

TABLE DES MATIERES **Pages**

INTRODUCTION..... 1

CHAPITRE - I - GENERALITES

I. PRESENTATION DE LA SOCIETE "MAURITANIAN COPPER MINES" (MCM) 2

II. HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE CUIVRE DE GUELBOGHREIN 2

III. CADRE GEOGRAPHIQUE 4

IV. CADRE GEOLOGIQUE 6

IV.1. CADRE REGIONAL 6

IV.2. CADRE LOCAL..... 22

IV.3. Géologie du gisement de cuivre de Guelb Moghreïn 27

IV.4. Origine des carbonates encaissant 29

V.7. Pétrographie des roches du gisement 29

CHAPITRE – II–

CONTROLE TECTONIQUE DE LA GEOMETRIE DES CARBONATES "FMC" DE GUELBOGHREIN OCCIDENTAL, DE LEUR DISTRIBUTION ET DE LEUR MINERALISATION EN Cu

I. DEMARCHE 34

II. SUCCESSION LITHOLOGIQUE ET GEOMETRIQUE DES UNITES..... 36

II.1. Les formations géologiques du toit des FMC 36

II.2. Les formations géologiques du mur des FMC 37

*Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de
Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)*

III. CONTROLE TECTONIQUE	37
III.1. Géométrie et distribution spatiale des FMC et unités lithologiques associées.....	37
III.2. Le contrôle tectonique dans la fosse de Guelb Moghreïn	40
III.2.1. Les failles normales	41
III.2.2. La tectonique compressive.....	45
III.2.2.1. Les failles inverses	45
III.2.2.2. Les cisaillements	47
IV. CHRONOLOGIE DE LA DEFORMATION ET DISCUSSION	49

CHAPITRE - III-

EXEMPLE TARGETTING EN EXPLORATION MINIERE

I. INTRODUCTION	51
II. DEMARCHE POUR L'IDENTIFICATION ET DU DEVELOPPEMENT D'UNE CIBLE "TARGET"	51
II.1. Mise en évidence d'anomalies géochimiques.....	51
II.2. Anomalies magnétiques.....	52
III. PROPOSITION ET ETUDE DE FORAGES	53
III.1. Cartographie géologique des sites de forages	54
III.2. Elaboration des sections de forages et corrélation	61
CONCLUSION GENERALE	64
LISTE DES FIGURES	65
LISTE DES TABLEAUX.....	67
LISTE DES ABREVIATIONS DE LOGS DE FORAGES.....	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	69

INTRODUCTION

Ce mémoire est le résultat de quatre mois de stage à la Société des Mines de Cuivre de Mauritanie -MCM- qui exploite le Cuivre du gisement de Guelb Moghrein, situé à 5 km à l'Ouest d'Akjoujt (Wilaya de l'Inchiri). La Société « MCM » entreprend parallèlement une activité d'exploration minière sur de vastes concessions de l'Inchiri. L'exploitation de la mine a démarré dès les années cinquante et se poursuit à nos jours, avec des arrêts en raison de difficultés économiques. Plusieurs forages de divers types ont été exécutés durant cette longue période d'activité minière, d'où l'existence d'une base de donnée assez fournie permettant si elle est exploitée, de mieux connaître le gisement. Ceci est particulièrement important pour l'optimisation de l'exploitation, mais aussi pour l'orientation des travaux d'exploration qui vise en premier lieu d'identifier un gisement similaire sur le plan métallogénique à celui de Guelb Moghrein.

Notre travail entre dans ce cadre, on se propose d'étudier le contrôle tectonique de la minéralisation de Guelb Moghrein à l'aide des données de forages récents ou anciens. L'objectif principal est de proposer une stratégie d'exploration ou "targetting", permettant d'identifier une zone à intérêt minier (area of interest ou AOI). En particulier, nous voulons prendre un exemple de "targetting" auquel nous avons contribué, en utilisant les données de géochimie sol, la signature géochimique de la mine de Guelb Moghrein et l'étude de terrain.

Le mémoire comprend trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique régionale et locale.

Le deuxième chapitre est consacré au contrôle tectonique du gisement de Guelb Moghrein.

Le troisième chapitre traite de l'identification d'anomalies géochimiques, de la planification et de l'étude de forages ainsi que de la réalisation de cartes géologiques.

CHAPITRE -I- GENERALITES

I. PRESENTATION DE LA SOCIETE MAURITANIAN COPPER MINES (MCM)

"La Mauritanian Copper Mines" (MCM) exploite le minerai de cuivre et d'or de Guelb Moghreïn à Akjoujt en Mauritanie. Elle constitue une filiale du groupe "FRIST QUANTUM MINERALS LIMITED" (FQML), qui détient plusieurs autres gisements ou mines à travers le monde (Zambie, Australie, Finlande, Panama, Pérou). Sur le plan légal elle est enregistrée au Canada.

Le plan minier actuel prévoit l'exploitation minière à ciel ouvert du minerai de cuivre de Guelb Moghreïn jusqu'en 2017. La production a commencé en décembre 2006 et les réserves étaient estimées à plus de 21000000 tonne de minerai. Un projet d'exploitation du fer de la magnétite est envisagé fin 2014.

La société produit environ 3000 tonnes de concentré par mois, avec une teneur moyenne en cuivre de 22.5 %. La société a également mis en place un procédé de lixiviation (cyanuration) pour produire des lingots d'or sur place, mais ce procédé a été suspendu depuis fin 2012 pour des raisons stratégiques.

II. HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE CUIVRE DE GUELB MOGHREIN

Le cuivre de Guelb Moghreïn était exploité par l'homme au Néolithique. L'armée Française redécouvre le gisement en 1931. Ce minerai a fait l'objet de plusieurs tentatives de développement et d'exploration. La première tentative a eu lieu en 1952 par MICUMA (Mines de Cuivre de Mauritanie) qui essaya d'extraire du minerai sulfuré avec un système d'exploitation souterrain. Ce projet a été un échec en raison de l'absence d'un système de traitement capable de séparer les minéraux ce qui a conduit à sa fermeture en 1958.

En 1964 la MICUMA tente de relancer l'exploitation mais n'y parvient pas à cause des difficultés techniques liées au procédé de traitement du minerai.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

En 1967 la Société des Mines de Mauritanie (SOMIMA), en association avec le gouvernement Mauritanien, la compagnie Charlter Consolidated Limited (CCL) et d'autres groupes industriels, fut créée. Cette dernière parvient à mettre en place un projet viable pour l'exploitation du gisement de Guelb Moghreïn par un nouveau procédé appelé TORCO (treatment of refractory copper ore) qui a permis la reprise de la reproduction de 1971 à 1974. Cependant, de mauvaises conditions économiques ont forcé la SOMIMA à arrêter les opérations en 1976 et à abandonner le projet.

En 1974 la Société Nationale des Mines de Mauritanie (SNIM) reprend l'exploitation jusqu'en 1977, date à laquelle l'exploitation prend fin suite aux effets conjugués de multiples facteurs tels que la chute du prix de métal, la diminution des réserves et baisse du prix de pétrole.

En 1980, la Société Arabes des Mines de l'Inchiri (SAMIN) a été créée par le gouvernement mauritanien et plusieurs autres gouvernements arabes pour exploiter les réserves encore intactes de minerai sulfuré se trouvant sous les minerais d'oxydes déjà exploités. SAMIN a terminé la phase de décapage et avait extrait un gros échantillon. Quand le prix du cuivre a chuté en 1983, le projet est resté en suspens.

En 1988, SAMIN entame un programme d'essai pour examiner la possibilité de récupérer de l'Or à partir de 2 Mt de résidus de TORCO déposées dans les années 70. Conformément à plusieurs accords entre le gouvernement mauritanien, la SAMIN, l'International Finance Corporation (IFC), la Minproc et plusieurs banques internationales, Mines d'Or d'Akjoujt (MORAK) a été chargée de traiter les résidus. L'usine d'or de MORAK a été installée en 1992, Le traitement des résidus de TORCO s'est terminé au début de l'année 1996 et les opérations minières ont cessé.

En septembre 1994, General Gold International (GGI) et SAMIN entrent dans une joint-venture à 50%-50% et créent une nouvelle société, Guelb Moghreïn Mines d'Akjoujt (GEMAK), afin d'entreprendre une étude de faisabilité pour une reprise des activités minières à Akjoujt sur l'excavation ouverte existante en utilisant pour le traitement l'oxydation sous pression, l'extraction par solvant et l'électrolyse. L'étude de faisabilité a été achevée en 1997 mais le projet n'a jamais vu le jour en raison du coût d'investissement élevé, le risque technique et la faiblesse du prix du cuivre.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

En 2001 une société EMIRATIE WADI RAWDA MINING a manifesté son intérêt pour le rachat des parts de GGI dans la GEMAK et les parts du gouvernement dans la SAMIN en vue de développer le projet de cuivre du Guelb Moghreïn. Mais cette société a fini par vendre ses parts (d'abord 80 % puis 20 %) au FIRST QUANTUM MINERALES LTD (FQML) qui est une multinationale basée au Canada.

En novembre 2004, First Quantum Minerals Limited (FQML) achète la mine Guelb Moghreïn de GEMAK, y compris la licence minière (CM2), la licence d'exploration, des bâtiments et du matériel et l'accord de développement de projet avec le gouvernement Mauritanien. 'Mauritanian Copper Mines' (MCM) « FQM 80%, GEMAK19% et GGI 1% ». Un rapport d'Ingénierie de projet a été rédigé en mars 2005 et la construction du projet a débuté en mars 2005. La mise en service du projet a eu lieu au cours du deuxième trimestre 2006 et la production commerciale a commencé au quatrième trimestre 2006. Actuellement cette mine de cuivre est exploitée par la MAURITANIAN COPPER MINES (MCM) qui est une filiale de FQML, Elle utilise la méthode de flottation pour la récupération du Cuivre et avait jusqu'à 2012 utilisé le cyanure pour la récupération de l'Or.

III. CADRE GEOGRAPHIQUE

La mine de Guelb Moghreïn est localisée à 5 km à l'ouest de la ville d'Akjoujt, capitale de la wilaya de l'Inchiri (centre Ouest du pays) et situé à 250 km à vol d'oiseau au Nord –Est de Nouakchott et à 190 km au Sud-Ouest d'Atar (**fig. 1**), les coordonnées de son centre sont 19° 45' latitude Nord et 14° 25' longitude Ouest. La superficie de l'Inchiri est environ 47000 km². Elle est limitée au Nord et à l'Ouest par la région du Dakhlet Nouadibou, au Sud par le Trarza et à l'Est par l'Adrar. Elle s'ouvre par une petite façade sur l'Atlantique, entre Nouàmghar et Elmhaigrat. La région d'Akjoujt est caractérisée par un terrain caillouteux extrêmement plat appelé reg. Son altitude est de 120 m au-dessus du niveau de la mer, dans ce paysage relativement plat, émergent les collines appelées « GUELBS MOGHREIN » qui s'étend sur une longueur de 800 m et une largeur de maximale de 500 m. La hauteur des « GUELBS » est de 70 m par rapport à la pénéplaine.

IV. CADRE GEOLOGIQUE

IV.1. CADRE REGIONAL

IV.1.1. Les ensembles géologiques de la Mauritanie

La Mauritanie est un pays de l'Afrique de l'Ouest, Elle est subdivisée géologiquement en Cinq grands domaines structuraux : la Dorsale Reguibat ; le Bassin de Taoudeni ; le Bassin de Tindouf ; la Chaîne des Mauritanides et le Bassin Atlantique ou Bassin Sénégal-Mauritanien (Fig. 2).

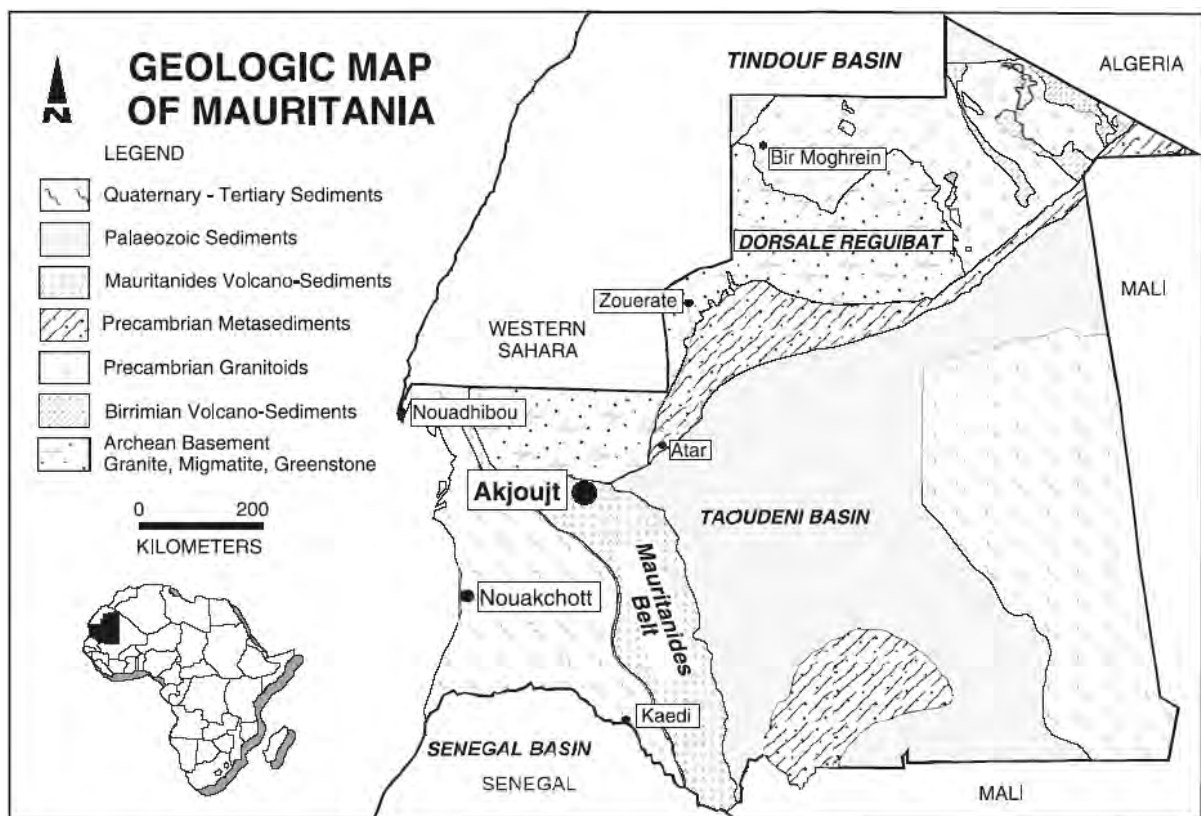


Figure 2 : Carte géologique simplifiée de la Mauritanie, d'après Meyer *et al.*, 2006

IV.1.1.1. Dorsale Reguibat

La dorsale Reguibat fait partie du craton Ouest-africain. Ce craton, qui constitue le soubassement d'une grande partie du NW de l'Afrique, est un large segment du socle précambrien (4.500.000 km²). Stable depuis ~1700 Ma, il est entouré de ceintures orogéniques panafricaines. Toutefois, de grandes portions de ce craton sont couvertes par diverses formations sédimentaires non métamorphisées et par des dépôts détritiques superficiels non consolidés (désert du Sahara).

La dorsale Reguibat se rattache à la partie NW du craton située à l'Ouest du Bassin de Taoudeni (Cahen & al., 1984). La Dorsale Reguibat (également désigné sous le nom de Bouclier Reguibat) est limité au Sud par les Mauritanides. Les études antérieures avaient permis de désigner les roches archéennes comme principales composantes du Bouclier Reguibat de la partie NW de la Mauritanie, tandis que les formations paléo-protérozoïques dominent dans les autres parties du bouclier.

Ainsi, Dillon & Sougy (1974) et Bessoles (1977) avaient subdivisé le Bouclier Reguibat en deux provinces distinctes :

- Une province SW (incluant la partie NW de la Mauritanie dans laquelle les roches sont toutes d'âge supérieur à 2000 Ma (c.-à-d. cycle Prè-éburnéen').
- Une province centrale et NE dans laquelle les roches sont d'âge éburnéen.

Ces auteurs indiquent que les zones d'Amsaga, Tasiast et Tijirit de la partie NW de la Mauritanie comportent un 'bloc' migmatitique central entouré au Nord et à l'Est par des ceintures continues de gneiss à faciès granulitique et associées à des zones de failles majeurs NNE-SSW et NW-SE.

IV.1.1.2. Bassin de Taoudeni

Le Bassin de Taoudeni est un vaste bassin sédimentaire d'âge néoprotérozoïque à paléozoïque qui s'étend à travers le centre et l'est de la Mauritanie (**fig. 2**), ainsi que sur une grande partie du Mali, de la Guinée, de certaines régions de l'Algérie, du Burkina Faso, du Sénégal et du Sierra Léon. Il s'agit d'un bassin intra-cratonique ayant comme soubassement le craton Ouest Africain d'âge précambrien inférieur à moyen, et dont les affleurements constituent les bordures nord (Bouclier Reguibat) et sud (Bouclier de Léo) du bassin.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Les degrés de subsidence y ont été faibles, avec de nombreuses interruptions de la sédimentation. Seulement quelques 6000m de roches sédimentaires s'y sont déposées durant une période de 700Ma (Deynoux, 1980). A l'Ouest, le bassin est limité par la ceinture calédonno-hercynienne des Mauritanides qui s'étend selon une direction nord-sud à travers l'ouest de la Mauritanie et le Sénégal. Cette ceinture renferme des roches sédimentaires para-autochtones du bassin de Taoudeni qui ont été imbriquées au cours de la déformation varisque.

Dans la partie mauritanienne du bassin de Taoudeni, la structure est généralement simple, avec de faibles pendages, de 1 à 2 degrés, essentiellement vers l'est. Ce n'est que dans la marge occidentale du bassin, à proximité de la ceinture des Mauritanides, qu'apparaissent des plissements et des chevauchements significatifs.

La succession sédimentaire du bassin de Taoudeni en Mauritanie a été subdivisée par Trompette (1973) en trois super-groupes non baptisés et limités par des discordances majeures : Le **Super-groupe du Hodh** (autrefois Super-groupe 1), le **Super-groupe de l'Adrar** (autrefois Super-groupe 2) et le **Super-groupe du Dahr** (autrefois Super-groupe 3). Le Super-groupe 1, le plus inférieur, repose en discordance sur un socle précambrien beaucoup plus ancien. Les bases des Super-groupes 2 et 3 sont marquées par la présence d'importantes discordances. Elles sont toutes les deux recouvertes par des dépôts d'origine glaciaire.

Le **Super-groupe du Hodh** (Est), d'âge Néoprotérozoïque, est composé dans l'Adrar du Groupe de Char, Groupe d'Atar et Groupe de l'Assabet el Hassiane, atteignant jusqu'à 1.300 mètres d'épaisseur. Il est représenté par le Groupe d'Afollé dans la région orientale, avec jusqu'à 1.900 m d'épaisseur. Seuls le Groupe de Char et les cinq formations inférieures du Groupe d'Atar sont présentes dans la région du projet. La partie inférieure du super-groupe a pu être déposée dans un bassin de rift orienté EW. Le dépôt répandu de successions arénacées de type continental à marin peu profond durant le Vendéen (Groupe de l'Assabet el Hassiane et le Groupe d'Afollé) suggère que le contrôle de la sédimentation par le rift a cessé et que le bassin a été comblé.

Le **Super-groupe de l'Adrar**, d'âge Néoprotérozoïque à ordovicien, repose en discordance sur les strates du Super-groupe de Hodh ou sur le socle précambrien plus ancien. La discordance angulaire est associée à une incision au cours de la glaciation, mais montre également une légère discordance stratigraphique angulaire indicative de processus tectoniques.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Ce super-groupe s'épaissit dans la région de l'Adrar, atteignant jusqu'à 1.300 m, avec environ 700 m dans les régions de Tagant et Hodh/Afollé. Le super-groupe se compose par ordre ascendant des groupes de Jbéliat, Téniaouri, Nouatil et Oujeft.

Le **Super-groupe du Dahr**, d'âge ordovicien tardif à dévonien, s'épaissit dans la région de l'Adrar, jusqu'à 500 m d'épaisseur, et avec moins de 250 m dans la région de Hodh.

Ce super-groupe est composé par ordre ascendant des groupes de Tichit, Oued Chig et Tenemouj.

Après la déposition du Super-groupe du Dahr, la succession et les strates plus anciennes ont été affectées par une déformation de compression associée à l'événement hercynien dans la ceinture des Mauritanides.

IV.1.1.3. Bassin de Tindouf

Au Nord, il est constitué par un remplissage sédimentaire dont les termes de base, discordants sur le socle, sont progressivement plus anciens vers l'Ouest. Il dessine un vaste synclinal E-W dont les pendages peuvent atteindre la verticale. Il est constitué d'ensembles sédimentaires subhorizontaux datés du Protérozoïque supérieur au Carbonifère.

IV.1.1.4. Chaîne des Mauritanides

Les 'Mauritanides' qui renferment le gisement d'Akjoujt (Gisement de Guelb Moghreïn) constituent une ceinture mobile poly-orogénique qui définit la marge occidentale (1700Ma) du Craton Ouest Africain. Elles peuvent être suivies sur plus de 1500km à travers la Mauritanie et les pays voisins, Sahara occidental (Maroc) et est du Sénégal. Vers le sud, les Rokhélides (Sougy, 1969) et les Bassarides (Lécorché et al., 1991) constituent des prolongements de cette même chaîne mobile. Des sédiments du Cénozoïque du bassin côtier sénégal-mauritanien recouvrent en discordance la partie occidentale des Mauritanides. Le terrain est généralement de relief bas pénéplané, avec des arêtes droites dispersées, linéaires à courbes, ainsi que des chaînons de collines accidentées et de massifs disséqués (100m au-dessus du niveau de base local) constitués ou recouverts par les lithologies les plus résistantes à l'érosion.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Le terrain devient de plus en plus disséqué vers la vallée du fleuve Sénégal ; Cependant, l'expression géophysique de la ceinture des Mauritanides est limitée, elle est régionalement caractérisée par une remarquable anomalie gravimétrique de Bouguer positive.

La ceinture mobile est composée d'une imbrication d'unités formées principalement de roches du Néoprotérozoïque - Paléozoïque inférieur, avec des fenêtres et des écaillles tectoniques du substratum archéen à paléoprotérozoïque. Celles-ci ont enregistré une évolution tectono-métamorphique polyphasée en relation avec deux événements orogéniques: l'orogénèse Panafricaine (Protérozoïque terminal et Ordovicien-Silurien) et hercynienne (Paléozoïque terminal).

L'architecture de la chaîne des Mauritanides et son histoire tectono-métamorphique polyphasée montrent d'importantes variations directionnelles (Lécorché, 1980; Le Page, 1983; Dia, 1984 et Villeneuve, 1984). Plusieurs événements panafricains (Néoprotérozoïque - Paléozoïque inférieur) ont été identifiés dans les Mauritanides méridionales, mais ceux-ci deviennent moins clairs dans les Mauritanides centrales et septentrionales du fait de l'intensification de la phase hercynienne finale vers le nord.

Les Mauritanides se subdivisent longitudinalement en trois segments principaux (**Fig. 3**) :

- Mauritanides nord-ouest (Maurin et al., 1997) ;

Ce segment se situe sur le côté occidental du bouclier de Rgueïbat et au nord des ceintures dunaires d'Akchar-Azzefal. Il comporte des nappes de charriages imbriquées à pendage nord, mettant en contact des roches de la croûte inférieure (faciès granulites) avec les terrains archéens peu métamorphiques de Tasiast-Tijirit.

