



Université Cadi Ayyad  
Faculté des Sciences et Techniques  
Département des Sciences de la Terre  
Equipe de recherche « Génie Civil et Géoingénierie »



Compagnie Minière  
de Guemassa  
Groupe Managem

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Licence Sciences et Techniques  
Géologie Appliquée aux Ressources Minières  
(LST-GARM)

**Caractérisation géologique du  
compartiment sud-est du corps principal  
(Ouest descenderie) du gisement minier  
de Hajjar (Massif de Guemassa, Maroc)**

Réalisé par : Raja AIT TAHABBASSAT

Encadré par : Mohammed Jaffal

Soutenu le : 26 juin 2013

Devant un jury composé de :  
Mohammed JAFFAL  
Ahmid HAFID

Année universitaire 2012/2013



# Remerciements

**Je remercie Dieu de m'avoir aidé à accomplir ce modeste travail.**

A l'issu de ce travail, il m'est agréable d'adresser mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à son élaboration ; que ça soit par leurs contributions directes ou par leur soutien moral.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent tout d'abord à Mr. Mohammed Jaffal, professeur à la faculté des sciences et techniques de Marrakech, pour m'avoir encadré le long de ce stage. Je vous remercie cher encadrant pour vos conseils précieux et remarques judicieuses.

Je tiens également à remercier mon encadrant à la compagnie minières de Guemassa, Mr. Abdel Ali Khalifa cadre géologue, et Mr. Khalid Boulhris pour leur aide et leur disponibilité durant toute la période du stage.

Mr. Mohamed Outhounjite chef du service géologique à la compagnie minière de Guemassa, merci infiniment pour avoir accepté de m'accueillir dans votre service. Vos remarques pertinentes ont été toujours pour moi d'un grand intérêt.

Mes remerciements vont également à :

Mr. Hafid Ahmid, pour avoir accepté de faire partie de mon jury . Merci de tout cœur cher professeur.

L'équipe du service géologique de la compagnie minière de Guemassa : Khalid, Mohamed, Abdesslam, Nouredine, Hamid, Azizi, Mahfoude, Amzile, Benichou et Abasse.

Je remercie chaleureusement tous mes collègues, pour les beaux moments qu'on a passé ensemble.

Enfin, Je dédie ce travail à mes parents, à ma famille, à mes amis, à mes professeurs ; pour leur amour, leur soutien, leur encouragement, et leurs conseils.

## Table des matières

<b>I- INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>II- CONTEXTE DE L'ETUDE.....</b>	<b>7</b>
<i>II-1- Situation géographique .....</i>	<i>7</i>
<i>II-2--Historique de la découverte du gisement .....</i>	<i>8</i>
<i>II.3- Cadre géologique régional.....</i>	<i>9</i>
II.3.1- Lithostratigraphie du secteur minier de Hajjar.....	10
II-3.2- Structuration et métamorphisme .....	12
II-3.3- Gisement polymétallique de Hajjar .....	14
<b>III- CARACTERISATION GEOLOGIQUE DU COMPARTIMENT SUD-EST DU CORPS PRINCIPAL DE HAJJAR .....</b>	<b>20</b>
<i>III.1- Géologie des niveaux étudiés .....</i>	<i>20</i>
III.1.1- Niveau 420 .....	20
III.1.2- Niveau 400 (Fig. 6).....	21
III.1.3- Niveau 380 (Fig. 7).....	22
III.1.4- Niveau 360 (Fig. 8).....	23
<i>III.2- Analyse des coupes verticales.....</i>	<i>27</i>
<i>III.3- Modélisation géologique du compartiment Sud-Est du corps principal.....</i>	<i>32</i>
<i>III.4- Morphologie globale du corps minéralisé .....</i>	<i>34</i>
<b>IV- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATION.....</b>	<b>36</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>37</b>

## I- INTRODUCTION

Le gisement de Hajar est exploité par la compagnie minière de Guemassa (filiale du groupe Managem) depuis sa découverte dans les années 1980. Il se présente sous forme d'un amas sulfuré plongeant vers le nord-est, avec un pendage de 45 degrés. Cet amas est encaissé dans des terrains d'âge viséen du le massif hercynien de Guemassa. C'est un gisement polymétallique caractérisé par une paragenèse à arsénopyrite, chalcopyrite, pyrite, pyrrhotine, galène et sphalérite. Les travaux d'exploration et d'exploitation menés sur ce gisement, plus d'une vingtaine d'années, ont permis de produire une importante quantité de données géologiques disponibles sous forme de coupes verticales, de cartes en plan et de logs stratigraphiques de sondages. L'intégration de cette base de données dans un logiciel de modélisation géologique permet de caractériser avec précision la géométrie 3D du gisement.

On propose dans le cadre de la présente étude d'utiliser l'un de ces logiciels, en l'occurrence VULCAN, pour modéliser le compartiment sud-est du corps principal de Hajar, entre les cotes 360 m et 420 m, à la lumière des résultats des nouveaux sondages qui ont ciblé cette partie du gisement. Cette modélisation consiste à représenter en trois dimensions la structure géologique du corps minéralisé et de son encaissant (géométrie et agencement des formations recoupées par les sondages ou les travaux miniers) avec possibilité d'intégrer certains paramètres tels que des résultats d'analyses géochimiques ou des propriétés pétrophysiques. L'objectif de cette modélisation est de représenter la géométrie des entités géologiques en profondeur afin :

- d'avoir une vision plus claire du compartiment sud-est du gisement, de son enracinement et de l'évolution de la minéralisation entre les cotes 360 m et 420 m ;
- de valider le modèle en intégrant les données géoscientifiques pluridisciplinaires (sondages, la géochimie, etc.) ;
- de définir de nouvelles cibles d'exploration.

L'approche métrologique utilisée pour atteindre ces objectifs, consiste à compiler les données de sondages carottés réalisés dans la partie orientale du corps principal et les étudier en mettant l'accent sur l'analyse structurale et la description pétrographique des zonalités minéralogiques, des différents faciès présents, de la morphologie du stockwerk et de la morphologie de la minéralisation dans les différents niveaux

Ce travail a été réalisé au sein du service géologique de la compagnie minière de Guemassa (CMG) en collaboration avec l'équipe de recherche « Génie Civil et Ingénierie Géologique » de l'Université Cadi Ayyad.

# 1<sup>ère</sup> PARTIE

« CONTEXTE DE L'ETUDE »

## II- CONTEXTE DE L'ETUDE

### II-1- Situation géographique

Le gisement polymétallique de Hajjar se situe dans la plaine du Haouz, à 35 Km au Sud de Marrakech. Il est localisé dans une zone où le socle paléozoïque est masqué par une importante couverture sédimentaire mio-pliocène et n'affleure que localement sous forme de boutonnières. Dans cette partie du Haouz, le paysage morphologique est constitué d'un ensemble de petites collines dont l'altitude moyenne varie de 600 à 800m (Fig. 1).

