023 ~ 2024

Dédicace

Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de cinq années d'études à mes chers et respectueux parents en récompense de leurs sacrifices et leur clair voyance qui m'a servi et me servirait tout au long de ma vie.

Merci mes parents.

A mes chers frères, sœurs et leurs enfants, Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A Tous les étudiants de ma promotion.

A Tous les enseignants du département des sciences de la terre et surtout eux qui ont participé à ma formation durant mes études.

Et en fin à mon fidèle binôme CHABANE.Sabah.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, Pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, Leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs sacrifices.

A mes chères sœurs, Mes frères.

A mon binôme Khebichat Zohra et sa famille.

A mes chers amis sans exceptions.

A tous mes enseignants du département des sciences de la terre et l'univers

A tous les collègues de la promotion master Géodynamique des bassins sédimentaire 2023/2024.

A tous qui m'ont aidé de près ou de loin, je dédie ce travail avec Hommage.

En fin, a tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

Au terme de la finalisation de ce Mémoire de Master, nous remercions DIEU le tout puissant qui nous a offert la sagesse et la santé afin de réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent plus particulièrement à Mr. BELMOUHOUAB Abdelkader Maitre de Conférence « B » au Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Tlemcen, qui nous a encadrés le long de notre travail.

Comme nous remercions l'honorable membre de jury Mr. ADACI Mohammed, Professeur à l'université de Tlemcen département des Sciences de la Terre et de l'Univers. Nous tenons à remercier ce professeur digne d'être connu et digne de respect, réputé par ses compétences et ses qualités d'enseignements. Merci de nous accepter de nous faire l'honneur de présider ce jury.

Aussi, nous remercions Mme. ADACI Djamilia Maitre de Conférence « B » d'avoir pris de son temps et qui a bien voulu examiner notre modeste travail.

Table des matières

Dédicace	II
Dédicace	III
REMERCIEMENTS	IV
Table des matières	V
Liste des Figure	Error! Bookmark not defined.
Liste des Tableau.....	Error! Bookmark not defined.
Résumé :	VII
ملخص.....	VIII
Abstract:	IX
Chapitre I :	1
Généralités.....	2
Introduction	3
Méthodologie :	4
Plan du mémoire :	4
Chapitre II.....	6
1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE :	7
1.1. CADRE GEOGRAPHIQUE :	7
1.2 CADRE GEOLOGIQUE :	7
1.2.1. Complexe autochtone.....	8
1.2.2. Trois unités allochtones	8
1.2.3 Complexe Néo-autochtone.....	9
A. Coupes géologiques de Ténès :	12
B. Coupes géologiques de Cherchell :	13
Chapitre III	14
Traitements statistiques et étude géostatistique :	15

1.Ténès :	15
1.1. Secteur Sidi Bettiour :	15
Traitements statistiques :	15
Etude géostatistique :	18
1.2. Secteur Boukhendak :	20
Traitements statistiques :	20
Chapitre IV	27
I. Résultats des travaux de forage :	28
Introduction :	28
1.1 Ténès :	28
1.1.1. Répartition de la minéralisation en profondeur :	29
1.1.2. Modèles des corps minéralisés (typologie) :	33
1.2. Cherchell :	34
1.2.1. Répartition de la minéralisation en profondeur :	34
1.2.2 Modèles des corps minéralisés (Typologie) :	37
Conclusion.....	43
Bibliographie	49

Résumé :

Les travaux de forage dans les régions de Cherchell et Ténés ont révélé une minéralisation de faible teneur sans valeur économique immédiate. Cependant, cette minéralisation est présente dans toutes les formations géologiques de la zone, en particulier dans les calcaires cénomaniens. Les analyses ont montré que cette minéralisation a une affinité particulière avec les calcaires cénomaniens et adopte différentes formes, telles que stratiformes, lentilles et veinules. Ces caractéristiques suggèrent que la minéralisation est influencée par les calcaires cénomaniens créée par la tectonique et a une prédilection pour certaines strates géologiques, notamment le calcaire cénomanien à la base de l'olistostrome inférieure.

Les mots-clé :

Forage - Une minéralisation - Les calcaires Cénomaniens - La tectonique - Les analyses - Stratiformes.

المخلص:

كشفت أعمال الحفر في منطقتي شرشال وتينس عن تمعدن منخفض الجودة ليس له أي قيمة اقتصادية فورية. ومع ذلك، فإن هذا التمعدن موجود في جميع التكوينات الجيولوجية للمنطقة، وخاصة في الحجر الجيري السينوماني. أظهرت التحليلات أن هذا التمعدن له صلة خاصة بالحجر الجيري السينوماني ويتخذ أشكالاً مختلفة، مثل الطبقات والعدسات والأوردة. تشير هذه الميزات إلى أن التمعدن يتأثر بالتكتونيات وله ميل لطبقات جيولوجية معينة، ولا سيما الحجر الجيري السينوماني عند قاعدة أوليستوسنوم السف.

الكلمات المفتاحية

أعمال الحفر - تمعدن - الحجر الجيري - السينوماني - التحليلات - الطبقات

Abstract:

Drilling work in the regions of Cherchell and Ténés has revealed low-grade mineralization with no immediate economic value. However, this mineralization is present in all geological formations of the area, particularly in the Cenomanian limestones. Analyses have shown that this mineralization has a particular affinity with the Cenomanian limestones and adopts various forms, such as stratiform, lenses, and veinlets. These characteristics suggest that the mineralization is influenced by tectonics and has a predilection for certain geological strata, notably the Cenomanian limestone at the base of the lower olistostrome.

Key-words:

Drilling work - Mineralization - Cenomanian limestones - Tectonics - Analyses - stratiform.

Chapitre I :
La problématique géologique
posée par les minéralisations
de cette région.

Généralités

La région Ténès-Cherchell constitue la portion occidentale du segment central de la chaîne des Maghrébides (fig.01). Dans cette région se rencontrent les deux domaines structuraux, interne et externe de la chaîne alpine. Elle se caractérise par la présence de terrains sédimentaires, magmatiques et métamorphiques disposés en unités structurales en positions autochtone et allochtone.

Les données bibliographiques relatives à cette région font état de la présence dans cette région, de cinq gisements de Fer, dix-huit indices et quarante-huit points de minéralisation polymétalliques à cuivre, plomb, zinc et argent laissant entrevoir la présence d'un potentiel contexte minéralisé (document ORGM inédit).

Ces minéralisations sont observables dans toutes les formations géologiques, du Crétacé inférieur au Miocène et elles paraissent aussi contrôlées par des failles sub-méridiennes et NE-SW. Elles se présentent sous forme de veinules, lentilles et de stockworks de sulfures de cuivre et de polymétaux associés à des filonnets de calcite, quartz, oxydes de fer (hématite-limonite) parfois chlorite.

Par endroits, ces minéralisations sont observables dans de vastes zones d'altérations hydrothermales étendues sur les failles.

Des travaux de prospection effectués, la fin du siècle passé, par l'ORGM font état de la présence dans cette région d'un potentiel minier indéniable. Ceux-ci comprennent divers travaux de surface et par forage. Parmi ceux-ci des échantillonnages géochimiques en roches et de carottes de forages ont été prélevés et analysés par diverses méthodes (qualitative et quantitative) selon les objectifs prévus et le degré d'observation des minéralisations sur les échantillons.

Au total 222 échantillons en roches de surface, répartis sur 57 dans le secteur Boukhendak et 165 dans celui de Sidi Bettiour et quatre échantillons sur les carottes de forages ont été prélevés et analysés par spectrographie et par absorption atomique.

Les données analytiques obtenues des analyses de ces échantillons ont subi dans le cadre de ce travail, des traitements statistiques et une étude géostatistique. Celle-ci permet de localiser avec précision les anomalies de surface pour la réalisation des forages productifs. Deux logiciels ont été utilisés, Statistica8 et Rockworks15.

Toutefois, les points de forages implantés semblent décalés par rapport aux anomalies géochimiques de surface probablement réalisés sur la base des anomalies géophysiques et par

conséquent les niveaux de teneurs observés sur les carottes des forages retracent les auréoles de dispersion primaire des corps minéralisés profonds.

Introduction

La découverte et la mise en valeur des substances minérales enfouies utiles pour l'industrie passent par de nombreuses étapes allant d'une reconnaissance générale, une recherche systématique aux différentes phases de prospection de surface, une exploration en profondeur par forages et enfin l'estimation des ressources à évaluer dans le cadre d'une économie minière. Diverses méthodes de surface (géologiques, géophysiques et géochimiques) souvent complémentaires doivent être mises en œuvre et constituent un préalable à toute action en profondeur.

Les méthodes géochimiques consistent à échantillonner et analyser divers matériaux tels que les sols, les roches etc... pour leur contenu en divers éléments métalliques et tenter d'isoler des anomalies. Celles-ci peuvent permettre de localiser en surface des minéralisations de subsurface recherchées et estimer leurs teneurs. Elles constituent des cibles à explorer en profondeur par forages.

Les prélèvements s'effectuent suivant les réseaux hydrographiques ou des mailles selon l'étape de la recherche. Ils sont représentés par des sols, sédiments de ruisseaux, roches etc... Les analyses géochimiques ou physiques sont fonction du degré de connaissances acquises lors de la campagne de recherche.

Les divers traitements statistiques peuvent permettre d'identifier la nature de la minéralisation ainsi que celle de l'encaissant, autrement dit, sa genèse.

Notons que les méthodes géochimiques sont peu applicables aux minéralisations trop profondes (aveugles). Celles-ci doivent faire objet de recherche par des techniques géophysiques.

Les travaux de forage sont orientés vers la reconnaissance de la colonne litho stratigraphique qui constitue le terrain prospecté, la structure de la minéralisation et la morphologie des corps minéralisés, autrement dit la typologie de la minéralisation, son niveau porteur, l'estimation des ressources, le calcul des réserves et éventuellement l'établissement de l'enjeu économique.

Ce travail s'effectue au laboratoire du département des Sciences de la Terre et de l'Univers, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers à l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen et il vise l'obtention d'un diplôme de Master II en géologie « option géologie des ensembles sédimentaires ».

Il reprend pour l'essentiel le traitement des données analytiques, de surface et par forage obtenues à l'issue d'une campagne de prospection minière effectuée la fin du siècle passé par l'Office National de Recherche Géologique et Minière (O.R.G.M) dans la région Ténès-Cherchell.

Ainsi, contribue-t-il d'une part, à mieux optimiser le signal géochimique par la définition en surface des axes de recherche à vérifier en profondeur par forages et d'autre part la définition en profondeur de la morphologie du corps minéralisé.

Ce travail reprend pour l'essentiel, avec des modifications, corrections et des mises à jour, de la méthodologie définie et appliquée aux données analytiques de surface à l'origine de l'implantation des points de forages, combler les lacunes de lecture du signal géochimique pour mieux guider l'implantation des forages et apporter une contribution essentielle à l'orientation de la prospection.

Les rapports inédits sanctionnant les travaux de prospection et qui sont disponibles au niveau de l'ORGM font état de confusion et ils ne sont exploitables qu'à l'état de données brutes.

Ainsi, ce travail s'inscrit -il d'une part, dans un contexte de mise à jour de ces résultats et d'autre part de cartographie pour localiser le niveau porteur de la minéralisation.

Les données exploitées dans le cadre de ce travail sont disponibles au niveau de l'ORGM.

Méthodologie :

La méthodologie appliquée dans le cadre de ce travail répond à une démarche qui prend en compte une hiérarchisation des différents types de travaux assurant un gain progressif d'informations qui guide la réalisation des travaux futurs sur le terrain. Pour réaliser cette tâche, un plan de mémoire subdivisé en quatre chapitres est tenté.

Plan du mémoire :

- Le premier chapitre a pour objet de définir la problématique géologique posée par les minéralisations de cette région. Cette problématique est définie à travers un aperçu global de ces minéralisations et leurs formations hôtes, synthétisé dans des généralités et des définitions.

-Le deuxième chapitre de ce travail évoque le cadre géologique particulier de cette région définie par l'ORGM. Celui-ci est complété par des coupes géologiques effectuées dans le cadre de ce travail et qui font état de la présence de différentes unités géologiques individualisées en unités structurales.

- Le troisième chapitre de ce travail est consacré à une étude des distributions des éléments (Cu-Ag) dans les roches. Des traitements statistiques et une étude géostatistique de ces données analytiques obtenues des analyses des échantillons de roches sont effectués.

A l'issue de cette étude seront déterminés les paramètres statistiques, les histogrammes des fréquences de distribution des teneurs en ces deux éléments ainsi que les diagrammes des probabilités selon la loi normale,

L'étude géostatistique permet en outre d'ajuster les données sur des modèles mathématiques et de les interpoler pour localiser les zones perspectives pour leur prospection par forages.

- Le quatrième chapitre fait état des résultats obtenus par les forages réalisés dans cette région. Seront précisés dans cette partie du mémoire, la morphologie, le niveau de mise en place du corps minéralisé ainsi que le niveau porteur de ces minéralisations par la corrélation minéralisation-formation hôte.

-Enfin, nous concluons dans le chapitre cinq par l'établissement des caractéristiques de ces minéralisations et des recommandations qui nous paraissent utiles pour les futures prospections dans la région d'étude.

Chapitre II

La cartographie géologique sera précisée pour localiser le niveau porteur de ces minéralisations et les méthodes de leur prospection. Un aperçu sur le cadre géologique sera évoqué.

1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE :

1.1. CADRE GEOGRAPHIQUE :

La région côtière Ténès - Cherchell se localise à une centaine de kilomètres environ à l'Ouest d'Alger (fig.01). Elle s'étend de l'Ouest à l'Est sur environ 120km et montre une largeur moyenne d'une dizaine de 10 kilomètres.

Cette région présente une topographie accidentée. Au niveau de Cherchell à l'Est, les altitudes passent de 90m (O. Arbaa) à 900m (Lemri). A l'Ouest, à Ténès le paysage est formé de collines.

De nombreux cours d'eau profonds entaillent ce relief engendrant ainsi des falaises abruptes.

Parmi ceux-ci figurent O. Arbaa, O. Azib et O.Messelmoun.

Le réseau routier se distingue par la RN 11 reliant Cherchell à l'Est et Ténès à l'Ouest.

Le climat est de type méditerranéen avec un hiver doux et pluvieux et un été chaud et sec.

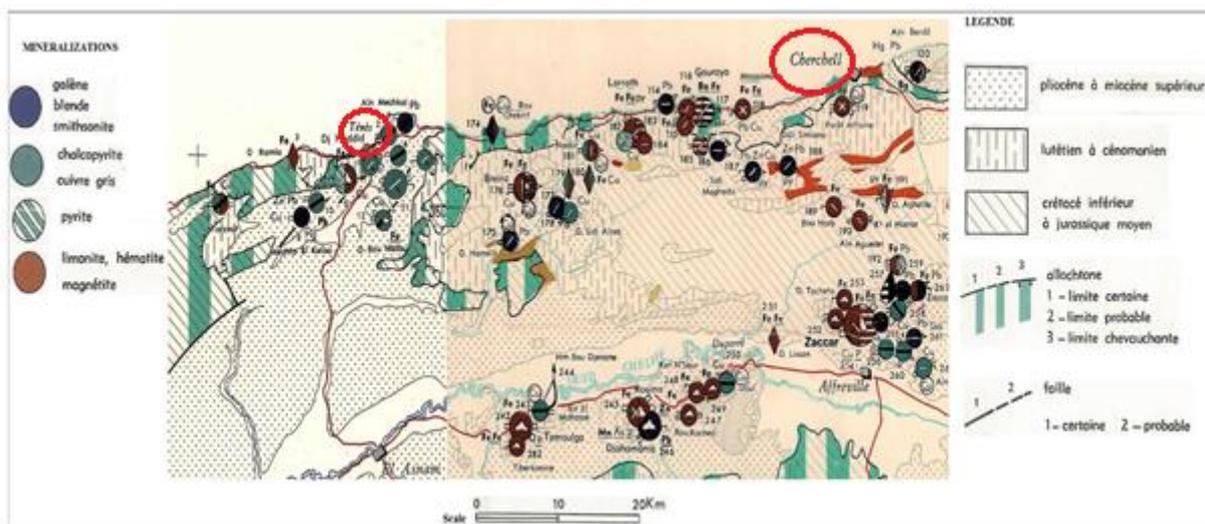


Figure 1 : Carte géographique Ténès-Cherchell.

1.2 CADRE GEOLOGIQUE :

Les données utilisées dans le cadre de ce travail (géologie, données analytiques) sont tirées des documents inédits de l'Office National de Recherche Géologique et minière ; ORGM. Nous remercions cette institution.

Dans la région Ténès-Cherchell se rencontrent les deux domaines structuraux, interne et externe des Maghrébides (fig.02.).

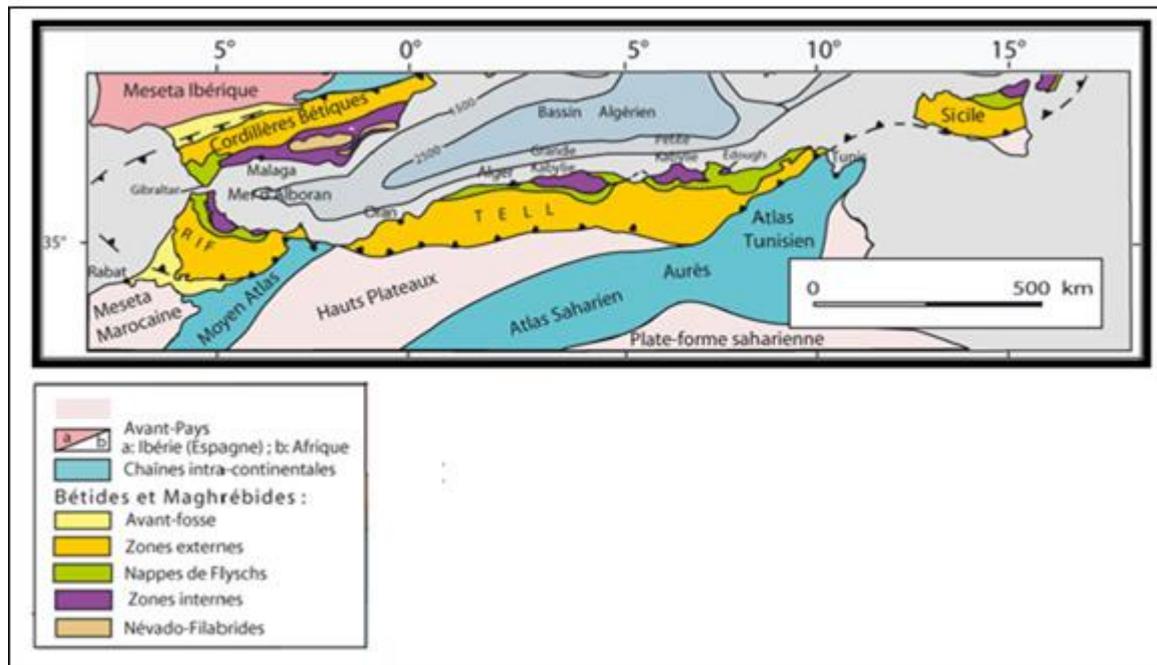


Figure 2 : carte de la chaîne des Maghrébides (ORGM).