Les Mauritanides continuent vers nord et le nord-est dans la partie méridionale du Rio de Oro (Sahara occidental);

- Mauritanides septentrionales (Marcelin, 1975; Lécorché, 1969, 1980).

Elles correspondent à la région d'Inchiri (ou d'Akjoujt) située entre les ceintures dunaires d'Akchar-Azzefal et d'Aoukar. Elles entourent la large inflexion à l'ouest des Mauritanides, où son front oriental est en contact avec le bouclier de Reguïbat. Ce segment est caractérisé par des nappes supracrustales, avec des déplacements vers l'est et le nord-est. Les unités frontales de la ceinture chevauchent successivement le substratum archéen et un placage de strates d'avant-pays du bassin de Taoudeni ;

- Mauritanides sud-centrales (Chiron, 1973; Dia, 1984; Le Page, 1983, 1988).

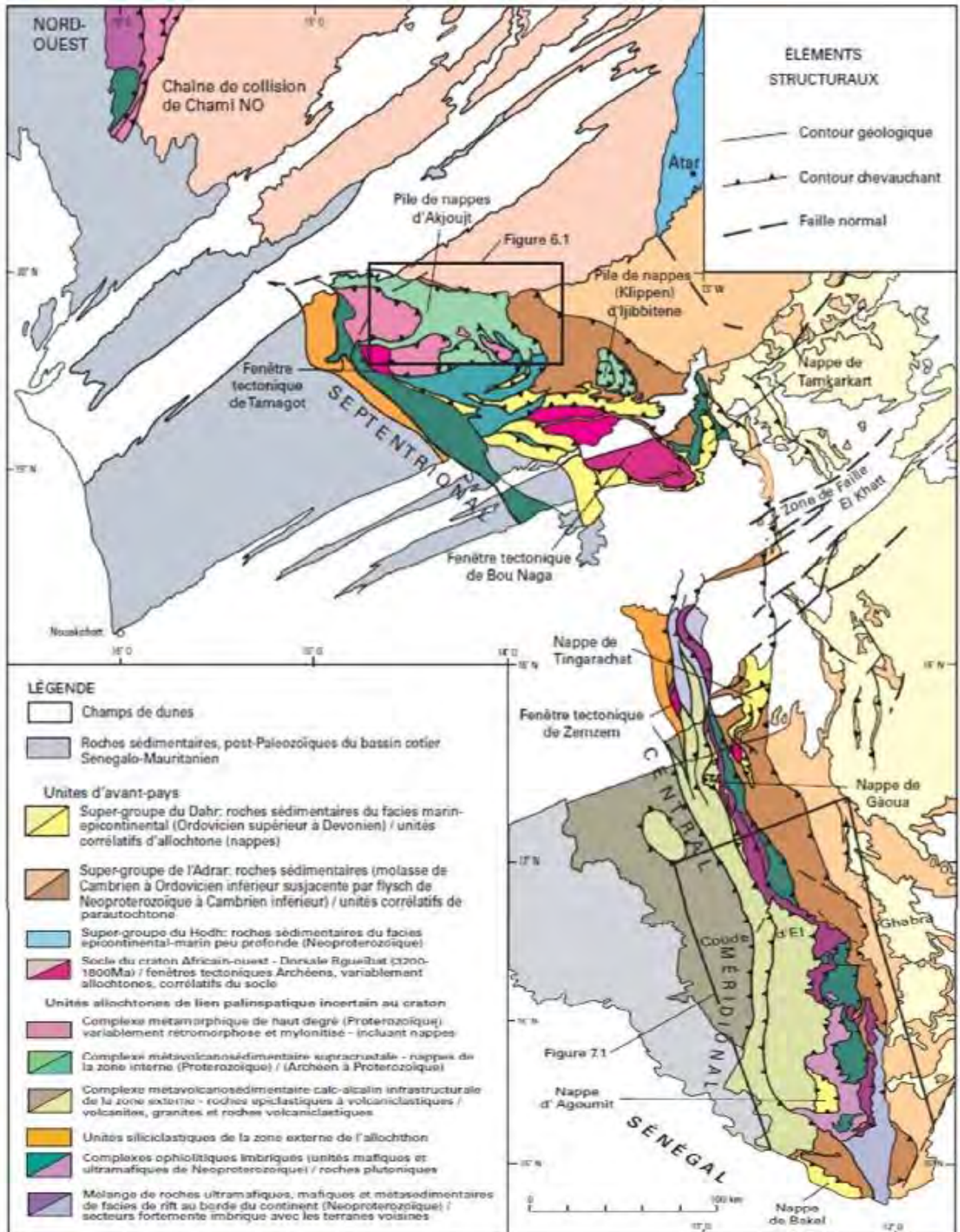
Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Autrement connu sous le nom d'arc de Bakel-Moudjeria, ce segment orienté NNW à NS, se prolonge au sud de la ceinture dunaire d'Aoukar jusqu'à la frontière, et à l'intérieur, du Sénégal oriental.

L'ensemble charrié des unités allochtones et para-autochtones est juxtaposé à l'avant-pays de Tagant composé de roches paléozoïques du bassin de Taoudeni (Super-groupe de l'Adrar). Dans l'extrême sud (au Sénégal), l'avant-pays inclut les fenêtres Birrimiens de Kayes et de Kéniéba.

Ce segment peut être encore subdivisé en Mauritanides centrales et méridionales à partir du coude d'El Ghabra (16°40'N).

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)



IV.1.1.5. Bassin côtier ou Bassin Sénégal-Mauritanien

Le bassin côtier sénégal-mauritanien s'est développé au cours du Permo-Trias tout le long de la marge occidentale, en distension passive, du Craton Ouest africain pendant l'époque qui correspond à l'ouverture proto-atlantique.

Le bassin s'étend de la Mauritanie occidentale au nord, à la Guinée-Bissau au sud, avec une bordure orientale située en Mauritanie méridionale et constituée par la zone orogénique Mauritanides (**fig. 3**). Les informations obtenues des forages profonds et des études géophysiques effectuées aussi bien sur terre qu'en mer (Liger, 1980; Ritz, 1983; Ritz et al., 1989; Ritz et Bellion, 1990) indiquent que le bassin renferme des sédiments mésozoïques et cénozoïques qui s'épaississent vers le large. Ces sédiments reposent sur un socle à effondrement progressif vers l'ouest le long de failles normales de marges en distension. A proximité de Nouakchott, la profondeur du bassin est estimée entre 4000 et 5000 m, alors que plus à l'ouest, c'est probablement le double (Ritz et Bellion, 1990). A l'est, en dessous de la Mauritanie méridionale, les forages indiquent que le soubassement paléozoïque - précambrien est beaucoup moins profond (105 m à Aleg et 216 m à Niabina), et que la séquence correspond intégralement à des sédiments cénozoïques transgressifs.

L'histoire du bassin côtier a été synthétisée entre autres par Elouard (1975) et Bellion (1991). Les roches affleurantes les plus anciennes sont d'âge paléocène, mais celles-ci sont trouvées uniquement dans le sud (le long de la vallée du fleuve Sénégal, dans les régions du Cap Vert et du dôme de Ndiass près de Dakar au Sénégal, ainsi qu'au nord de la Guinée-Bissau). Des évaporites triassico-liasiques (gypse - anhydrite - halite) et des shales pyriteux ont été trouvés dans des forages profonds situés en dehors de la côte mauritanienne, où un grand nombre de diapirs de sel ont été localisés. Ces derniers forment une ceinture orientée nord-sud située à environ 100 km à l'ouest de la côte mauritanienne (Templeton, 1971). Les dykes gabbroïques et microgabbroïques crétacés-permiens (mais principalement liasiques), associés à des distensions précoces, recoupent les plus anciennes roches du bassin (Sebai et al., 1991). Les épaisses séquences (au moins 1.800 m d'épaisseur au sud de Dakar) de calcaires dolomitiques bioclastiques, localement oolitiques, jurassiques, ont été trouvés dans des forages profonds, indiquant ainsi le développement de carbonates de mer peu profonde et de récifs frangeants le long de la marge orientale d'un bassin à subsidence rapide (Ruellan, 1985 ; Dumestre et Carvalho, 1985).

La subsidence du bassin durant le jurassique était associée au développement de failles normales parallèles à la côte. Dans la région du Sénégal, la subsidence était plus marquée à l'ouest d'un axe orienté N-S situé dans la région de Dakar.

Vers l'est, il a pu y avoir certains soulèvements locaux contemporains dans la région du dôme de Ndiass (Castelain, 1965).

En Mauritanie, les sédiments paléocènes sont trouvés uniquement à l'ouest de Rkiz (forages d'Idini, Moutounsi et Bou Lanouar), où ils sont constitués de calcaires littoraux et récifaux, ainsi que d'argiles (Elouard, 1975; Bellion, 1991). Les sédiments éocènes de base recouvrent une surface karstique paléocène dans la région de Ndiass (Sénégal), indiquant une émergence au cours du Paléocène. Le Paléocène est totalement absent à l'est de Rkiz.

IV.1.2. Géologie de l'Inchiri

Le complexe de l'Inchiri est composé d'un empilement imbriqué de nappes de charriage des Mauritanides nord centrales qui recouvre structuralement l'autochtone et le paraautochtone du socle archéen et la mince couverture sédimentaire de Taoudeni (**fig. 4**). Une partie du socle basal archéen (groupe de Saouda) a une relation allochtone avec l'avant pays du craton ouest africain. Ce complexe est baptisé du nom de la région d'Inchiri afin de refléter la grande extension régionale. Il incorpore quatre nappes supra-crustales intérieurement imbriquées et une zone d'enracinement qui constitue l'allochtone infra-structural. Pour chaque division tectonique a été provisoirement assignée un statut de groupes séparés, vu l'impossibilité de faire pour l'instant des corrélations lithostratigraphiques précises.

- **Nappe de Hajar-Dekhen-Kleouat** (groupe de Hajar-Dekhen-Kleouat)
- **Nappe de Choueïma** (groupe d'Oumachoueïma et d'Eizzene)
- **Nappe quartzitique de Tamkarkart** (groupe d'Agoualilet)
- **Nappe de Bou Kerch** (groupe de Saouda)
- **Paraautochtone** (sédiments de bassin du Taoudeni sus-jacent au socle)
- **Socle** (Complexe d'Amsaga).

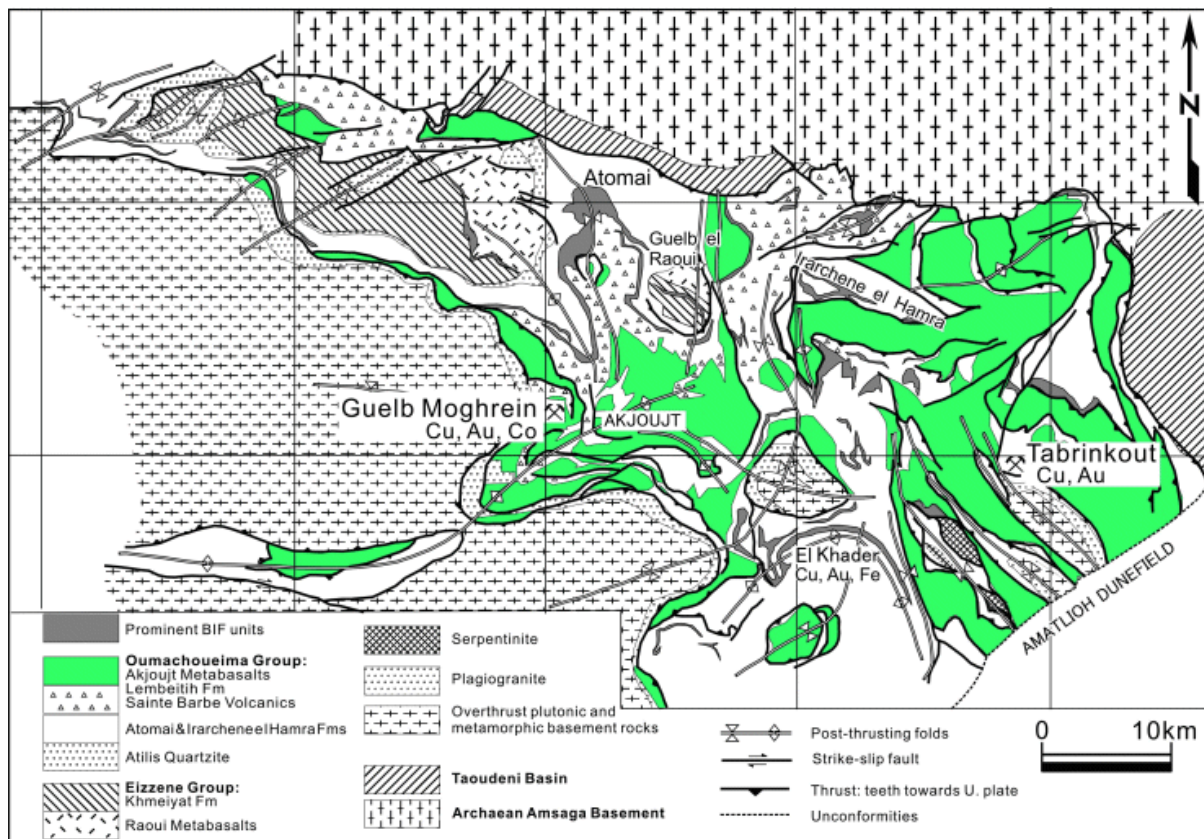


Figure 4 : Carte géologique régionale du secteur d'Akjoujt

IV.1.3. La série d'Akjoujt

La région d'Akjoujt (qui renferme le gisement de Guelb Moghreïn) est située sur un orocline de la chaîne centrale (**partie septentrionale**) de Mauritanides et tourne vers l'Ouest à partir de son orientation Nord-Est en général et suit la bordure Sud-Ouest de la dorsale archéenne de Réguibat. Dans ce domaine, le complexe est généralement de vergence vers l'Est sur la partie de plissement et de la poussée de la chaîne des Mauritanides. Dans cette zone, nous disposons d'une suite d'unités des roches volcaniques métamorphiques, volcanoclastiques et epiclastiques qui chevauchent vers l'Est sur le sous-sol d'Amsaga et le bassin de Taoudeni. La limite Ouest de la région d'Akjoujt est marquée par une série de nappes qui comprend des schistes et des gneiss du sous-sol d'Amsaga (Souzy, 1969 ; le page, 1988 ; Lecorché et al., 1989 ; Martyn et Strickland 2004 ; Villeneuve, 2005).

Les unités de socle sont géométriquement situées soit au-dessus des roches vertes (socle de Kléouat et de Hjar Dekhen), soit en dessous (socle de l'Amsaga).

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

La série des roches vertes des Mauritanides comporte deux groupes stratigraphiques séparés par une discordance : le groupe d'Eizzene, le plus ancien et le groupe d'Oumachoueïma, le plus récent (**fig. 5**).

IV.1.3.1. Groupe d'Eizzene

Le groupe d'Eizzene se compose de deux formations ayant un rapport cohérent entre elles ; avec une unité inférieure, **Formation de Raoui**, recouverte par la **Formation de Khmeiyat**. La nature des contacts n'est pas visible pour savoir si c'est une discordance ou une limite tectonique.

- **Méta-basaltes de Raoui** : se réfèrent à une suite de laves mafiques monotones, partiellement exposée sur les pentes inférieures du Guelb El Raoui, à 15 km au Nord ou au Nord-Est d'Akjoujt, mais ailleurs mal exposée. Leur plus grande zone d'affleurement / de sous-affleurement est à l'Ouest d'Atilis (**fig. 4**). Ils sont à grain fin et largement métamorphisés un assemblage de clinozoïsite, amphibole et le quartz avec du carbonate mineur et séricite qui les rendent d'aspect blanc. Il n'y a pas d'association doléritiques, contrairement aux jeunes metabasaltes d'Akjoujt. BIF est en contact avec les basaltes près d'Atilis, mais la relation stratigraphique est inconnue. Léger orthoquartzite est entrelacée avec les basaltes sud de Guelb El Raoui.
- **La Formation de Khmeiyat** : Elle est entièrement méta-sédimentaire ; Elle commence par une formation ferrugineuse rubanée à magnétite, d'extension régionale, qui forme la colline de Khmeiyat au sud-ouest d'Atilis et à 16 km au NW d'Akjoujt. Celle-ci est suivie d'une séquence de schiste et de phyllite, pélitiques à semi-pélitiques, de gradient métamorphique inférieur, avec des bandes de quartzite et de sub-grauwackes (appauvris en feldspath) psammitiques, ainsi qu'un mince BIF.

Il n'y a aucun âge direct permettant de dater le groupe d'Eizzene. Les plutons de leucotonalite sont présents dans le groupe d'Eizzene, mais sont interprétés comme étant recouverts en discordance par le quartzite d'Atilis, membre basal du groupe d'Oumachoueïma (Martyn et Strickland, 2004).

- **Intrusions dans le groupe d'Eizzene :** l'intrusion granodioritique du groupe d'Eizzene se présente à deux localités près de 15 km à l'ouest-sud-ouest d'Atilis (**Fig. 2 et 4**). Ils sont constitués de grains fins à moyens granodiorite composée en grande partie d'oligoclase et de quartz avec biotite, montrant sericitisation naissante de feldspath et de biotite de chloritisation. Le granitoïde à Atilis est interprétée être recouverte en discordance par l'Atilis quartzite. Les deux corps granitiques sont séparés par une zone de faille senestre. Il pourrait avoir été une partie du même pluton.

IV.1.3.2. Groupe d'Oumachoueïma

Six formations constituant ce groupe sont définies comme suit:

- **Le quartzite d'Atilis** forme la partie basale de la séquence d'Irarchene El Hamra où il varie d'orthoquartzite mal stratifié, massif, en blocs, à des schistes psammitiques en dalles intercalés de métasiltites. Il recouvre de manière discordante le Groupe d'Eizzene et les fenêtres tectoniques de socle archéen. Il constitue un important horizon repère à travers un grand parti du complexe d'Akjoujt. Cependant, il n'a pas plus de 10 de mètres d'épaisseur par endroits, et il est localement non distinguable du reste de la séquence psammopélitique.
- **Formation d'Irarchène El Hamra :** au-dessus du quartzite d'Atilis, la succession d'Irarchene El Hamra est composée la plupart du temps de schistes verts à quartz, chlorite $\pm$ muscovite (originellement des shales et des siltites), mais avec présence de sub-grauwackes (grauwackes appauvris en feldspath) riches en quartz et de minces quartzites dans la partie inférieure, et de fins méta-grauwackes volcanogènes verdâtres vers le sommet.

Les schistes verts sont composés principalement de quartz et de chlorite, avec des quantités mineures de muscovite, d'épidote $\pm$ carbonate, et de minéraux opaques. La Formation d'Irarchene El Hamra encaisse de rares coulées méta-basaltiques amygdaloïdes et sills méta-basiques.

- **La Formation d'Atomai :** elle inclure uniquement les roches situées au-dessus du changement de couleur observé dans la coupe d'Irarchene El Hamra, y compris la formation ferrugineuse majeure, mais en excluant les roches sus-jacentes, plus grossières et plus massives, volcano-clastiques et andésitiques à rhyolitiques. Le changement de couleur reflète l'introduction de détritiques volcaniques mafiques à intermédiaires, relativement riches en fer, à la base de la Formation d'Atomai.

La lithologie dominante de la Formation d'Atomai est un siltite volcanogène et un grauwaacke métamorphosé en schiste à chlorite $\pm$ séricite + quartz $\pm$ carbonate. Quand elles sont fraîches, ces roches sont de couleur vert foncé, essentiellement à grain fin, bien stratifiées ou en lamines.

Il y a généralement deux unités de BIF, la supérieure étant beaucoup plus épaisse et plus riche en fer que l'inférieure. Les deux unités sont séparées par un métasiltite chloriteux à couleur d'altération rouge (schistes hématitiques).

De minces unités de laves méta-basaltiques (localement en forme de pillow) et de sills métamicrogabbroïques sont présents sporadiquement dans la partie supérieure de la formation,

- **Unité de Sainte Barbe :** cette unité est composée de roches volcaniques intermédiaires à felsiques et volcano-clastiques associées. la Formation de Sainte Barbe montre les caractéristiques d'un centre éruptif comprenant de vastes étendues de laves, des pyroclastites, des tufs soudés et des agglomérats (brèches volcaniques à grands fragments de tufs). Les compositions varient la plupart du temps entre andésite et dacite, avec de subordonnés basaltes fortement potassiques et des rhyolites quartzifères phyriques.

Vers le sud, à partir du massif d'Irarchène, les volcanites de Sainte Barbe deviennent de plus en plus dominées par des roches volcano-clastiques du calibre des lapilli, aux dépens des laves et des pyroclastites grossières.

Les intrusions microgabbroïques syn-volcaniques situées dans la partie inférieure du Groupe d'Oumachoueïma (montrent clairement des signatures géochimiques de subduction associée à un arc volcanique, avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 56,5 - 60,6 %, de prononcées anomalies négatives de Sr et des profils enrichis en LREE (80 x chondrites).

- **La Formation de Lembeitih** est une distinctive formation ferrugineuse rubanée située au contact entre les volcanites de Sainte Barbe et les volcanites d'Akjoujt. C'est un marqueur stratigraphique pratique qui peut également être le lieu de charriage.

La Formation de Lembeitih, avec normalement moins de 10 mètres d'épaisseur, varie de cherts pyriteux recristallisés dans la région de la mine d'Akjoujt, à formation ferrugineuse à hématite ou quartz-magnétite vers Loueibda, et à formation ferrugineuse rubanée à quartz carbonate- magnétite dans la région d'El Joul - El Khader.

- **Unité de metabasaltes d'Akjoujt** : la Formation d'Akjoujt est presque entièrement constituée de basaltes sous-marins, de microgabbros et de leurs produits tectonisés.

Le type le plus commun est un metabasalte tholeiitique non porphyrique à grain fin. Il est rarement bien exposé, formant de bas affleurements blocailleux, mais certains gros blocs ont la forme de croûte arrondie des pillows. Les microgabbros, interprétés comme étant des intrusions syn-volcaniques, sont presque communs dans certaines régions.

Les volcanites d'Akjoujt correspondent à des roches vertes archéennes avec un style de déformation hétérogène, et avec une transition rapide d'un méta-basalte ou micro-gabbro, pratiquement non déformé, à un schiste à chlorite, amphibole, riche en carbonate, et une mylonite.

Les intrusions syn-volcaniques de méta-microgabbro forment localement des champs de blocs. Elles sont amphibolitisées, mais la texture ignée primaire est encore perceptible. Elles sont composées d'amphibole verte, quartz, épidote, feldspath et biotite, avec des quantités mineures de carbonate et d'accessoires minéraux opaques. L'amphibole verte (< 60 %) comprend de la hornblende précoce et de la trémolite-actinolite postérieure généralement en enchevêtrements marginaux. La biotite, ± chlorite, généralement enchevêtrée avec l'amphibole actinolitique, borde les porphyroblastes de hornblende. Les phases accessoires incluent le sphène, la magnétite et l'ilménite.

Dans le mur fortement cisailé du dépôt de Guelb Moghreïn, des roches minéralogiquement similaires aux amphibolites ont développé une structure rubanée lenticulaire finement grenue dominée par des phyllosilicates et des carbonates à grains fins. Les feldspaths sont séricitisés et silicifiés et la trémolite-actinolite s'est développée le long du clivage. Les hornblendes contiennent des inclusions de quartz et d'anthophyllite le long des plans du clivage.