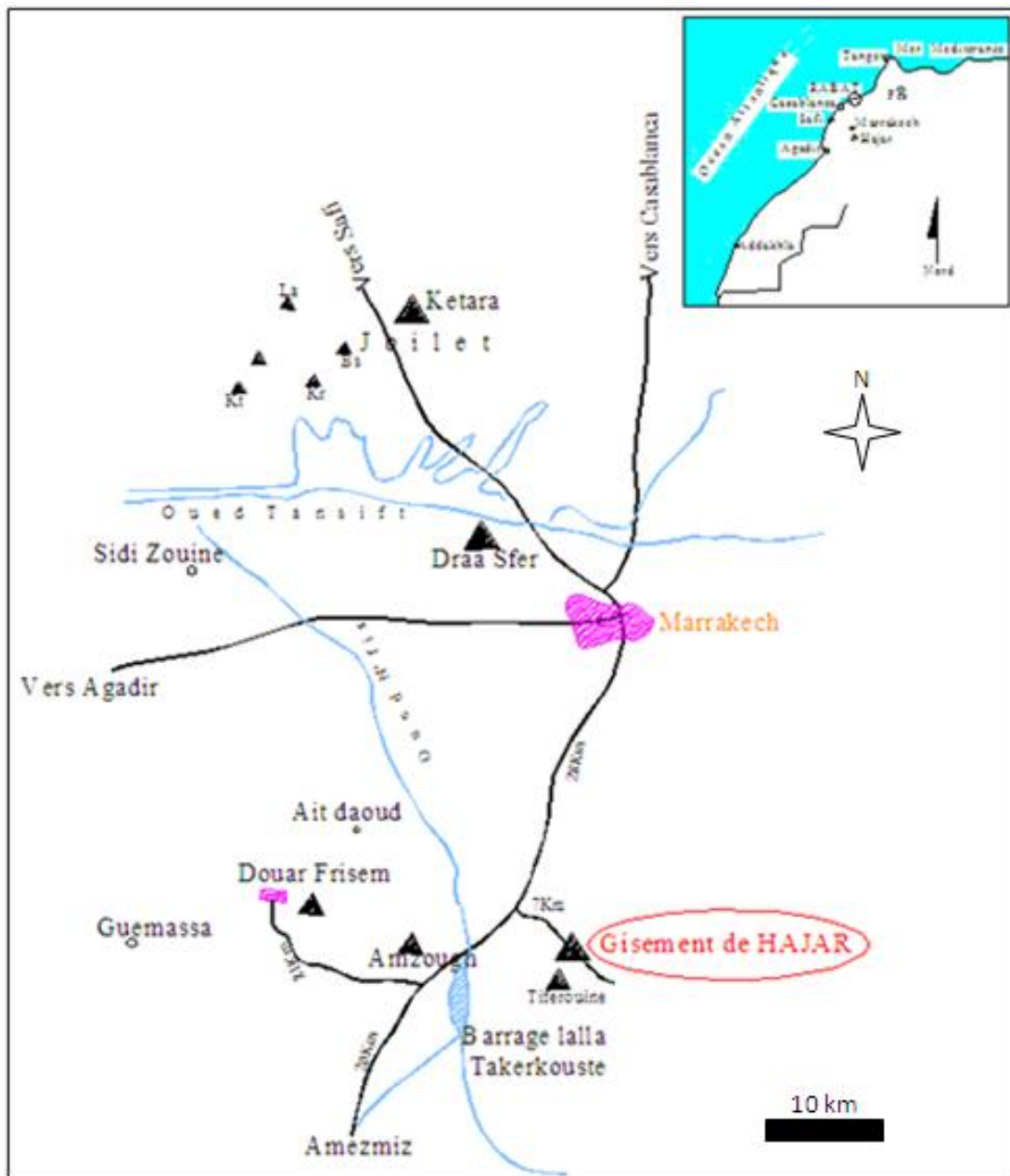


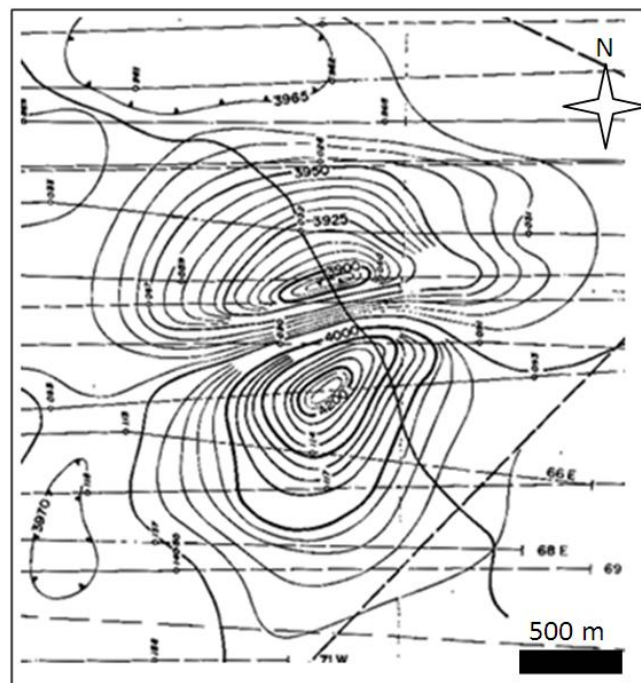
Figure 1: Carte géographique de la région des Guemassa (Document de la CMG).

## ***II-2--Historique de la découverte du gisement***

Depuis la découverte du gisement de Kettara, la province des Jbilets et des Guemassa a connu plusieurs travaux d'exploration visant la recherche d'autres gisements. En effet, cette région a été le siège de plusieurs compagnies d'exploration depuis les années 1930, dans le cadre d'un programme lancé par la direction de la géologie du ministère de l'énergie et des mines, le BRPM et le BRGM. L'anomalie magnétique de Hajjar a été mise en évidence pour la première fois en 1968 grâce à un levé aéroporté (Fig. 2). Cette anomalie a été contrôlée au sol dans le cadre d'un programme d'exploration géologique mené au début des années 1980. Le premier sondage de contrôle (HS1), réalisé en 1984, a recoupé 118 m de sulfures massifs sous une couverture sédimentaire 158 m. Depuis cette découverte et jusqu'au début de l'année 1988, le Bureau de Recherche et Participation Minière (BRPM) a multiplié et intensifié les travaux de recherche (sondages carottés et travaux miniers), dans le but de:

- Comprendre le contexte géologique général ;
- Cerner la géométrie du corps minéralisé ;
- Préciser sa composition et ses réserves.

La compagnie minière des Guemassa (CMG), créée en février 1988, a repris les travaux miniers de reconnaissance. Elle a réalisé une étude de faisabilité puis elle a lancé les travaux d'infrastructure en parallèle avec le démarrage d'une usine pilote. La production a démarré en novembre 1992 à raison 2400 tonnes par jour.



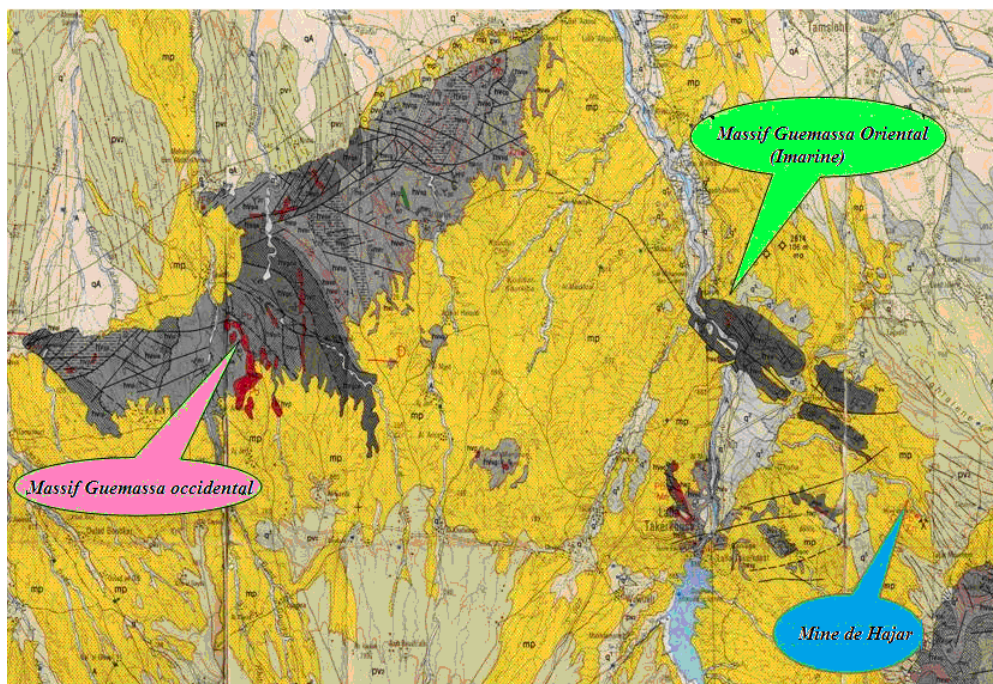
**Figure 2 : Anomalie aéromagnétique de Hajjar**



### ***II.3- Cadre géologique régional***

Le gisement polymétallique de Hajjar se situe dans le domaine des Guemassa orientales ou domaine d'Imarine qui fait partie de la Meseta occidentale (Fig. 3). Ce gisement est encaissé dans un socle paléozoïque recouvert en discordance par des séries méso-cénozoïques non déformées. D'après les données stratigraphiques et tectoniques, le massif de Guemassa appartient à la meseta marocaine occidentale, caractérisée par une sédimentation quasi continue du Cambrien au Westphalien et par une phase tectono- métamorphique intra westphalienne qui s'intensifie le long des zones de cisaillement. Dans ce massif, le socle d'âge viséen n'affleure que sous forme de boutonnière au sein d'une couverture mio-pliocène et quaternaire. Le degré de métamorphisme, dans le domaine des Guemassa, indique un contexte épizonal, ce métamorphisme régionale montre une paragenèse à quartz, chlorite, albite et muscovite (Boummane 1987, Soulaïmani 1991). Quant au magmatisme, il se présente sous forme d'intercalations de roches acides en lames et/ou en sills (volcanisme effusif et fissural), rarement sous forme de tufs et tuffites acides (Maier et al 1986 ; Gros et al 1986). Le domaine d'Imarine est constitué d'une série tuffitique mise en place par écoulement turbiditique au pied d'un talus.

Le gisement polymétallique de Hajjar est situé sous 120 mètres environ de couverture mio-pliocène et quaternaire. La mise en place de ce gisement est associée à une activité volcanique qui se manifeste par des roches, de nature essentiellement felsique, affectées par une bréchification hydroclastique indiquant une mise en place dans un milieu sous aquatique. Parmi ces roches, on distingue : des laves Rhyolitiques, des brèches volcaniques, des faciès volcanoclastiques incluant des tufs acides et des coulées pyroclastiques.



**Figure 3: Localisation du gisement polymétallique de Hajjar dans le domaine des Guemassa (Extrait de la carte géologique d'Amez Miz 1/100 000).**

### II.3.1- Lithostratigraphie du secteur minier de Hajjar

Le log stratigraphique du secteur minier de Hajjar montre la succession de trois unités lithologiques qui sont de bas en haut (Fig. 4) :

**-une unité basale** à caractère volcanique et volcano sédimentaire (mur de la minéralisation), elle peut atteindre 400 m. Ce complexe volcanique est très puissant dans sa partie centrale alors que sa puissance est variable latéralement (passage aux pélites noirs très fines et à disséminations de sulfures). Il est recouvert par une formation volcano sédimentaire constituée d'une alternance silto-gréseuse et pyroclastique avec des passées de brèches volcaniques de puissance variable (centimétrique à métrique). Les sulfures sous forme de lentilles litées et disséminées, sont très abondants dans cette unité.

**-une unité médiane** représentée par le corps minéralisé et les sédiments exhalatifs associés. C'est un amas massif dans lequel apparaissent des lambeaux d'encaissant sédimentaire de dimensions très variables (centimétriques à pluri métrique). Latéralement, on note la disparition de la minéralisation, et par conséquent l'unité basale passe verticalement à l'unité sommitale. La minéralisation sulfurée repose au niveau de la partie centrale de l'unité médiane sur une zone bréchique (50 à 80 m) constituant le stockwerk. Sous l'amas massif et latéralement apparaissent des sédiments exhalatifs (chlorite, biotite et grenatite).

**-une unité sommitale** de nature détritique représentant le toit de la masse minéralisée. Elle est puissante d'environ 200 mètres et formée d'un terme grés-silteux à intercalations de lentilles calcaires à organismes. Dans sa partie orientale, elle présente des récurrences pyroclastiques, le tout est coiffé par des calcaires gréseux.