Cette région se caractérise par la présence de terrains sédimentaires, magmatiques et métamorphiques en positions autochtone et allochtone. Cinq unités géologiques y sont observables (fig.03.). On distingue de la base au sommet la succession suivante :

1.2.1. Complexe autochtone :

Composé de flysch massylien d'âge (Valanginien-Albien) formé d'une alternance d'argilites, d'aleurolites, de grès et parfois de grès quartzitoïdes.

1.2.2. Trois unités allochtones :

Recouvrant en partie l'unité précédente et elles sont représentées par :

1.2.2.1. Nappe de dj. Bou Mâad :

Datée du Crétacé inférieur composée des nappes proprement dites formées de de flysch terrigéno-carbonatés, les olistolites de calcaires ainsi que les sédiments grés-argileux de l'assise olistostrome, visible dans la portion méridionale de la région.

Au Nord s'observent deux complexes superposés d'âge Eocènes (Yprésien) ;

1.2.2.2 Complexes inférieur :

Constitué de marnes, d'argilites en alternance avec des niveaux de calcaires et des marnes.

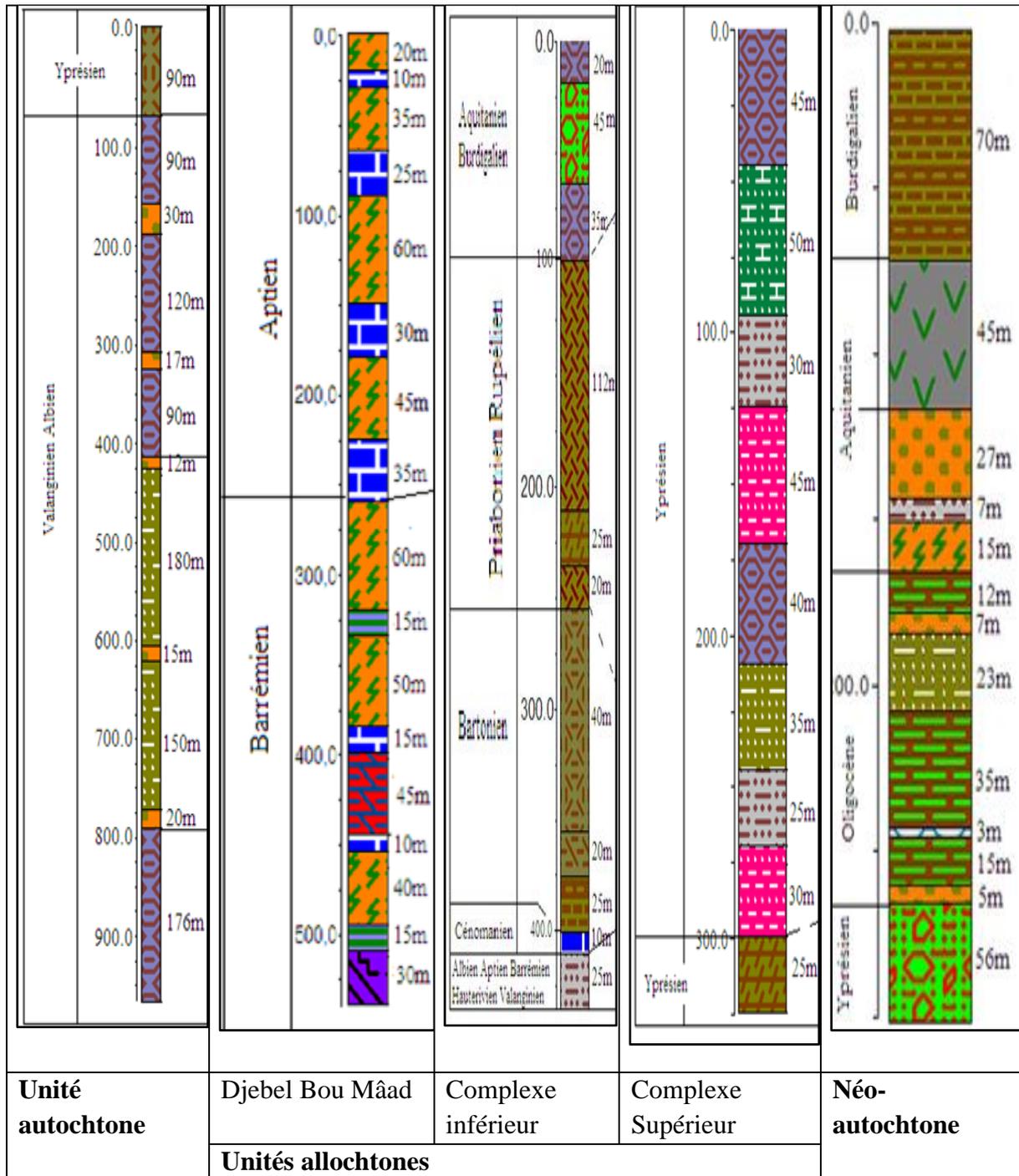
1.2.2.3. Complexes supérieurs :

Formé de flysch. Il montre une alternance d'argilites d'aleurolites et de grès par endroits en lentilles et blocs caractéristiques de grès du flysch guerrouche.

1.2.3 Complexe Néo-autochtone :

Représenté par des formations sédimentaires et volcaniques datées du Miocène.

Une coupe schématique synthétise les formations de cette région (fig.03).



	Argilites, grès à inclusions calcaires
	Argilites et grès
	Grès
	Argilites
	Argilites et aleurolites
	Argilites, grès à inclusions de conglomérats
	Conglomérats
	Argilites à inclusions gréseuses
	Calcaires
	Argilites et marnes
	Marnes
	Calcaires à silex
	Argilites, aleurolites et marnes
	Argilites schisteuses et marnes
	Argilites marneuses et marnes
	Argilites, aleurolites à inclusions gréseuses
	Argilites marneuses
	Argilites marneuses à inclusions calcaires
	Argilites, aleurolites et grès

Figure 3: Coupes synthétiques représentant les unités géologiques de la région d'étude

A. Coupes géologiques de Ténès :

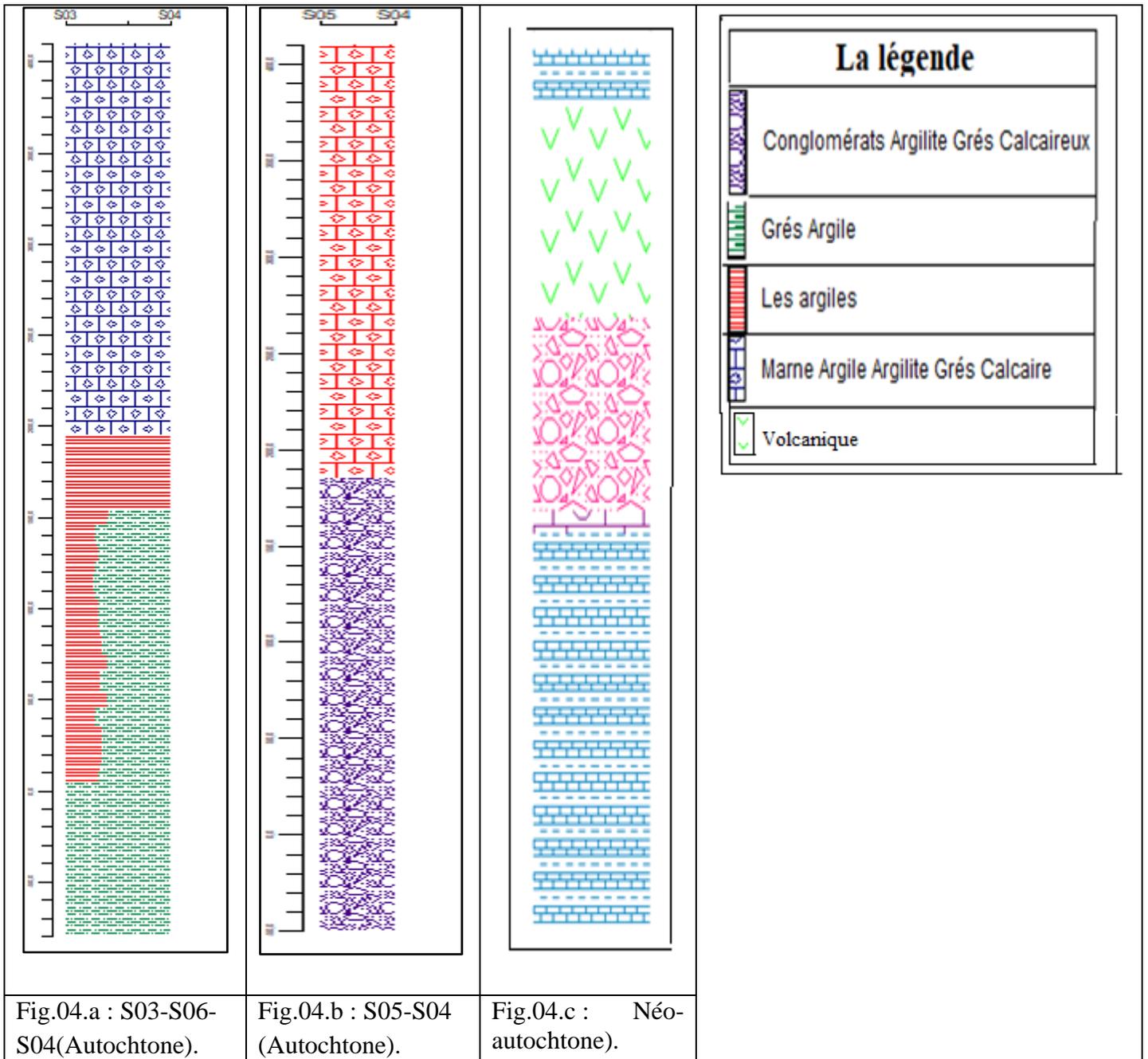


Figure 4 : Coupes géologique de Ténès .

B. Coupes géologiques de Cherchell :

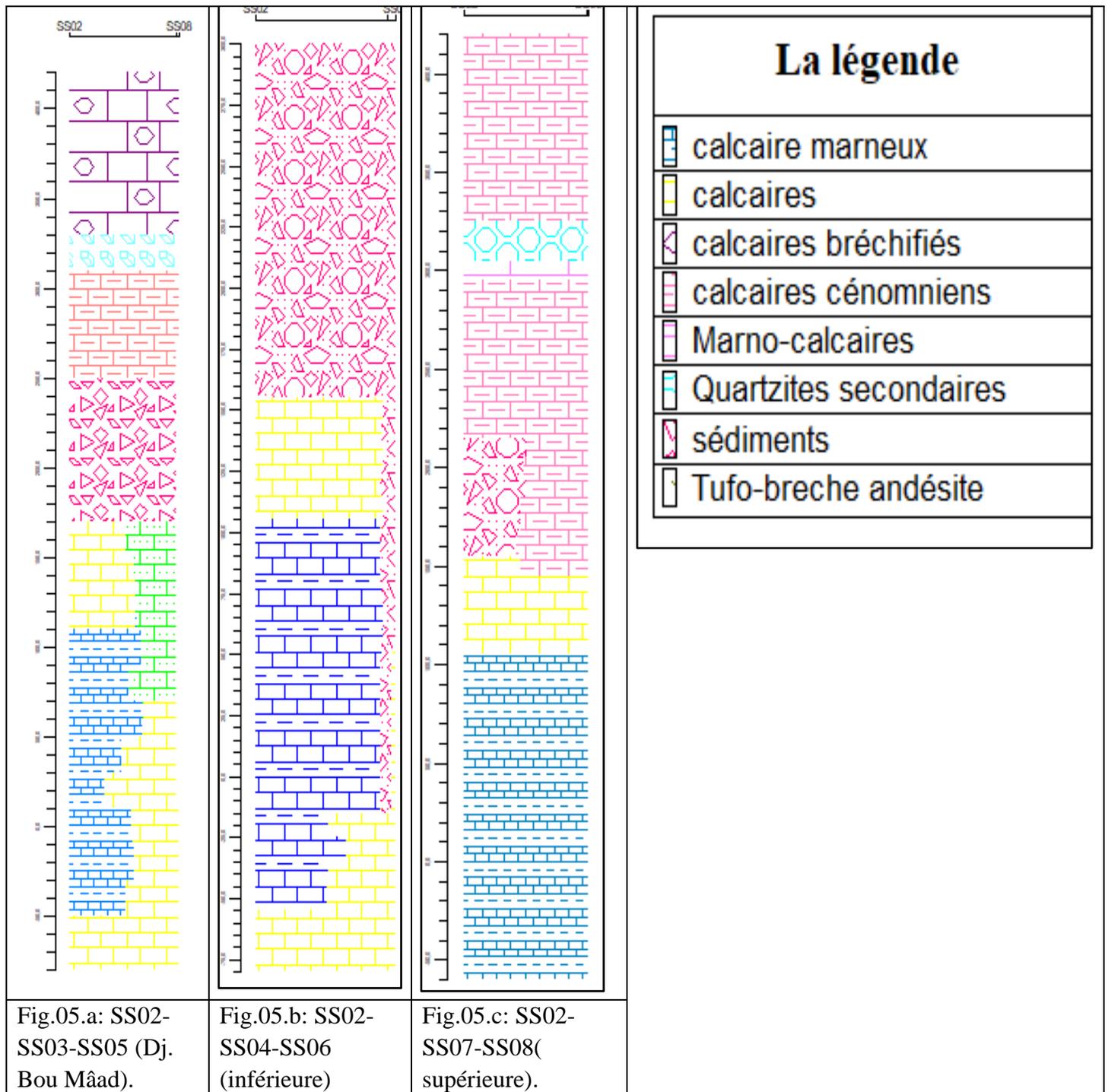


Figure 5: Coupes géologiques de Cherchell (Allochtone).

Chapitre III

Traitements statistiques et à une étude géostatistique des données analytiques disponibles obtenues des analyses des échantillons de roches.

Traitements statistiques et étude géostatistique :

1. Ténès :

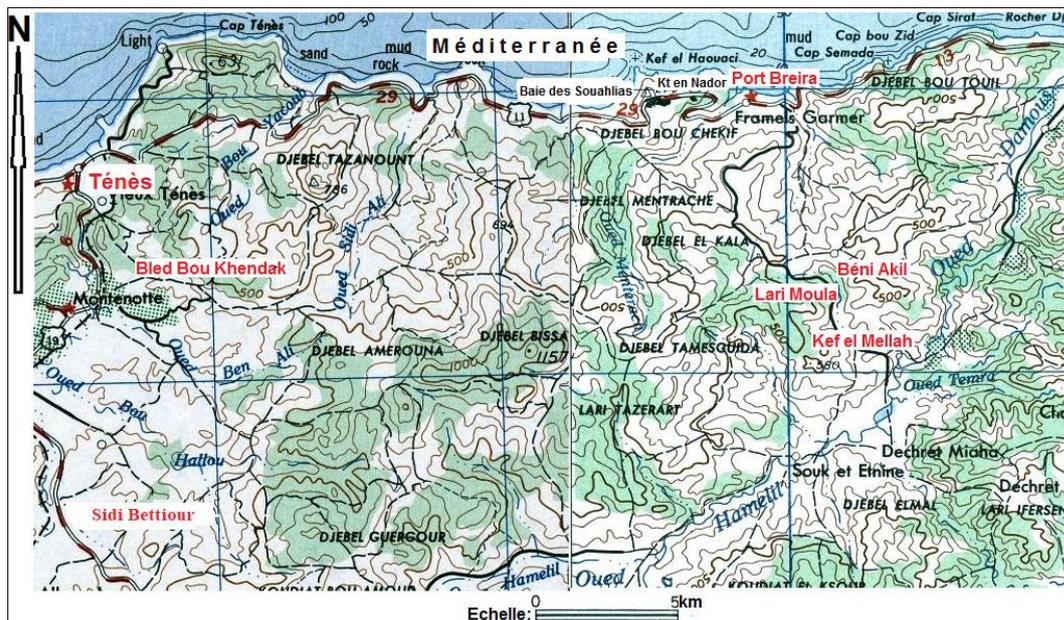


Figure 6 : Carte de Sidi Bettiour et Boukhendak.

1.1. Secteur Sidi Bettiour :

Traitements statistiques :

Les données analytiques ont été traitées par des méthodes statistiques. Les résultats sont consignés dans le tableau (Tab.01). Celui-ci montre, pour les deux variables les paramètres suivants :

Moyenne \neq Médiane \neq Mode ;

-une forte dispersion mise en évidence par un large intervalle de variation (min-max) et un fort coefficient de variation ;

-un skewness \neq 0

Ces paramètres indiquent que les distributions des teneurs pour les deux éléments (Cu-Ag) n’obéissent pas à la loi normale. Des valeurs extrêmes sont à l’origine des distributions anormales et elles peuvent être attribuées à la présence de la minéralisation ou à des altérations hydrothermales.

Tableau 1 : Statistiques descriptives.

Variable	N	Mean	Médian	Mode	Fréquence de Mode	Min	Max	Std.Dev.	Coef.Var.	Skewness
Cu%	165	1,9361	1,0300	3,250000	10	0,00500	15,180	2,2458	115,99	2,237294
Ag g/t	76	269,4605	112,0000	112,5000	12	10,00000	2500,000	517,3176	191,98	3,195938

Les mêmes observations sont obtenues sur les histogrammes de distributions des deux variables (Cu-Ag) (Fig.07). Ceux-ci montrent des distributions log normal.

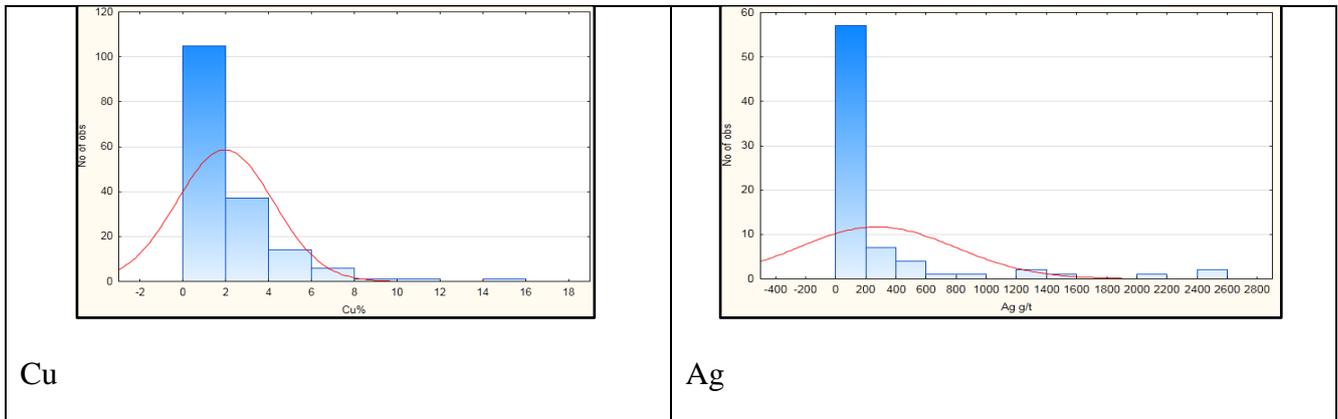


Figure 7 : Distribution log normal pour les deux variables (Cu et Ag)

La conversion en logarithme des teneurs (LnCu et LnAg) confirme une distribution log normal (Tab.02).