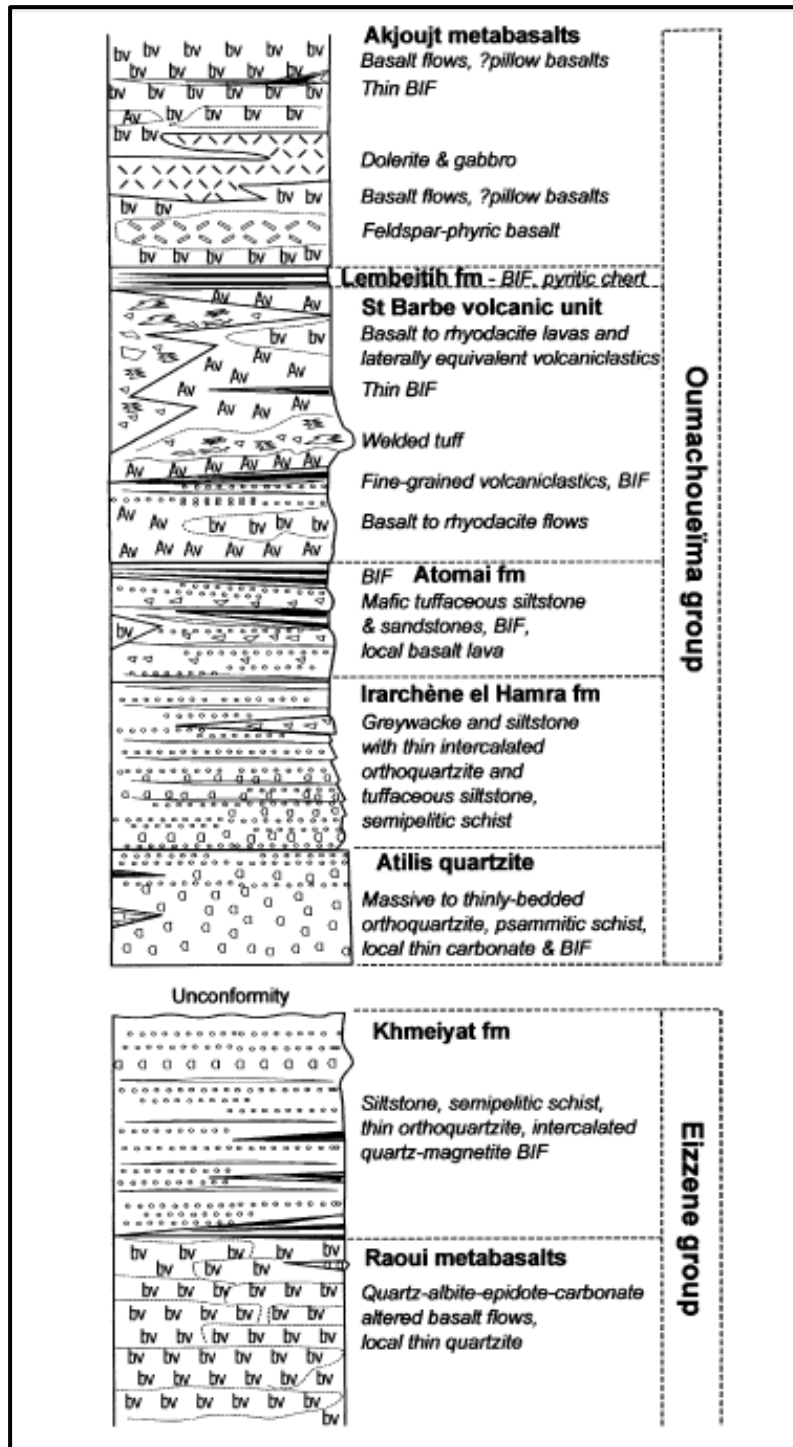


Figure 5: Colonne stratigraphique de la série d'Akjoujt (Martyn et Strickland, 2004)

IV.1.4. Structuration de la série d'Akjoujt

L'histoire tectonique de la région peut être résumée en cinq épisodes compressifs (**Fig. 6**) dénommés successivement D1, D2, D3, D4 et D5 (Martyn & Strickland, 2004 ; Kolb et al., 2006).

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

D1 : Plissements NS d'intensité modérée affectant le groupe d'Eizzene et précédant les dépôts du groupe d'Oumachoueïma.

D2 : Plis couchés, chevauchements et déformations ductiles à vergence NNE postérieurs à la série d'Oumachoueïma provoquant foliations et linéations lors de multiples redoublements de la stratigraphie. Déformation contrôlant la minéralisation à Guelb Moghreïn.

D3 : Chevauchements et déformations ductiles à vergence ENE avec notamment remobilisation de flancs inverses. Responsable probablement de la troncation du gisement de Guelb Moghreïn.

D4 : Grandes plis d'intensité faible à modérée et de faible amplitude, à vergence NNE.

D5 : Plissements d'intensité modérée à forte et chevauchements à vergence ENE, créant de nombreux plis à petite échelle et des figures de crénulation.

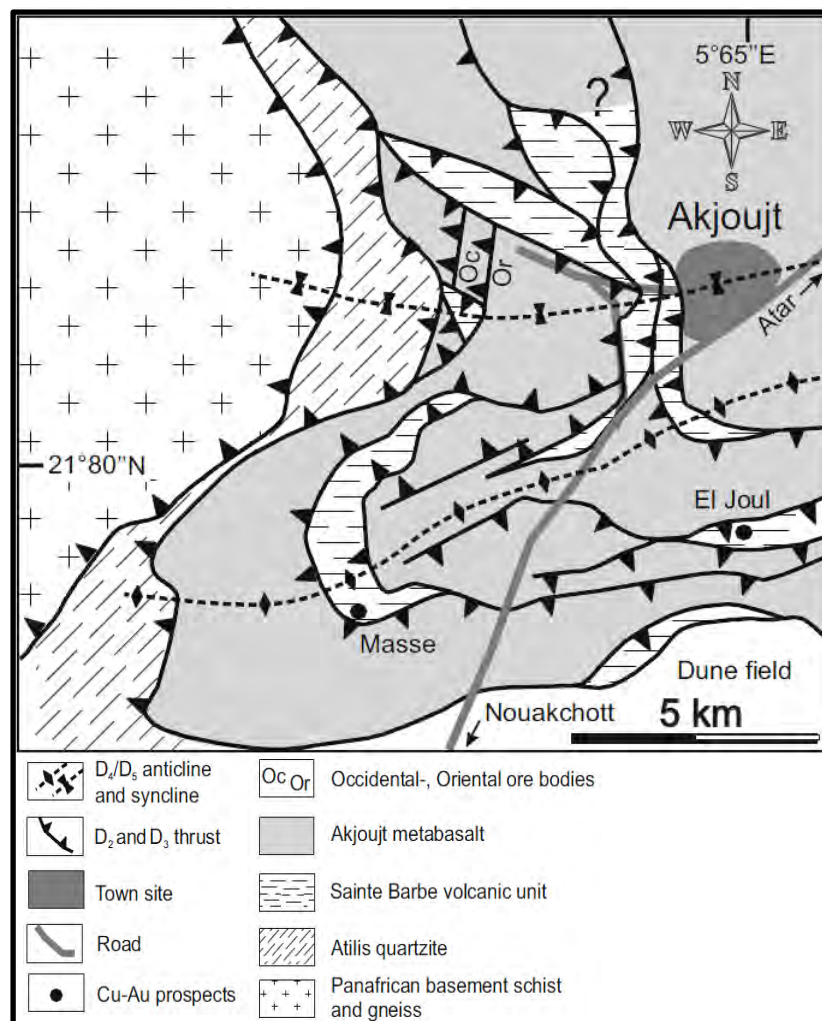


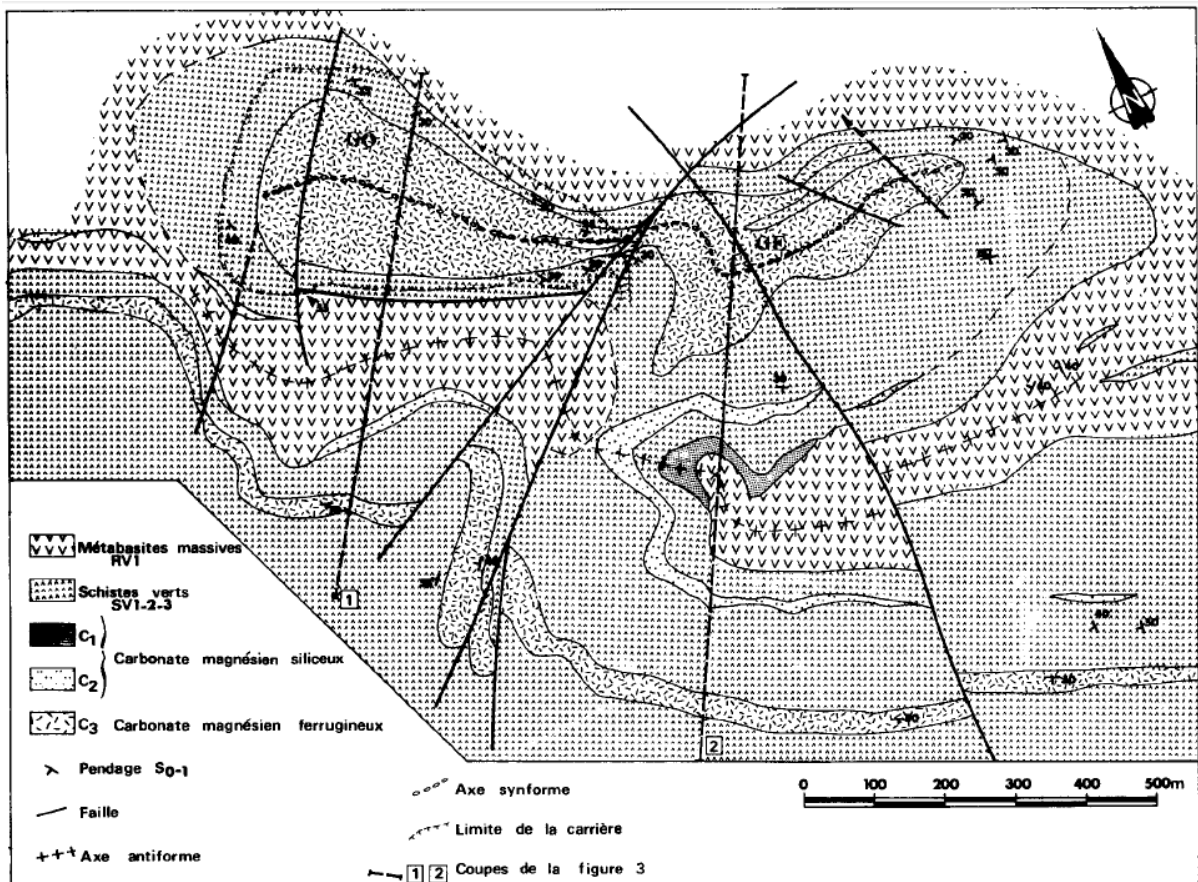
Figure 6 : Carte géologique de la région d'Akjoujt (Kolb et al., 2006)

IV.2. CADRE LOCAL

IV.2.1. Introduction

Le gisement de Guelb Moghreïn est constitué par des lentilles de carbonates ferro-magnésiens (série à magnésite et sidérite) et à magnétite, intercalées dans la série volcano-sédimentaire epi-métamorphique d'Akjoujt (Michaud; 1964). Selon le modèle présenté par cet auteur, la série d'Akjoujt correspondrait à un complexe volcano-sédimentaire sous-marin de faible profondeur (Fig. 7). Le gisement de Guelb Moghreïn se situe en-dessous de deux chapeaux de fer au niveau des Guelb Occidental et Oriental.

Plusieurs autres travaux ont été réalisés sur le gisement de cuivre de Guelb Moghreïn, parmi lesquels on peut citer : Ba Gatta (1982), Pouclet et al., (1987), Martyn & Strickland (2004), Kolb et al., (2006 et 2008) et Kirschbaum (2011). Ces travaux ont débattu l'origine et l'âge de la minéralisation et celle des carbonates FMC qui les encaissent.



IV.2.2. Géologie du gisement de cuivre de Guelb Moghreïn

IV.2.2.1. Le Guelb Occidental

Selon Pouclet et al. (1987), les carbonates minéralisés présentent une puissance apparente de 50 à 100m à l’affleurement et une extension de 300m environ à l’horizontale et 750m au maximum en aval pendage. La lentille carbonatée présente à l’affleurement un pendage de 30° vers SSW, se redresse graduellement en aval pendage vers l’horizontale jusqu’à 20° et qui se poursuit en s’amincissant jusqu’à cinq à six cent mètre (Pouclet et al., 1987).

Selon le même auteur, l’interprétation des sondages miniers de la SOMIMA (Société des Mines de Mauritanie, 1970), indique que le gisement correspond à un repli synclinal couché dont le banc carbonaté à intercalations de séricito-schistes constitue le cœur entouré aux flancs par des schistes chloriteux, des roches vertes et des schistes siliceux (**fig. 8**). Ces derniers affleurent dans la partie médiane du Guelb.

Michaud (1964) interpréterait le gisement comme une structure anticlinale couchée et faillée.

La présence de silice semble témoigner d’un processus de précipitation chimique.

Sur les flancs SW (normale) et NE (inverse), le mur immédiat est représenté par quelques mètres à quelques dizaines de mètres de schistes chloriteux à grenat et trémolite, à intercalation de lits carbonatés. Ces schistes pourraient correspondre à d’anciens tufs basiques.

Au-dessous de ces schistes on a un puissant niveau de roches vertes (près de 100m sur le flanc NE) constituées de méta-gabbros à ouralite, d’orthoamphibolites et de méta-dolérites. Ces faciès basiques sont caractéristiques de complexe de base de la série d’Akjoujt (Pouclet et al., 1987).

Selon la conception de Routhier (1974), les niveaux inférieurs de la série d’Akjoujt représenteraient un ensemble basique à caractère ophiolitique auquel est génétiquement associé à l’épisode des carbonates magnésiens et ferrifères minéralisés de Guelb Moghreïn. Cet auteur établit une distinction essentielle, parmi les niveaux de carbonates intercalés dans la série d’Akjoujt, entre :

- Les niveaux à carbonates ferro-magnésite de la série à magnésite –sidérite, associés à l’ensemble basique inférieur ;

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

- Et les niveaux à dolomies, associés aux niveaux supérieurs de l'ensemble volcano-sédimentaires ou aux détritiques qui leur succèdent.

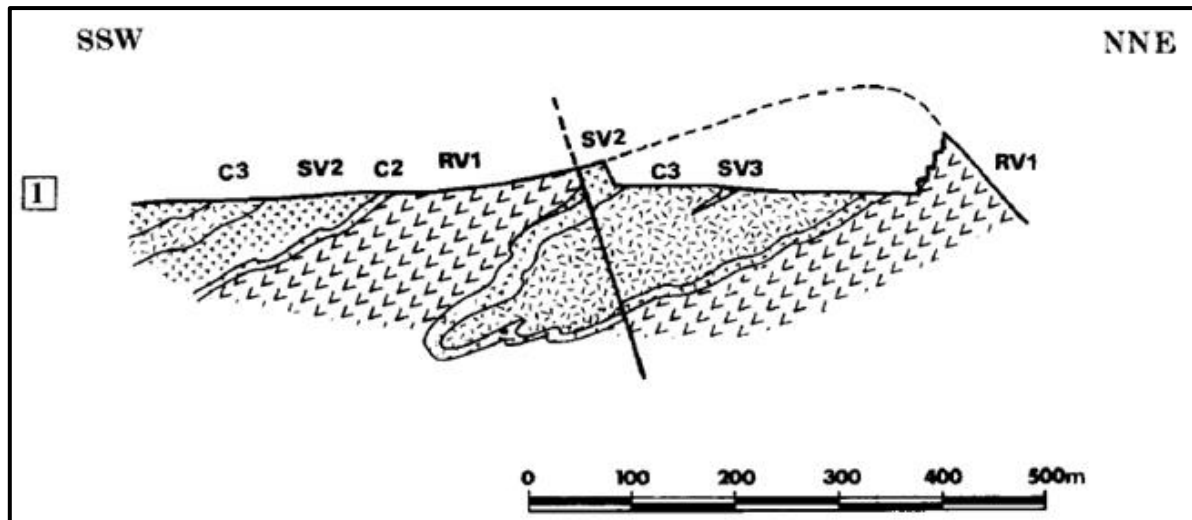
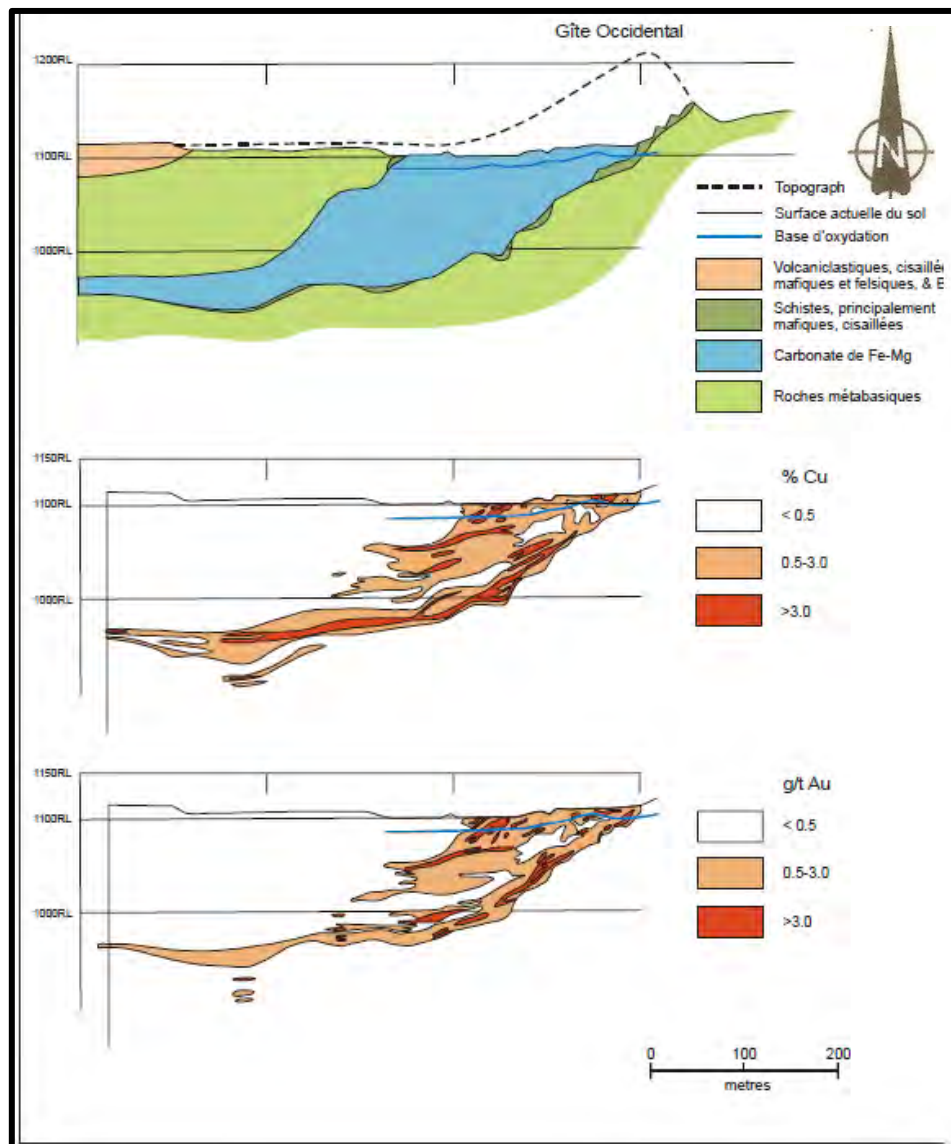


Figure 8 : Coupe à travers le Guelb occidental d'après Poulet et al. (1987), voir localisation et légende sur la figure 7.

IV.2.2.2. Géométrie des carbonates minéralisés

Selon Michaud (1964) l'interprétation est basée sur l'observation d'une zone tectonisée vers la base NNE des Guelbs et sur l'hypothèse stratigraphique mettant le niveau carbonaté de la base de la formation volcanique supérieure environnante. Elle conduit l'auteur à envisager en profondeur "des accumulations abondantes de carbonates, au cœur d'un anticlinal couché à flanc inverse laminé", accumulations qui n'existent pas, comme devaient le montrer les sondages.

Ce sont les sondages de la SOMIMA (Société Minière de Mauritanie) et les travaux de son géologue en chef, Evans, qui vont définir l'extension et la structure du niveau minéralisé du Guelb Occidental. Dans un rapport inédit de 1970 (An. 1970), la disposition en synclinal couché est reconnue et clairement dessinée : le banc carbonaté est replié sur un cœur de sérécito-schistes pincés; l'ensemble minéralisé forme un amas lenticulaire épais de quelques dizaines de mètres (près de 100m de largeur d'affleurement), incliné de 30° vers le Sud-Sud-Ouest et qui se poursuit en s'amincissant sur cinq à six cents mètres (**Fig. 9**).



IV.2.2.3. Le Guelb Oriental

Le Guelb Oriental semble être une extension du Guelb Occidental mais la nature de la structure tectonique qui les sépare est encore incertaine. Kolb et al. (2006) considèrent qu'un chevauchement à vergence est décale les deux massifs (**Fig. 10 et 11**).

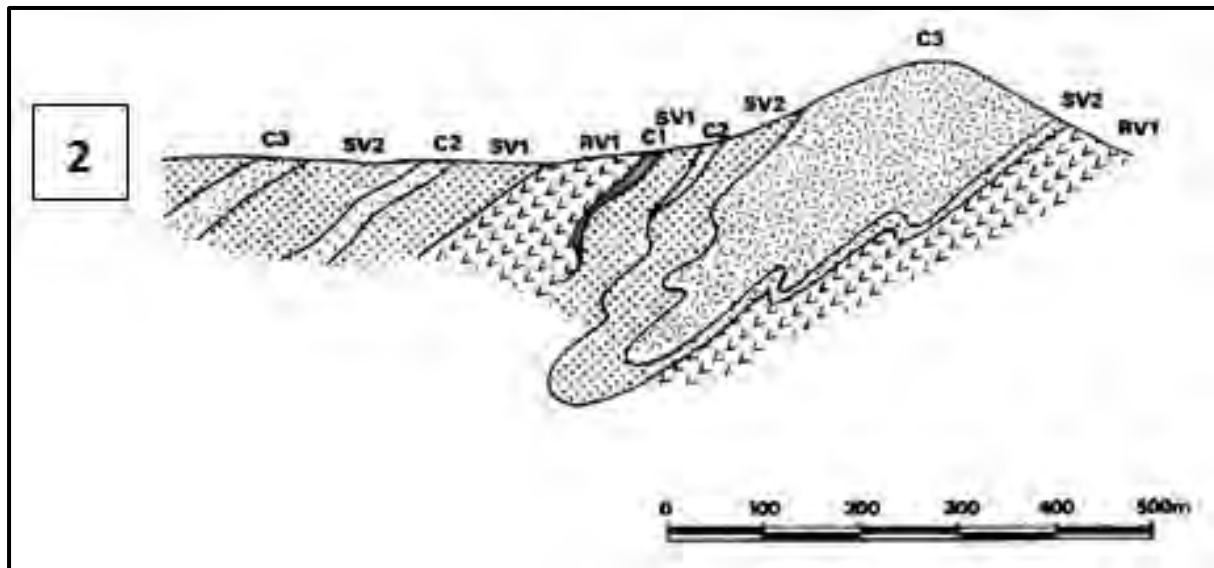


Figure 10 : Coupe à travers le Guelb Oriental d'après Pouclet et al. (1987), voir localisation et légende sur la figure 7.