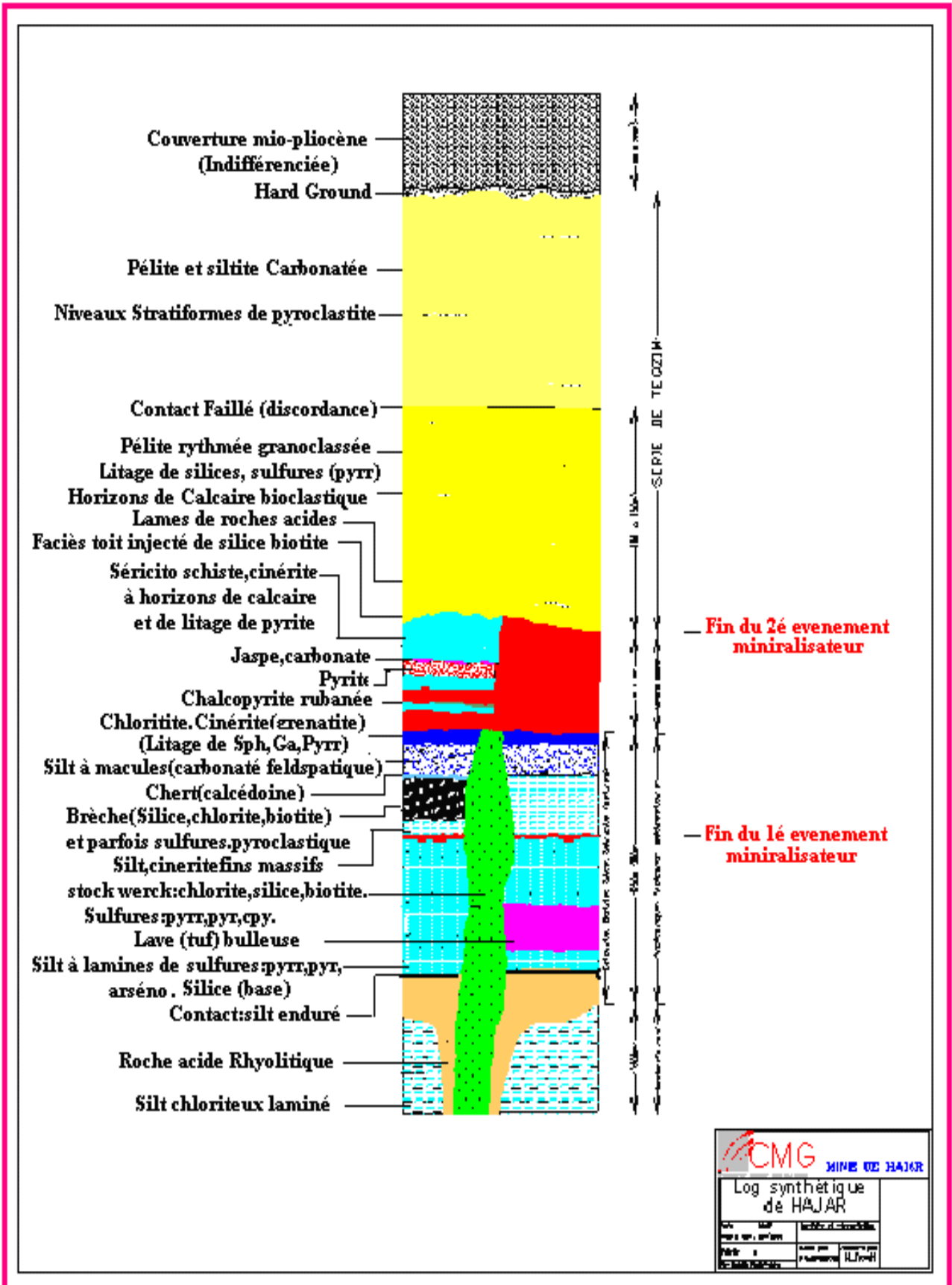


Figure 4 : Log synthétique du secteur minier de Hajar (Document de la CMG)

### **II-3.2- Structuration et métamorphisme**

Le domaine des Guemassa a fait l'objet de plusieurs travaux visant la caractérisation des différents épisodes tectoniques en liaison avec l'ouverture et la fermeture du bassin mésétien lors de l'orogénèse hercynienne.

#### **✚ Structuration générale du domaine des Guemassa**

Les études tectoniques menées dans le domaine des Guemassa ont permis d'identifier plusieurs structures et microstructures dont l'analyse géométrique et typologique révèle l'existence de plusieurs phases de déformation superposées dont on distingue trois principales :

- une première phase anté-schisteuse (D0) à caractère synsédimentaire, elle est bien marquée dans le domaine de Guemassa (Hibti, 1993).
- une phase majeure (D1) responsable d'un plissement P1 et d'une schistosité S1 de direction NW-SE fortement pentée au NE (70°-90°).
- une phase D2 tardive plicative et cassante.

#### **✚ Tectonique synsédimentaire (phase D0)**

L'analyse structurale des formations du domaine de N'fis a permis de mettre en évidence des structures et microstructures tectoniques en liaison avec une phase tectonique à caractère synsédimentaire. La phase D0 est marquée aussi bien dans le gisement de Hajjar que dans le reste du domaine de N'fis. Elle est caractérisée par une intense instabilité tectonique pendant la sédimentation, matérialisée par le développement de structures faillées normales de direction sub-méridienne à NE et à pendage Est à SE, ainsi que la mise en place de coulées volcaniques. Les structures synsédimentaires de la phase D0 sont matérialisées par des failles synsédimentaires, des slumps et des brèches.

#### **✚ Phase synschisteuse (D1)**

La tectonique hercynienne se traduit dans le domaine de N'fis, comme partout dans le reste du domaine Mesétien, par des structures et des microstructures tectoniques qui se résument comme suit :

- -une schistosité S1 qui ne s'observe que de façon discrète dans le secteur minier de Hajjar. Il s'agit d'une schistosité de flux qui est soulignée par l'étirement des sulfures que ce soit au niveau du minerai ou de l'encaissant.

- un plissement P1, localisé surtout dans la série basale affectant à la fois le niveau rubané et l'encaissant sédimentaire.

A l'échelle du domaine de N'fis, en allant du sud vers le nord, on peut distinguer :

- Au sud, principalement des plis flanc long –flanc court, déversés vers le SW.
- Au nord, essentiellement des plis droits ouverts plongeant vers le NW.

Cette phase s'est déroulée dans un contexte métamorphique épizonal (schiste vert).

### *Phase synschisteuse (D2)*

Cette phase est caractérisée par :

- Une schistosité S2 : observée dans tout le secteur d'étude, il s'agit d'une schistosité de type fracture. Au niveau de la masse minéralisée, la S2 est matérialisée par la réorientation des sulfures étirés lors de la phase (D1). Elle est bien développée à proximité des grandes failles NE-SW.
- un plissement P2 : il s'agit de plis ayant une direction NE-SW et un plongement entre 15° et 45° vers le nord. Ce sont des plis isoclinaux faiblement déversés vers l'est, qui engage à la fois le minerai et son encaissant au niveau du secteur minier.
- des chevauchements : dans la série volcano-sédimentaire de Hajjar, la déformation hercynienne (D2) s'accompagne de chevauchements de pendage vers l'ouest, il s'agit d'un accident de direction NE-SW. L'identification de ces chevauchements est basée sur le décalage des niveaux stratigraphiques qui est à l'origine de structures de type plis failles rencontrées au niveau de la formation de base.

### *Phase tardive*

Il s'agit d'une déformation tardive à caractère cassant exprimée essentiellement par des structures faillées qui sont identifiées dans l'ensemble du secteur minier, et s'organisent en trois familles majeurs NE, NW et EW à N120°.

L'étude de ces structures est compatible avec une compression N-S à NNW-SSE d'âge tardi-hercynien qui serait responsable de l'activité des deux familles NE et NW en jeu conjugué. La famille EW à N120° serait plus tardive.

## **Métamorphisme**

L'ensemble des travaux ayant porté sur le domaine de N'fis (Haimeur 1988 ; Soulaïmani, 1991 ; Hibti, 1993) montrent que ce domaine a connu un métamorphisme général de type épizonal dont la paragenèse est essentiellement à quartz, chlorite, albite et muscovite. Cependant l'existence d'un métamorphisme de contact reste encore sujette à discussion. Les indices de ce type de métamorphisme sont la présence des biotites et de taches non identifiées. En liaison probable avec ce métamorphisme de contact à Hajjar on note :

- le développement de la biotite au dépend d'une chlorite précoce.
- la présence d'amphibole de type cummingtonite localisée et poussant sur les chloritites à sulfures. (Hibti, 2001)
- la présence d'antophyllite (Zouhry, 1998), également statique se développant sur les chlorites et les sulfures associés.

### **II-3.3- Gisement polymétallique de Hajjar**

Le gisement polymétallique de Hajjar est le premier de ce type (VMS) au Maroc. Il est classé parmi les dix premiers gisements de Zn au monde et il forme une masse économique de 16 M/t à 8% de Zn, 2 à 3% de Pb ; 0,4% à 0,6% de Cu et 60 g/t d'argent (**Hibti, 2001**).

Le modèle admis pour ce gisement est celui d'un amas sulfuré massif enraciné sur son stockwerk, avec une zonalité caractéristique à l'intérieur de l'amas. Ce modèle est caractérisé d'une part par une prédominance du Zn et du Pb latéralement et au sommet du gisement.

Le modèle amas sulfuré centré sur son stockwerk ainsi que la zonalité ne sont pas toujours évidents à cause de la complexité des dépôts et de la morphologie.

#### **Caractérisation de l'amas sulfuré de Hajjar :**

##### Morphologie

Le gisement de Hajjar est constitué de trois corps minéralisés baptisés :

- corps principal,
- corps ouest descendierie
- et corps nord-est.

Le corps principal est un amas puissant d'environ 50 à 90 m, occupant la charnière d'une mégastructure plissée pendant la phase D2. Il est allongé en direction NW-SE sur 250 à 350 m et étendu sur plus de 300 m avec un pendage d'environ 45° à 55° vers le Nord (Hibti ;



1993). La minéralisation présente essentiellement une structuration en amas ou en lentilles intercalées dans des sédiments exhalatifs. La minéralisation massive occupe presque toute la partie orientale alors que la minéralisation lenticulaire est localisée au niveau de la partie occidentale.