Moyenne proche de la Médiane ;

-une plus faible dispersion observable sur l'intervalle de variation des valeurs

-un skewness proche de zero (0).

Tableau 2 : Statistiques descriptives.

Variable	N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Min	Max	Std.Dev.	Coef.Var.	Skewness
LnCu	165	-0,1128	0,0296	1,178655	10	-5,29832	2,720	1,4639	-1297,30	-0,720686
LnAg	76	4,5291	4,7185	4,722953	12	2,30259	7,824	1,4229	31,42	90,366408

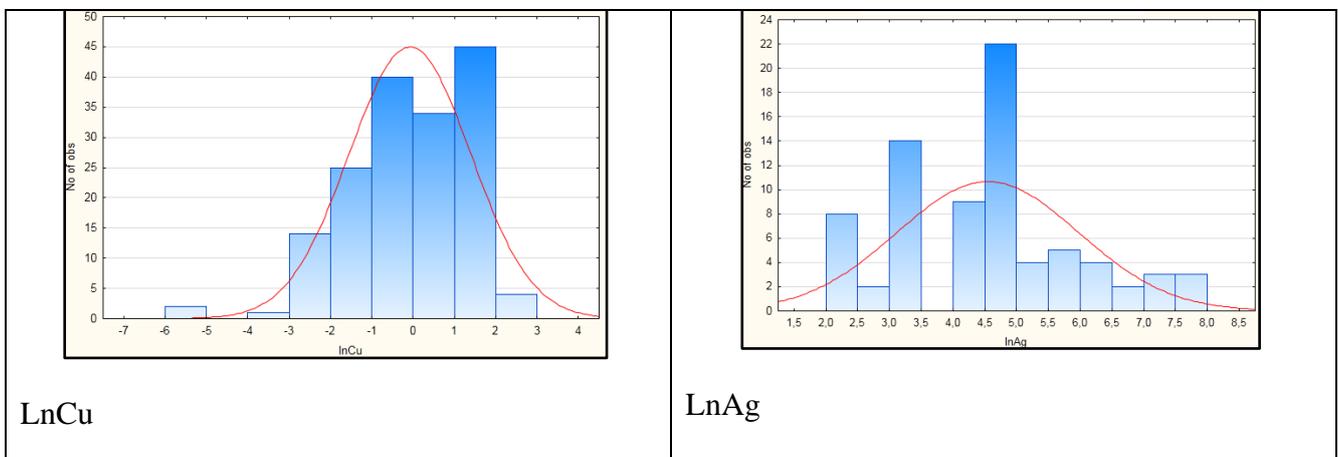


Figure 8: Histogrammes de distribution des fréquences des teneurs des deux variables.

Les histogrammes montrent une distribution bimodale pour Cu et multimodale pour Ag (fig.08). Ceux-ci indiquent pour Cu deux populations. L'une représente la teneur normale associée à la roche l'autre à la minéralisation qui lui est superposée.

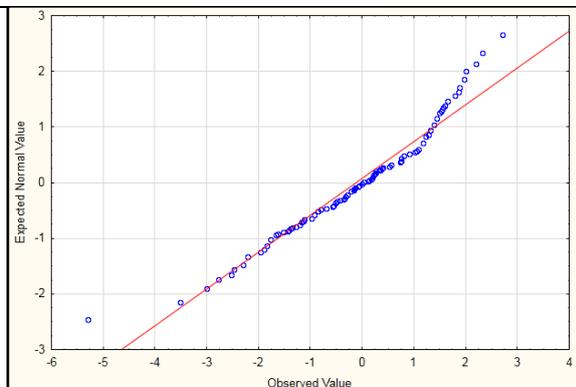


Fig.09.a: Diagramme des probabilités selon la loi normale (lnCu)

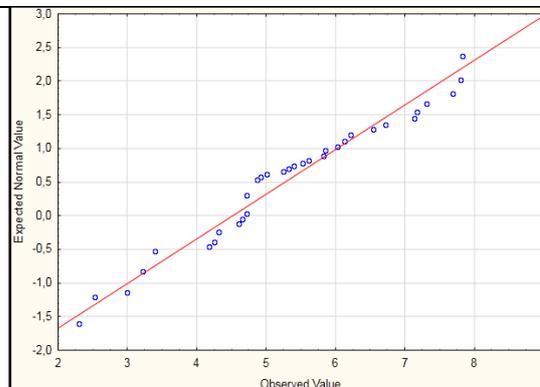


Fig.09.b: Diagramme des probabilités selon la loi normale lnAg

Figure 9 : Diagrammes des probabilités selon la loi normale.

Les diagrammes des probabilités selon la loi normale (fig.09.a-b.) montrent pour les deux variables que les valeurs (observées et estimées) des teneurs ne sont pas alignées sur la droite de corrélation. Ce test selon la loi normale confirme le résultat obtenu plus haut pour la présence de deux populations pour Cu et cinq pour Ag dont une est probablement liée à Cu.

Analyse bivariée :

Tableau 3: Corrélations.

Variable	Cu%	Ag g/t
Cu%	1,000000	0,488956
Ag g/t	0,488956	1,000000

Une faible corrélation (<0.5) est observée entre Cu et Ag (Tab.03). Celle-ci peut indiquer que Ag est probablement non associé à Cu et qu'il se présente à l'état natif. Notons que dans le secteur Sidi Bettour, le cuivre se présente sous forme de chalcopryrite.

La Variable Argent (Ag) :

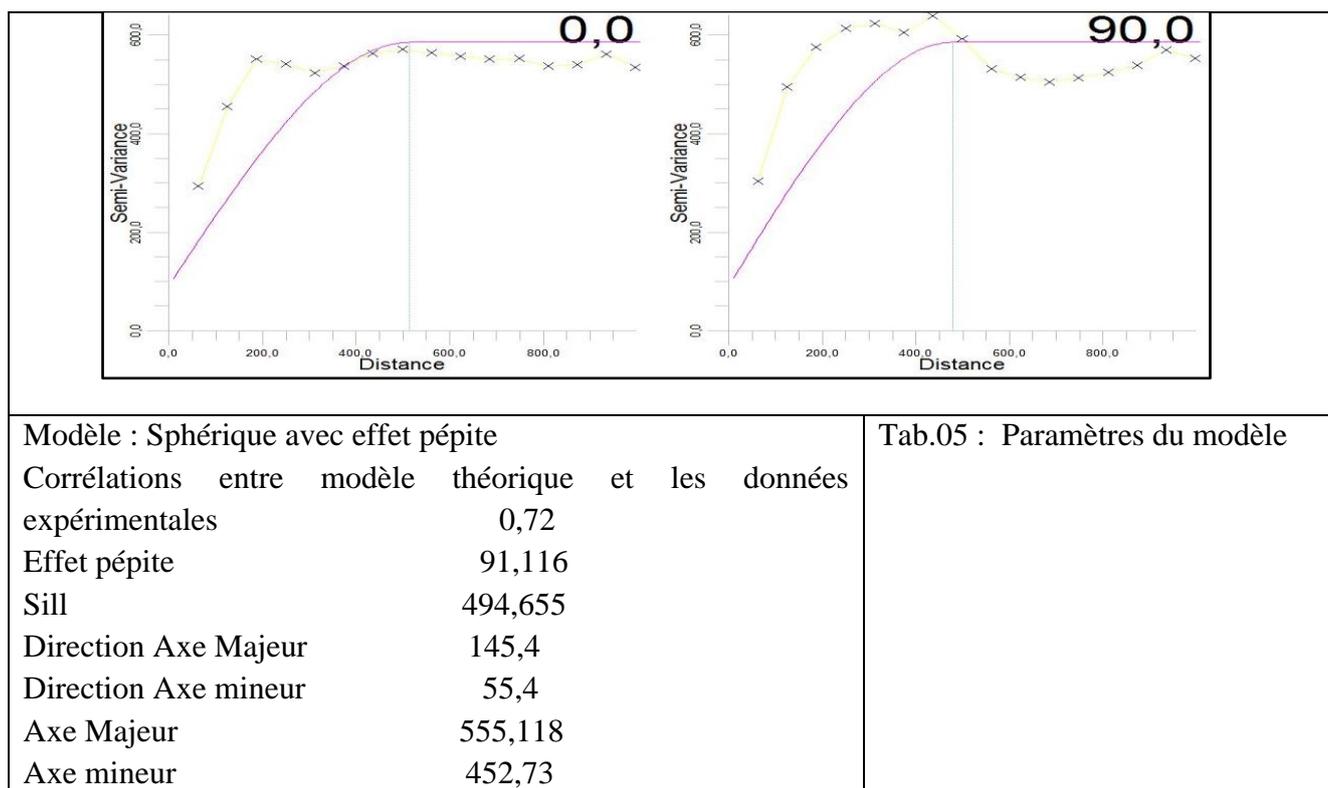


Figure 11: Variogramme expérimental et modèle pour Ag pour les directions NS et WE

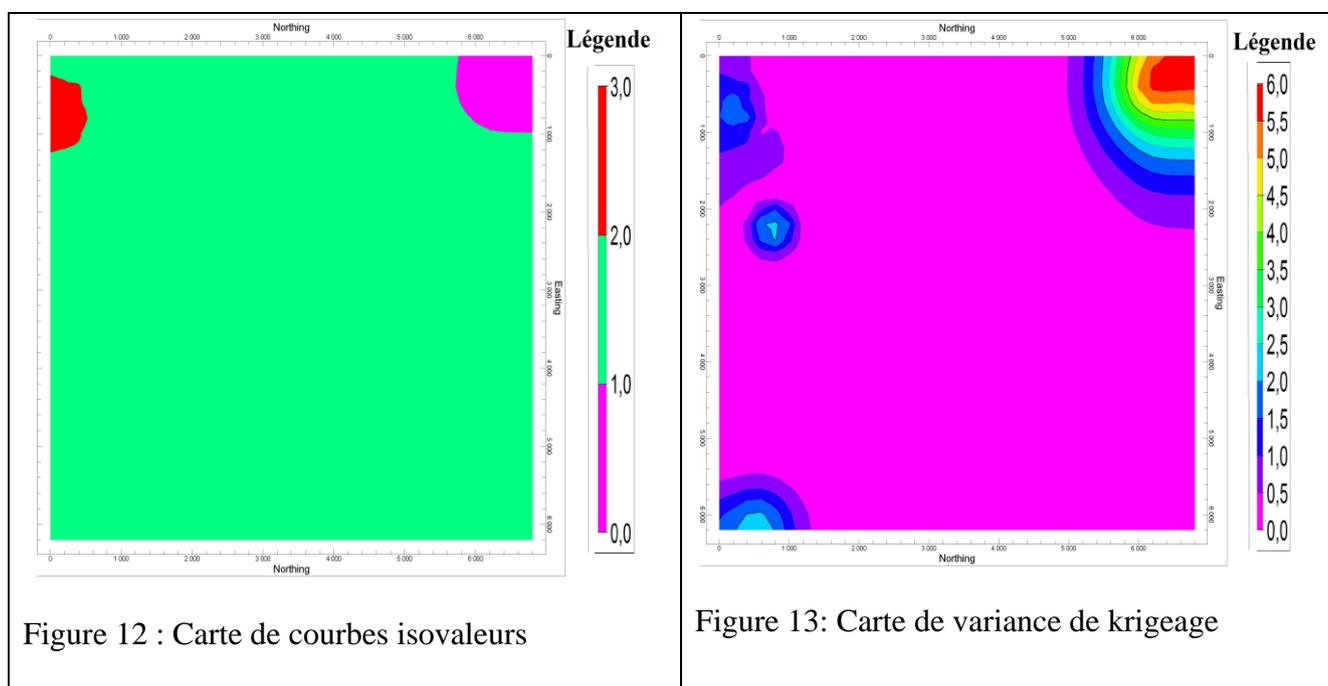
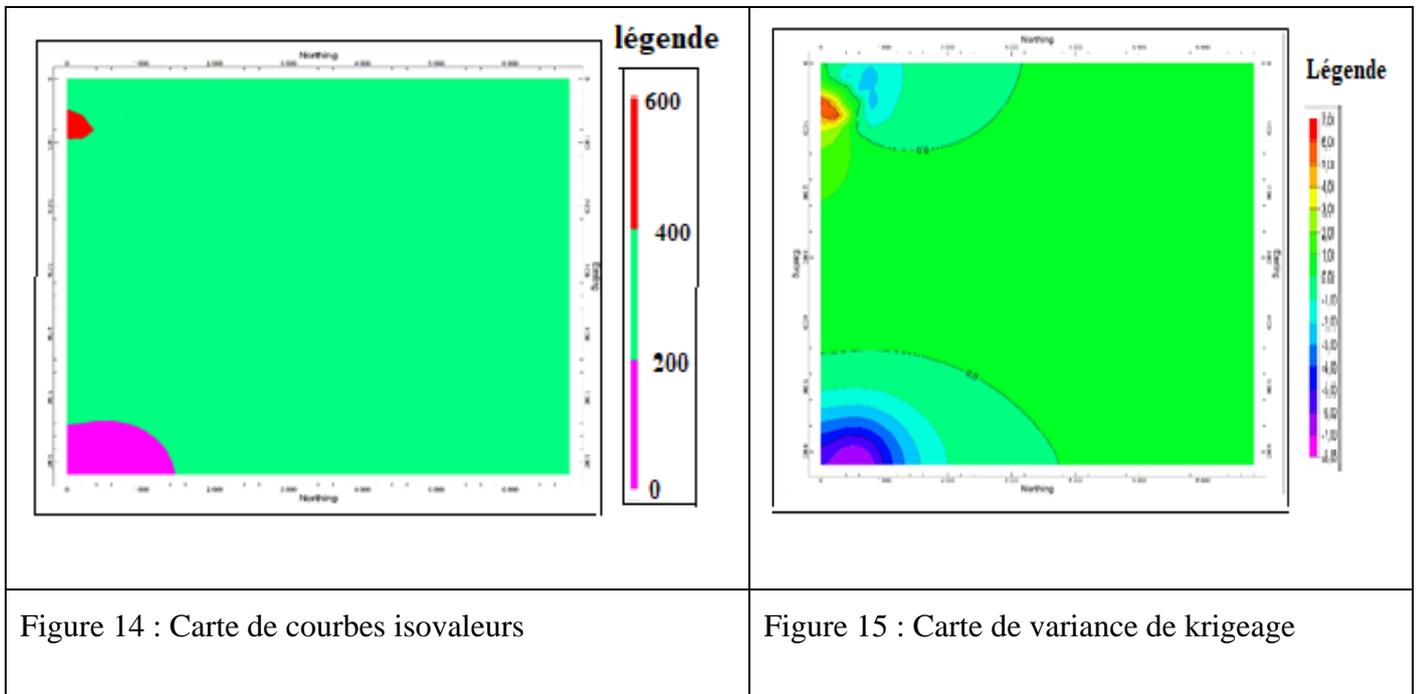


Figure 12 : Carte de courbes isovaleurs

Figure 13: Carte de variance de krigeage

La carte de courbes isovaleurs de Cu (fig.12) montre trois zones. La zone rouge représente des teneurs qui varient de 2 à 3%, la zone verte entre 1 et 2% et la zone violette représente des concentrations plus faibles < 1%.

La carte de variance de krigeage (fig.13) montre clairement que les zones à faible contenu représentent les zones avec une forte variance de krigeage où l'erreur d'estimation est importante.



La carte de courbes isovaleurs de Ag (fig.14) montre trois zones. La zone rouge représente des teneurs qui varient de 400 à 600%, la zone verte entre 200 et 300% et la zone violette représente des concentrations plus faibles < 200%.

La carte de variance de krigeage (fig.15) montre clairement que les zones à faible contenu représentent les zones avec une forte variance de krigeage où l'erreur d'estimation est importante.

1.2. Secteur Boukhendak :

Traitements statistiques :

Les données analytiques ont été traitées par des méthodes statistiques. Les résultats sont consignés dans le tableau (Tab.06). Celui-ci montre, pour les deux variables les paramètres suivants :

Moyenne \neq Médiane \neq Médiane ;

-une forte dispersion mise en évidence par un large intervalle de variation (min-max) et un fort coefficient de variation ;

-un skewness \neq 0

Ces paramètres indiquent que les distributions des teneurs pour les deux éléments n’obéissent pas à la loi normale. Des valeurs extrêmes sont à l’origine des distributions anormales et elles peuvent être attribuées à la présence de la minéralisation ou à des altérations hydrothermales.

Tableau 4 : Descriptive Statistique.

	N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Min	Max	Std.Dev.	Coef.Var.	Skewness
Cu %	57	1,11196	0,50000	1,000000	7	0,00500	25,00000	3,352314	301,477	6,734364
Ag g/t	11	14,70909	10,00000	10,00000	8	10,00000	30,00000	8,338520	56,690	1,406397

Les mêmes observations sont obtenues sur les histogrammes de distributions des deux variables (Cu-Ag) (Fig.16). Ceux-ci montrent des distributions log normal.