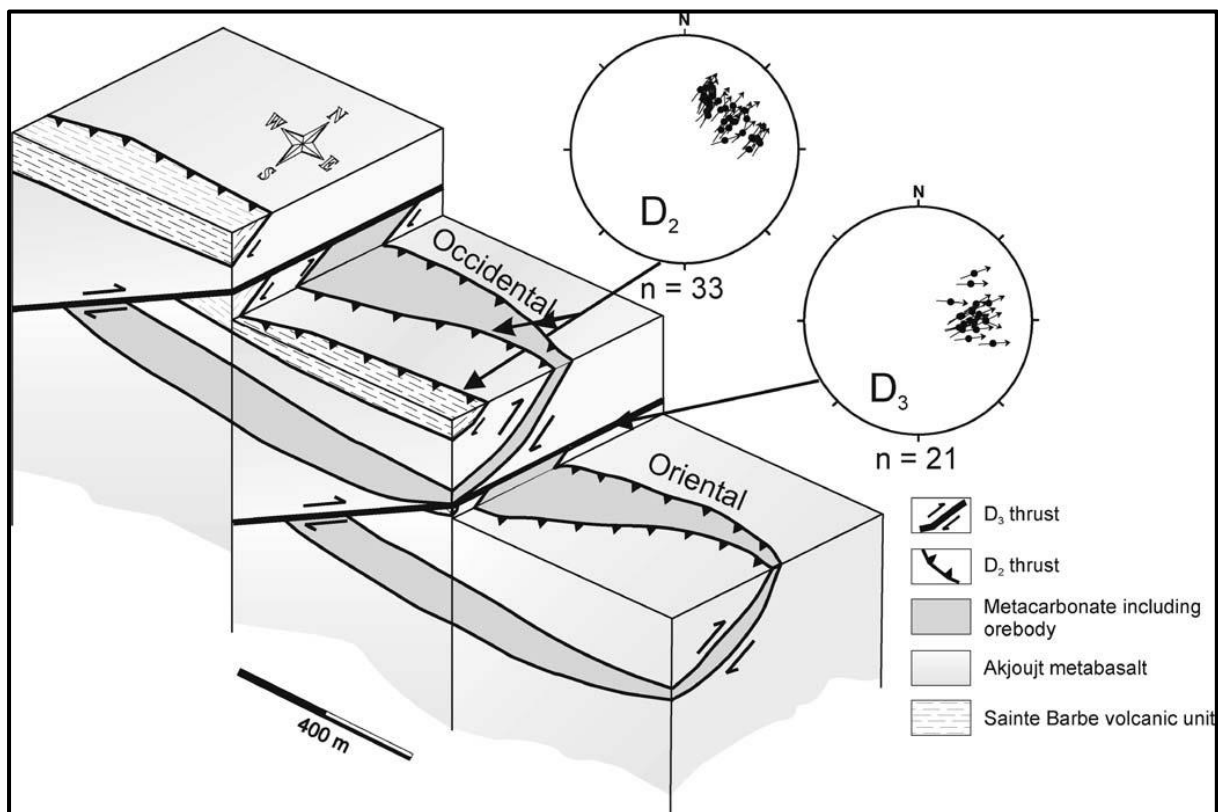


Figure 12 : Disposition structural des Guelb occidental et oriental selon Kolb et al. (2006).

IV.3. GITOLOGIE DU GISEMENT DE CUIVRE DE GUEL B MOGHREIN

La gitologie du gisement d'Akjoujt a fait l'objet de nombreux travaux (Ramdhor, 1957; Vincennes, 1957; Michaud, 1973; Chiron, 1973; Pouit et al, 1974; Ba Gatta, 1982; Marty et Struckland, 2004 et récemment Kolb et al., 2006).

La minéralisation d'oxydes de Fer et de Cuivre associé à l'Or, de la mine à ciel ouvert d'Akjoujt se trouve dans les méta-carbonates localisée dans les deux Guelbs (Occidental et Oriental) (Strickland & Martyn 2002), actuellement le Guelb Occidental seule est en exploitation. Le mur et le toit de la minéralisation sont formés essentiellement de méta-basaltes, transformés en schistes du fait des contraintes de cisaillement. La minéralisation est portée par des carbonates ferrifères nommé FMC (Ferro-Magnésiens Carbonatés). L'ensemble montre un prolongement vers le S-W.

Gitologiquement le gisement est constitué de trois zones minéralisées qui sont, de bas en haut, une zone sulfurée, une zone mixte (zone de cimentation) et une zone oxydée.

- ❖ Zone oxydée : Dans cette zone les sulfures sont instables et les minéraux sulfurés sont oxydés, c'est aussi la zone d'aération ou de dissolution ; la dissolution est entraînée par l'eau chargée en CO₂ et O₂ qui dissout tous les éléments présents sauf le fer. Cette zone descend à 35 m au-dessous du niveau de la pénéplaine, ce qui représente une extension maximale verticale de l'ordre de 100m à 110m, soit environ le tiers du tonnage du gisement.

Dans la zone d'oxydation, les carbonates, plus ou moins ferruginisés, constituent un agrégat parfois compact, parfois poreux. La para-genèse est à carbonates ferrifères, oxydes et hydroxydes de fer, l'ensemble contenant en moyenne de 50 % Fe₂O₃.

Dans la zone franchement oxydée, la minéralisation cuprifère est essentiellement formée de malachite associée à la chrysocolle, au diopside et à l'atacamite. La minéralisation est très irrégulière dans le détail.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Le sommet de la zone d'oxydation est marquée par la présence d'un chapeau de fer plus ou moins silicifié qui désigne une zone exposée en surface et oxydée d'un gisement métallifère. Il présente un aspect plus ou moins alvéolaire avec des teintes jaunâtres à brun rouge. Celui déborde localement de la lentille de carbonate minéralisée ; sa puissance peut atteindre 15m, Il est généralement pauvre en cuivre avec une teneur moyenne de l'ordre de 0,5% Cu. Cependant, on note la présence de quelques enrichissements métriques spectaculaires (peintures de malachite) pouvant titrer jusqu'à 8 à 12% Cu.

- ❖ Zone mixte ou zone de cimentation : C'est une zone de saturation, dans cette zone les roches subissent une saturation permanente et l'eau descend lentement vers le bas, les éléments qui ont été dissous dans la zone oxydée vont se déposer (les sulfures).

La zone de cimentation dite à chalcosine est à cheval sur la zone sulfurée située plus en profondeur et la zone oxydée plus superficielle. De fait, elle est constituée de la partie sommitale de la zone sulfurée et de la partie basale de la zone oxydée. Issue de la cimentation des sulfures primaires (chalcopyrite essentiellement), la chalcosine est moyennement représentée, en association respectivement avec la chalcopyrite et la malachite. En effet, il ne s'agit pas d'une véritable zone de cimentation du fait, d'une part, de la nature carbonatée de la gangue qui inhibe la migration de cuivre et, d'autre part, des conditions climatiques peu favorable (contexte lagunaire).

La teneur moyenne en cuivre de la zone mixte est de 2%.

- ❖ Zone sulfurée : Elle correspond à la partie profonde de la lentille carbonatée. La roche, d'aspect gris est constituée de sulfures à chalcopyrite dominante, de magnétite (30 à 40%), d'amphibole (environ 3%), le tout dans une gangue dolomitique (50%).

La minéralisation sulfurée est irrégulièrement répartie dans la masse. La teneur moyenne en cuivre de la zone sulfurée est de 1,8% Cu avec un minimum de 0,5% Cu et un maximum de l'ordre de 8% Cu (sur quelques décimètres). C'est la zone à rentabilité pour la MCM.

IV.4. ORIGINE DES CARBONATES ENCAISSANTS

Pouclet et al. (1987) ont proposé une origine syn-sédimentaire dans un bassin de carbonate pour le gisement de Guelb Moghreïn. Cependant, en dehors de BIF, les carbonates de fer sont largement absents de la stratigraphie.

La plupart des zones de carbonate décrit comme des "lits" par **Michaud (1963) et Pouclet et al. (1987)** semblent être des Tectonites méta-somatisées concentrés le long des couches parallèles au cours de la poussée D2.

Strickland et Martyn (2002) ont suggéré que le méta-carbonate est formé soit par une altération hydrothermale des roches volcaniques ou des fonds marins ou comme le résultat d'une remobilisation de carbonate de formations de fer rubanées pendant la tectonique.

Kolb et al. (2008) suggèrent que les méta-carbonates étaient d'origine sédimentaire.

Des travaux plus récents, **Kirschbaum (2011)**, suggèrent une origine mixte dans laquelle les carbonates marins ont été soumis à un métamorphisme, une altération hydrothermale et une déformation structurale.

IV.5. PETROGRAPHIE DES ROCHES DU GISEMENT

L'assemblage pétrographique au niveau du gisement de Guelb Moghreïn comprend des méta-volcanites basiques et acides, des méta-dolérites, des méta-gabbros, méta-diorites en association avec des méta-tuffites et des méta-cinériles (Pouclet et al., 1986).

Ces formations volcanogènes s'intercalent dans des méta-sédiments détritiques argilo-quartzeux et chimiques carbonatés. Bien qu'aucune structure en 'pillows' n'ait été reconnue, l'ensemble pourrait correspondre des épanchements volcaniques sub-aquatiques dans un bassin sédimentaire.

La cartographie détaillée de la fosse (Kolb et al., 2006) montre que les principales lithologies à Guelb Moghreïn sont des roches méta-sédimentaires et méta-volcaniques de l'unité de Sainte Barbe et des roches méta-volcaniques de l'unité des méta-basaltes d'Akjoujt, ainsi que le méta-carbonate encaissant la minéralisation (**Fig. 12**).

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Le corps minéralisé se trouve dans l'unité de méta-basaltes d'Akjoujt qui est constituée pétrographiquement des roches suivantes :

- les méta-carbonates qui incluent le corps minéralisé
- les Chloritoschistes
- les Schistes à biotite-actinote
- les Amphibolites ;

L'unité de méta-basaltes d'Akjoujt est chevauchée par l'unité volcanique de Sainte Barbe qui est constituée de deux formations :

- Schistes à sericite-quartz
- Schistes à biotite-grenat-quartz.

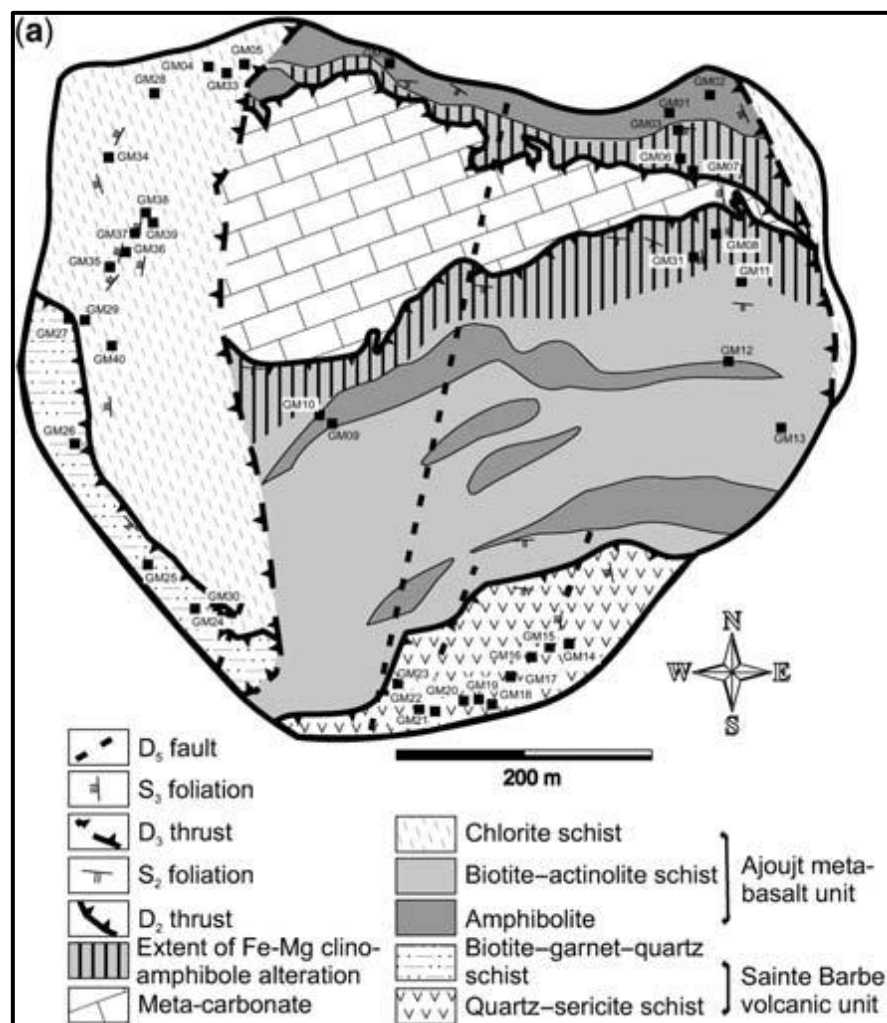


Figure 12 : Carte géologique du minerai du Guelb occidental (Kolb et al., 2008).

IV.5.1. Unité volcanique de Sainte Barbe

Le schiste à quartz-séricite a une couleur grise claire à verdâtre, bien feuilletée, roche à grain fin, comprenant de la séricite, biotite, quartz, plagioclase et chlorite (**Fig. 13a**).

Quartz et plagioclase forment des porphyroclastes de 0,4 à 1mm de diamètre dans la matrice à grain fin. La séricite, biotite et chlorite définissent une foliation (**Fig. 13a**), qui est parallèle au contact tectonique de l'unité de Sainte Barbe et les méta-basaltes d'Akjoujt. Le schiste brun à biotite-grenat-quartz (**Fig. 13b**), est rencontré dans le sud-ouest de la fosse.

IV.5.2. Unité de méta-basaltes d'Akjoujt

- L'amphibolite forme une roche massive et vert-foncé, légèrement feuilletée, comprenant amphiboles, plagioclases, ilménite, chlorite, sphène et quartz (**Fig. 13c**).
- Le schiste à biotite-actinolite est une roche verte brun-foncé à grain fin, comprenant de la biotite, l'actinote, l'albite, le quartz, l'épidote, la grunérite, la chlorite, le sphène et des reliques d'hornblende et d'ilménite (**Fig 13d**).
- Le schiste à chlorite a une foliation définie principalement par la chlorite et les lamines de quartz (**Fig. 13e**) en alternance.
- Le meta-carbonate est massif, à très gros grains, gris-foncé, qui est principalement composé de sidérite à forme automorphe et xénomorphe jusqu'à 5cm de diamètre (**Fig .13f**).
- Les Schistes à clinoamphibole à Fe-Mg et chlorite sont caractérisés par une foliation étroitement espacée et comprennent environ 90% en volume de chlorite et accessoirement des clinoamphiboles à Fe-Mg (principalement la grunérite), la magnétite, l'ilménite, l'apatite, la calcite, le quartz, la monazite et l'allanite (**Fig. 14g**).

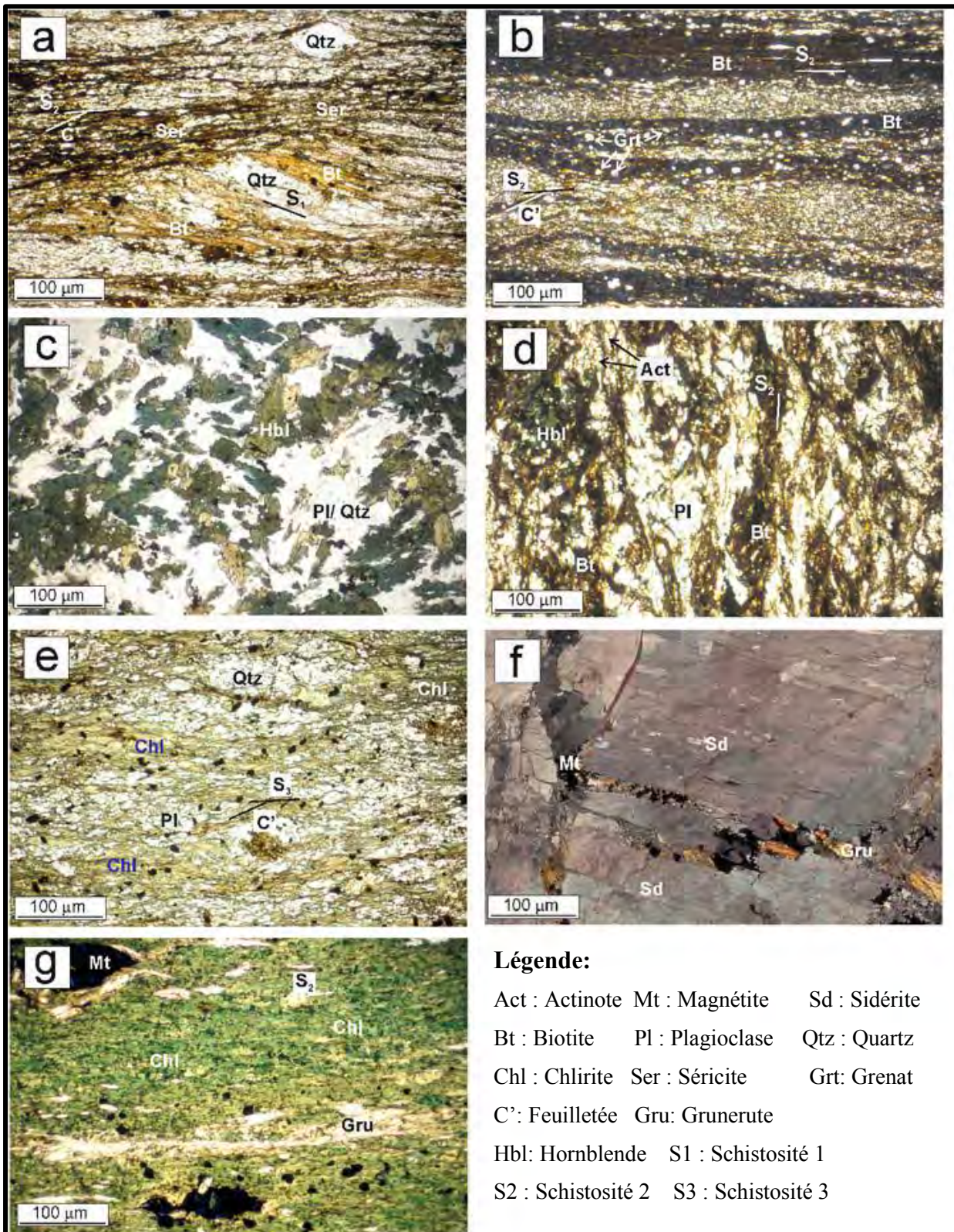


Figure 13 : Microfaciès des roches au Guelb occidental (Kolb et al., 2006)

Selon **Kirschbaum (2011)** ; L'unité de méta-basaltes d'Akjoujt affiche des variations considérables dans la minéralogie, la taille des grains et la texture. Les roches les moins métasomatisées se caractérisent par un assemblage d'hornblende métamorphique à grain grossier et plagioclase, ce qui a conduit les auteurs précédents (Martyn et Strickland, 2004), à interpréter les roches comme ayant une protolithe doléritique ou gabbroïque. Grâce au métamorphisme et l'altération hydrothermale, il est difficile de savoir si l'unité de méta-basaltes d'Akjoujt représente des roches mafiques intrusives ou effusives. Cependant, l'apparition de lentilles apparemment sédimentaires et les roches carbonatées siliciclastiques rares dans l'unité de méta-basaltes d'Akjoujt, suggérerait qu'il avait une protolithe dominante extrusive.

CHAPITRE - II-

CONTROLE TECTONIQUE DE LA GEOMETRIE DES CARBONATES "FMC" DE GUELB MOGHREIN OCCIDENTAL, DE LEUR DISTRIBUTION ET DE LEUR MINERALISATION EN Cu

I. DEMARCHE

Pour appréhender la tectonique ayant contrôlé la géométrie des carbonates FMC ("Ferromagnésien carbonates"), porteurs de la minéralisation (épaisseur, extension, structures), ainsi que de la distribution des teneurs en **Cu** en leur sein, une démarche basée sur la corrélation de sections de forage a été adoptée. Cette démarche a consisté à choisir 64 sections transversales (NE – SW), 32 sections presque orthogonales aux précédentes et orientées WNW – ESE et les données géologiques, géochimiques et géométriques de 1388 forages DD et RC (**Fig. 14**).

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)



Figure 14 : Carte des sections exécutées (Longitudinales et Transversales)

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

La projection des forages sur le plan de la fosse, l'élaboration des colonnes lithologiques des forages situés sur les différentes sections et les variations verticales des teneurs en Cu ont été exécutées à l'aide du logiciel MapInfo13Discover2011.

Le long d'une section donnée, la position des failles et leur cinématique sont identifiées à l'aide de la corrélation des corps de ferro-magnésiens carbonatés (FMC) et des autres lithologies recoupées par les différents forages, le long de chaque section. Une faille est généralement recoupée par plusieurs sections parallèles, ce qui permet de déterminer sa direction.

Les failles sont reconnues par leurs différents types de rejets ; par la géométrie des blocs qu'elles séparent et par leur disposition (absence ou présence de répétition de lithologies identiques). Le caractère syn-génétique ou tardi-génétique des failles par rapport à la minéralisation est indiqué par l'évolution des épaisseurs et des teneurs en Cu, de part et d'autre de leurs plans respectifs. Certains décrochements sont mis en évidence par la disposition des différents segments d'une même faille.

II. SUCCESSION LITHOLOGIQUE ET GEOMETRIQUE DES UNITES

L'élaboration de sections de 1388 forages dotés d'une description lithologique établie par les géologues miniers et recoupant le corps carbonaté et son encaissant, a permis de dégager les lithologies suivantes :

II.1. Les formations géologiques du toit des FMC

Le toit des FMC est constitué de méta-basaltes généralement fins, de méta-dolérites plus grossiers, d'amphibolites à hornblende et de schistes à actinotes, chlorites et parfois d'autres minéraux comme la biotite et quartz. Les schistes constituent une couche située généralement au contact des FMC, mais peut aussi souligner des joints de cisaillement.

Il y existe d'autres types de roches comme les roches de couverture (régolithes), les méta-sédiments, les diorites, les dolérites, les black shales (schistes carbonés), les méta-gabbros et les chertes.

Certains forages ont recoupés les formations volcano-géniques et volcaniques de la formation de Sainte Barbe qui chevauche dans le secteur de la mine les formations du toit.

II.2. Les formations géologiques du mur des FMC

Les unités lithologiques du mur des FMC ne diffèrent pas profondément de celles du toit en ce sens qu'elles sont largement dominées par les méta-basaltes, associés à des schistes chloritiques à biotite situés au contact inférieur des FMC. En plus de ces deux types de lithologies, les forages ont recoupé des méta-sédiments, des dolérites, des black shales, des amphibolites, des grauwwakes, des grès quartzeux. Les joints de cisaillement montrent également des schistes délimitant des lentilles tectoniques sigmoïdales de méta-basaltes.

III. CONTROLE TECTONIQUE

III.1. Géométrie et distribution spatiale des FMC et unités lithologiques associées

Le corps principal des FMC s'enfonce vers le SW ou le WSW, avec des pendages allant de 10 à 30°. L'épaisseur diminue régulièrement en direction de l'aval pendage et présente donc son maximum au NE (plus de 100m) ; vers le SW, cette épaisseur n'est plus que de 20m (fig. 15).