#### *Relation entre l'amas sulfuré et les formations encaissantes*

Elle est variable selon qu'on se place au toit ou au mur de la minéralisation.

***Au niveau du mur***, la minéralisation est en contact normal avec la formation inférieure. Sa base est caractérisée par la présence de figures de slumping surtout au niveau de la partie orientale. Ces microstructures synsédimentaires témoignent du glissement de la minéralisation au moment du dépôt. Par endroits, on peut observer un contact anormal, qui serait la conséquence de la tectonique tardive.

***A son toit et*** au niveau 580, la minéralisation est en discordance avec le litage sédimentaire de l'encaissant, ce contact est jalonné par des veinules siliceuses riches en sulfures (sphalérite, galène, chalcoppyrite et arsénopyrite).

#### *Altérations hydrothermales*

Le gisement de Hajjar est caractérisé par des altérations hydrothermales qui se traduisent par une chloritisation, une biotitisation et une silicification au mur de l'amas sulfuré ainsi que dans les zones de stockwerk. Le toit de l'amas est marqué par une séricitisation. (Hibti ,2001)

#### ***✚ Minéralisation sulfurée de Hajjar***

En plus de la minéralisation stratiforme, les faciès encaissants, surtout ceux qui sont situés au mur de la minéralisation, sont très riches en sulfures. Ils se présentent sous plusieurs aspects : lités, disséminés ou en remplissage de fractures tardives.

#### *Minéralisation dans l'encaissant*

La minéralisation est observée dans la quasi-totalité des faciès encaissants, elle se présente sous plusieurs aspects :

- Microstructures millimétriques à centimétriques et parfois réorientées suivant les plans de schistosité.

- Minéralisation à pyrrhotite et sphalérite, rarement à galène et chalcopryrite, ainsi que quelques cristaux automorphes d'arsénopyrite, en mouches millimétriques ou en microlits plissés matérialisant la stratification dans l'encaissant.
- Minéralisation filonienne essentiellement pyriteuse accompagnée parfois de chalcopryrite.

### Zonalité supergène

Après la mise en place de la minéralisation et suite aux événements tectoniques ultérieurs (hercynien majeur et atlasique), l'amas sulfuré de Hajjar a subi un basculement d'environ 45° à 55° vers le nord. Ainsi, une zonalité d'altération a été développée et se traduit par :

- **une zone d'oxydation** : on y assiste à une oxydation des sulfures et principalement la pyrite. C'est une zone très riche en minéraux d'oxydation (oxydes et hydroxydes de fer) en particulier les ocres (rouges et jaunes), cette zone a une puissance de 25 à 35 mètres, sa base est marquée par des teneurs élevées en Cu (3,9%), Pb (12,8%) et Ag (138 à 370g/t).
- **une zone de cémentation** : ou zone d'enrichissement secondaire, installée sous la zone d'oxydation. Elle est enrichie en éléments métalliques (pyrite et métaux de base) transportées lors du lessivage supergène, elle présente une puissance d'environ 10 à 15 mètres.
- **un protore** : c'est la partie la plus développée du gisement, elle s'enracine sur plus de 200 mètres. La minéralisation est constituée principalement de pyrrhotite (environ 75 à 95% du minerai) avec d'autres phases telles que la sphalérite, la chalcopryrite, la galène, la pyrite et l'arsénopyrite.

Cette minéralisation primaire est caractérisée par quatre types de minerai (Hibti, 2001) :

- **Minerai massif à structure rubanée** : c'est la minéralisation la plus intéressante du point de vue économique, elle est constituée essentiellement de pyrrhotite, pyrite, sphalérite, galène, chalcopryrite et arsénopyrite. Ces minéraux s'organisent en rubans de puissance variable (millimétrique à plurimétrique) et continue sur une dizaine de mètres. Les minéraux de gangue tels que la biotite, le talc, la muscovite, la chlorite et des traînées de quartz recristallisées sont aussi étirés parallèlement à la schistosité.



- *Minerai recristallisé ou à gros cristaux* : localisé particulièrement au voisinage des structures faillées NE-SW, il est formé de cristaux de sphalérite et de galène dont la taille peut atteindre plusieurs centimètres.
- *Minerai lité* : constitué de lits de sulfures de puissance variable (millimétrique à centimétrique) parfois microplissés. En fonction de la minéralogie, deux types peuvent être distingués :
- *Minerai pyriteux* : localisé à la base de la masse minéralisée et au niveau de la partie ouest du gisement, en plus de la pyrite, on note l'existence de pyrrhotite, chalcopyrite et rarement de sphalérite et galène. Ce type de minerai localisé au sommet de la masse minéralisée, constitué par une dominance de sphalérite et de galène et par endroits de la pyrrhotite et de la chalcopyrite.
- *Minerai bréchifié* : décrit au niveau de la partie orientale du gisement. Il s'agit de fragments de 0,5 à 3 cm de minerai à pyrrhotite, chalcopyrite et /ou à sphalérite et galène.

#### ***Mode de mise en place et typologie du gisement de Hajjar***

La mise en place de ce gisement s'est déroulée en trois stades principaux :

##### *Stade d'ouverture du bassin*

Ce stade se manifeste par le jeu des failles normales synsédimentaires, accompagné de glissements synsédimentaires, l'effondrement s'effectue vers l'est à l'est à SE. En même temps, s'est produit une activité volcanique acide responsable de circulation de fluides hydrothermaux profonds minéralisateurs qui ont lessivé le stock métal de la série volcanique. Ce stock a été déposé au contact de l'eau de mer, La réduction des sulfates de cette dernière fournit le soufre nécessaire à la mise en place de la minéralisation sulfurée. La formation sommitale a été mise en place plus tard par l'arrivée des premiers termes détritiques. Enfin le tout a été couvert par des dépôts carbonatés.

##### *Stade d'enrichissement*

Ce stade a eu lieu pendant la phase hercynienne majeure D1 pendant laquelle la série a été plissée et schistosée dans un climat métamorphique épizonal favorisant les phénomènes de recristallisation et de redistribution des métaux. C'est ainsi que le gisement a acquis sa structure actuelle rubanée caractéristique. Ensuite, le gisement a subi un métamorphisme de type péri-plutonique lié à la présence probable d'un corps magmatique en profondeur.

### Stade tardif

Ce stade correspond à la deuxième phase de plissement D2, au cours de laquelle il y a eu modification des structures et des microstructures de la première phase.

Le gisement de Hajjar est qualifié de type VMS compte tenu de l'ensemble de ses caractéristiques, en particulier la nature du volcanisme associé, le type d'hydrothermalisme, les zonalités ainsi que les altérations hydrothermales (chloritisation, séricitisation, silicification, etc.).

# 2ème PARTIE

« CARACTERISATION GEOLOGIQUE DU  
COMPARTIMENT SUD-EST DU CORPS  
PRINCIPAL DE HAJJAR »

### **III- CARACTERISATION GEOLOGIQUE DU COMPARTIMENT SUD-EST DU CORPS PRINCIPAL DE HAJJAR**

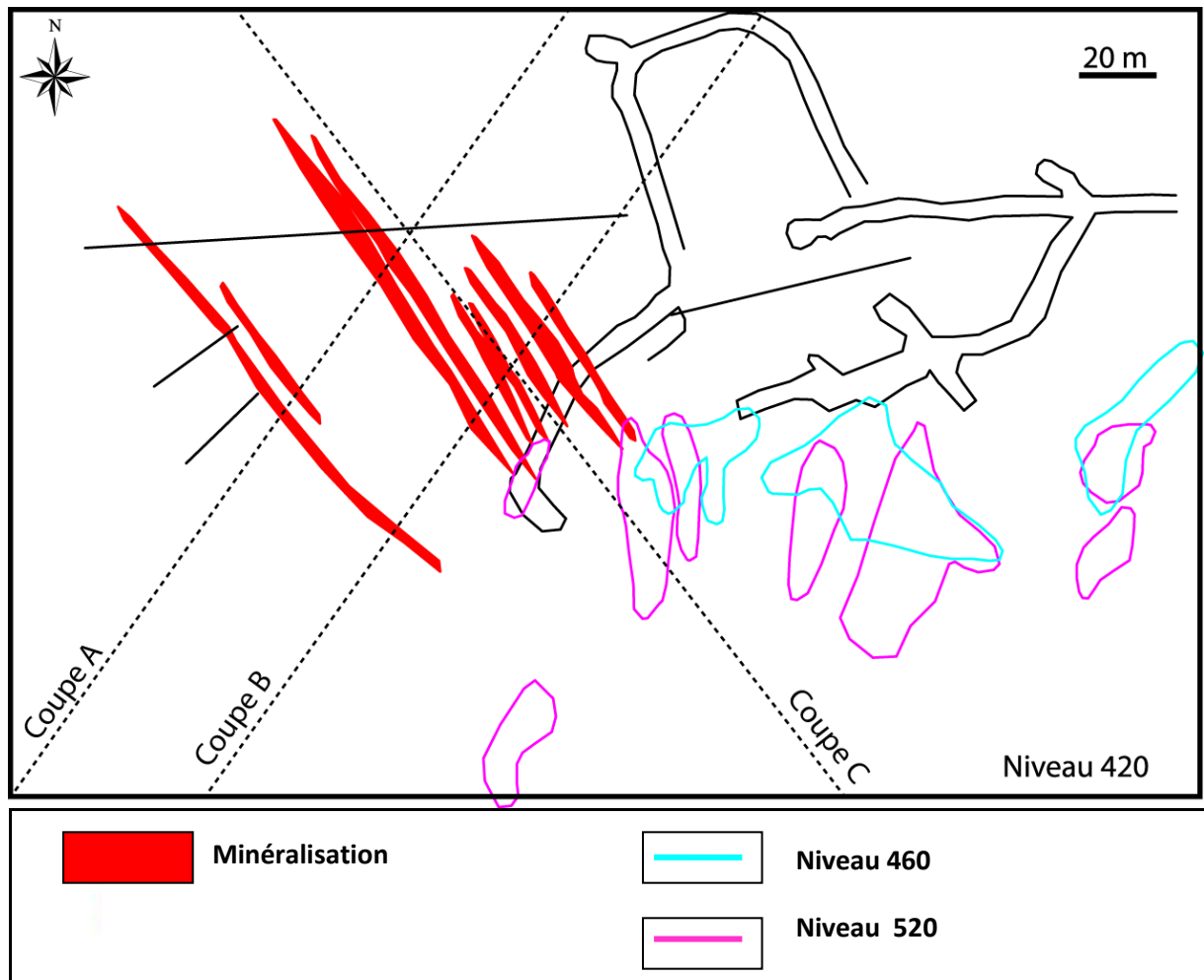
Comme nous l'avons présenté en introduction, l'objet de notre travail est modéliser le compartiment sud-est du corps principal de Hajar en se limitant à la tranche de profondeur située entre les cotes 360 et 420 m par rapport au niveau de la mer. Il s'agit de mettre en évidence à partir de l'analyse des sondages carottés, la morphologie, l'organisation et l'extension de la minéralisation dans cette partie du gisement. Pour se faire, le service géologique de la compagnie minière de Guemassa a mis à notre disposition une importante base de données qu'il fallait numériser et compiler en vue d'établir des coupes et des cartes en plans des différents niveaux.