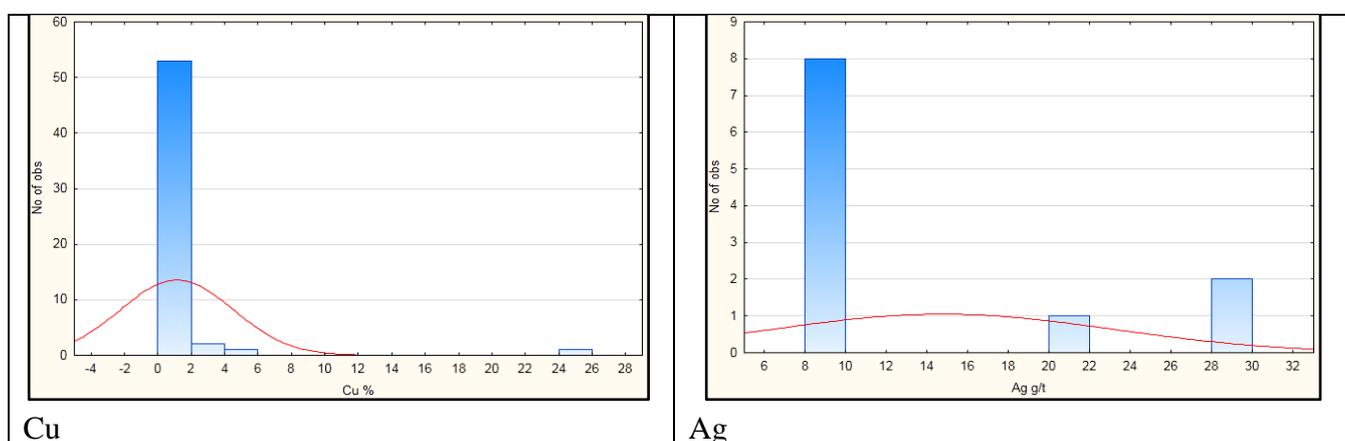


Figure 16: Distribution log normal pour les deux variables (Cu et Ag).

La conversion en logarithme des teneurs (lnCu et lnAg) confirme une distribution log normal.

Moyenne proche de la Médiane ;

-une plus faible dispersion observable sur l’intervalle de variation des valeurs

-un skewness proche de zero (0).

Remarque :

Le faible nombre des échantillon d’Argent (Ag) n’autorise pas un traitement statistique (Tab.07).

Tableau 5 : Statistiques descriptives.

	N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Min	Max	Std.Dev.	Coef.Var.	Skewness
--	---	------	--------	------	-------------------	-----	-----	----------	-----------	----------

LnCu	57	-1,36245	-0,69315	0,000000	7	-5,29832	3,21888	1,971506	-144,703	-0,556252
LnAg	11	2,57318	2,30259	2,302585	8	2,30259	3,40120	0,470723	18,293	1,298998

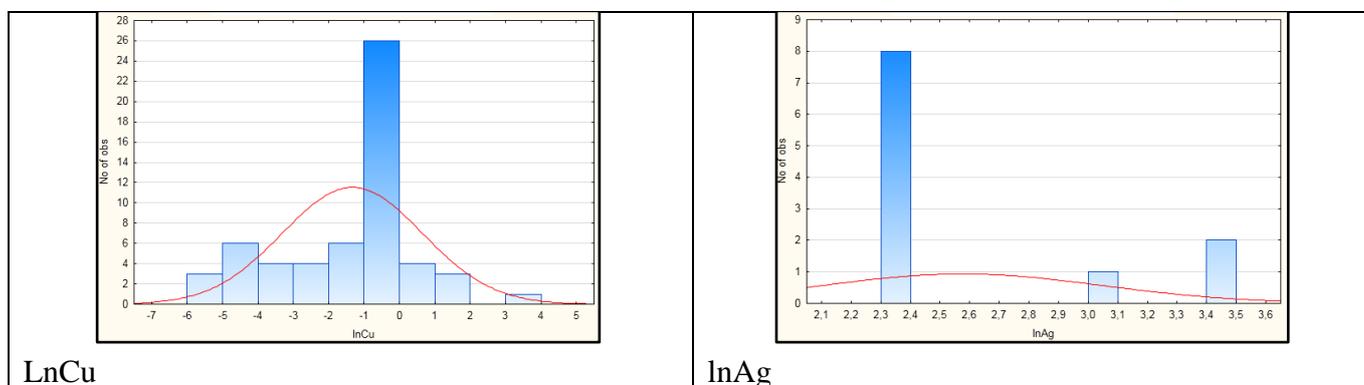


Figure 17 : Histogrammes de distribution des fréquences des teneurs des deux variables.

Les histogrammes (fig.17) montrent une distribution bimodale pour Cu et multimodale pour Ag. Ceux-ci indiquent pour Cu deux populations. L'une représente la teneur normale associée à la roche l'autre à la minéralisation qui lui est superposée.

Les diagrammes des probabilités selon la loi normale (fig.18) montrent pour les deux variables que les valeurs (observées et estimées) des teneurs ne sont pas alignées sur la droite de corrélation.

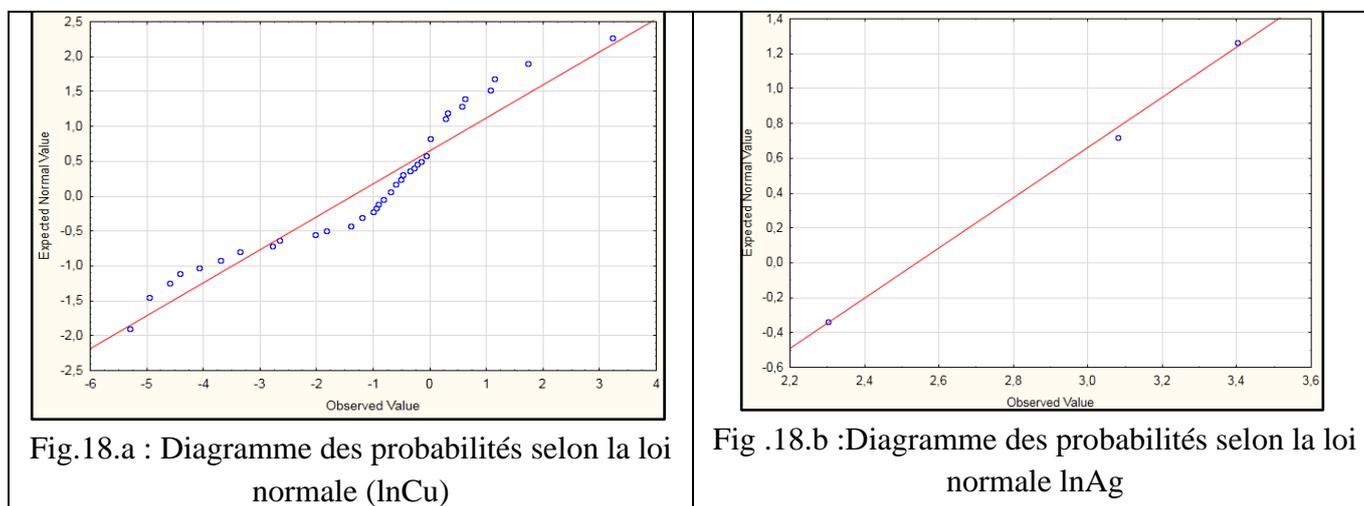


Figure 18: Diagrammes des probabilités selon la loi normale.

Ce test selon la loi normale confirme le résultat obtenu plus haut pour la présence de deux populations pour Cu et cinq pour Ag dont une est probablement liée à Cu.

Analyse bivariée :

Tableau 6 : Corrélations (Cu-Ag).

Variable	Cu %	Ag g/t
Cu %	1,000000	0,718936
Ag g/t	0,718936	1,000000

Une faible corrélation (<1) est observée entre Cu et Ag (Tab.08). Celle-ci peut indiquer que Ag est probablement non associé à Cu et qu'il se présente à l'état natif. Notons que dans le secteur Boukhendak, le cuivre se présente sous forme de chalcopyrrite.

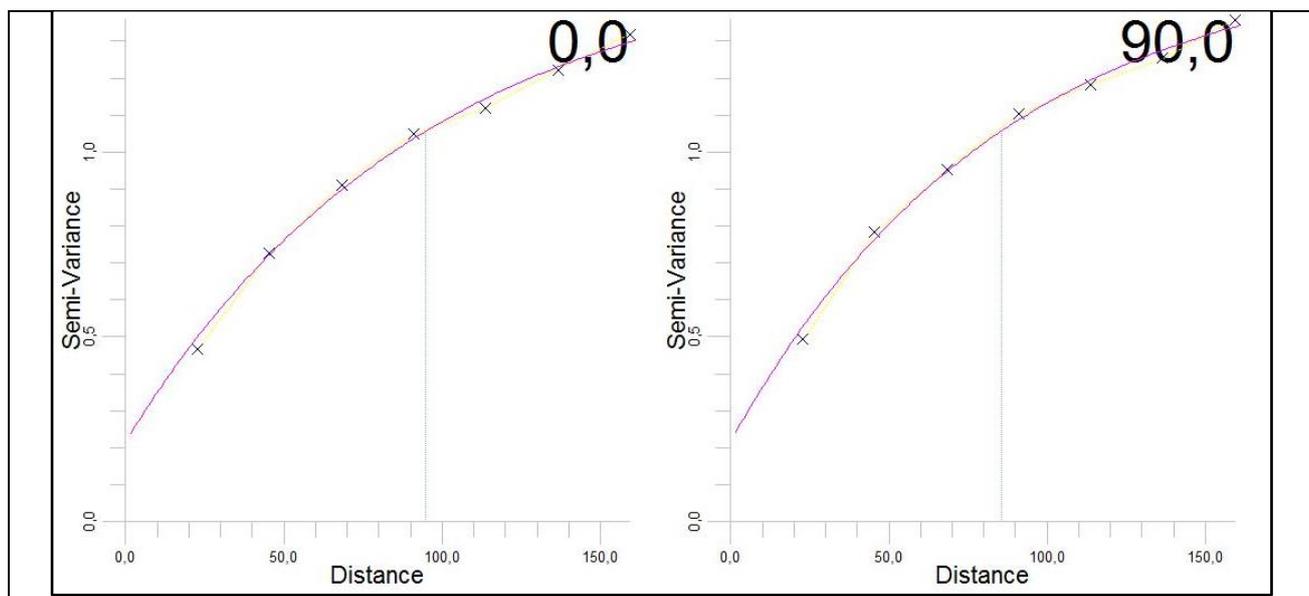
Etude géostatistique :

L'étude géostatistique des valeurs de teneurs des deux variables (Variographie et Krigeage) permet une estimation, prédiction et une cartographie des contenus dans des endroits non échantillonnés (Andriotti 1993). Le variogramme est l'outil utilisé.

Les figures (fig.19 et Fig.20) et les tableaux (Tab.09 et Tab.10) montrent les variogrammes expérimentaux respectivement pour Cu et Ag ajustés sur des modèles théoriques suivant les directions N-S et W-E

La variable Cu (fig.19) montre une structure exponentielle avec effet pépité et Ag (fig.20) un modèle sphérique avec effet pépité. Ces modèles fournissent des informations sur la structure de la variabilité de l'espace et les paramètres pour la prédiction spatiale par interpolation de krigeage.

La variable cuivre (Cu) :



<p>Modèle : Exponentiel avec effet pépité Corrélation entre modèle théorique et les données expérimentales 1,0 Effet pépité 0,216 Sill 1,329 Direction Axe Majeur 146,3 Direction Axe mineur 56,3 Axe Majeur 105,062 Axe mineur 79,705</p>	<p>Tableau 7: Paramètres du modèle</p>
---	--

Figure 19 : Variogrammes expérimental et modèle pour Ag pour les directions NS et WE.

La variable Argent (Ag) :

<p>Modèle : Exponentiel avec effet pépité Corrélation entre modèle théorique et les données expérimentales 0,98 Effet pépité 0,0 Sill 8,322 Direction Axe Majeur 160,5 Direction Axe mineur 70,5 Axe Majeur 64,403 Axe mineur 51,825</p>	<p>Tableau 8: Paramètres du modèle</p>

Figure 20 : Variogramme expérimental et modèle pour Ag pour les directions N-S et W-E

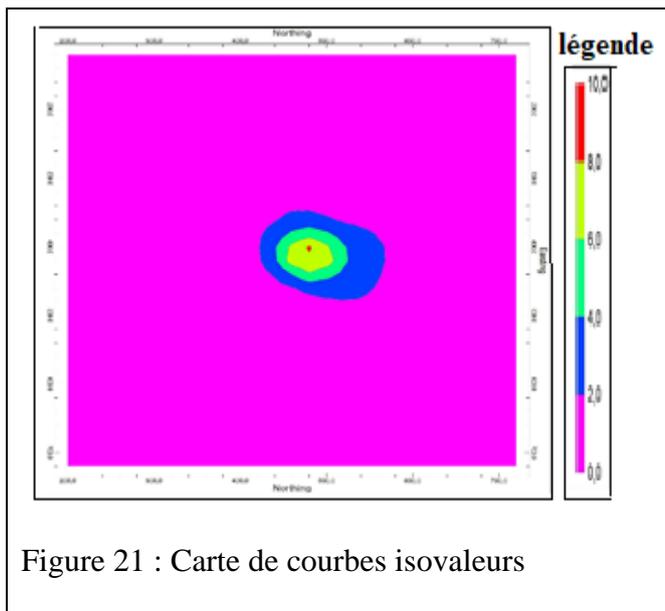


Figure 21 : Carte de courbes isovaleurs

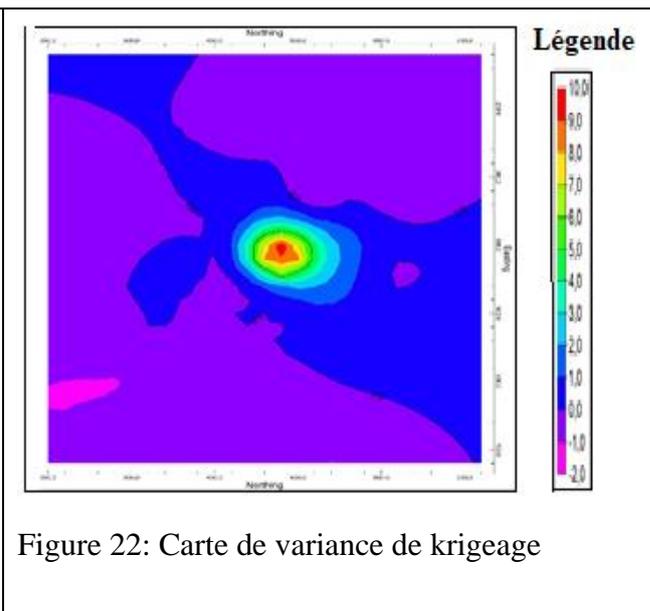


Figure 22: Carte de variance de krigeage

La carte de courbes isovaleurs de Cu (fig.21) montre cinq zones. La zone rouge représente des teneurs qui varient de 2 à 4%, la zone verte entre 1 et 6%, la zone violette représente des concentrations plus faibles < 10% et la zone bleue de 4 et 8 % et la zone jaune de 2 et 4 %.

La carte de variance de krigeage (fig.22) montre clairement que les zones à faible contenu représentent les zones avec une forte variance de krigeage où l'erreur d'estimation est importante.

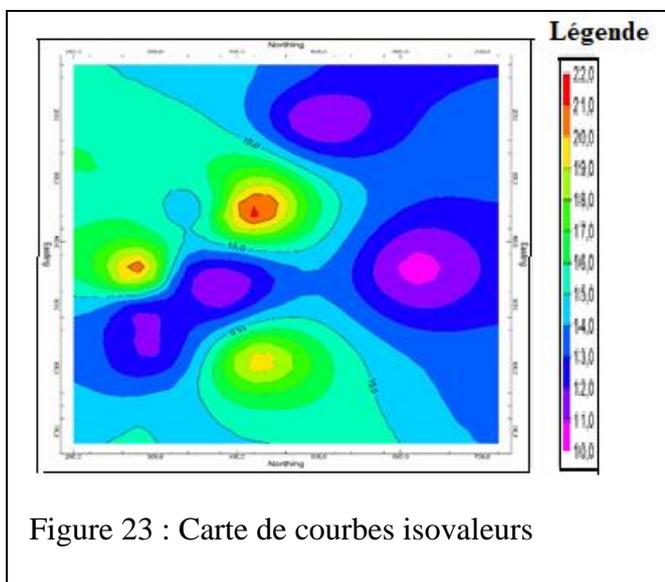


Figure 23 : Carte de courbes isovaleurs

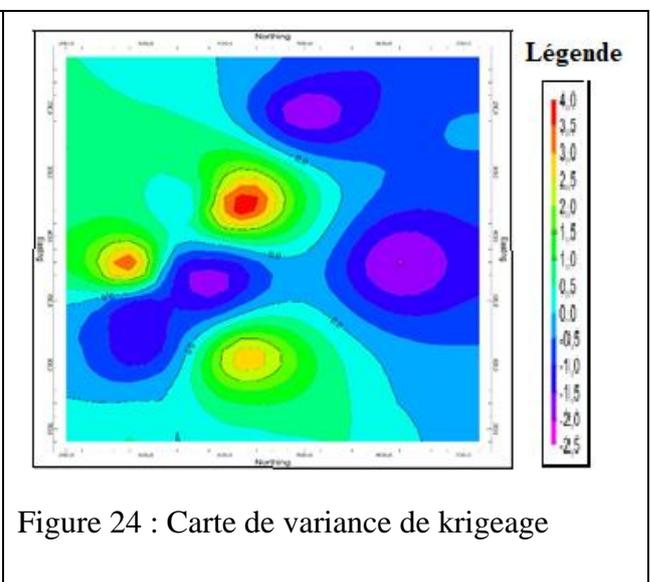


Figure 24 : Carte de variance de krigeage

La carte de courbes isovaleurs de Ag (fig.23) montre trois zones. La zone rouge représente des teneurs qui varient de 10 à 16%, la zone verte entre 12 et 18% et la zone violette représente des concentrations plus faibles < 22%.

La carte de variance de krigeage (fig.24) montre clairement que les zones à faible contenu représentent les zones avec une forte variance de krigeage où l'erreur d'estimation est importante.

Chapitre IV

Les résultats obtenus par les forages réalisés dans cette région, la formation hôte de la minéralisation ainsi que lamorphologie et le niveau de mise en place du corps minéralisé.

I. Résultats des travaux de forage :

Introduction :

Les travaux de forages consistent en l'implantation de sept points de sondages dans la région Cherchell et sept points de sondages à Ténès. Ces sondages ont recoupé une minéralisation à teneurs faibles sans paramètres économiques. Toutefois ces forages ont montré que cette minéralisation est encaissée dans toutes les formations géologiques observées dans la région d'étude et notamment dans les calcaires cénomaniens visibles à la base de l'assise olistostrome inférieure.

Les coupes ci-dessous ont permis de mettre en évidence l'importance de cette minéralisation et son affinité envers les calcaires cénomaniens par rapport aux formations de la coupe observée dans cette région Cherchell.