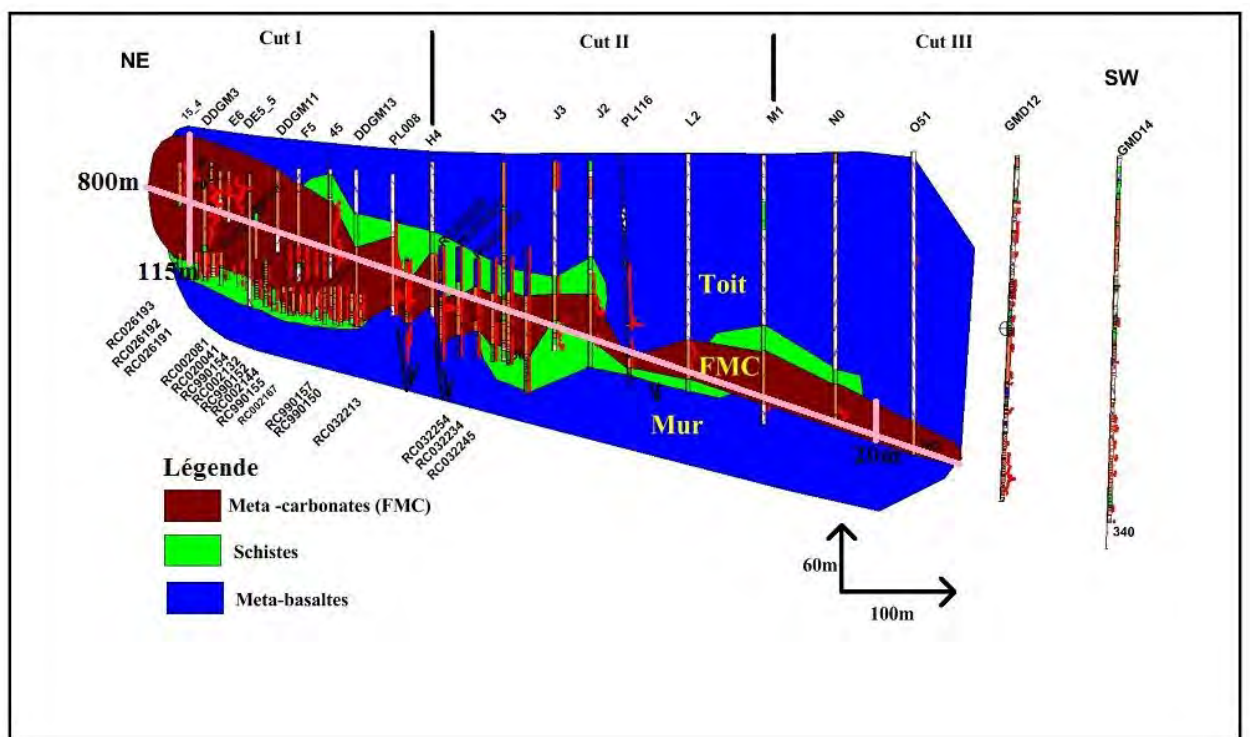


Figure 15 : Coupe transversale montre les variations d'épaisseur des FMC dans la fosse

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Son extension vers l'aval pendage est de 800m environ, contre un maximum de 550m suivant la direction longitudinale WNW-ESE (**fig. 16**). Le pendage du contact inférieur des FMC est plus fort vers le NE, en raison probablement du fonctionnement des failles normales de regards SSW ("Northern fault" des auteurs). Dans le détail, la géométrie des contacts supérieurs et inférieurs des FMC est plus complexe et semble résulter essentiellement de l'activité tectonique en failles normales.

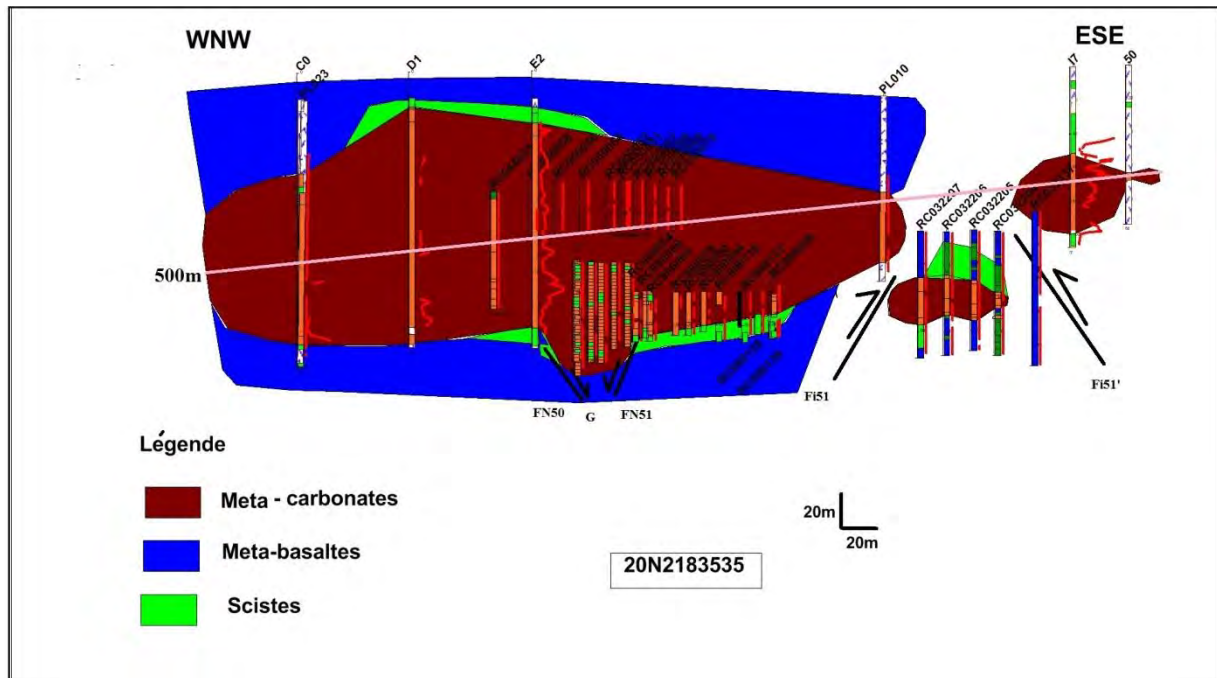


Figure 16 : Coupe longitudinale montre l'épaisseur des FMC dans la partie nord de la fosse

L'observation des sections des forages indique la présence de lentilles de FMC au sein des formations du toit et du mur et aussi des formations de méta-basaltes et de schistes au sein de la masse carbonatée principale constituant les FMC (**fig. 17**). Ces deux types d'intercalations sont parfois minéralisés et sont assez communs au niveau des zones de contacts mais pas de manière exclusive.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

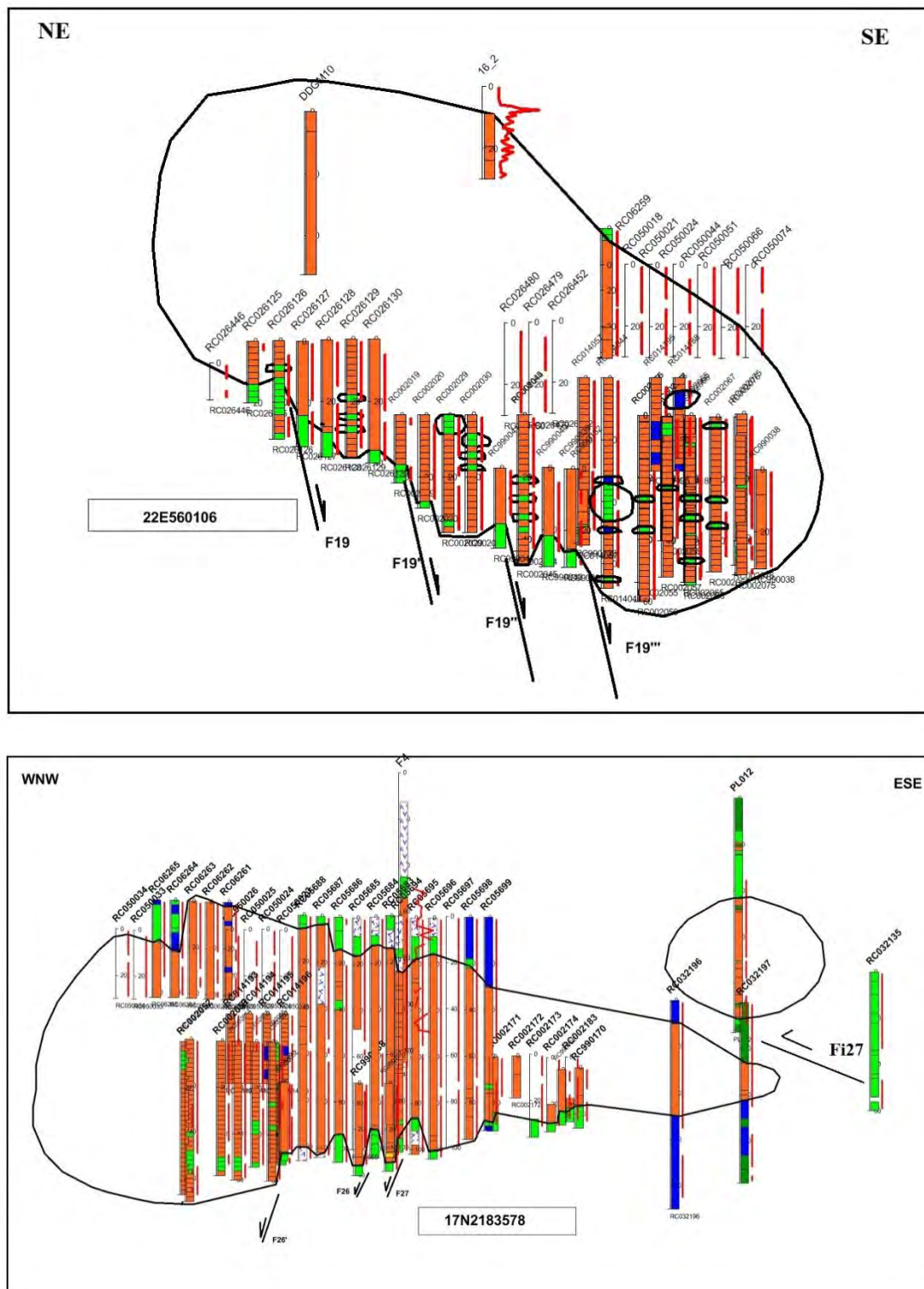


Figure 17 : Coupes montrant l'intercalation des lentilles de Schistes et de Méta-basaltes dans les FMC (légende : voir fig. 23)

III.2. le contrôle tectonique dans la fosse de Guelb Moghreïn

L'application de la démarche décrite précédemment (paragraphe I de ce chapitre) a permis l'élaboration d'une carte structurale pour la fosse (**fig. 18**).

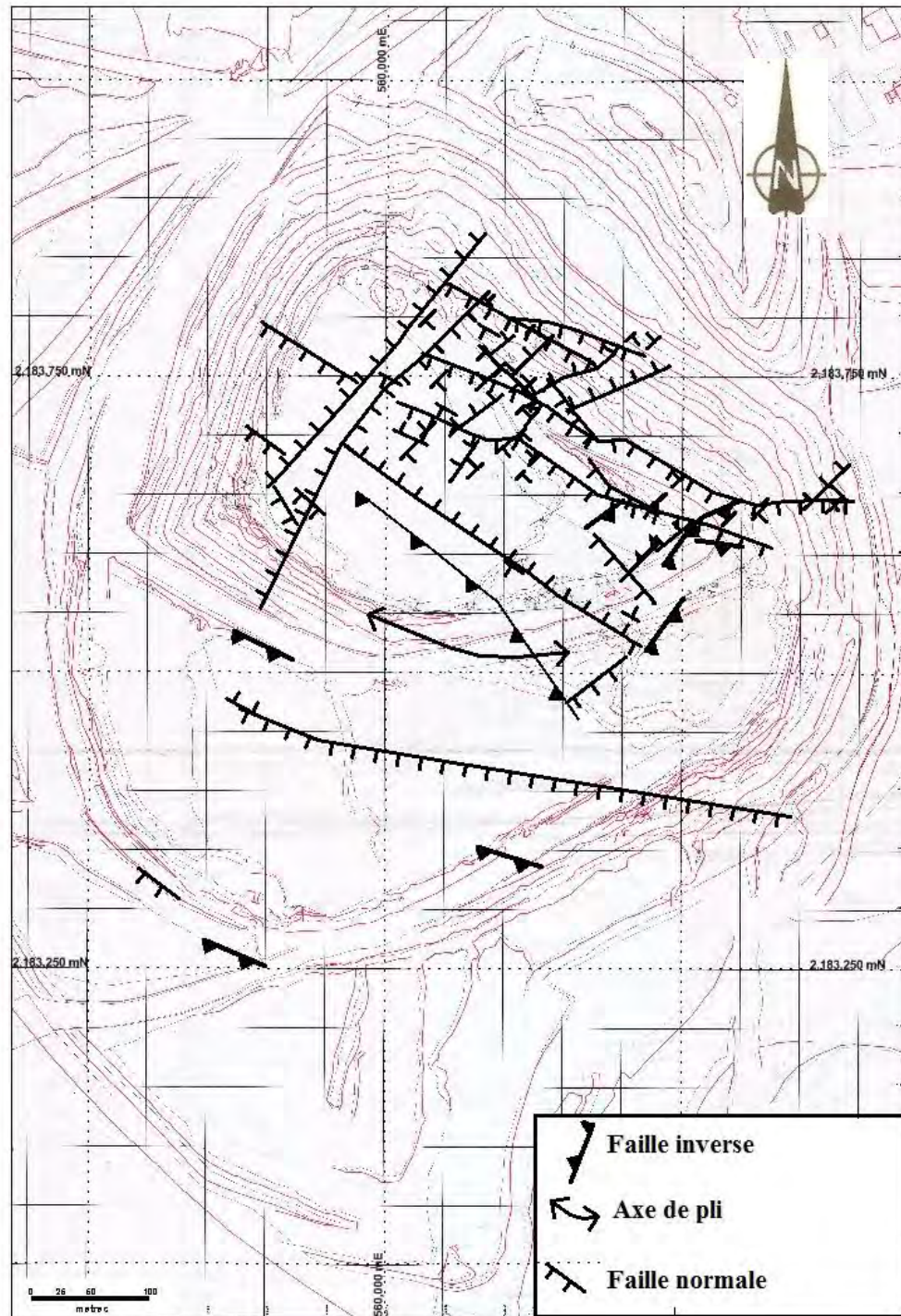


Figure 18 : Carte structurale de la fosse

III.2.1. Les failles normales

Les failles normales sont de loin plus remarquables (plus nombreuses) que les failles inverses (**fig. 18**). La présence de composantes latérales sur leurs plans ne peut pas être exclue.

Par rapport aux failles normales de direction **WNW-ESE**, les failles normales de directions **NE-SW** semblent avoir le contrôle tectonique le plus fort sur l'épaisseur et l'extension longitudinale des carbonates FMC et sur les teneurs en Cu (**fig. 15, 16 et 19**).

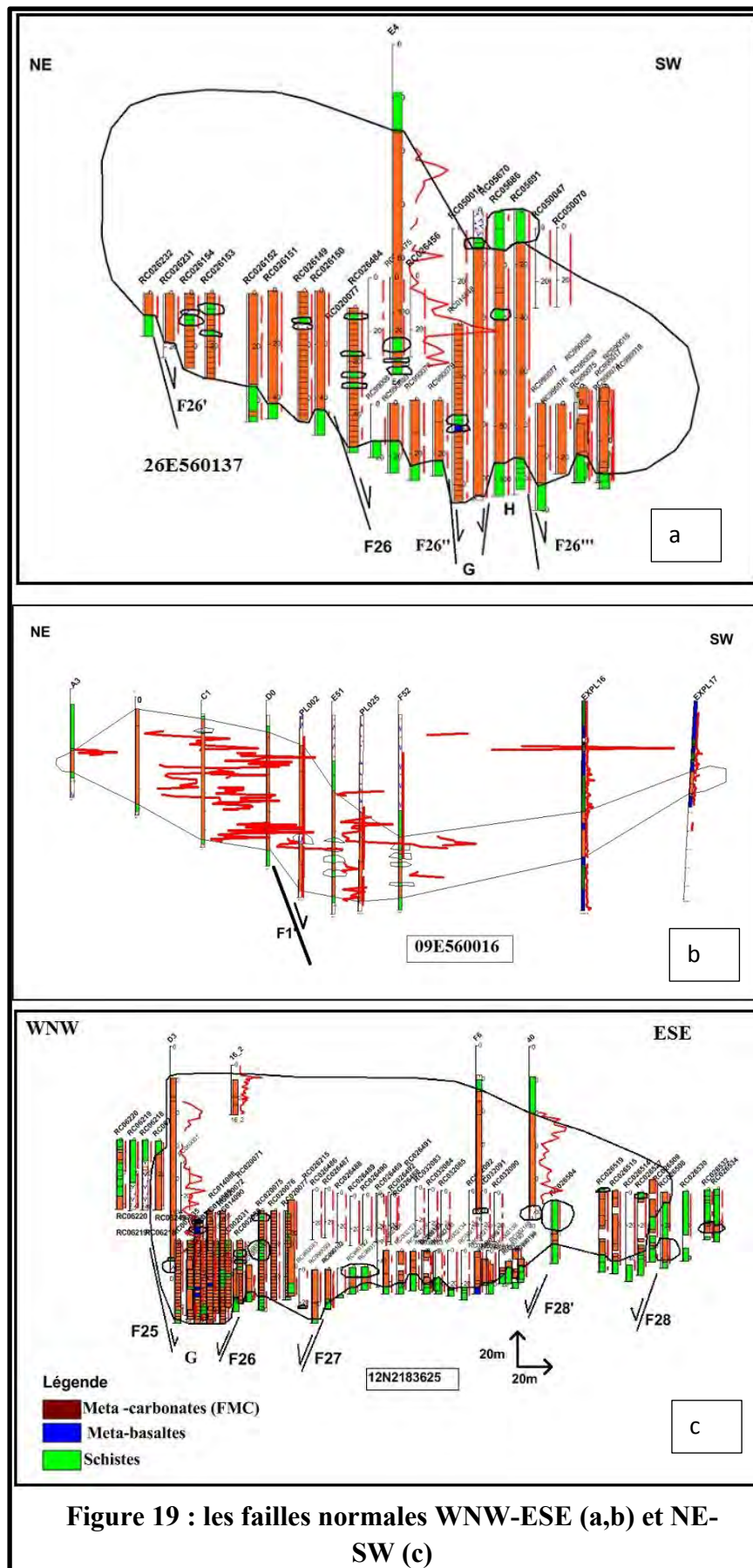
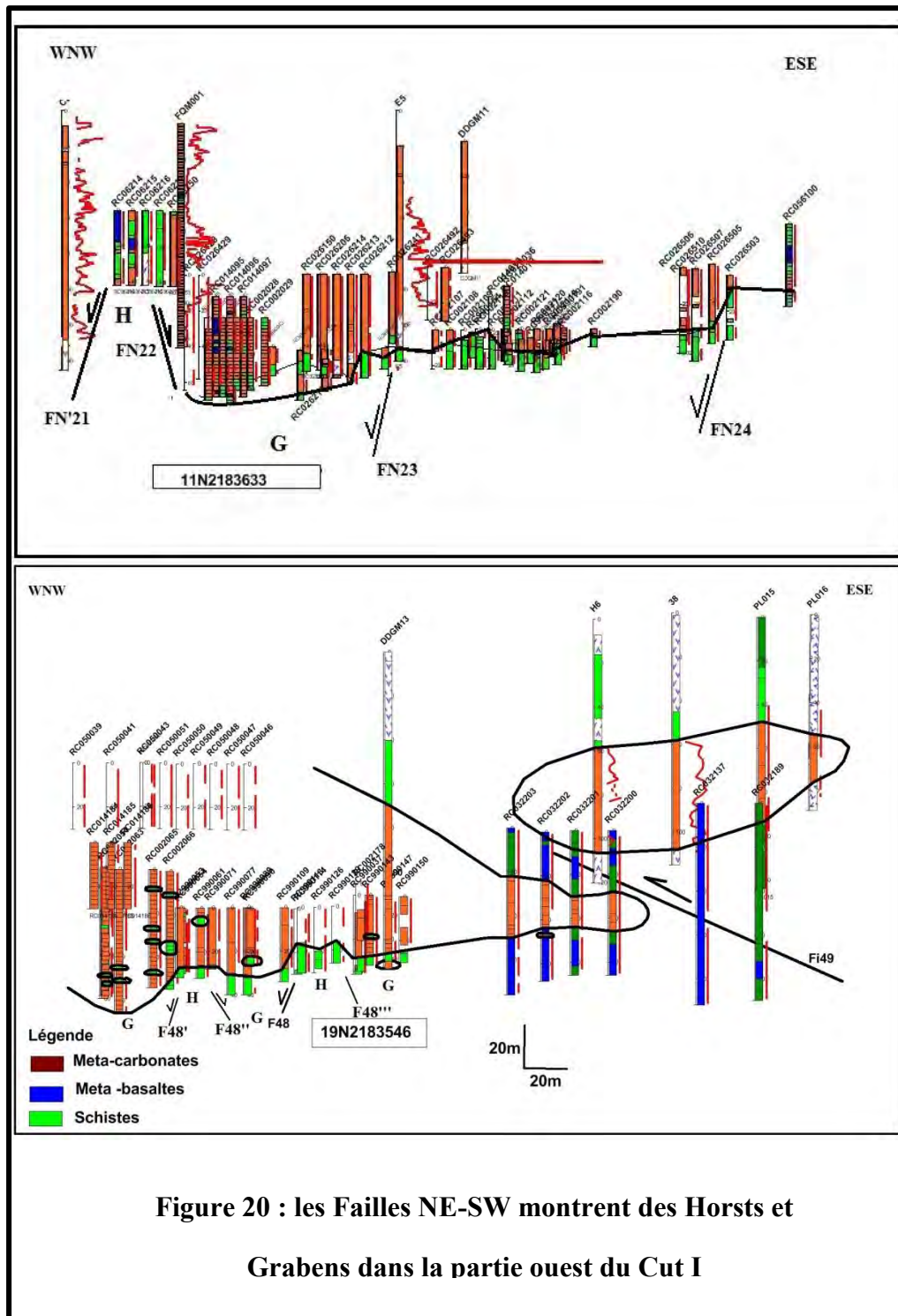


Figure 19 : les failles normales WNW-ESE (a,b) et NE-SW (c)

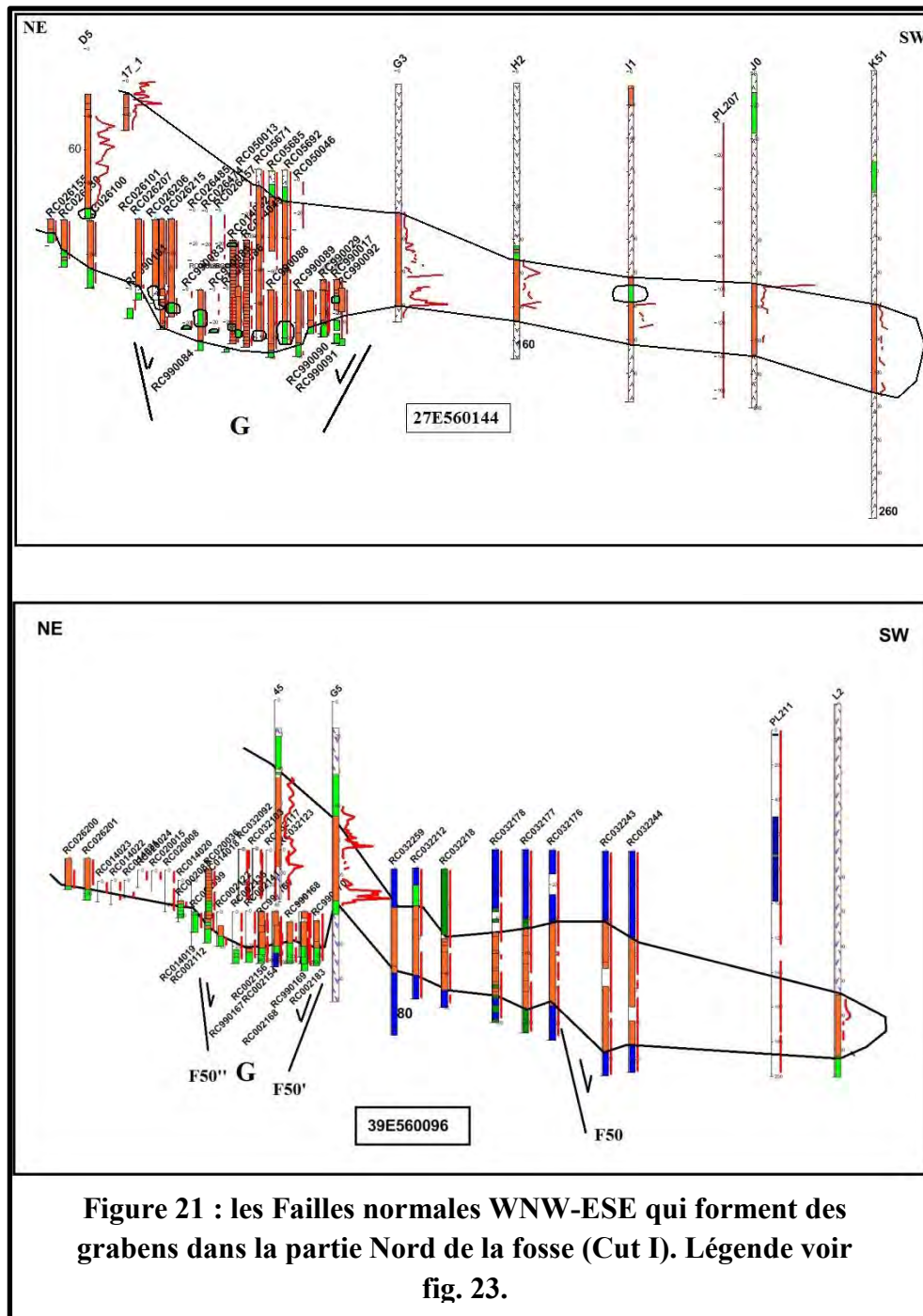
Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Les failles normales NE-SW délimitent des horsts et grabens vers le côté ouest de la fosse (Cut I= Partie 1 de la fosse (partie nord)), où l'épaisseur des carbonates est plus grande. Elles provoquent aussi des basculements de blocs vers le SE (fig. 20).



Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Les failles normales WNW-ESE délimitent des grabens à l'intérieur de la partie nord de la fosse (Cut I). Plus au Sud, elles semblent contribuer avec le pendage tectonique à l'enfoncement vers le SW des carbonates porteurs de la minéralisation (**fig. 21**).



III.2.2. La tectonique compressive

III.2.2.1. Les failles inverses

La tectonique compressive est stigmatisée par des failles inverses de direction WNW-ESE et NE-SW. Les failles inverses de direction WNW-ESE ont été rencontrées au Sud de Cut I où elles montrent une vergence NE (**fig. 22**).

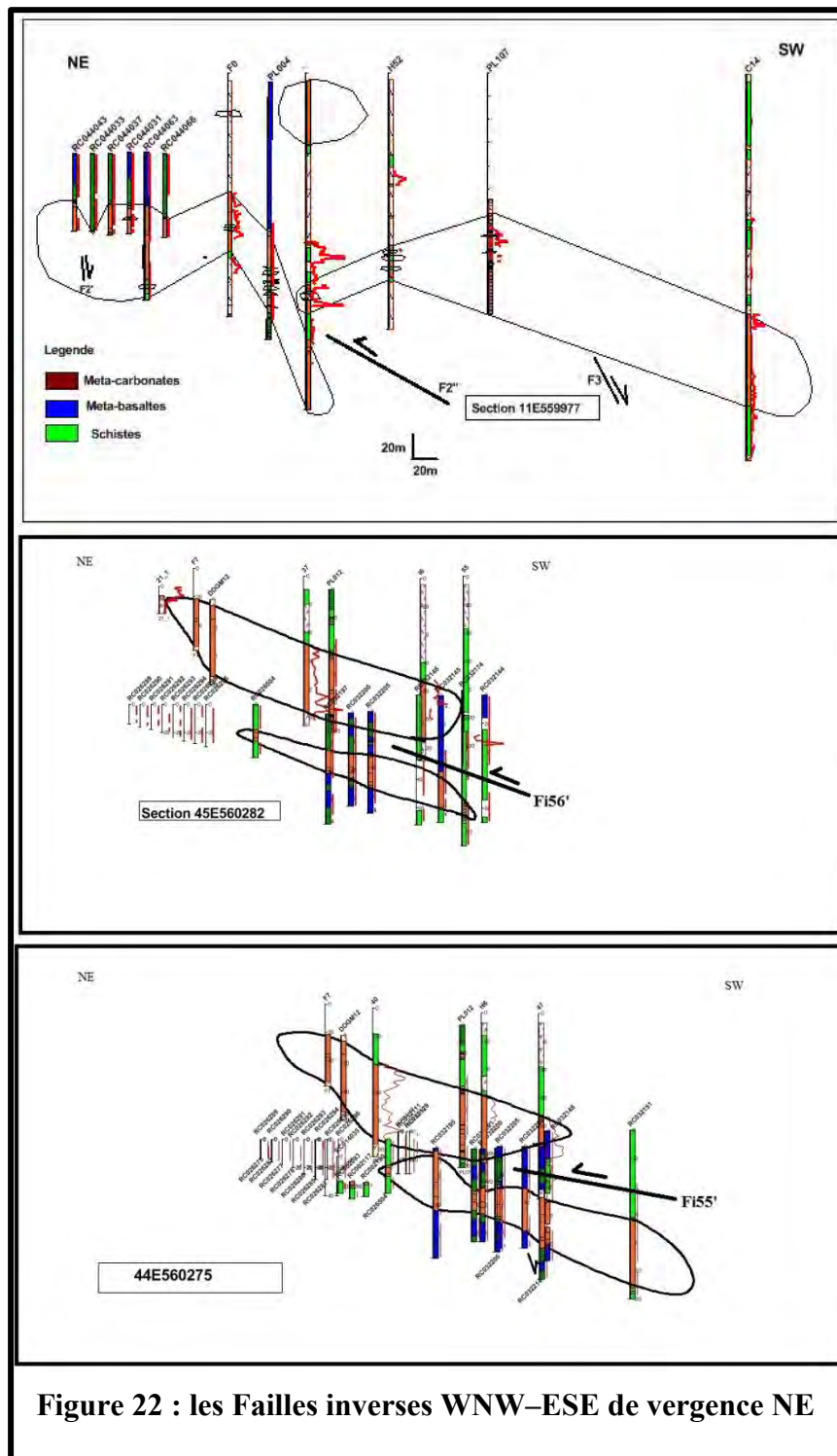


Figure 22 : les Failles inverses WNW–ESE de vergence NE

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Du côté est de la fosse, un plan de faille inverse NE-SW faiblement inclinée vers le SE, responsable du dédoublement des carbonates FMC, est recoupé par plusieurs forages et sections. Cette faille inverse pourrait indiquer que le Guelb Oriental chevauche vers l'Ouest le Guelb Occidental (**Fig. 23**).

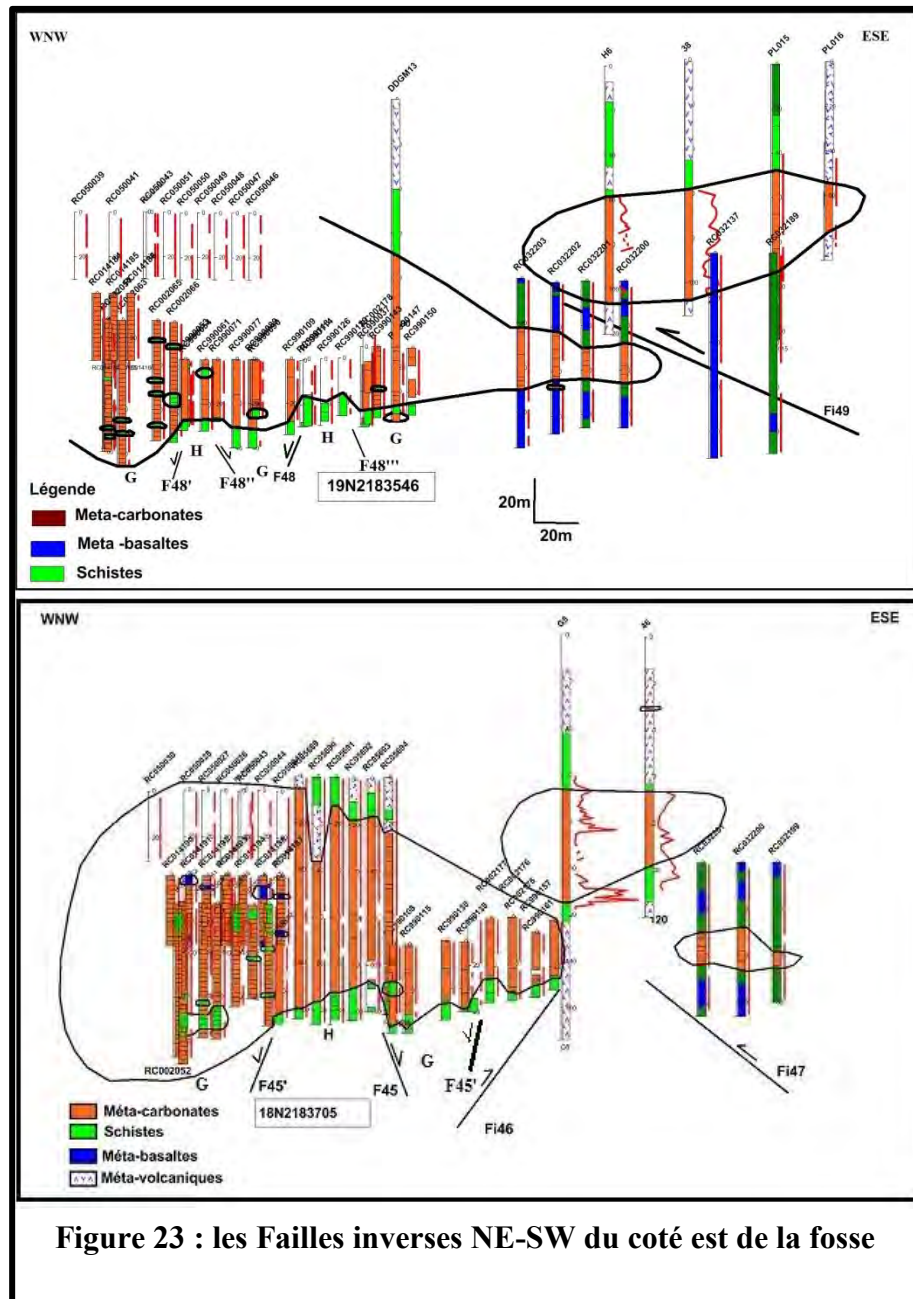


Figure 23 : les Failles inverses NE-SW du coté est de la fosse

D'autres structures en compression représentées par des fléchissements des carbonates en plis asymétriques à vergence NE, peuvent avoir été initiées sur des failles inverses de faibles rejets (**fig. 24**).

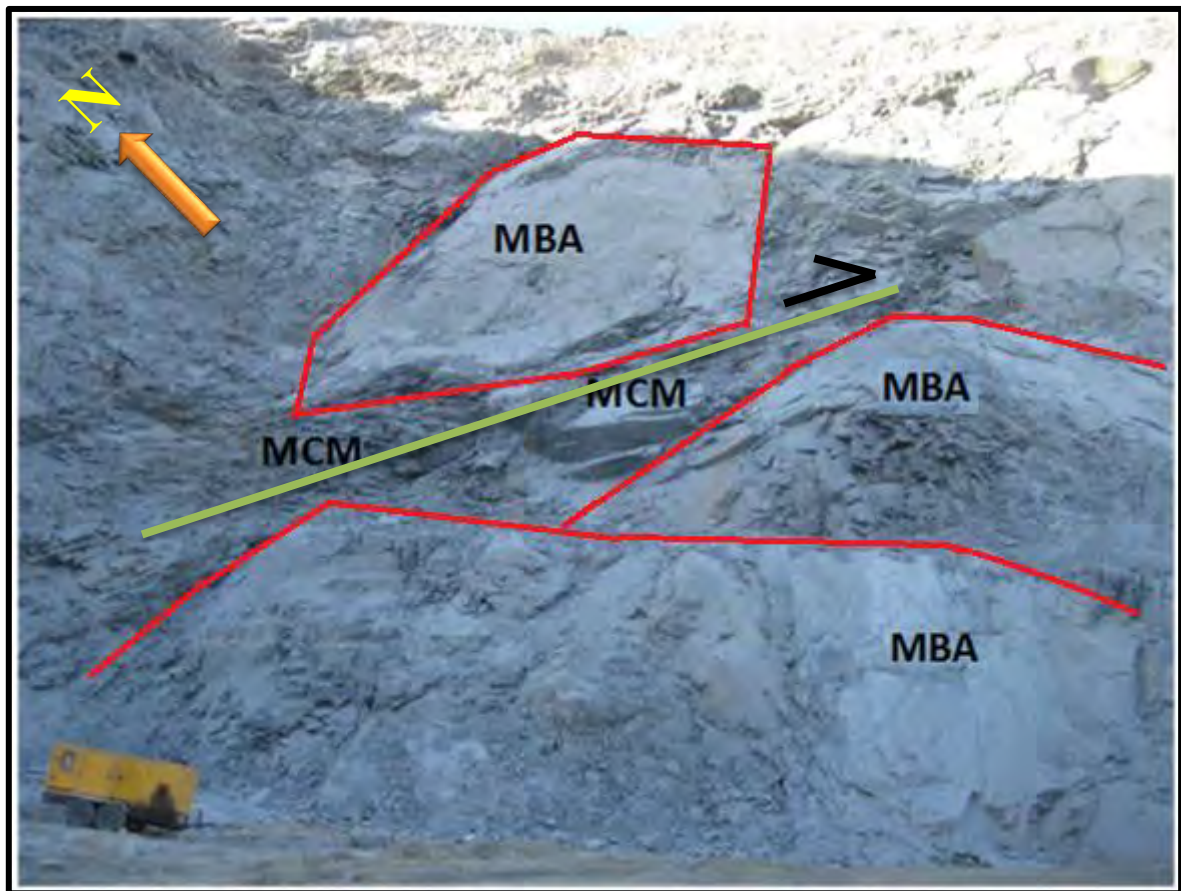


Photo : Cisaillement WNW-ESE dans la fosse de Guelb Moghreïn Occidental

D'autres cisaillements recoupant le précédent, les carbonates FMC et les méta-basaltes d'Akjoujt, sont généralement colmatés par les fibres d'anthipholites et de sulfures de Cu.

Ils délimitent dans les méta-basaltes et les FMC des lentilles tectoniques sigmoïdales enrobées par les schistes ou fibres.

Ces cisaillements qui fonctionnent en synergie (suivant un système de Riedel), peuvent expliquer la présence de lentilles (tectoniques) de méta-basaltes ou de carbonates, de forme sigmoïdale, enrobées de schistes (schistes mafiques produit par broyage tectonique suivant les joints de cisaillement) ou de minéraux fibreux (amphiboles fibreuses) et phylliteux (chlorite, graphite). Les teneurs en Cu dépendent de l'efficacité du colmatage des joints de cisaillement (leur perméabilité). Il en résulte que les carbonates et leur encaissant ont été modelés par les cisaillements antérieurement à leur minéralisation par les sulfures.

IV. CHRONOLOGIE DE LA DEFORMATION ET DISCUSSION

Les failles normales de direction NE-SW et WNW-ESE contrôlent de manière claire les épaisseurs des FMC et la distribution de la minéralisation de Cuivre de Guelb Moghreïn. Ces deux directions de failles semblent donc être en majorité synchrones et syn-génétique de la genèse des carbonates et ont servi plus tard comme drains ou conduits aux fluides minéralisateurs. Ces failles normales de directions sub-orthogonales attestent, au moins à l'échelle locale, d'une extension tectonique dirigée NW-SE.

Certaines des failles inverses constituent la réactivation de failles normales plus anciennes. Il s'agit par exemples des failles de part et d'autre desquelles des variations d'épaisseurs des FMC ont été observées ou des failles à rejet normal mais à géométrie de faille inverse (**fig. 15**). De plus, les failles inverses découpent de manière passive les carbonates minéralisés, comme c'est le cas par exemple du chevauchement observé au côté est de la fosse, le long de failles NE-SW (**fig. 23**).

Le cisaillement inverse délimitant les carbonates FMC de leur encaissant (les méta-basaltes d'Akjoujt) et probablement aussi les autres plans de cisaillement, sont antérieurs à la minéralisation et aux failles normales. Ceci est prouvé d'une part par le fait que les contacts supérieurs et inférieurs des FMC sont découpés par les failles normales. En plus, la minéralisation a exploité les plans de cisaillement qui ont été au préalable partiellement colmatés par des minéralisations de chlorite, d'anthipholite et de graphite.

En conclusion, la chronologie de la déformation et des phénomènes de minéralisation est la suivante :

- 1- Formation des carbonates FMC au sein de leur encaissant par des processus sédimentaires ou hydrothermaux, postérieurement à un empilement tectonique et formation de schistosités. La genèse de ces carbonates est synchrone d'une tectonique locale extensive à l'origine des failles normales NE-SW à NNE-SSW et WNW-ESE.
- 2- Une phase compressive entraîne le développement d'un cisaillement intense matérialisé aux contacts supérieurs et inférieurs des FMC par des formations assez continues de schistes et par des joints de cisaillement obliques, conduisant à une lenticulation tectonique.

- 3- La venue des eaux hydrothermales, concomitantes du rejet des mêmes failles normales et de la néoformation d'autres failles de même direction, a permis la mise en place de la minéralisation et le découpage de la bande de cisaillement précédente.
- 4- Une ou plusieurs phases compressives sont responsables de la genèse de plis et de failles inverses.

Les travaux antérieurs (Pouclet et al. 1987; Martyn & Strickland 2004; Kolb et al. 2006; Kolb et al. 2008) ont mis en évidence cinq phases de déformation (D1 à D5), affectant la série d'Akjoujt (**fig. 6**). Selon ces auteurs, ces différentes phases de déformation décrites à l'échelle régionale sont compressives. Le principal cisaillement affectant les contacts des FMC est considéré par Kolb et al. (2008) comme résultant de la déformation D2. Pour le même auteur, les structures orthogonales à cette zone de cisaillement sont rangées dans la phase de déformation D3. De faibles plissements d'axe dirigé ENE–WSW ont affecté l'édifice tectonique durant la phase hercynienne (Martyn & Strickland 2004). Des plis de même orientation et présentant une géométrie asymétrique avec une vergence NNW-SSE ont été décelés dans la partie méridionale de la fosse (**Fig. 15, 18 et 24**). Les failles inverses de direction WNW-ESE et aussi les failles inverses orientées NE-SW, peuvent être à leur tour corrélées à la même phase de déformation.

Les failles normales de direction NE-SW à NNE-SSW et les failles co-génétiques de direction WNW-ESE, sont antérieures à D4 et ne peuvent être clairement attribuées à l'une de ces cinq phases de déformation.

CHAPITRE - III-

EXEMPLE DE TARGETTING EN EXPLORATION MINIERE

I. INTRODUCTION

En exploration minière, le "targetting" consiste à l'analyse de données géologiques (nature des affleurements, types et intensité de l'altération, structures etc.), géochimiques (sol, alluvionnaire, roches etc.), géophysiques (gravimétriques, magnétiques, électriques, sismiques, radiométriques, télédétection, radar etc.), permettant l'identification d'une zone à intérêt minier ("area of interest"). Le développement de cette zone par des travaux ciblés (études supplémentaires, implantation de forages), en fait une zone cible ou "target".

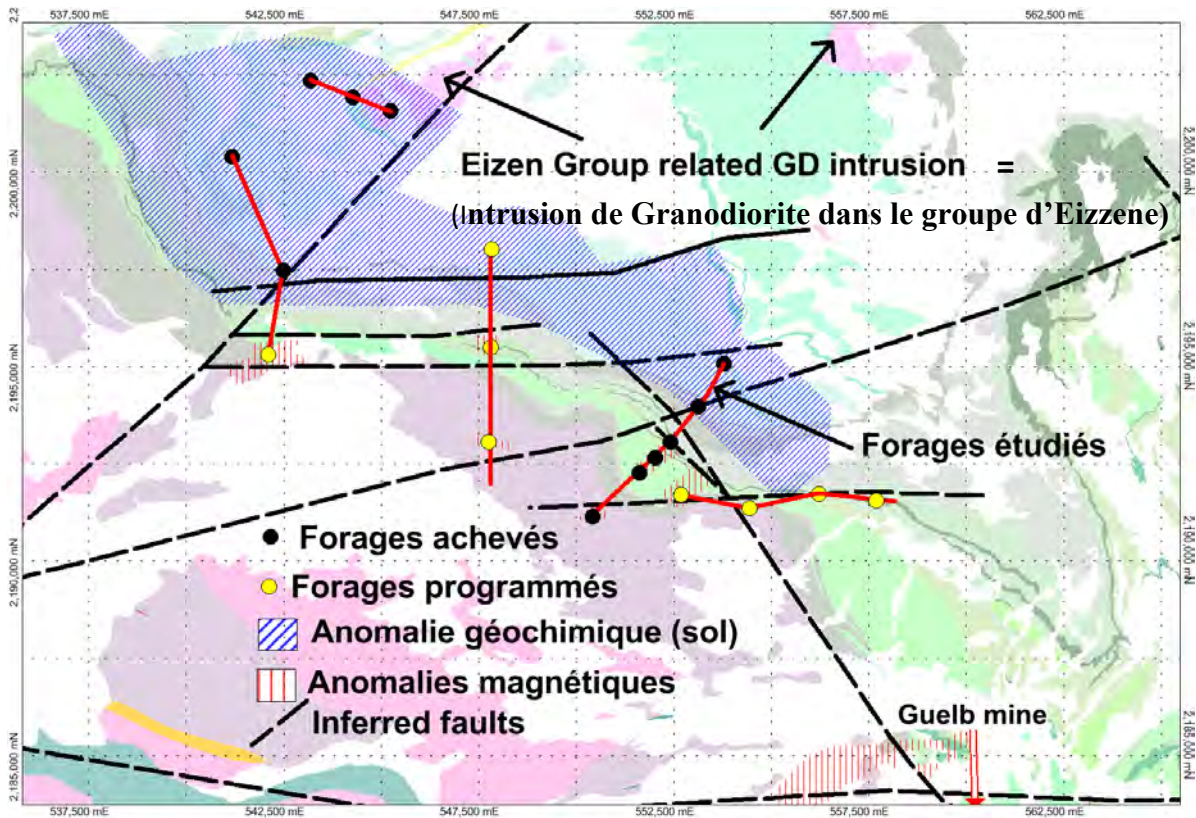
II. DEMARCHE POUR L'IDENTIFICATION ET LE DEVELOPPEMENT D'UNE CIBLE OU "TARGET"

II.1. Mise en évidence d'anomalies géochimiques

L'identification d'une anomalie de surface nécessite l'utilisation des résultats d'analyse géochimique d'échantillons de sols. La compagnie MCM a effectué un échantillonnage régional du sol avec un prélèvement d'échantillons à une profondeur de 30cm, suivant une maille de 500 x 500m.