L'analyse détaillée des logs de sondage a révélé des variations importantes aussi bien de la morphologie que de la composition et la répartition spatiale de la minéralisation et sa relation avec les formations encaissantes.

#### ***III.1- Géologie des niveaux étudiés***

##### ***III.1.1- Niveau 420***

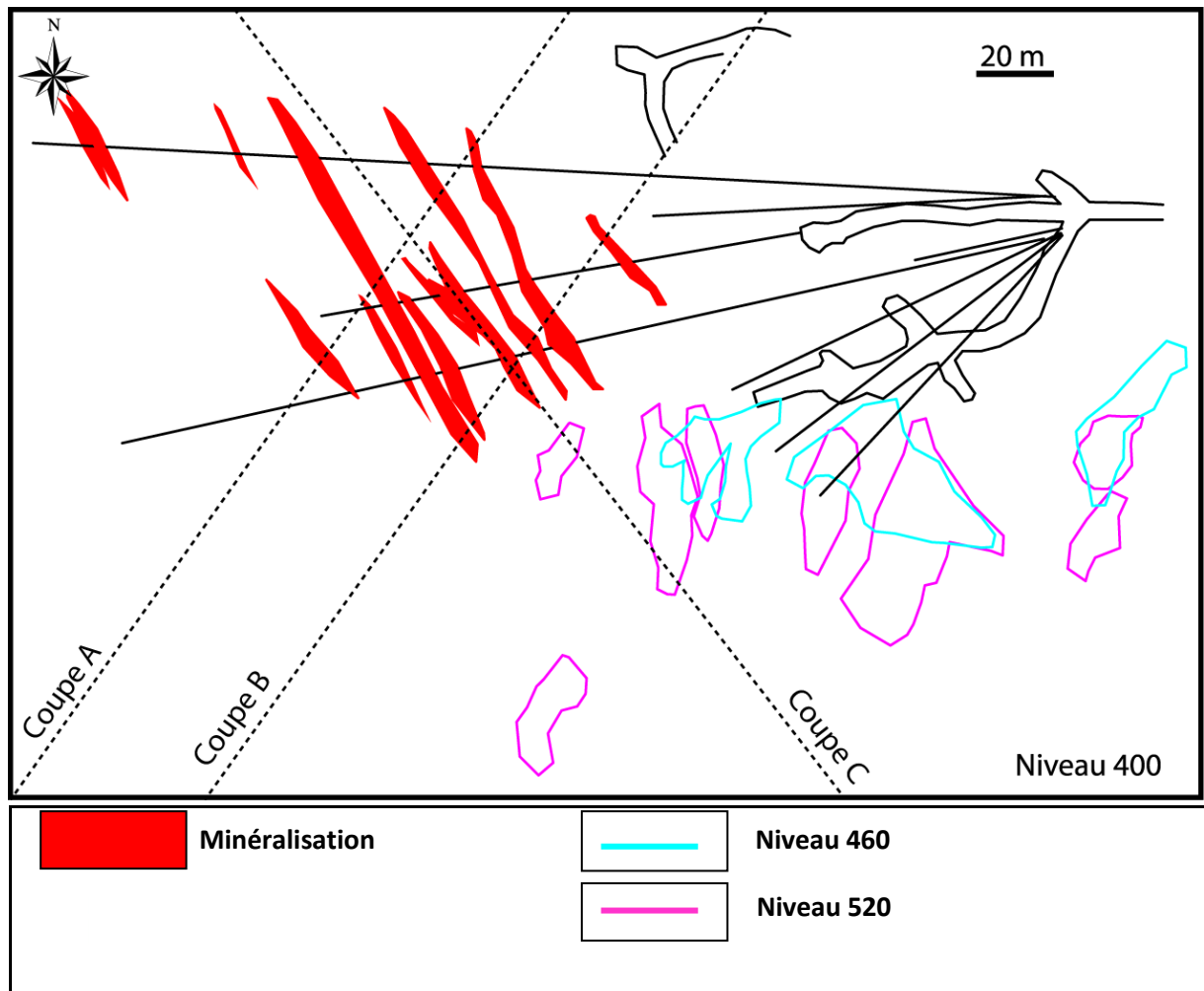
Les résultats des sondages réalisés dans le compartiment Sud-Est du corps principal du gisement de Hajar ont permis d'établir une projection au niveau 420 de la minéralisation interceptée. Cette projection est présentée sur la figure 5 en superposition aux tracés des galeries d'exploitations creusées dans cette partie du gisement et aux contours des minéralisations antérieurement exploitées aux niveaux supérieurs de 460 et 520 m. L'examen de cette figure montre clairement la forme générales des corps minéralisés nouvellement mise en évidence. Il s'agit de minéralisation sulfurée massive qui se présente sous forme de structures très allongées (étirées) en direction NW-SE avec des longueurs de 40 à 120 m, des puissances de 5 à 10 mètres et des teneurs de 3 % Zn, 1% de Pb, 1% de Cu et jusqu'à 30% de fer. Ces structures occupent une position ouest à nord-ouest par rapport au corps sus-jacents déjà exploités à 460 et 520 m. Cette évolution en profondeur plaide en faveur d'un pendage vers le nord-ouest des corps minéralisés entre les niveaux 520 m et 420 m.



**Figure 5 : Représentation en plan de la minéralisation recoupée au niveau 420 m du compartiment sud-est du corps principal.**

### **III.1.2- Niveau 400 (Fig. 6)**

A vingt mètres sous le niveau précédent, on retrouve pratiquement la même morphologie générale de la minéralisation, c'est-à-dire qu'en est toujours en présence de structures lenticulaires, avec des dimensions de mêmes ordres de grandeurs et un allongement très fort en direction NW-SE. L'analyse de l'évolution en profondeur permet de constater un léger décalage vers le Nord-Ouest des structures minéralisées. Ceci montre que ces structures présentent toujours un pendage vers le Nord-Ouest qui devient très fort entre les niveaux 420 et 400 m. De point de vue teneur, les valeurs observées à ce niveau varient en moyenne de 3 à 4% Zn, 1% de Pb, 1% de Cu et 34% de Fe.



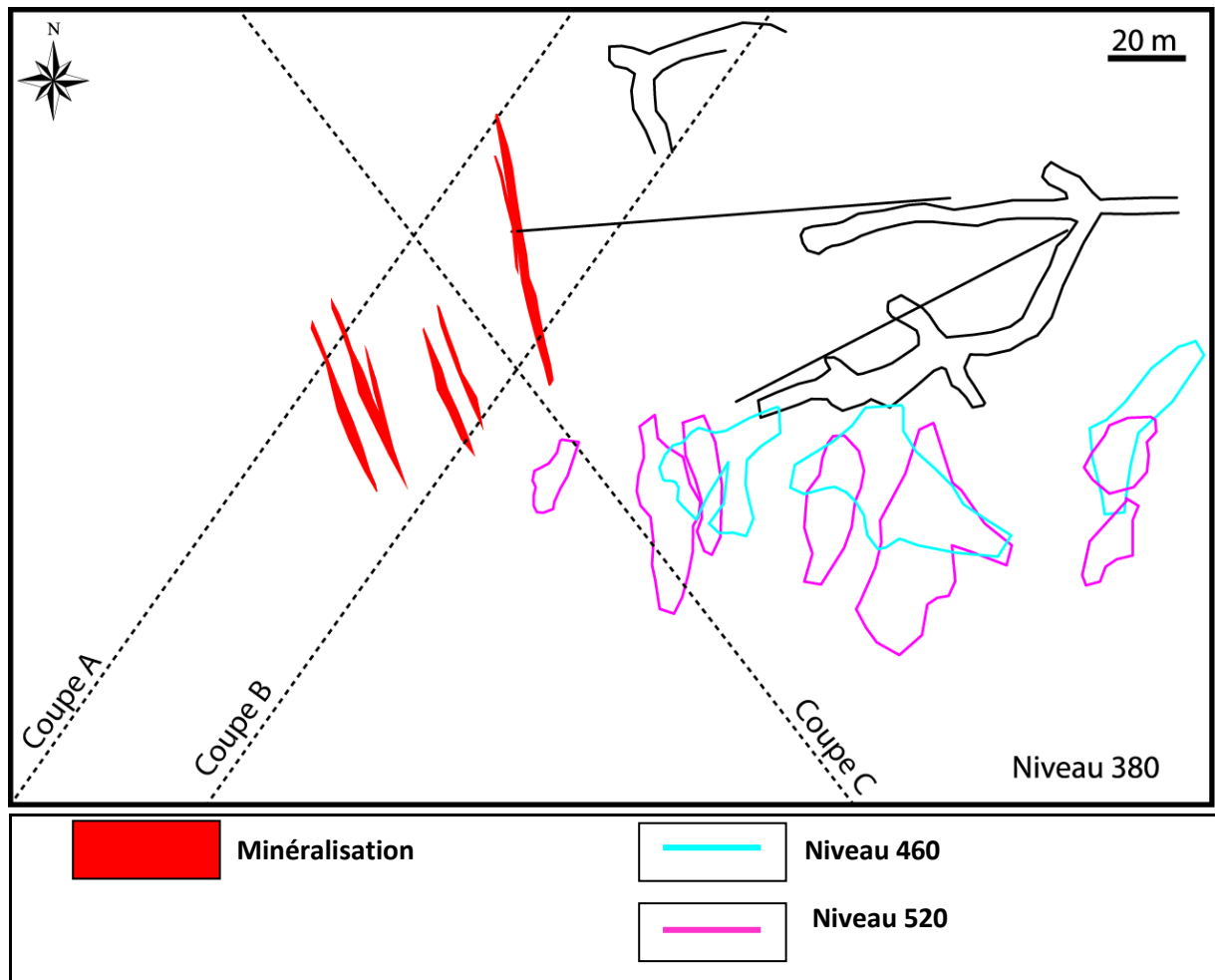
**Figure 6 : Représentation en plan de la minéralisation recoupée au niveau 400 m du compartiment sud-est du corps principal.**