1.1 Ténès :

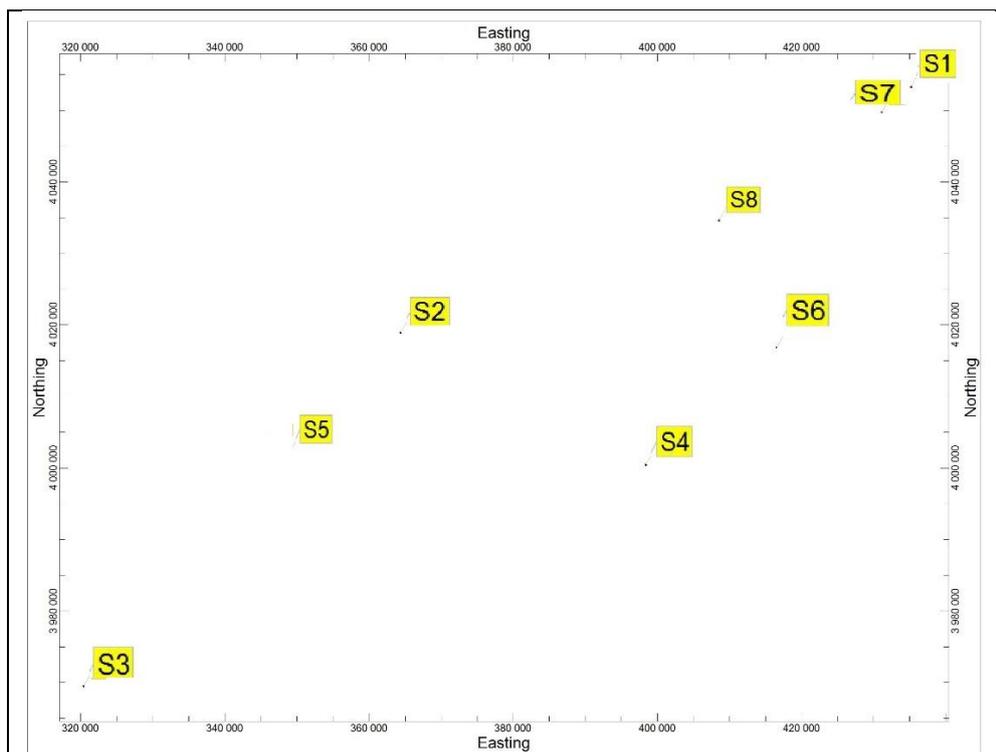


Figure 25: Plan de localisation des forages.

1.1.1. Répartition de la minéralisation en profondeur :

Diverses morphologies des corps minéralisés sont distinguées. Les figures (fig.26) et (fig.27) rendent compte des types stratiformes, lentilles ou amas, veinules indiquant que ces minéralisations sont contrôlées par un facteur tectonique et qu'elles présentent une affinité pour certaines formations géologiques tels le calcaire cénomaniens visible à la base de la nappe olistostrome inférieure.

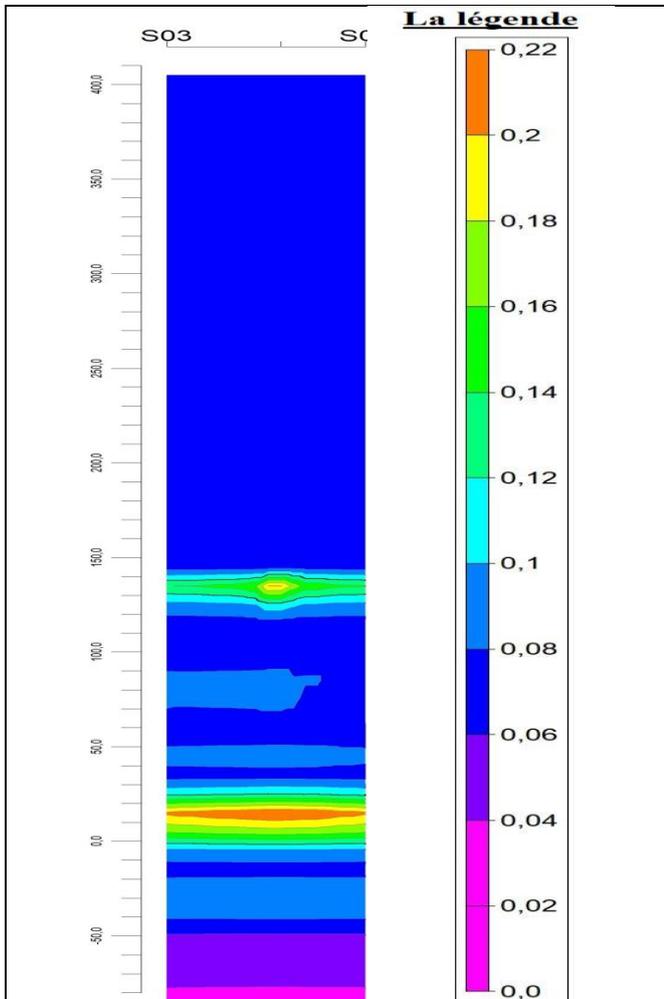


Fig.26.a : Répartition de la minéralisation Ag (Stratiforme ou Lentille, voire le centre enflé et les bordures rétrécies).

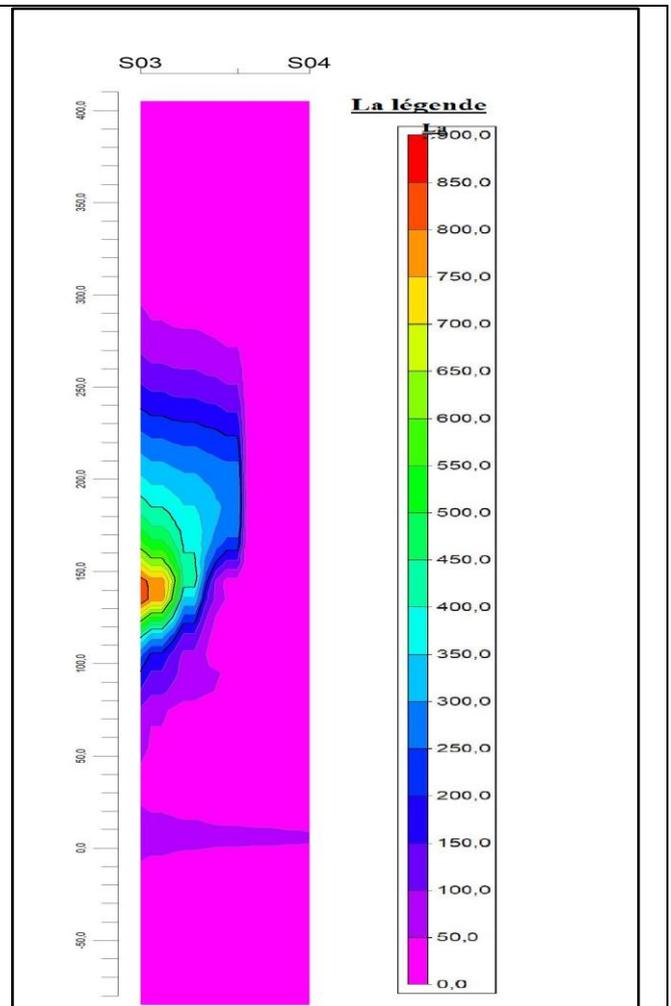


Fig.26.b : Répartition de la minéralisation Cu (Lentilles ou Amas).

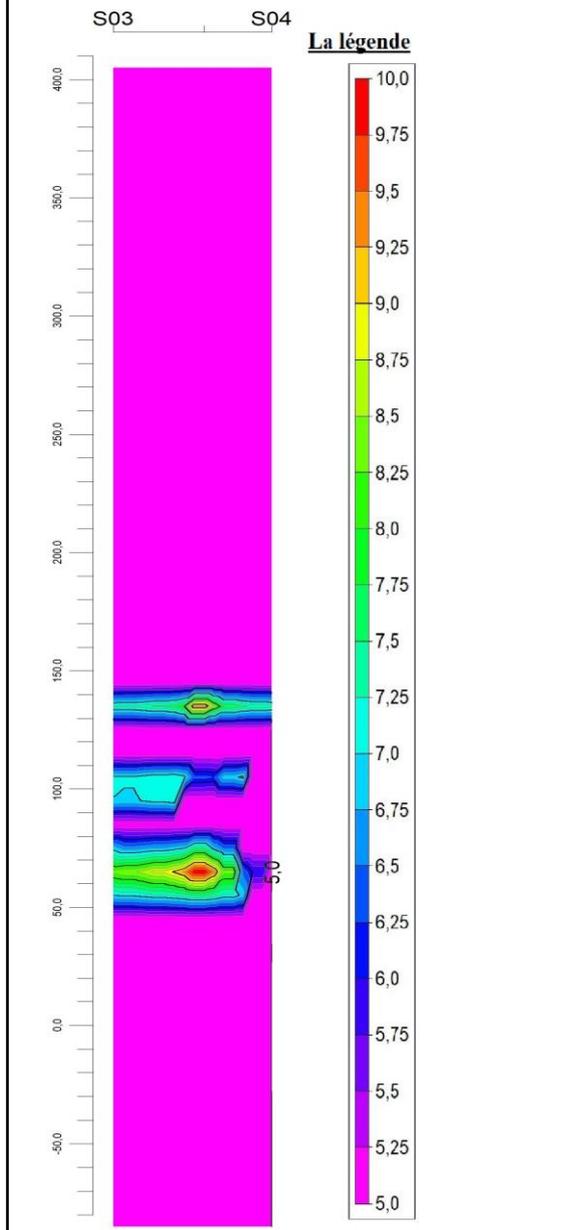


Fig.26.c : Répartition de la minéralisation (Lentilles).

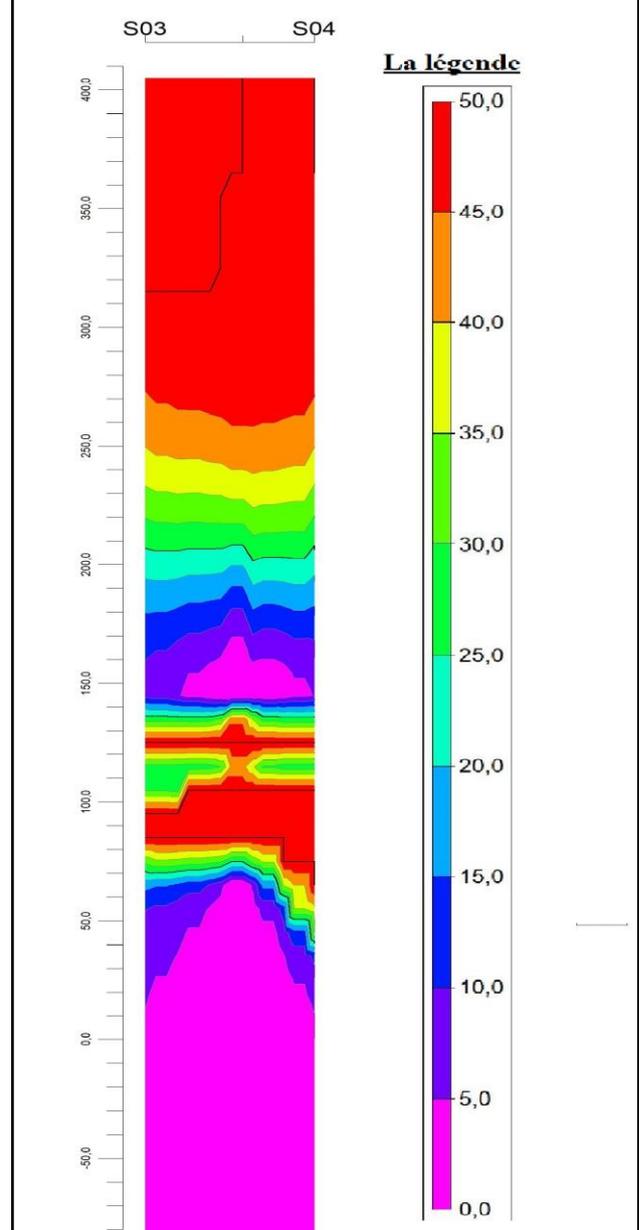


Fig. 26.d : Répartition de la minéralisation Zn (Veinules).

Figure 26 : Répartition de la minéralisation en profondeur S03-S06-S04.

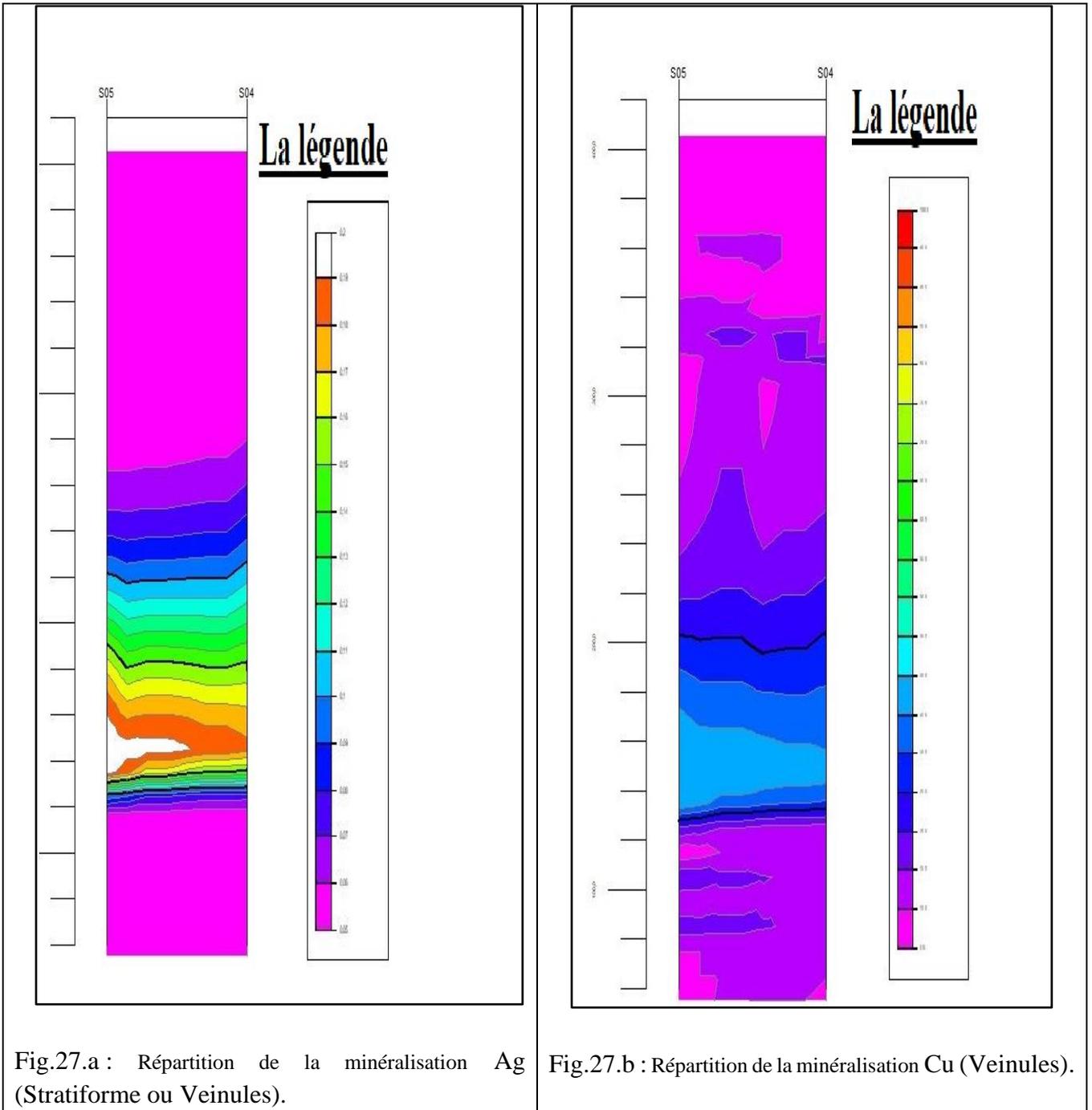


Fig.27.a : Répartition de la minéralisation Ag (Stratiforme ou Veinules).

Fig.27.b : Répartition de la minéralisation Cu (Veinules).

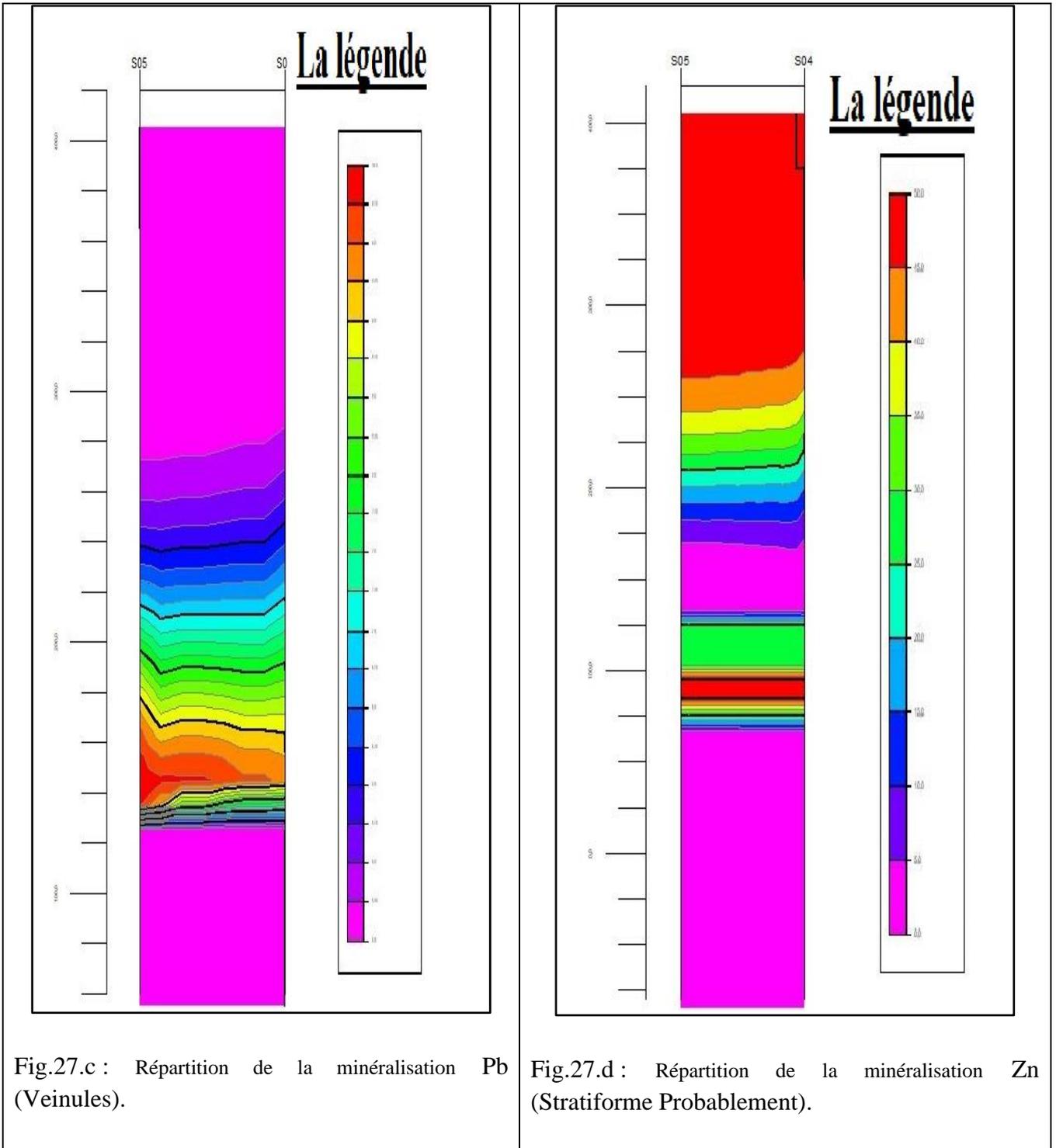


Fig.27.c : Répartition de la minéralisation Pb (Veinules).