Dans cet exemple, nous avons établi une carte thématique à l'aide du logiciel MapInfo2011. Les éléments choisis sont naturellement le Cu exploité dans la mine du Guelb, avec d'autres éléments présentant avec lui une bonne corrélation dans le gisement de Guelb Moghreïn. Nous avons également pris des éléments de faible mobilité tels que Mo, Ta, Hf, Zr, Ti, Al, W, Ga, Nb et Y, pour caractériser les processus d'enrichissement supergène, qui n'exprime généralement pas une minéralisation en profondeur. De même, nous avons utilisé des éléments plus mobiles tels que P, La and U permettant de trancher entre un enrichissement de surface seul et une réelle anomalie signifiant une activité hydrothermale ou juvénile.

L'anomalie identifiée est représentée sur la (**fig. 25**). Cette anomalie est cantonnée dans le groupe d'Eizzene (formation de Khmeyat El Khadra), et serait en relation avec les intrusions de granodiorite, antérieures au dépôt des formations du groupe d'Oumachoueïma.



II. 2. Anomalies magnétiques

Ces anomalies sont indiquées par la carte thématique du traitement rtptop 200m (**fig. 26**).

Ces anomalies peuvent résulter des formations de BIF et de méta-basaltes abondants dans la région et ne peuvent être à elles seules utilisées comme guide d'implantation de forages.

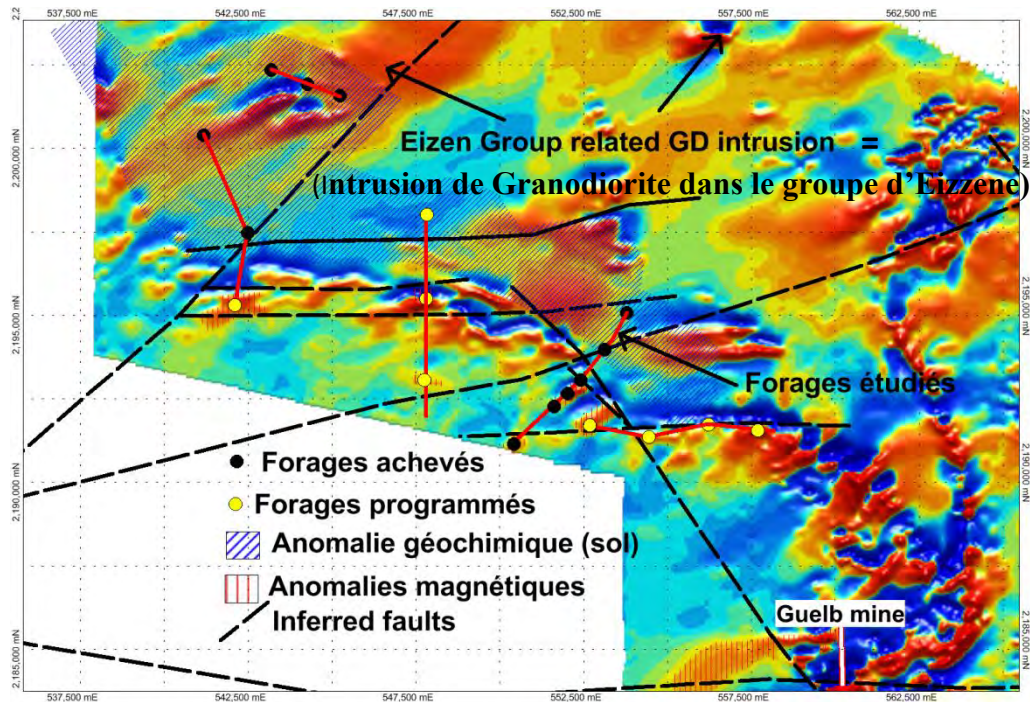


Figure 26 : Carte thématique d'anomalies magnétiques de « target »

II.3. Proposition d'un plan de forages et étude de forages

Un plan de forages régulièrement espacés et disposés suivant des sections transversales aux structures a été adopté (**fig. 25 et 26**). Les différents forages cibles la continuité en profondeur des anomalies géochimiques et magnétiques détectées en plus de lithologies favorables (carbonates, méta-basaltes), la discordance majeure et les intersections de failles. Cette étude a été consacrée à l'étude de cinq forages nommés (KM01_RC, KM02_RC, KM03_RC, KM04_RC et KM05_RC), en effectuant la cartographie géologique de leurs sites, leur loge géologique et leur corrélation. Le tableau suivant donne les coordonnées des forages étudiés.

Tableau I : Coordonnées des forages étudiés

Forages	X	Y
KM01_RC	0554200	2195230
KM02_RC	0553500	2195230
KM03_RC	0 553040	2194450
KM04_RC	0 553740	2194450
KM05_RC	0553040	2194050

II.3.1. Cartographie géologique des sites de forages

La région ciblée est marquée par la superposition des deux groupes : Le groupe d'Eizzene et celui d'Oumachoueïma, dessinant une structure monoclinale plongeant vers le SW (**fig. 33**). Nous avons levé les cartes géologiques (échelle 1/2000) pour les sites des cinq forages (**fig. 27-32**).

II.3.1.1. Les formations géologiques du site du forage KM01_RC et KM02_RC

Le forage KM01_RC est implanté sur les séries géologiques de la formation Khmeiyat El Khadra appartenant au groupe d'Eizzene. Les séries comportent des BIF altérés et bréchifiés riches en silice et recoupés par des veines de quartz (**fig. 27 et 28**). Ces BIF alternant avec de mauvais affleurements de pélites légèrement métamorphisées (présence de chlorite). Au sommet la formation devient riche en intercalation de quartzites en lits minces.

La série est sub-verticale ayant subi un plissement d'axe orienté WNW-ESE concomitant ou antérieure à une tectonique en décrochement apparents dextre de direction NNE-SSW.

Le forage KM02_RC est quant à lui implanté sur les quartzites de l'Attilis posés sur la discordance majeure séparant le groupe d'Oumachoueïma (dont ils forment la base) du groupe d'Eizzene. Les affleurements sont constitués de quartzites affectés par des décrochements apparents dextres orientés NNW-SSE (**fig. 27**).



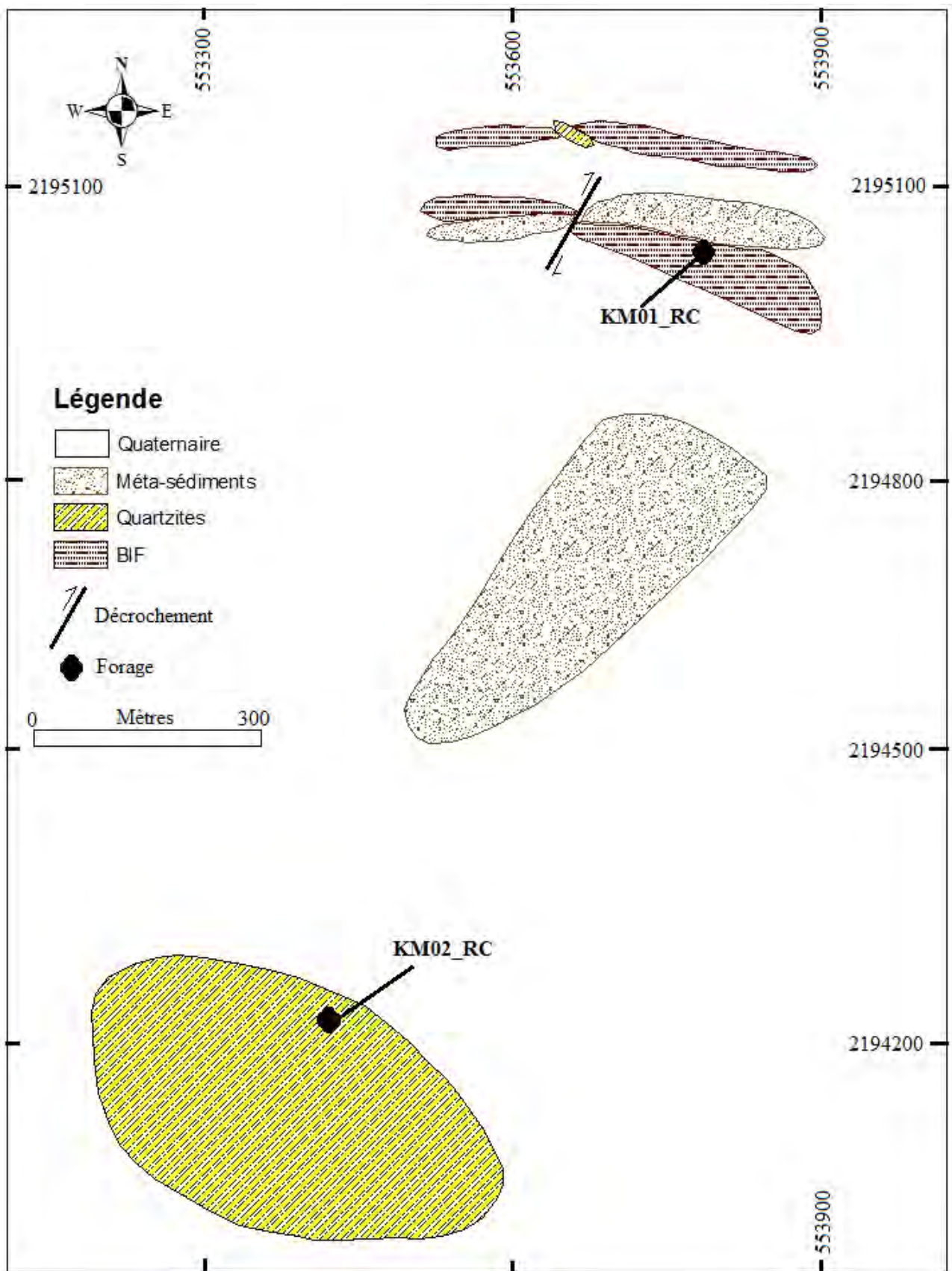


Figure 28 : Carte géologique interprétative de la figure 27

II.3.1.2. Les formations géologiques du site du forage KM03_RC

A l’affleurement, les formations géologiques traversées par ce forage sont constituées de bas en haut par des schistes chloritiques, de BIF subissant localement une altération carbonatée et au sommet par des méta-basaltes. L’ensemble appartient à la formation Atomai. Les BIF à altération carbonatée longent parfois un décrochement apparent senestre d’orientation E-W.

La structure d’ensemble est celle d’un pli WNW-ESE (fig. 29 et 30).

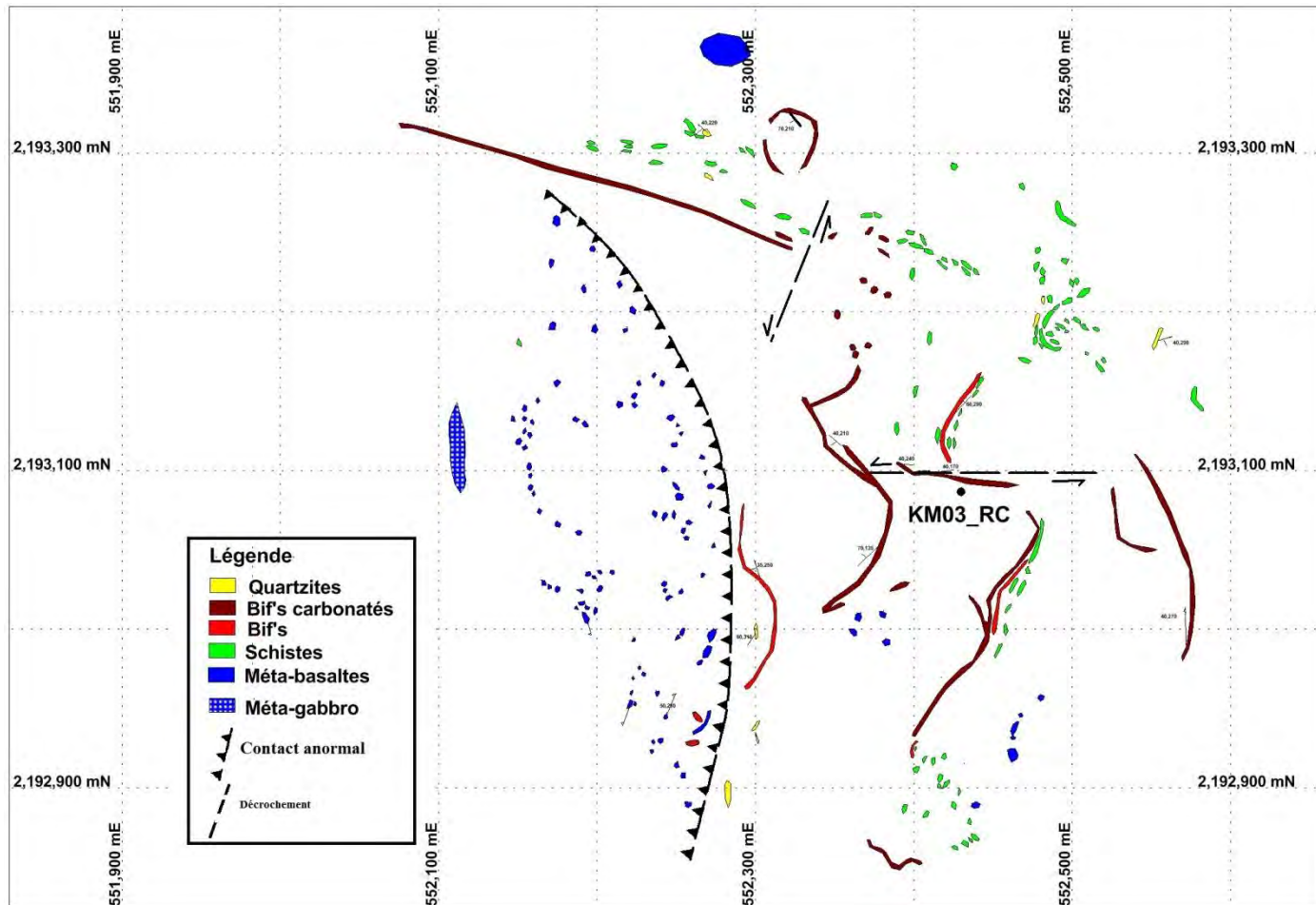


Figure 29 : Carte d’affleurements autour du forage KM03_RC

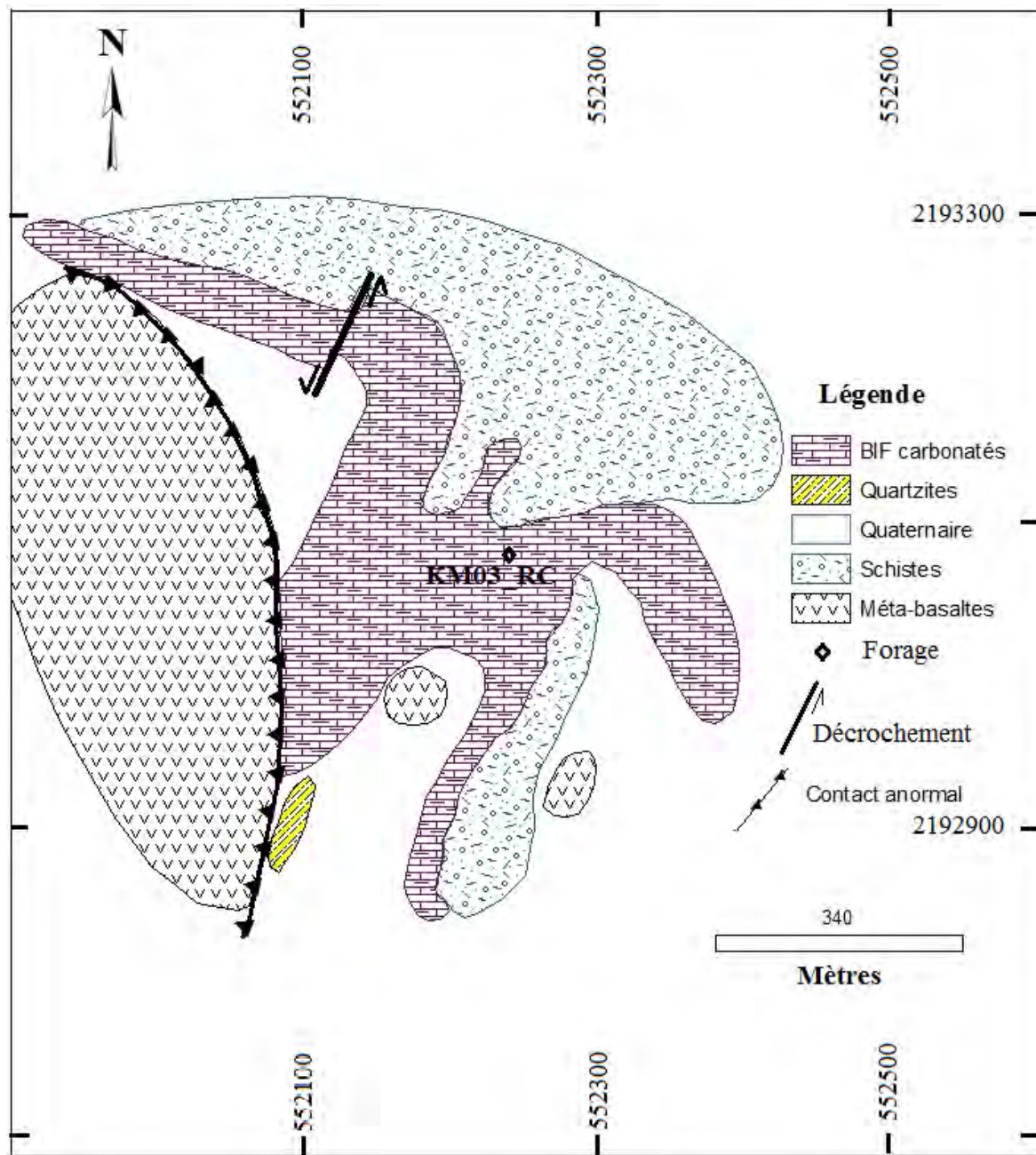


Figure 30 : Carte géologique interprétative de la figure 29

II.3.1.3. Les formations géologiques du site des forages KM04_RC et KM05_RC

Les séries géologiques des sites de ces deux forages sont constitués de roches dérivant du métamorphisme de roches basiques. Il s'agit de bas en haut de méta-basaltes, de méta-gabbros, d'amphibolites et de méta-dolérites (**fig. 31 et 32**). Des lits siliceux interstratifiés sont également présents.

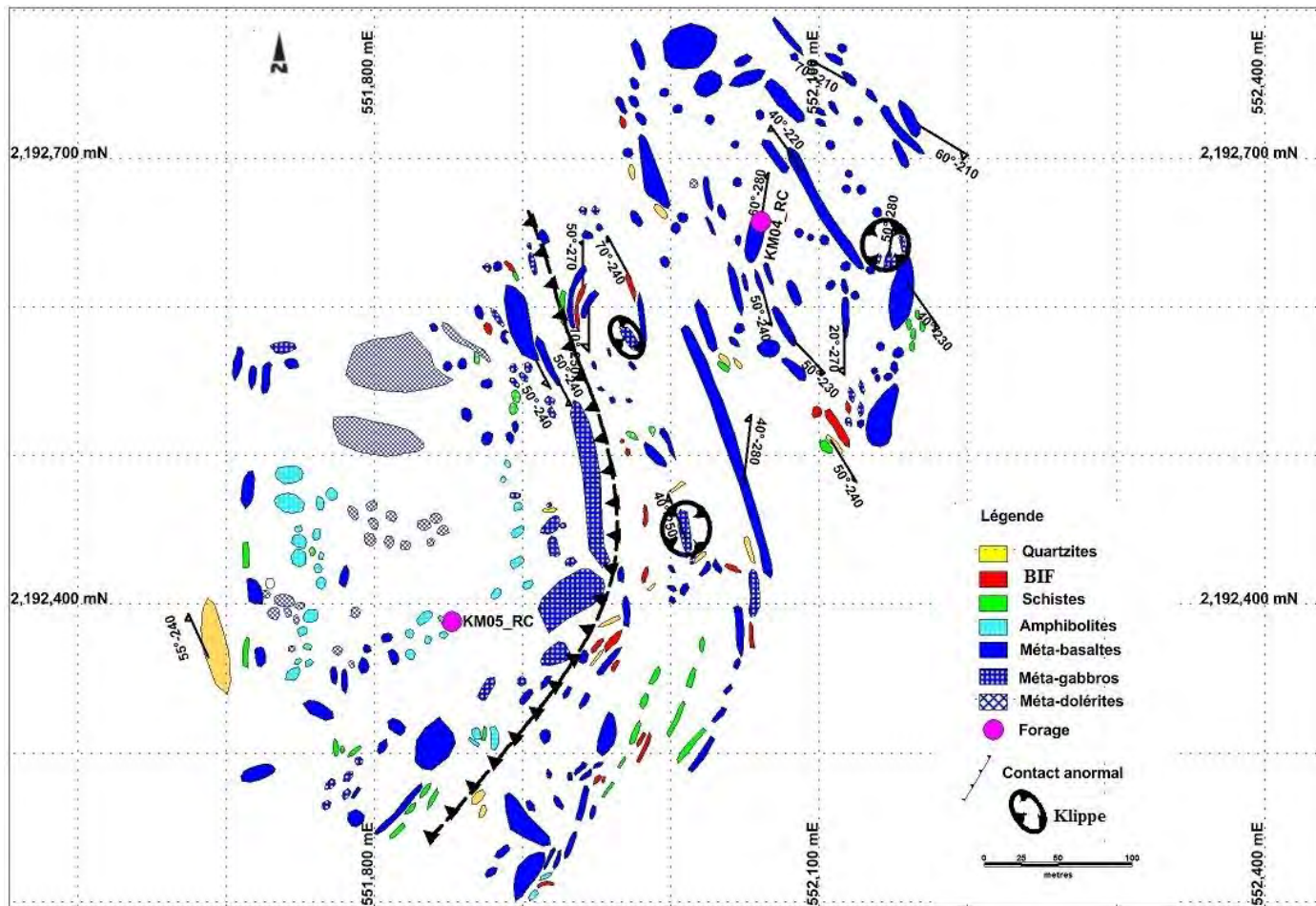


Figure 31 : Carte d’affleurements autour des forages KM04_RC et KM05_RC

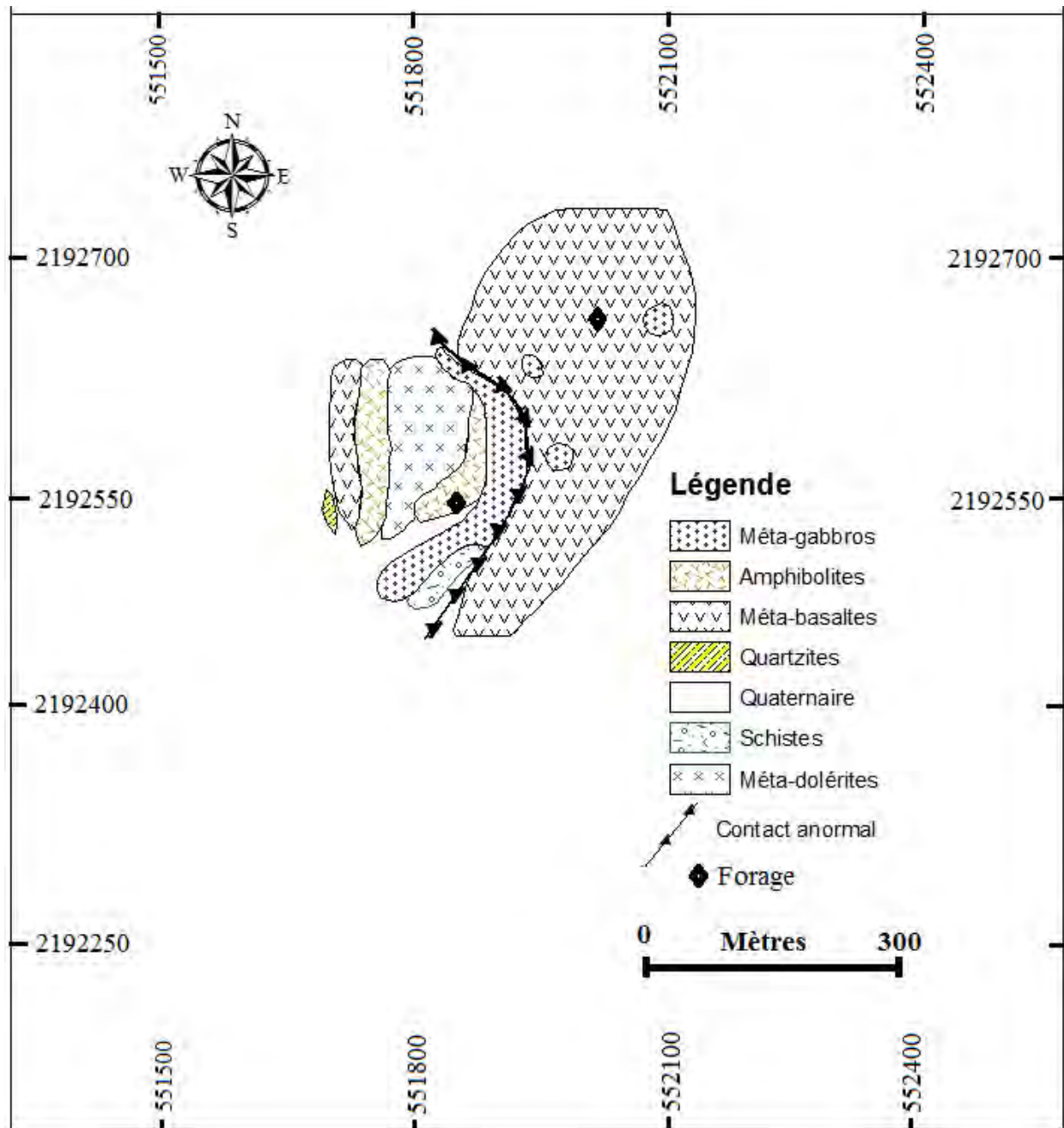


Figure 32 : Carte géologique interprétative de la figure 31

Ces formations sont structurées en deux unités tectoniques présentant chacune des méta-basaltes à son sommet. Des schistes se manifestent localement probablement le long de joints de cisaillement.