### **III.1.3- Niveau 380 (Fig. 7)**

Bien qu'à 380 m on retrouve la même forme générale de la minéralisation, l'évolution verticale vers ce niveau est caractérisée par trois faits marquants :

- Une réduction du nombre de lentilles minéralisées ;
- Un changement de la direction d'allongement de ces lentilles qui devient NNW-SSE au lieu de NW-SE dans les niveaux supérieurs.
- La position de ces lentilles ne reflète plus le pendage vers le Nord-Ouest défini dans les niveaux supérieurs.

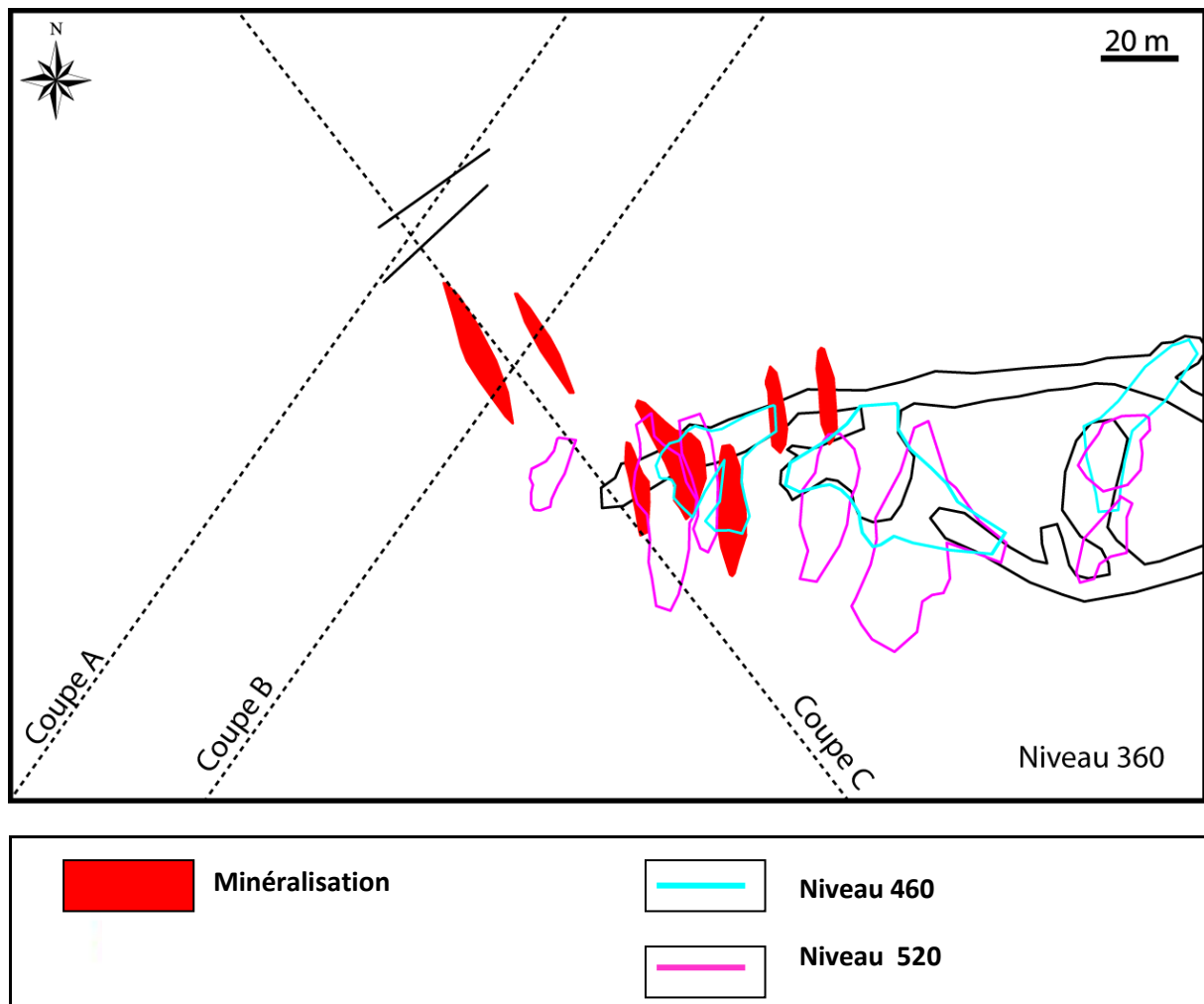
En ce qui concerne les teneurs, on note une prédominance du Zinc.



**Figure 7 : Représentation en plan de la minéralisation recoupée au niveau 380 m du compartiment sud-est du corps principal.**

### **III.1.4- Niveau 360 (Fig. 8)**

Le niveau 360 est principalement marqué par un changement de forme des corps minéralisés interceptés qui deviennent plus ovales mais toujours allongés en direction NNW-SSE. De point de vue localisation dans l'espace, ils sont nettement plus décalés vers le Sud-Ouest par rapport aux niveaux sus-jacents, à tel point qu'ils se retrouvent sous les corps exploités à 460 et 520 m. Cette observation indique que l'évolution en profondeur au-delà de 380 mètres est marquée par une inversion de pendage qui devient vers le Sud-Ouest contrairement à ce qui a été constaté aux niveaux sus-jacents. Pour ce qui concerne les teneurs, les résultats des analyses correspondant à cette profondeur donnent des valeurs de l'ordre de 3.25% de Zinc et 1 à 1.75% de Plomb et de Cuivre.

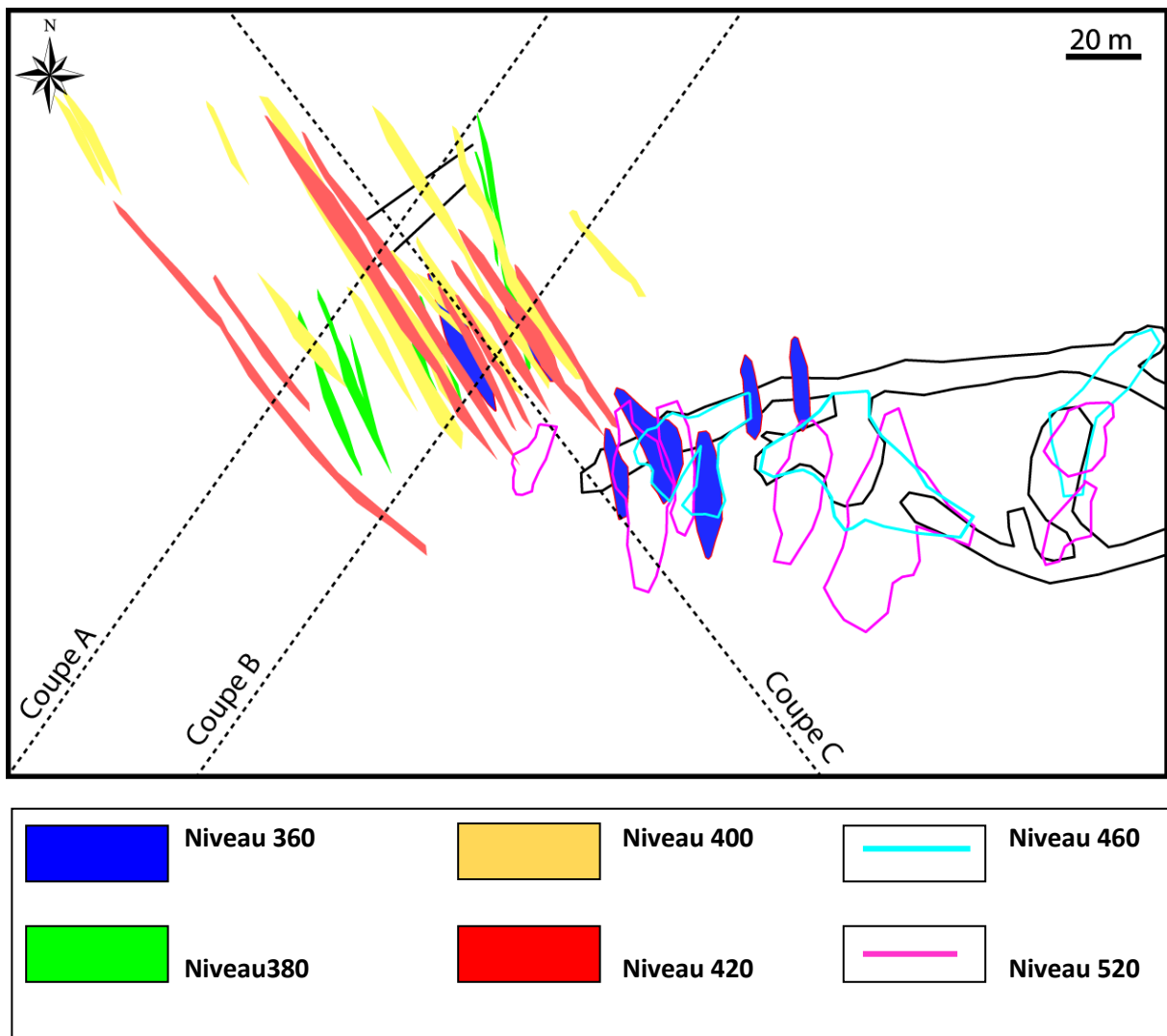


**Figure 8 : Représentation en plan de la minéralisation recoupée au niveau 360 m du compartiment sud-est du corps principal.**