Fig.27.d : Répartition de la minéralisation Zn (Stratiforme Probablement).

Figure 27: Répartition de la minéralisation en profondeur S05-S04.

1.1.2. Modèles des corps minéralisés (typologie) :

Les modèles calculés confirment les typologies ci-dessus, Stratiforme ou veinules pour Ag, lentilles ou amas pour cuivre, veinules pour Pb.

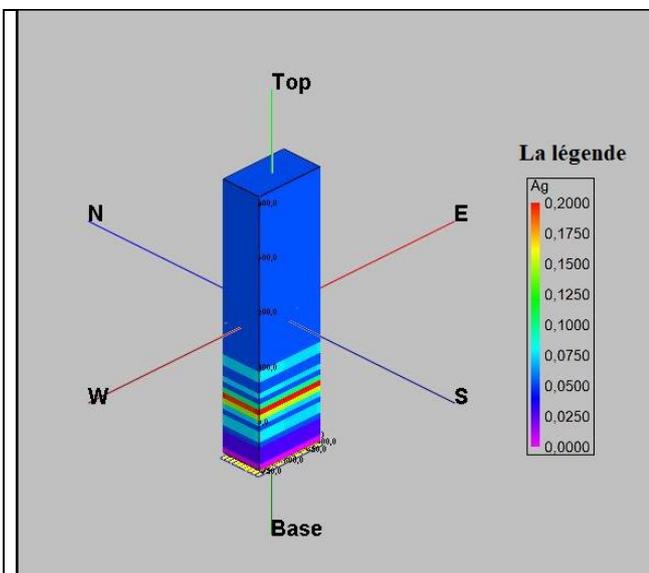


Fig.28.a : Modèle Ag (Stratiforme).

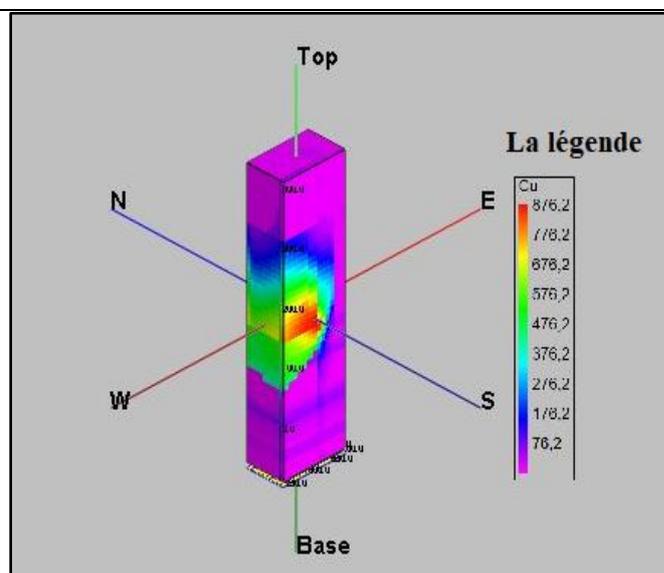


Fig.28.b : Modèle Cu (Amas ou Lentille).

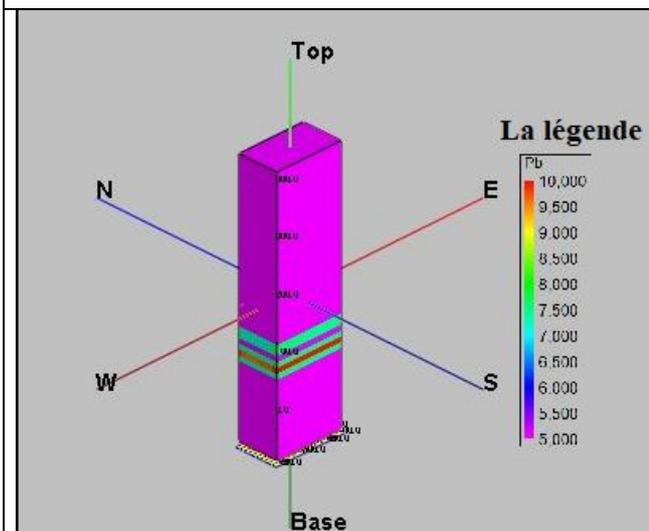


Fig.28.c: Modèle Pb (Stratiforme).

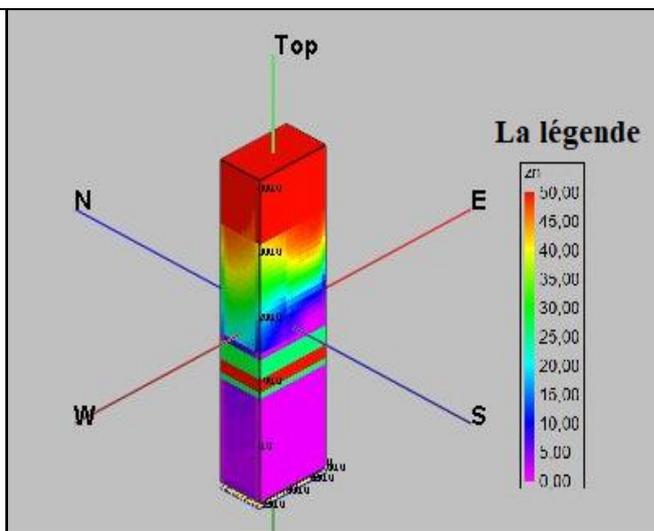


Fig.28.d: Modèle Zn (Stratiforme ou Veinules).

Figure 28 : Modèles des minéralisations.

1.2. Cherchell :

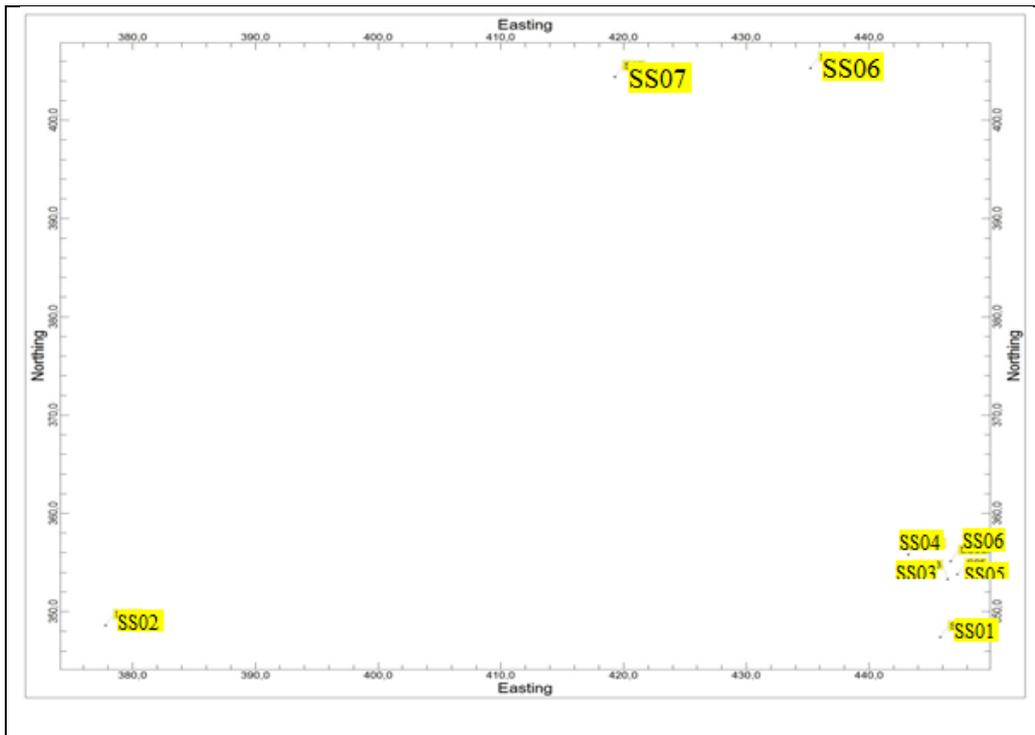


Figure 29 : Plan de localisation des forages

1.2.1. Répartition de la minéralisation en profondeur :

Diverses morphologies des corps minéralisés sont distinguées. Les figures (fig.30) et (fig.31), (Fig.32) rendent compte des types stratiformes, lentilles ou amas, veinules indiquant que ces minéralisations sont contrôlées par un facteur tectonique et qu'elles présentent une affinité pour certaines formations géologiques tels le calcaire cénomanien visible à la base de la nappe olistostrome inférieure.

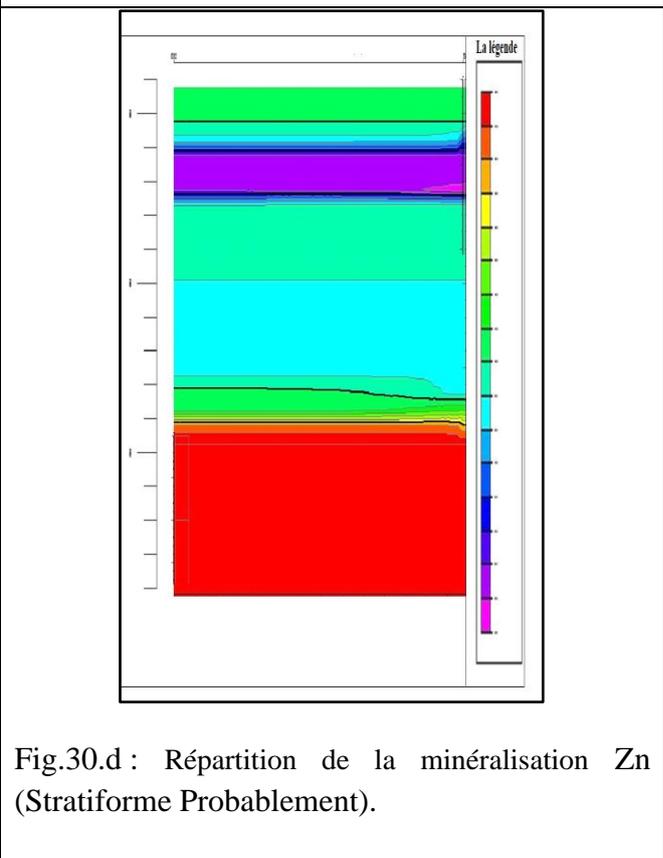
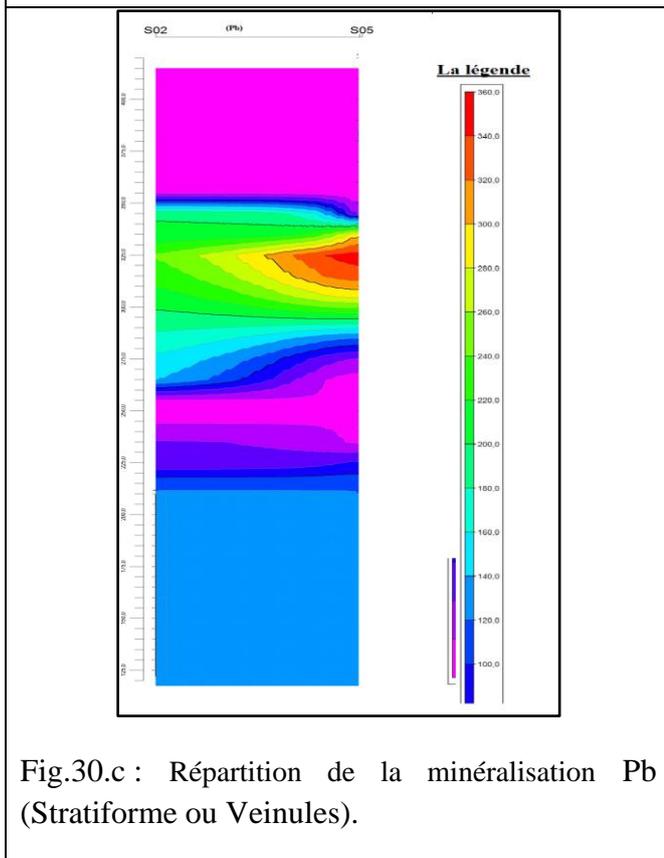
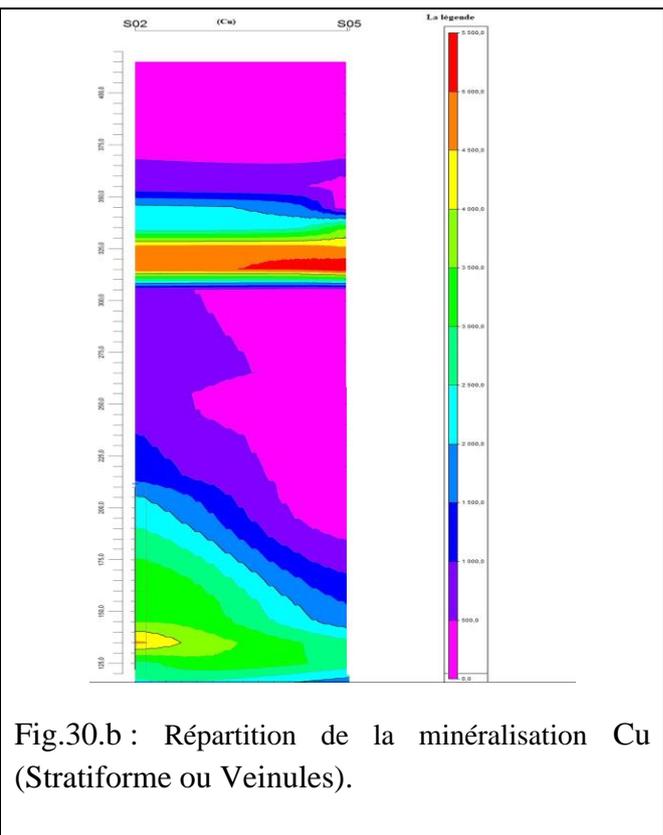
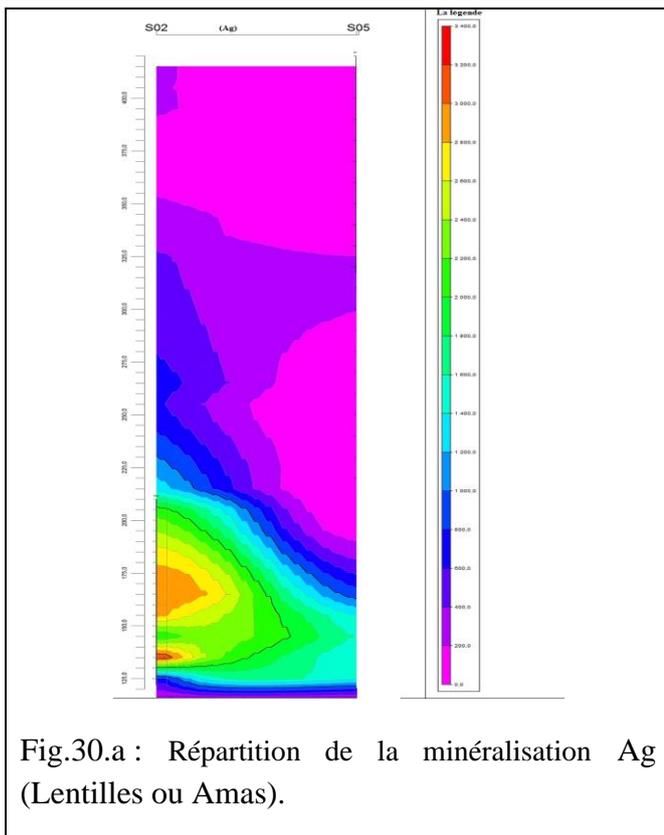


Figure 30: Répartition de la minéralisation en profondeur S02-S03-S05.

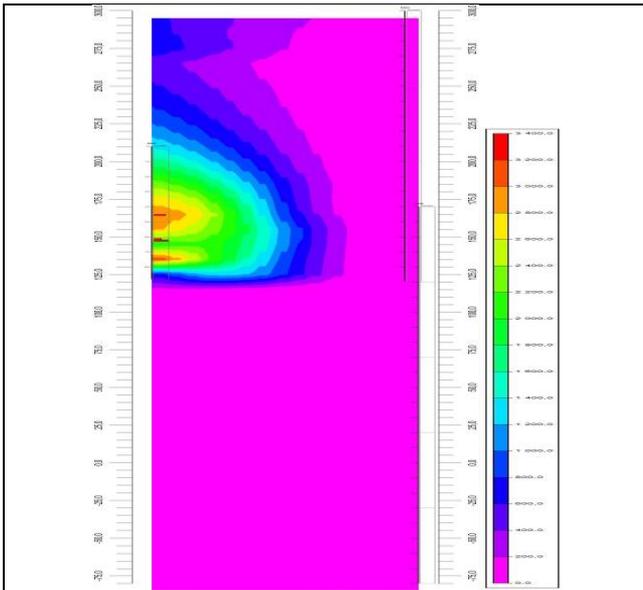


Fig.31.a : Répartition de la minéralisation Ag (Lentilles ou Amas).

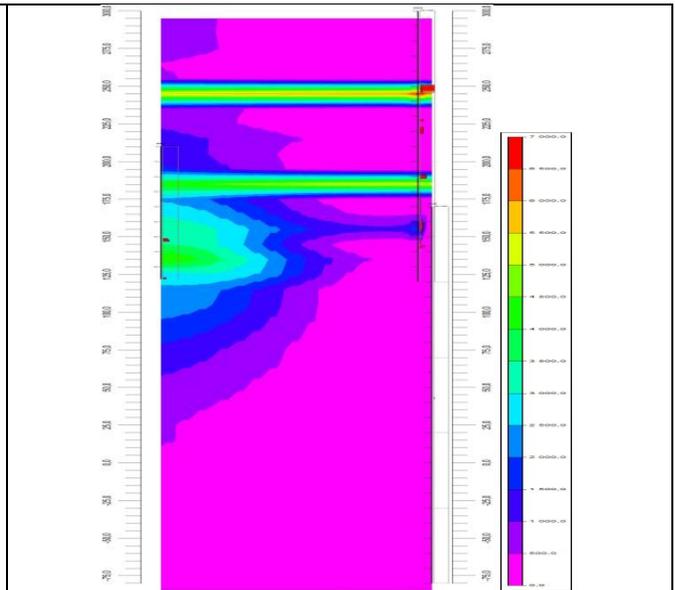


Fig.31.b : Répartition de la minéralisation Cu (Stratiforme ou Veinules).