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

II.4. Elaboration des sections de forages et corrélation

L'étude des lithologies traversées par le forage ou "logging", consiste à déterminer la nature de la lithologie (ou des lithologies), leur couleur, leur texture, leur composition minéralogique et les proportions des minéraux, les textures de ces derniers, la nature des veines si elles existent et leur texture ainsi que la mention de la minéralisation s'il y'en a (Tableaux : II, III, IV, V et VI).

Tableau II : Log lithologique du forage KM01_RC

mFrom	mTo	VALID	Weathering	Lith1_Code	Lith1_Colour_Code	Lith1_GrainSize	Lith1_Texture	Lith1_pct	Lith2_Code	Lith2_Colour_Code	Lith2_GrainSize	Lith2_Texture	Lith2_pct	Min1_Code	Min2_Code	Min3_Code	Alt1_Code	Alt1_Int	Alt1_Style	Alt2_Code	Alt2_Int	Alt2_Style	Alt3_Code	Alt3_Int	Alt3_Style
0.00	4.00		2	RCA	BG	MG	CX	80	RCY	BNRD	FG	LM	20	SE			CAR	4	PV	FEO	1	SL	CLY	1	DI
4.00	12.00		3	RCI	RD	MG	CX	90	RCA	BN	MG	CX	10	SE			FEO	4	PV	SIL	1	DI	SER	2	SL
12.00	18.00		2	MSO	GRBN	FG	LM	80	MQZ	WHBN	MG	CX	20	SE			CLY	4	DI	CHL	4	DI	SER	2	SL
18.00	30.00		3	MSO	RDGR	FG	LM	60	MQZ	WHBN	MG	CX	40	SE			CHL	4	SL	FEO	4	SL	SIL	1	DI
30.00	32.00		3	RCA	YEBN	MG	CX										CAR	3	PV	FEO	3	PV	SIL	2	DI
32.00	36.00		3	MSO	BNRD	MG	CX										SIL	4	PV	FEO	3	PV	CAR	3	PV
36.00	48.00		1	RCY	BG	FG	LM										CLY	4	PV	CHL	2	DI	SIL	1	DI
48.00	58.00		2	MSO	BN	FG	LM	60	MQZ	WHBN	MG	CX	40	SE			CHL	4	PV	SER	2	DI	FEO	1	DI
58.00	118.00		2	MSO	GRBN	FG	LM										CHL	4	PV	GRA	4	SL	CLY	3	SL
118.00	150.00	FALSE	1	SSHB	GYBK	FG	LM										GRA	3	PV	CHL	2	DI	SIL	2	DI
		FALSE																							

Tableau III : Log lithologique du forage KM02_RC

mFrom	mTo	VALID	Weathering	Lith1_Code	Lith1_Colour_Code	Lith1_GrainSize	Lith1_Texture	Lith1_pct	Lith2_Code	Lith2_Colour_Code	Lith2_GrainSize	Lith2_Texture	Lith2_pct	Min1_Code	Min2_Code	Min3_Code	Alt1_Code	Alt1_Int	Alt1_Style	Alt2_Code	Alt2_Int	Alt2_Style
0.00	12.00		2	RCA	BG	MG	LM	80	MQZ	WHBN	MG	CX	20									
12.00	22.00		3	RCY	BNYE	MG	CX	40	MQZ	WHBN	MG	CX	60				CAR	4	DI	FEO	1	DI
22.00	24.00		1	RSP	GRYE	FG	LM										SIL	4	PV	CLY	2	SL
24.00	42.00		1	MSO	GR	FG	LM										CLY	4	DI	CHL	3	PV
42.00	52.00		1	MSO	WHBN	MG	LM	60	MQZ	WHBN	MG	CX	40				CHL	4	PV	SER	2	DI
52.00	150.00	FALSE	1	MSO	GRGY	MG	LM										CHL	2	DI	CLY	2	DI
																	CHL	3	PV	SIL	2	DI

Tableau IV : Log lithologique du forage KM03_RC

mFrom	mTo	VALID	Weathering	Lith1_Code	Lith1_Colour_Code	Lith1_GrainSize	Lith1_Texture	Lith1_pct	Lith2_Code	Lith2_Colour_Code	Lith2_GrainSize	Lith2_Texture	Lith2_pct	Min1_Code	Min2_Code	Min3_Code	Alt1_Code	Alt1_Int	Alt1_Style	Alt2_Code	Alt2_Int	Alt2_Style	Alt3_Code	Alt3_Int	Alt3_Style
0.00	6.00		2	RSP	GRGY	MG	CX	70	RCA	WH	MG	CX	30	BT	SE		CHL	3	DI	CLY	2	DI	SER	2	SL
6.00	12.00		3	RIC	BN	MG	CX	95	RSP	GRGY	MG	CX	5	SE			CAR	4	DI	FEO	3	DI	SIL	1	DI
12.00	42.00		1	MSC	GRGY	FG	FO							SE			CHL	4	PV	AMP	2	DI	SER	2	DI
42.00	150.00	FALSE	1	MSO	GYBK	FG	LM										CHL	3	PV	GRP	3	DI	SIL	2	DI

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Tableau V: Log lithologique du forage KM04_RC

mFrom		mTo		VALID	Weathering	Lith1_Code	Lith1_Colour_Code		Lith1_GrainSize	Lith1_Texture	Lith1_pct	Lith2_Code	Lith2_Colour_Code		Lith2_GrainSize	Lith2_Texture	Lith2_pct	Min1_Code	Min2_Code	Min3_Code	Alt1_Code	Alt1_Int	Alt1_Style	Alt2_Code	Alt2_Int	Alt2_Style
0.00	12.00		2		MBA	GRBG	FG	CX											HB		ALB	3 DI	CHL	2 DI		
12.00	88.00		1		MDO	BKGY	MG	CX	95	SCB	WHBN	MG	CX	5							ALB	4 DI	CHL	2 DI		
88.00	138.00		1		MSCM	GRBG	FG	MA	98	SCB	WHBN	MG	CX	2							CHL	3 PV	GRP	2 DI		
138.00	148.00		1		MAM	GY	MG	CX													AMP	4 PV	ALB	2 DI		
148.00	150.00	FALSE	1		MSCM	GRBG	FG	CX													CHL	4 DI	AMP	3 DI		
		FALSE																								

Tableau VI: Log lithologique du forage KM05_RC

mFrom	mTo	VALID	Weathering	Lith1_Code	Lith1_Colour_Code	Lith1_GrainSize	Lith1_Texture	Lith1_pct	Lith2_Code	Lith2_Colour_Code	Lith2_GrainSize	Lith2_Texture	Lith2_pct	Min1_Code	Min2_Code	Min3_Code	Alt1_Code	Alt1_Int	Alt1_Style	Alt2_Code	Alt2_Int	Alt2_Style	Alt3_Code	Alt3_Int
0.00	30.00		2	MDO	GY	MG	CX							HB			ALB	4	PV	AMP	3	DI	CHL	2
30.00	56.00		1	MSCM	GY	MG	FO							MT			CHL	4	PV	AMP	3	DI	SER	
56.00	150.00	FALSE	1	MDO	GY	MG	CX							MT			ALB	4	PV	CHL	3	SL	SER	
		FALSE																						

Contrôle Tectonique des Corps Carbonatés Minéralisés du Gisement de Cuivre de Guelb Moghreïn (Centre Ouest de la Mauritanie)

Les sections des forages et leur corrélation sont présentées sur la (fig. 33).

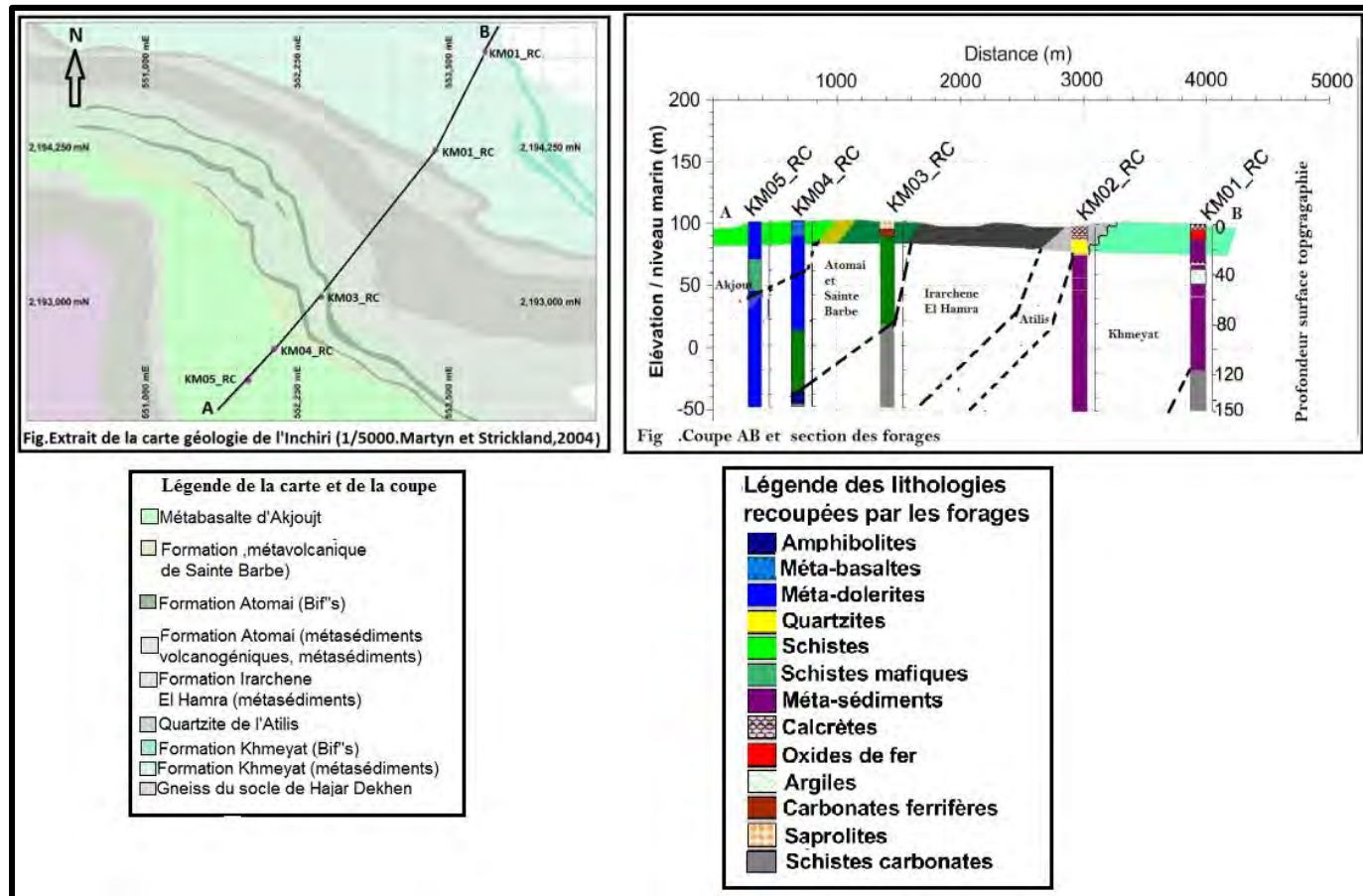


Figure 33 : Coupe et Corrélation des forages KM

CONCLUSION GENERALE

Pour appréhender les paramètres contrôlant la distribution des corps carbonatés minéralisés de Guelb Moghreïn nous avons adopté une démarche consistant à caractériser la géométrie des unités lithologiques ou litho-tectoniques, le style de la déformation structurale la nature et la succession chronologique des épisodes tectoniques ayant prévalu dans la zone.

On a utilisé les données de plus de 1300 forages effectués dans la fosse. Cette démarche a conduit à des résultats qui confirment ceux des résultats obtenus par d'autres méthodes d'investigation (observation directe des panneaux). Elle donne une idée assez raffinée du schéma structural de la fosse de Guelb Moghreïn.

Nos résultats ont des incidences sur l'optimisation de l'exploitation (connaissance préalable de la distribution spatiale des teneurs en Cu, maîtrise des irrégularités du contact inférieur du corps principal des FMC et des intercalations de lithologies différentes).

Notre travail a permis également d'identifier une cible (target). L'orientation des structures, leur chronologie et le type du régime tectonique responsable de la distribution des épaisseurs des FMC et de leurs teneurs en Cu, constitue un guide à l'exploration minière dans la région.

Un intérêt particulier doit être accordé à d'éventuelles zones de relais situés sur une structure NW-SE, parallèle à la direction de compression minimale. Ce n'est donc pas un hasard que le gisement de El Joul, soit situé au SE de la mine, dans cette même direction.

Enfin nous formulons les recommandations suivantes :

- Il faudrait intensifier les sondages dits de « circulation inverse » car ces sondages sont de bonnes qualités et leurs durée d'exécution et leurs coût sont limités. En plus, ils sont très importants dans la phase de reconnaissance ; fournissent une information géologique continue et précise et sont utilisables dans toutes les formations géologiques.
- Dans le souci causé par les problèmes du réchauffement de la planète et la nécessité de réduction des émissions des gaz dans l'atmosphère, l'entreprise devra passer à la phase d'action de son programme de gestion environnemental et à la mise en place d'outils adéquats, tels que des études d'impact environnementale (EIE) ou des tableaux de bord environnementaux (TBE).

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la région d'Akjoujt en Mauritanie, MCM 2012.

Figure 2 : Carte géologique simplifiée de la Mauritanie, d'après Meyer *et al.*, 2006.

Figure 3 : La carte géologique de la chaîne des Mauritanides (Gunn *et al.*, 2004).

Figure 4: Geological interpretation map of the Akjoujt area with sketch cross sections.

Figure 5: Colonne stratigraphique de la série d'Akjoujt (Martyn *et Strickland*, 2004).

Figure 6 : Carte géologique de la région d'Akjoujt (Kolb *et al.*, 2006).

Figure 7 : Esquisse géologique des environs du gisement (légende incluse). GO, Guelb Moghrein occidental; GE, Guelb Moghrein oriental (Pouclet *et al.*, 1986).

Figure 8 : Coupe à travers le Guelb occidental d'après Pouclet *et al.* (1986), voir localisation et légende sur la figure 7.

Figure 9 : Coupe du gîte de Guelb Moghrein montrent les lithologies principales et les distributions de Cu et Au (Strickland *et Martyn*, 2002).

Figure 10 : Coupe à travers le Guelb Oriental d'après Pouclet *et al.* (1986), voir localisation et légende sur la figure 7.

Figure 11 : Disposition structural des Guelb Occidental et Oriental selon Kolb *et al.* (2006).

Figure 12 : Carte géologique du minerai du Guelb Occidental (Kolb *et al.*, 2008).

Figure 13 : Microfaciès des roches au Guelb Occidental (Kolb *et al.*, 2006).

Figure 14 : Carte des sections exécutées et forages étudiés (Longitudinales et Transversales).

Figure 15 : Coupe transversale montre les variations d'épaisseur des FMC dans la fosse.

Figure 16 : Coupe longitudinale montre l'épaisseur des FMC dans la partie nord de la fosse.

Figure 17 : Coupes montrant l'intercalation des lentilles de Schistes et de Méta-basaltes dans les FMC.

Figure 18 : Carte structurale de la fosse.

Figure 19 : les failles normales WNW-ESE (a,b) et NE-SW (c).

Figure 20 : les Failles NE-SW montrent des Horsts et Grabens dans la partie ouest du CutI.

Figure 21 : les Failles normales WNW-ESE qui forment des grabens dans la partie Nord de la fosse (Cut I).

Figure 22 : les Failles inverses WNW-ESE de vergence NE.

Figure 23 : les Failles inverses NE-SW du côté est de la fosse.

Figure 24 : Plis asymétriques de carbonates à vergence NE.

Figure 25 : Carte thématique indique d'anomalies de terrain exploré avec les sections des forages programmés et achevés.

Figure 26 : Carte thématique d'anomalies magnétiques de target.

Figure 27 : Carte d'affleurements autour des forages KM01_RC et KM02_RC.

Figure 28 : Carte géologique interprétative de la figure 27.

Figure 29 : Carte d'affleurements autour du forage KM03_RC.

Figure 30 : Carte géologique interprétative de la figure 29.

Figure 31 : Carte d'affleurements autour des forages KM04_RC et KM05_RC.

Figure 32 : Carte géologique interprétative de la figure 31.

Figure 33 : Coupe et Corrélation des forages KM01_RC-KM05_RC.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : les coordonnées des forages étudiés.

Tableau II : Log de forage KM01_RC.

Tableau III : Log de forage KM02_RC.

Tableau IV : Log de forage KM03_RC.

Tableau V : Log de forage KM04_RC.

Tableau VI : Log de forage KM05_RC.

LISTE DES ABREVIATIONS DE LOGS DE FORAGES

Pour les lithologies :

MAM : Amphibolites
MBA : Méta-basaltes
MDO : Méta-dolérites
MQZ : Quartzites
MSC : Schistes
MSCM : Schistes mafiques
MSO : Méta-sédiments
RCA : Calcrète
RCI : Chapeau de fer
RCY: Argile
RIC: Carbonate de fer
RSP : Saproлите
SCB : Carbonates
SSHB : Schistes carbonés

Pour la texture :

CX : Cristalline
FO : Foliée
LM : Laminée
MA : Massive

Pour les couleurs :

BG : Beige
BKGY : Noir-gris
BN : Marron
BNRD : Marron-rouge
BNEY : Marron-jaune
GR : Vert
GRBG : Vert-beige
GRBN : Vert-marron
GRGY : Vert-gris
GRYE : Vert-jaune
GY : Gris
GYBK : Gris-noir
GYBG : Gris-beige
RD : Rouge
WH : Blanc
WHBN : Blanc-marron
YEEN : Jaune-marron

Pour la taille de grains :

FG : Grains fins
MG : Grains moyens

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

- 1) Ba Gatta, A. 1982. Contribution à l'étude géologique et minéralogique du gisement d'Akjoujt (Mauritanie). Thèse de géologie, Univ. Orlans.
- 2) Ennih, N., and Liègeois, J.P. (eds.), The Boundaries of the West African Craton, Geological Society of London Special Publications.
- 3) First Quantum Minerals Ltd., 2013, Data base exploration et gared contrôle sheet : <http://www.firstquantum.com./correlation FMC>.
- 4) GUNN, A G, PITFIELD, P E J, McKERVEY, J A, KEY, R M, WATERS, C N and BARNES, R P. 2004. Notice explicative des cartes géologiques et gîtologiques à 1/200 000 et 1/500 000 du Sud de la Mauritanie. Volume 2 – Potentiel Minier. DMG, Ministère des Mines et de l'Industrie, Nouakchott.
- 5) Kolb, J., Meyer, F.M., Vennemann, T., Hoffbauer, R., Gerdes, A., and Sakellaris, G.A., 2008, Geological setting of the Guelb Moghreïn Fe oxide-Cu-Au-Co mineralization, Akjoujt area, Mauritania.
- 6) Kirschbaum, M.J., 2007 - Summary of 2007 summer field work, MCM presentation, unpublished.
- 7) Kolb, J., Sakellaris, G.A., and Meyer, F.M., 2006, Controls on hydrothermal Fe oxide-Cu- Au-Co mineralization at the Guelb Moghreïn deposit, Akjoujt area, Mauritania: Mineralium Deposita.
- 8) Martyn JE, Strickland CD (2004) Stratigraphie, structure et minéralisation dans la région d' Akjoujt, Mauritania. Journal African Earth Sci.
- 9) PITFIELD, P E J, J A, KEY, R M, WATERS, C N., HAWKINS, M.P.H., SCHOFIELD, D.I., LOUGHLIN, S. and BARNES, R P. 2004. Notice explicative des cartes géologiques et gîtologiques à 1/200 000 et 1/500 000 du Sud de la Mauritanie. Volume 1 – géologie. DMG, Ministère des Mines et de l'Industrie, Nouakchot.
- 10) Pouclet, A., Guillot, P.L., Ba Gatta, A., 1987 - Nouvelles données lithostructurales, pétrographiques, minéralogiques et géochimiques sur le gisement de cuivre d.Akjoujt et son environnement géologique (République Islamique de Mauritanie). J Afr Earth Sci 6:29.43.

- 11) Strickland CD, Martyn JE (2002), The Guelb Moghreïn Fe-oxide copper–gold–cobalt deposit and associated mineral occurrences, Mauritania: A geological introduction. In: Porter TM (eds) Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold & Related Deposits : A Global Perspective. PGC, Adelaide.