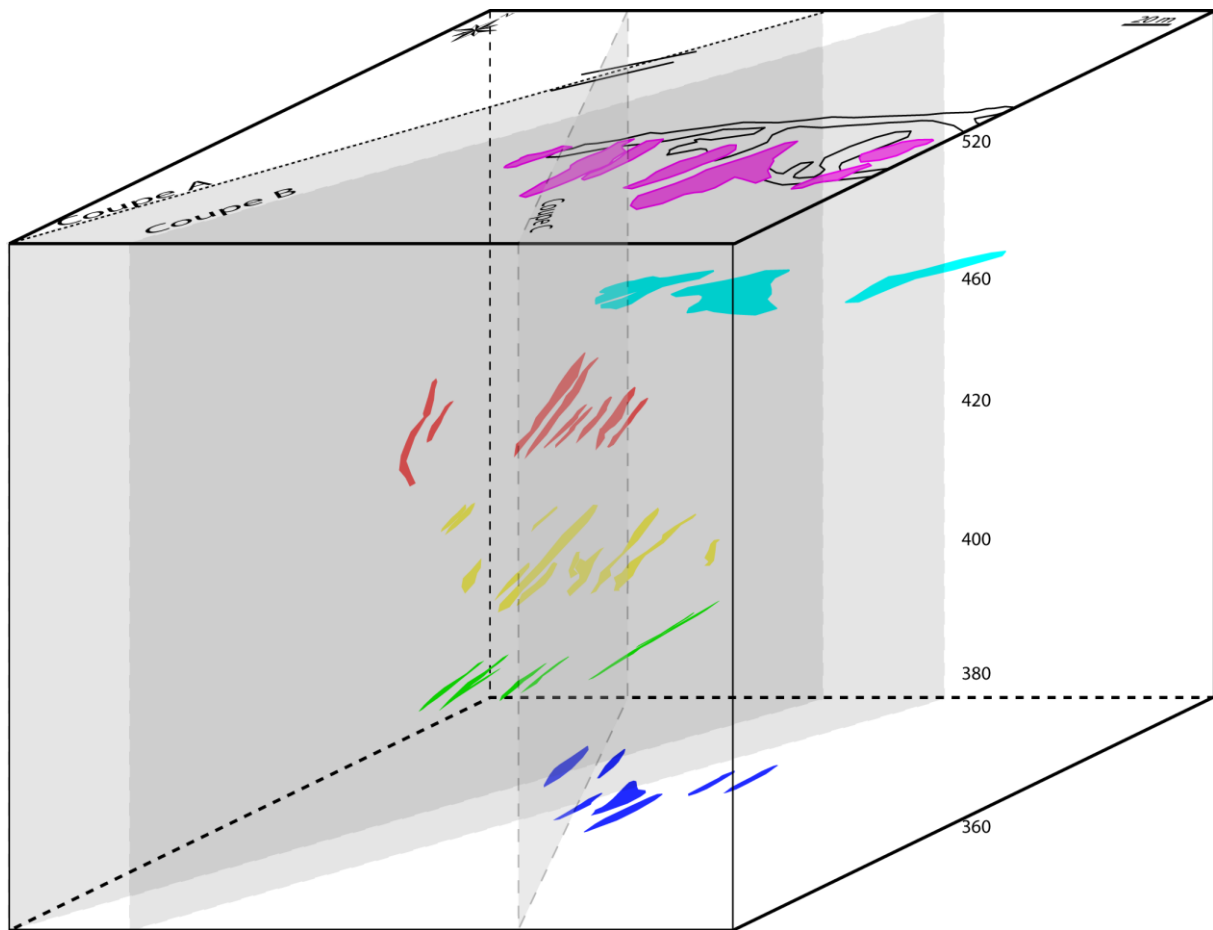
Afin de mieux visualiser l'évolution verticale de la morphologie de la minéralisation reconnue dans le compartiment Sud-Est du corps minéralisé principal du gisement de Hajar, nous avons regroupé les résultats obtenus pour les quatre niveaux étudiés sur une même figure sous forme d'une carte en plan (Fig. 9) et d'une représentation en perspective (Fig. 10). Le résultat de cette représentation, en particulier celle en trois dimension, illustrent clairement la morphologie générale de la minéralisation dans cette partie du gisement. En effet, l'examen de la figure 10 permet de deviner une surface enveloppe regroupant l'ensemble des lentilles minéralisées, qui aurait une morphologie 3D évoluant en profondeur de façon sinueuse. Le corps minéralisé délimité par cette surface aurait au début un pendage sub-vertical entre les niveaux 520 et 460 m. Il est incliné vers le Nord-Ouest entre 460 et 420 m, avant de devenir



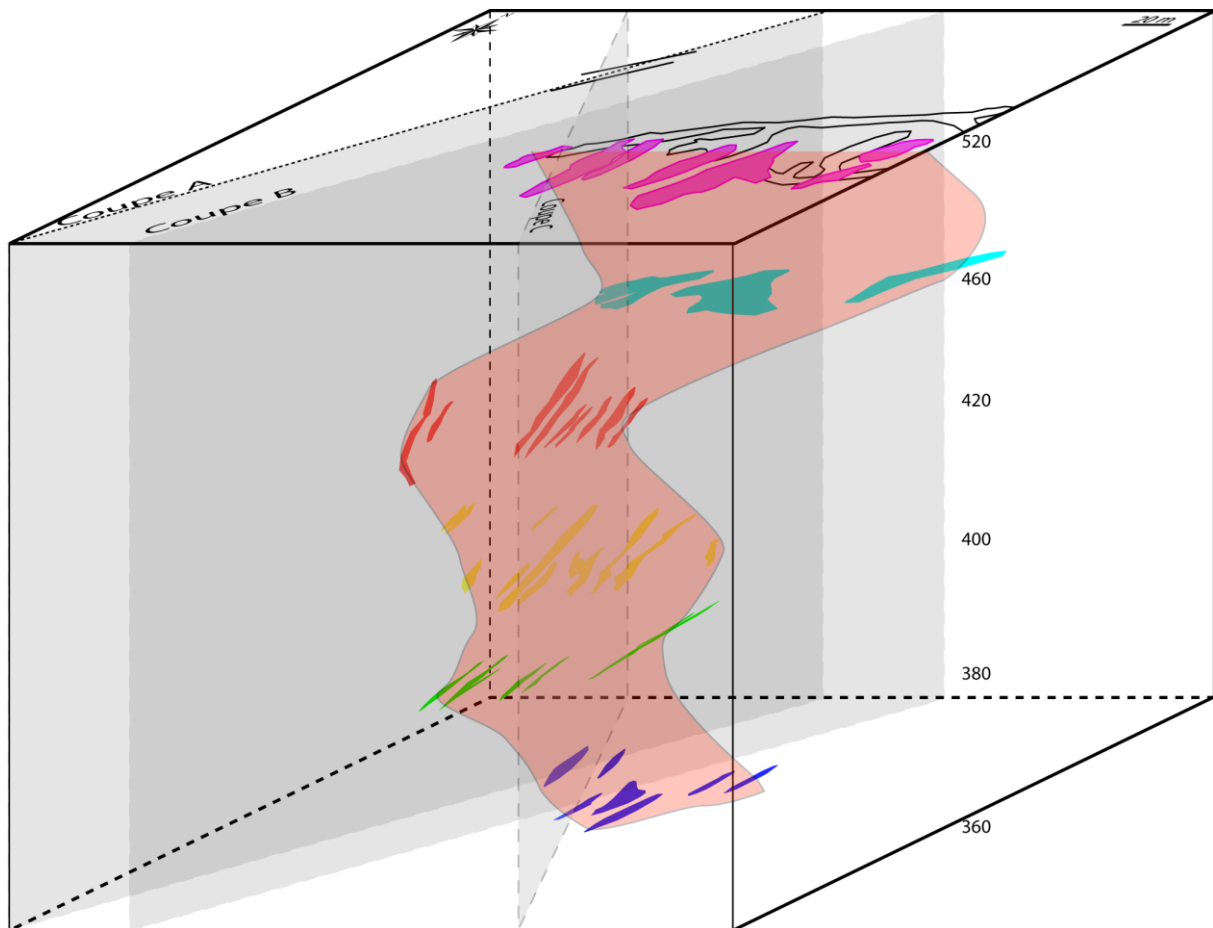
de nouveau sub-verticale entre 420 et 380 m puis de s'incliner vers le Sud-Est en profondeur entre 380 et 360 m. Cette morphologie particulière du corps minéralisé résultant reflète probablement un effet de plissement sans doute combinés à des jeux de failles qui engendreraient une compartimentation de la minéralisation avec des décalages. Le contrôle tectonique de la minéralisation de la partie sud-est du corps principal est incontestablement mis en évidence par la forme très étirées des lentilles minéralisées et leur orientation préférentielle en direction NW-SE.