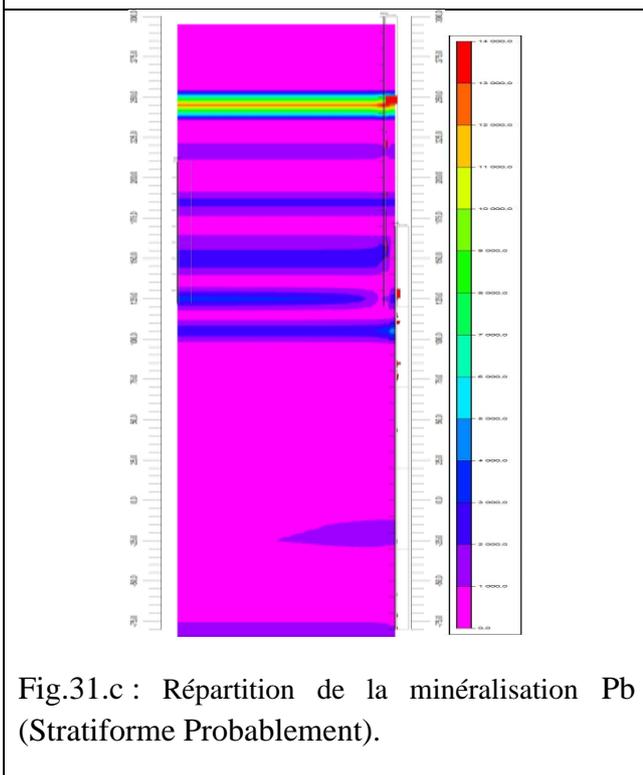


Fig.31.c : Répartition de la minéralisation Pb (Stratiforme Probablement).

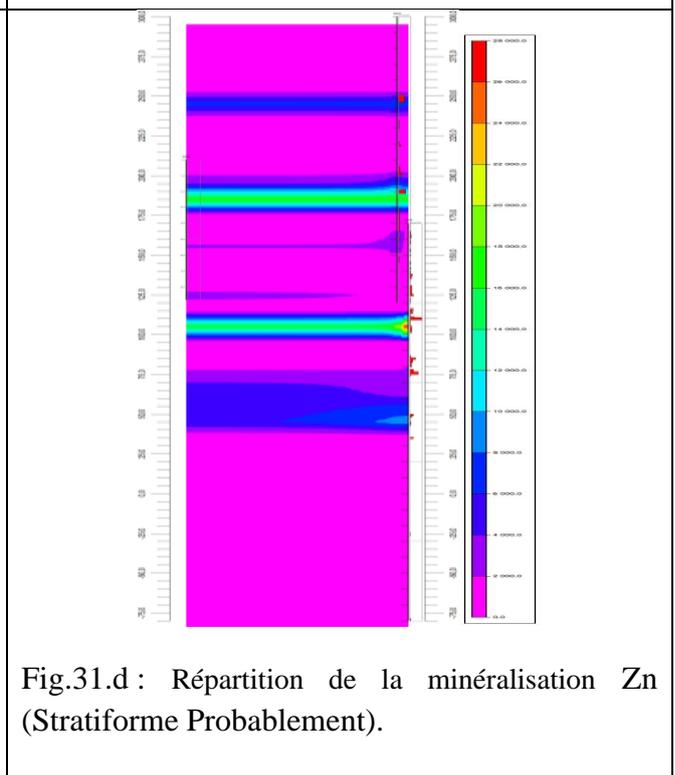


Fig.31.d : Répartition de la minéralisation Zn (Stratiforme Probablement).

Figure 31 : Répartition de la minéralisation en profondeur S02-S04-S06.

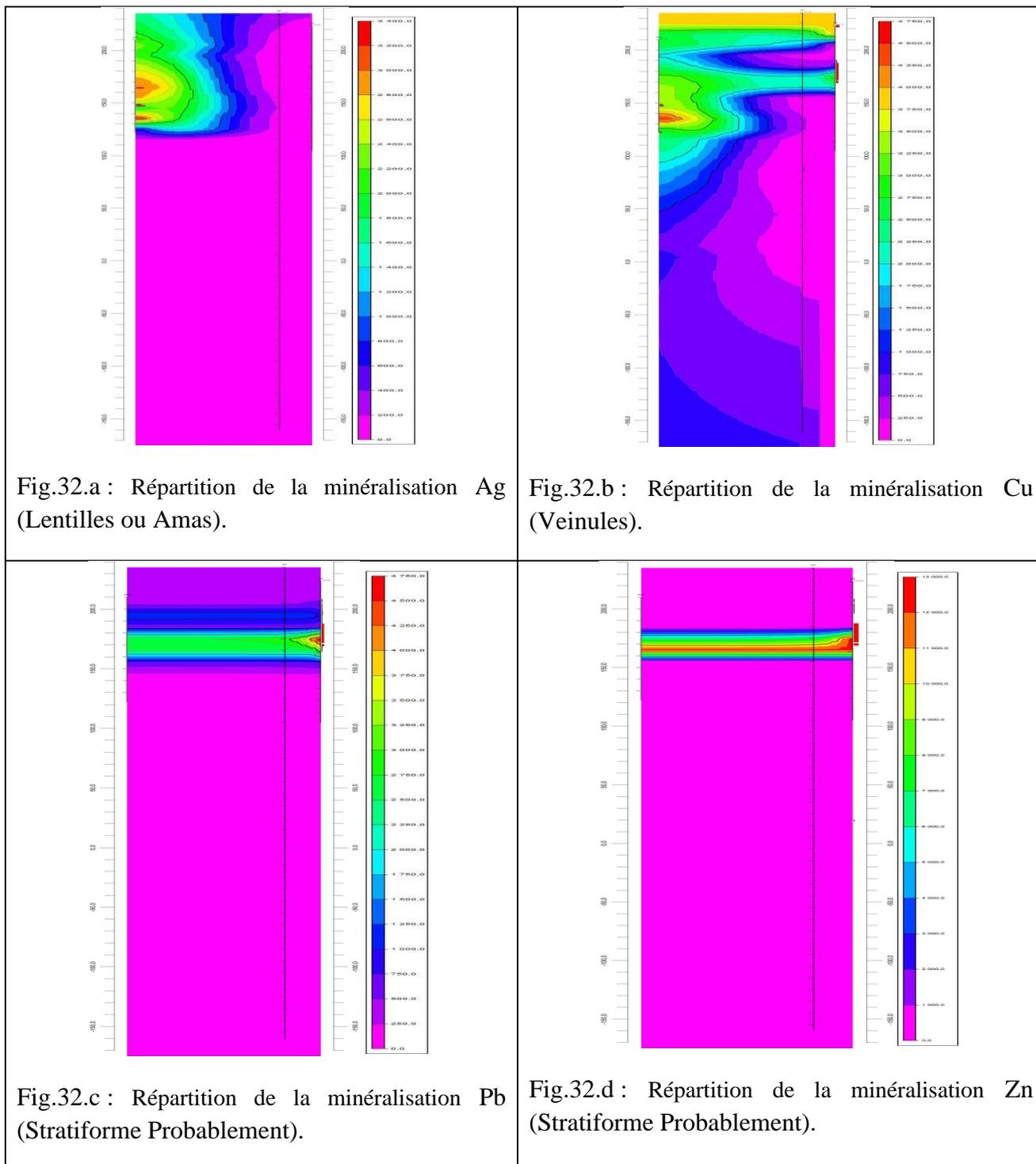


Figure 32 : Répartition de la minéralisation en profondeur S02-S07-S08.

1.2.2 Modèles des corps minéralisés (Typologie) :

Les modèles calculés confirment les typologies ci-dessus, Stratiforme ou veinules pour Ag, lentilles ou amas pour cuivre, veinules pour Pb.

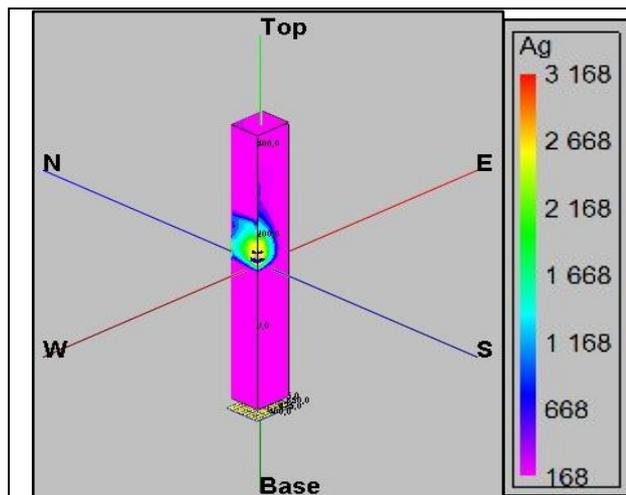


Fig.33.a : Modèle Ag (Amas ou Lentille).

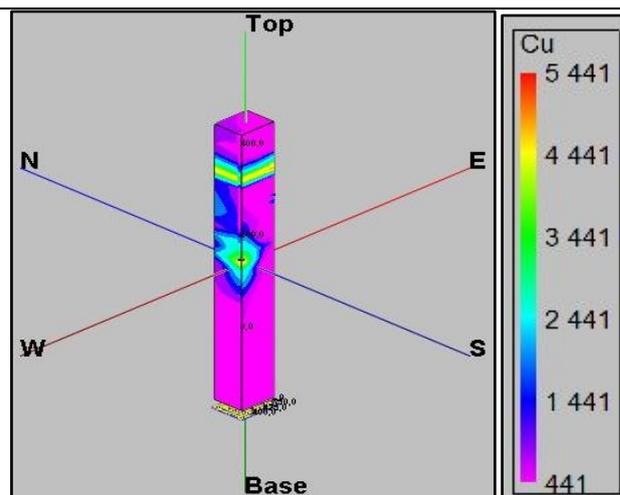


Fig.33.b : Modèle Cu (Stratiforme ou Veinules).

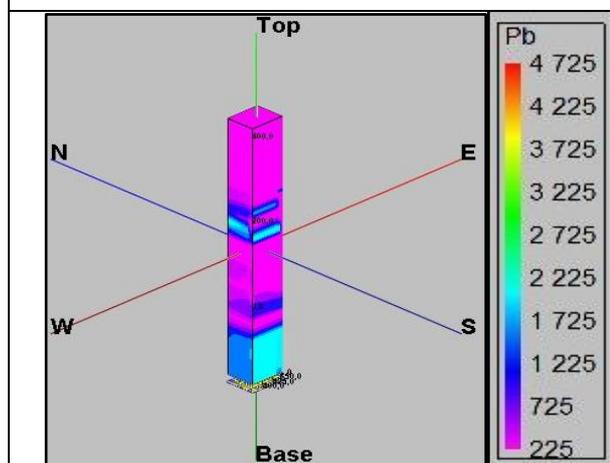


Fig.33.c : Modèle Pb (Stratiforme ou Veinules).

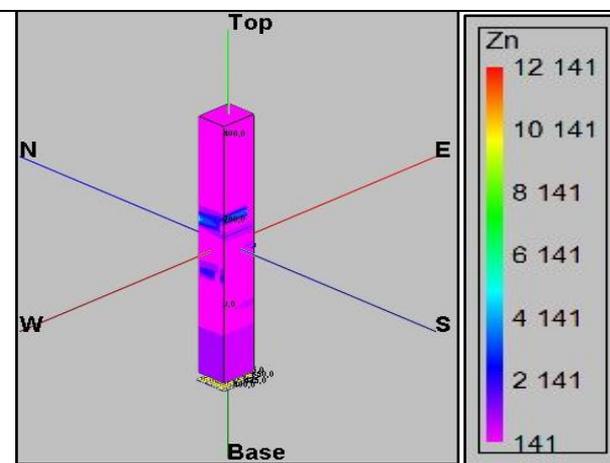


Fig.33.d : Modèle Zn (Stratiforme).

Figure 33 : Modèles des minéralisations

La minéralisation de la région Cherchell :

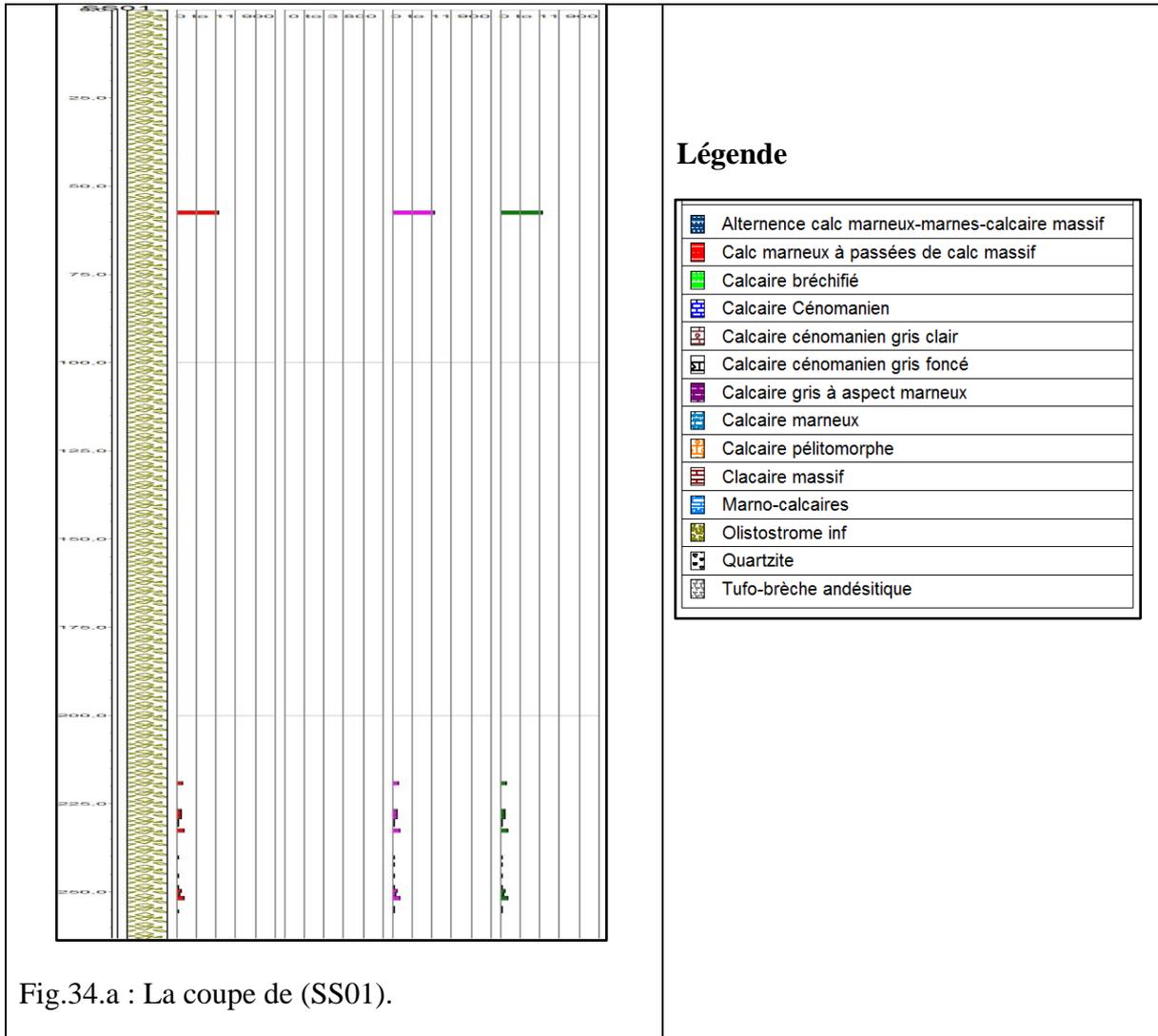


Fig.34.a : La coupe de (SS01).

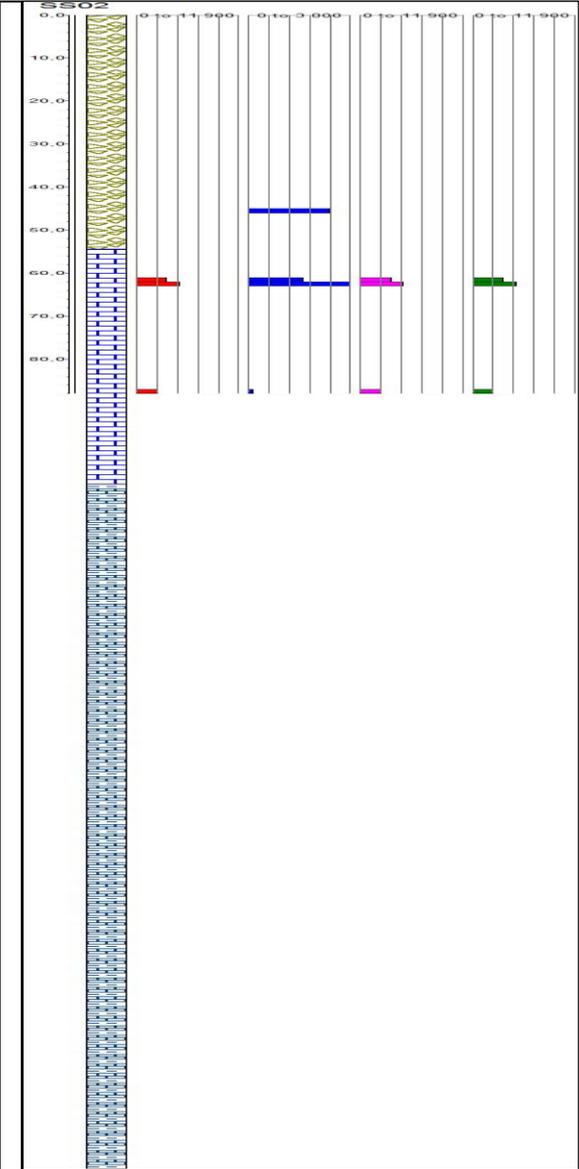


Fig.34.b : La coupe de (SS02).

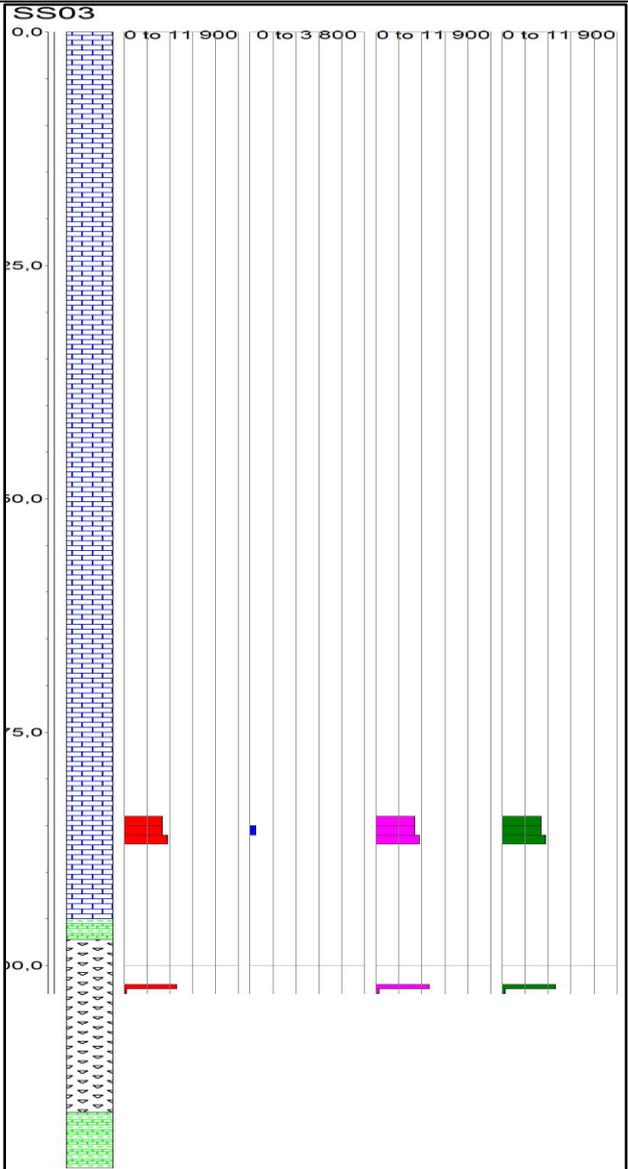


Fig.34c : La coupe de (SS03).

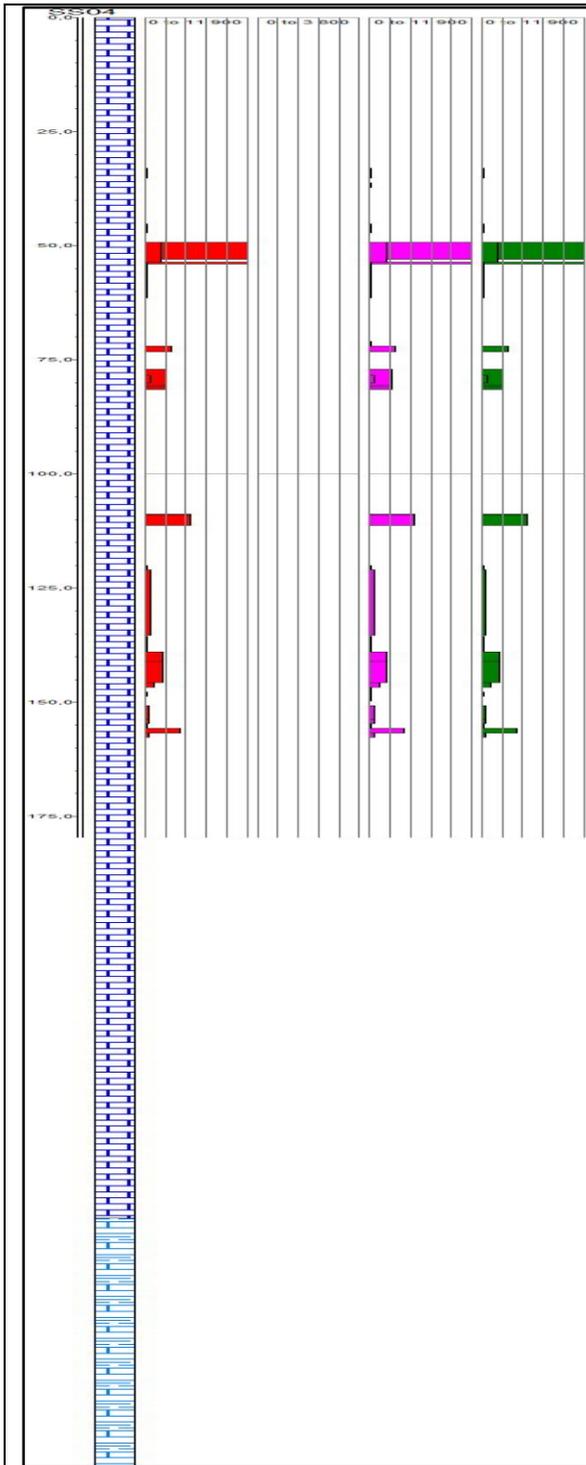


Fig.34.d : la coupe de (SS04).

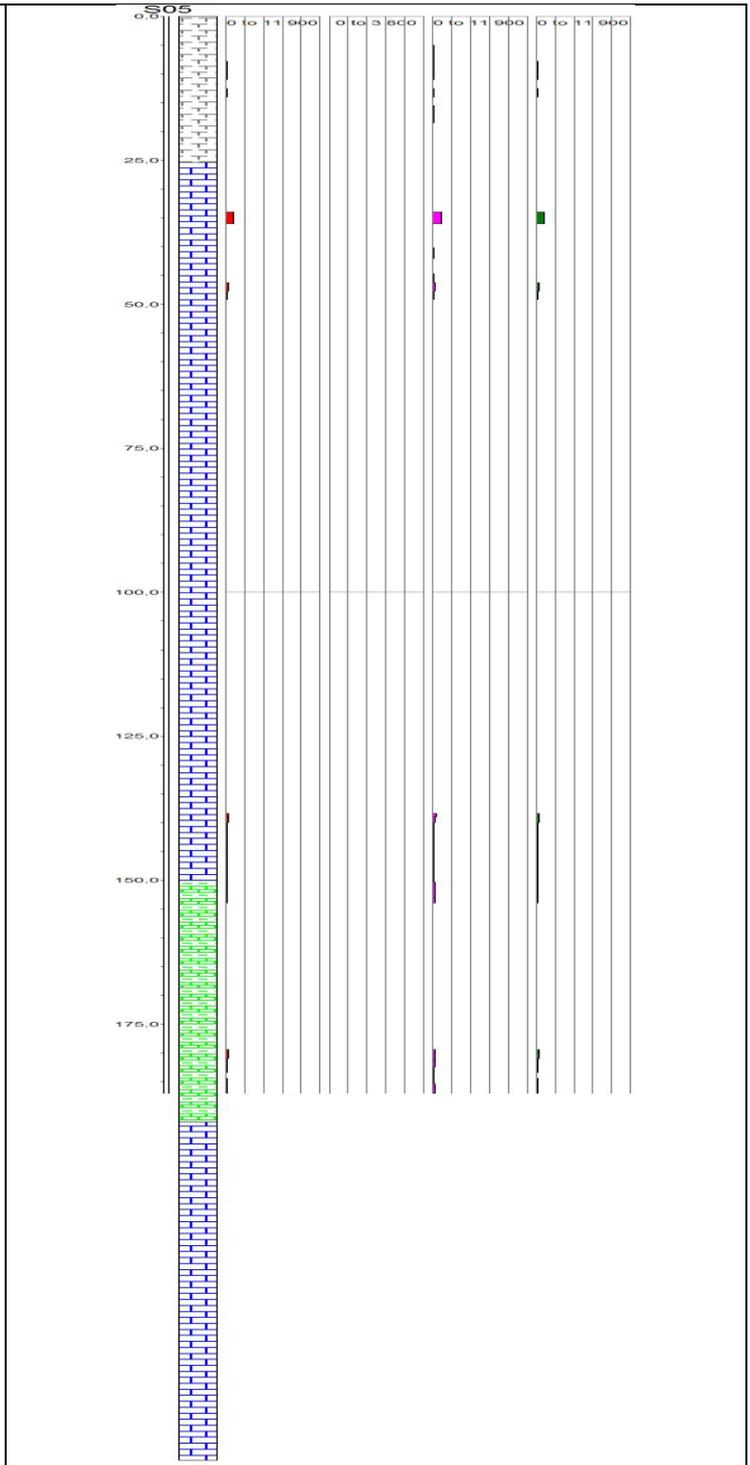


Fig.34.e : La coupe de (SS05).

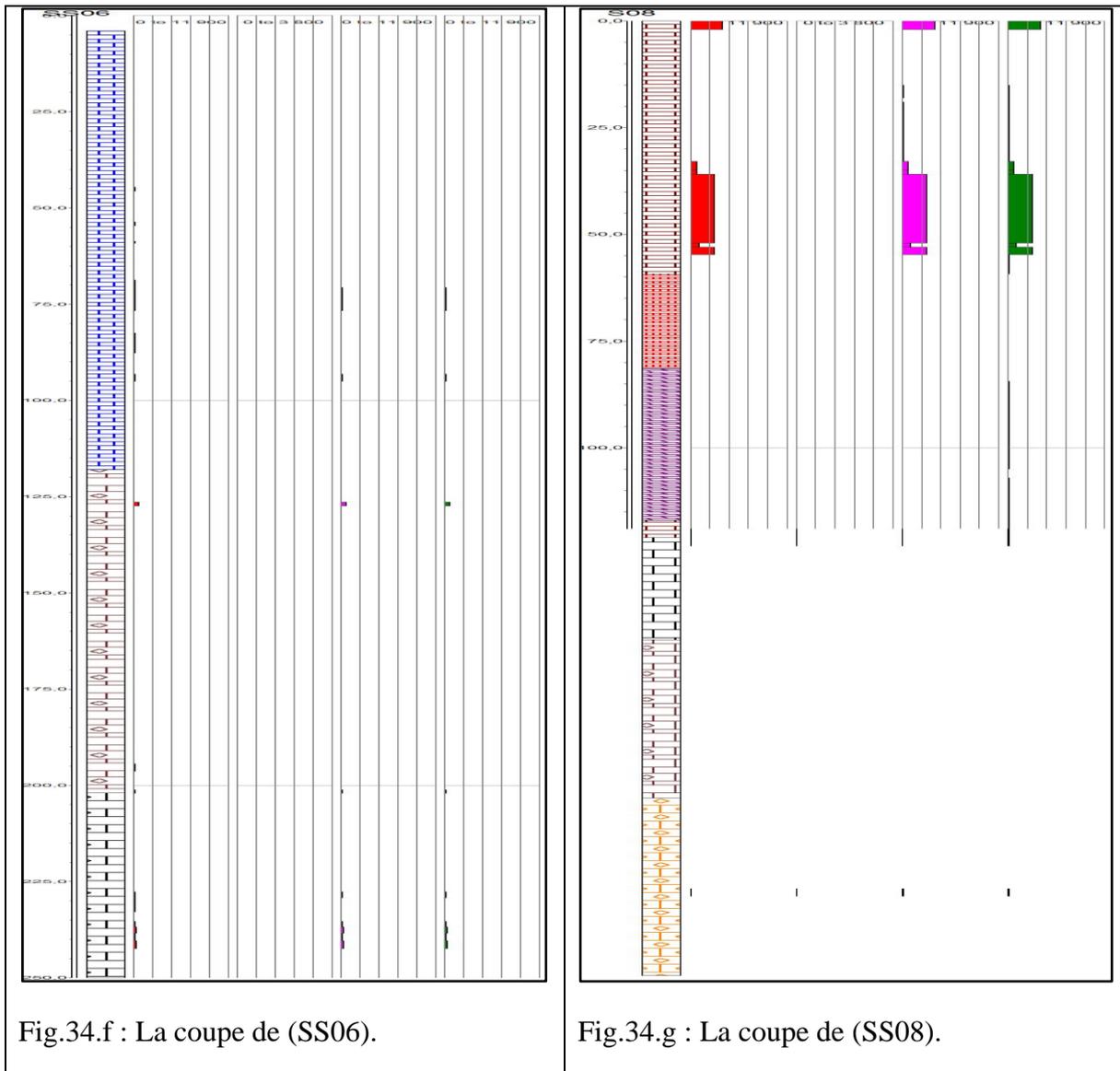


Fig.34 : Les coupes des minéralisations de la région de Cherchell.

Les minéralisations apparaissent sur toute la coupe des terrains observables dans la région d'étude, toutefois elles présentent une affinité pour le calcaire cénomanien visible à la base de la nappe inférieure.

- Nappe olistostrome inférieure.
- Surtout calcaire cénomamien visible à la base de olistostrome inférieure.
- Quartzite.
- Tufo brèche andésitique.
- Calcaire bréchifié.
- Calcaire massif.

Conclusion

La région Ténès-Cherchell, avec sa complexité géologique et son potentiel minier avéré, représente un terrain riche. Les travaux de l'ORGM ont mis en évidence des gisements et des indices de minéralisations polymétalliques, mais ont également révélé des défis dans la corrélation entre les anomalies géochimiques de surface et les résultats des forages. L'approche méthodologique actuelle, qui intègre des analyses statistiques et géostatistiques avancées, permet une localisation plus précise des anomalies et une meilleure planification des forages. L'utilisation de logiciels spécialisés comme Statistica⁸ et Rockworks¹⁵ souligne l'importance de l'innovation technologique dans l'amélioration des processus de prospection. Ce travail contribue significativement à la compréhension de la géologie de la région et à l'optimisation des efforts de prospection pour une exploitation minière efficace et économiquement viable.

Les résultats des sondages effectués dans la région de Cherchell et Ténès ont révélé une minéralisation présente dans toutes les formations géologiques, Surtout les calcaires cénomaniens. Bien que les teneurs de cette minéralisation soient faibles et ne présentent pas de paramètres économiques immédiats, l'ubiquité de la minéralisation à travers différentes formation géologiques suggère un potentiel géochimique étendu. En particulier, l'affinité de la minéralisation pour les calcaires cénomaniens pourrait indiquer des processus géologiques spécifiques favorisant l'accumulation de minéraux dans ces formations. Ces découvertes encouragent une évaluation plus approfondie pour comprendre pleinement le contexte géologique et évaluer le potentiel futur d'exploitation minière dans la région.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte géographique Ténès-Cherchell.	7
Figure 2 : carte de la chaine des Maghrébides.	8
Figure 3: Coupes synthétiques représentant les unités géologiques de la région d'étude.....	11
Figure 4 : Coupes géologique de Ténès	12
Figure 5: Coupes géologiques de Cherchell (Allochtone).	13
Figure 6 : Carte de Sidi Bettiour et Boukhendak.	15
Figure 7 : Distribution log normal pour les deux variables (Cu et Ag)	16
Figure 8: Histogrammes de distribution des fréquences des teneurs des deux variables.....	16
Figure 9 : Diagrammes des probabilités selon la loi normale.	17
Figure 10: Variogramme expérimental et modèle pour les directions NS et WE.....	18
Figure 11: Variogramme expérimental et modèle pour Ag pour les directions NS et WE.....	19
Figure 12 : Carte de courbes isovaleurs	19
Figure 13: Carte de variance de krigeage	19
Figure 14 : Carte de courbes isovaleurs	20
Figure 15 : Carte de variance de krigeage.....	20
Figure 16: Distribution log normal pour les deux variables (Cu et Ag).	21
Figure 17 : Histogrammes de distribution des fréquences des teneurs des deux variables.....	22
Figure 18: Diagrammes des probabilités selon la loi normale.	22
Figure 19 : Variogrammes expérimental et modèle pour Ag pour les directions NS et WE. ..	24
Figure 20 : Variogramme expérimental et modèle pour Ag pour les directions N-S et W-E..	24
Figure 21 : Carte de courbes isovaleurs	25
Figure 22: Carte de variance de krigeage	25
Figure 23 : Carte de courbes isovaleurs	25
Figure 24 : Carte de variance de krigeage.....	25
Figure 25: Plan de localisation des forages.....	28
Figure 26 : Répartition de la minéralisation en profondeur S03-S06-S04.....	30
Figure 27: Répartition de la minéralisation en profondeur S05-S04.	32
Figure 28 : Modèles des minéralisations.....	33
Figure 29 : Plan de localisation des forages	34
Figure 30: Répartition de la minéralisation en profondeur S02-S03-S05.....	35
Figure 31 : Répartition de la minéralisation en profondeur S02-S04-S06.....	36
Figure 32 : Répartition de la minéralisation en profondeur S02-S07-S08.....	37
Figure 33 : Modèles des minéralisations.....	38

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Statistiques descriptives.	15
Tableau 2 : Statistiques descriptives.	16
Tableau 3: Corrélations.	17
Tableau 4 : Descriptive Statistique.....	21
Tableau 5 : Statistiques descriptives.	21
Tableau 6 : Corrélations (Cu-Ag).....	23
Tableau 7: Paramètres du modèle	24
Tableau 8: Paramètres du modèle... ..	24

Bibliographie

Belhai.Dj (1996) - Evolution tectonique de la zone ouest – algéroise (Ténès – Chenoua) : Approche stratigraphique et structurale. Doctorat ès sciences. U.S.T.H.B Alger. Algérie.

Ficheur.F (1903) - Carte géologique de marengo, feuille n°62 au 1/50000 serv géol. Algérie.

Glangeaud.L (1927) - Carte au 1/50 000, Cherchell (n°39),Gouraya (n°38) avec notice explicative.

Glangeaud.L (1937) - Carte au 1/50 000 de Marceau (61) avec notice explicative.

Lepervier.C et Velde.D (1976) - A propos des intrusions tertiaires de la marge nord- africaine entre Cherchell et Ténès (algérie). Bull.soc.géol.france . (7) xviii n°4.991.998.

Perrodon.A (1957) - Etude géologique des bassins néogènesub littoraux de l'Algérie nord occidental. Pub ;ser. Carte géol. Algérie. Nelle série, 12.p. 343.

Poimeur.C et lemasne.D (1985)- Chronique de recherche minière n° 480. Nouvelle méthode d'interprétation de mesures électriques forage/ surface à l'étude de modélisations tridimensionnelles.

Roudianov.I et al (1991)- Rapport final sur les résultats des travaux de recherches systématiques au 1/50 000 effectués sur le territoire de Ténès - Cherchell, feuilles nn° 38 (Gouraya), 39 (Cherchell), 59 (Ténès), 60 (Oued Damous) et 61 (Menaceur).

Strzelecki.R (1989)- Rapport sur les résultats des travaux de prospection des polymétaux associés aux formations volcano – sédimentaires situées à l'Ouest d'Alger (région Menaceur) E.RE.M

Vydrine.V (1972)- Géologie et répartition des gites non ferreux de l'Algérie du Nord. Ti et ii. SONAREM

SITE INTERNET :

<https://geologyscience.com/geology-branches/mining-geology/sedimentary-exhalative-sedex-deposit/?amp> : Minéralisation se types SEDEX.

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/elaboration-et-recyclage-des-metaux-de-transition-42649210/cuivre-ressources-procedes-et-produits-m2240/minerais-m2240v2niv10002.html> : Gisement de Cuivre.

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/ET200402/ET200402.pdf&ved=2ahUKEwi084iWzq2GA>

BULL EDITIONS DU B.R.G.M. (1978)- Géologie Des Gites Minéraux.