**Figure 9 : Représentation des minéralisations recoupées aux quatre niveaux 420 m, 400 m, 380 m et 360 m du compartiment sud-est du corps principal.**



**Figure 10 : Représentation en perspective des minéralisations recoupées aux quatre niveaux 420 m, 400 m, 380 m et 360 m du compartiment sud-est du corps principal.**



**Figure 11 : Représentation en perspective des minéralisations recoupées aux quatre niveaux 420 m, 400 m, 380 m et 360 m du compartiment sud-est du corps principal avec tracé d'une courbe enveloppe englobant toutes les lentilles minéralisées.**

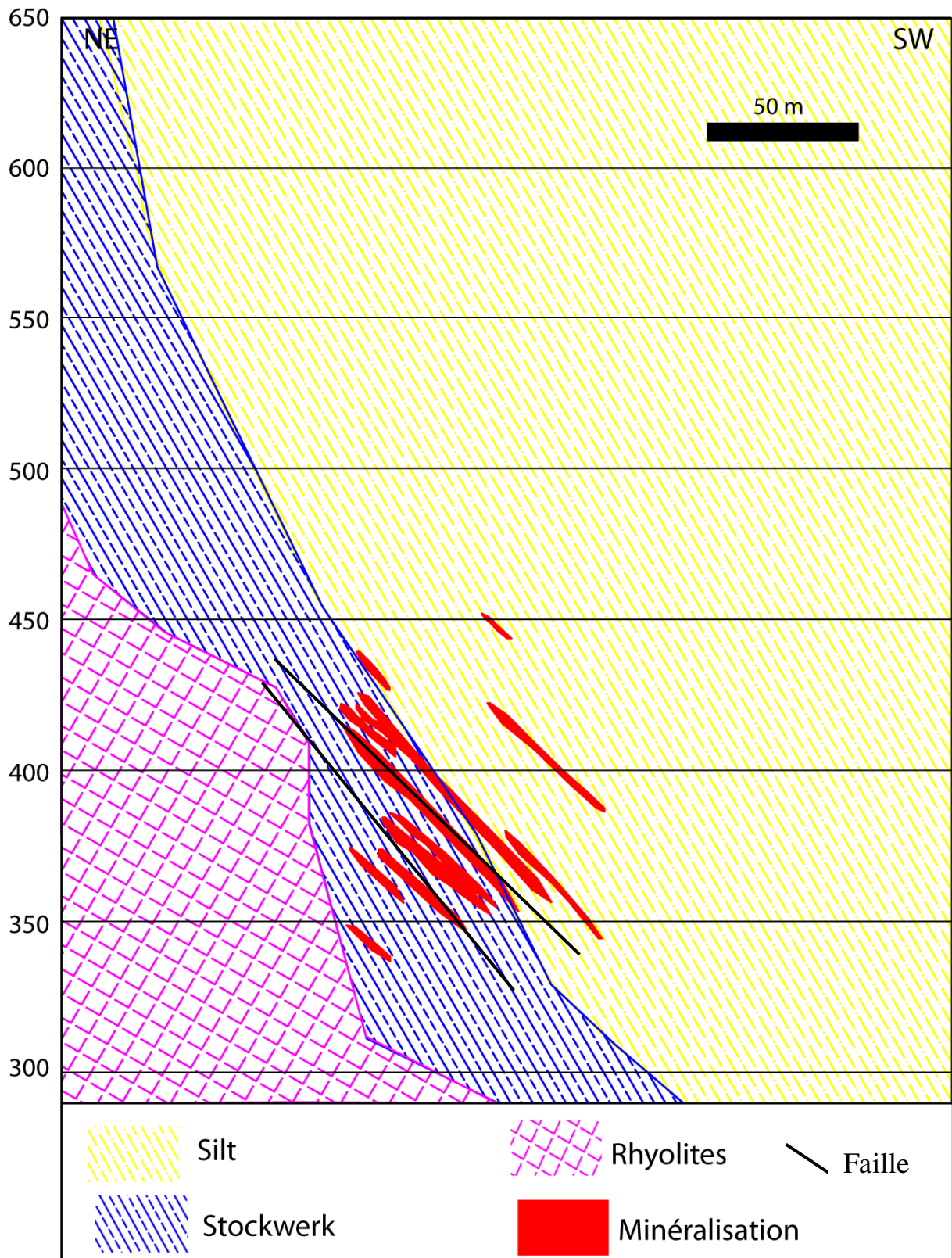
### ***III.2- Analyse des coupes verticales***

En plus des plans horizontaux, l'étude des logs de forages réalisés dans la partie sud-est du corps principal a permis également d'établir trois coupes verticales notées A, B et C dont la localisation est indiquées sur les différentes cartes en plan décrites précédemment. Lors de la réalisation de ces coupes, nous avons également analysé la relation entre la minéralisation et les faciès qui l'encaissent.

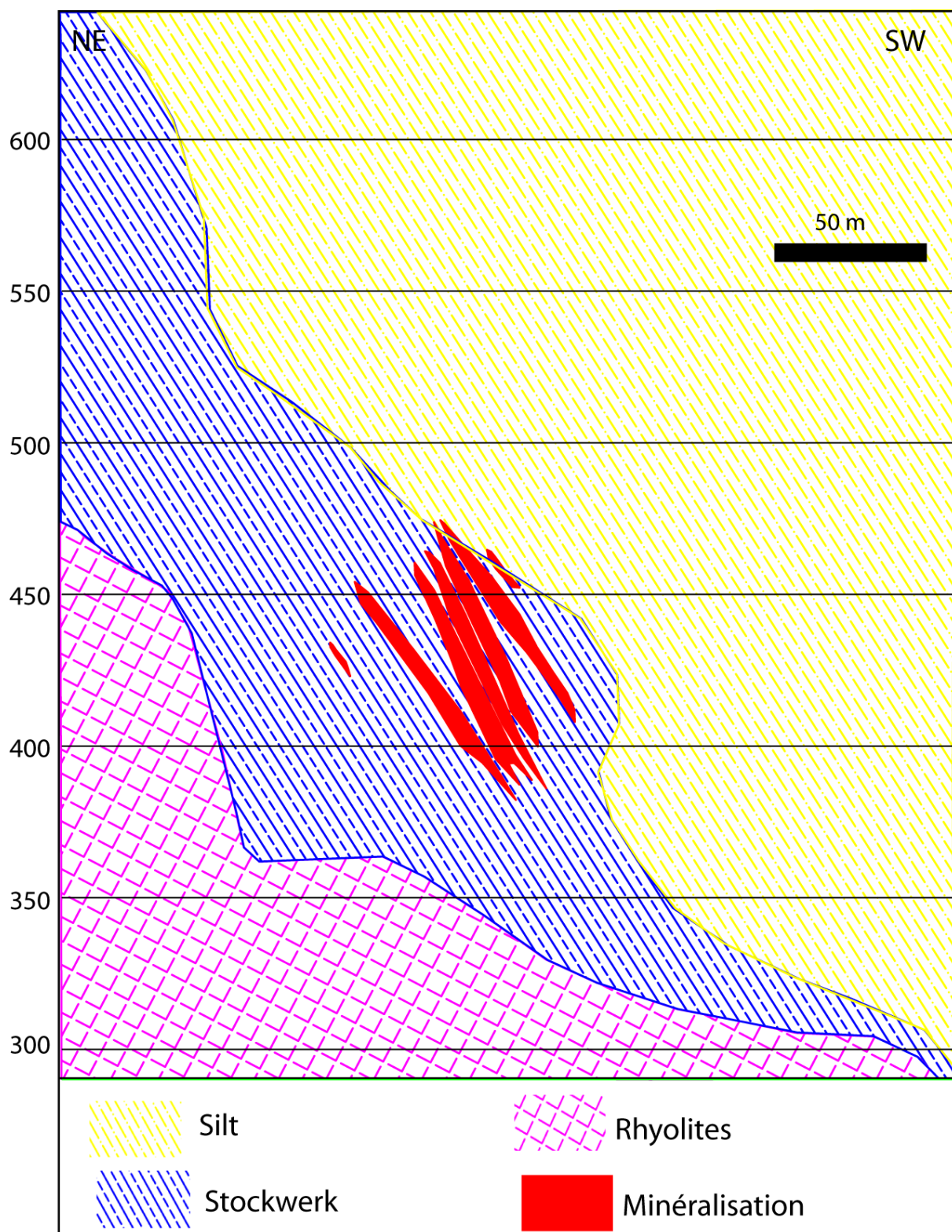
Les coupes A et B sont orientées en direction NE-SW, elles sont parallèles entre elles et distantes d'une cinquantaine de mètres. Ces deux sections recoupent perpendiculairement le réseau de structures minéralisées mis en évidence au niveau des quatre plans étudiés ci-dessus (Fig. 9). Les deux coupes font part de l'existence dans cette portion du gisement de Hajar de trois unités géologiques : les rhyolites, les stockwerk et les silts. L'agencement de ces trois

entités donne l'impression d'un certain empilement (pour ne pas dire stratification) commençant à la base par les rhyolites suivie d'une zone à stockwerk d'épaisseur variable. Sur la coupe B, cette zone est très étroite au point de disparaître vers le niveau 300 m, elle devient cependant plus large vers 400 m. Cependant, sur la coupe A, c'est-à-dire, seulement 50 m plus loin, la zone à stockwerk présente une épaisseur relativement uniforme d'une cinquantaine de mètres. La troisième unité qui semble surmonter les deux autres est représentée par les silts. La minéralisation sulfurée se situe principalement au niveau de cette zone à stockwerk. Le schéma général qui ressort de cette analyse des coupes A et B c'est que l'occurrence de la zone à stockwerk et de la minéralisation semble est intimement liée au contact rhyolites-silt, lequel constitue une métalotecte susceptibles d'être utilisé en tant que guide pour l'exploration. Sur les deux coupes A et B la minéralisation se présente sous forme de lentilles parallèles à l'image des représentations en plan correspondant aux quatre niveaux étudiés. Les lentilles minéralisées tout comme la série volcano-sédimentaire encaissante présentent un fort pendage apparent vers le Sud-Ouest. Les structures minéralisées se montrent plus regroupées sur la section B.

La coupe C d'orientation NNW-SSE donne une vision de la structure de cette zone sous un autre angle. En effet, sur cette coupe, la série volcano-sédimentaire porteuse de la minéralisation présente un pendage apparent vers le SSE. La minéralisation se situe à cheval entre la zone à stockwerk et les silts. Elle se présente sous forme de lentilles discontinues.

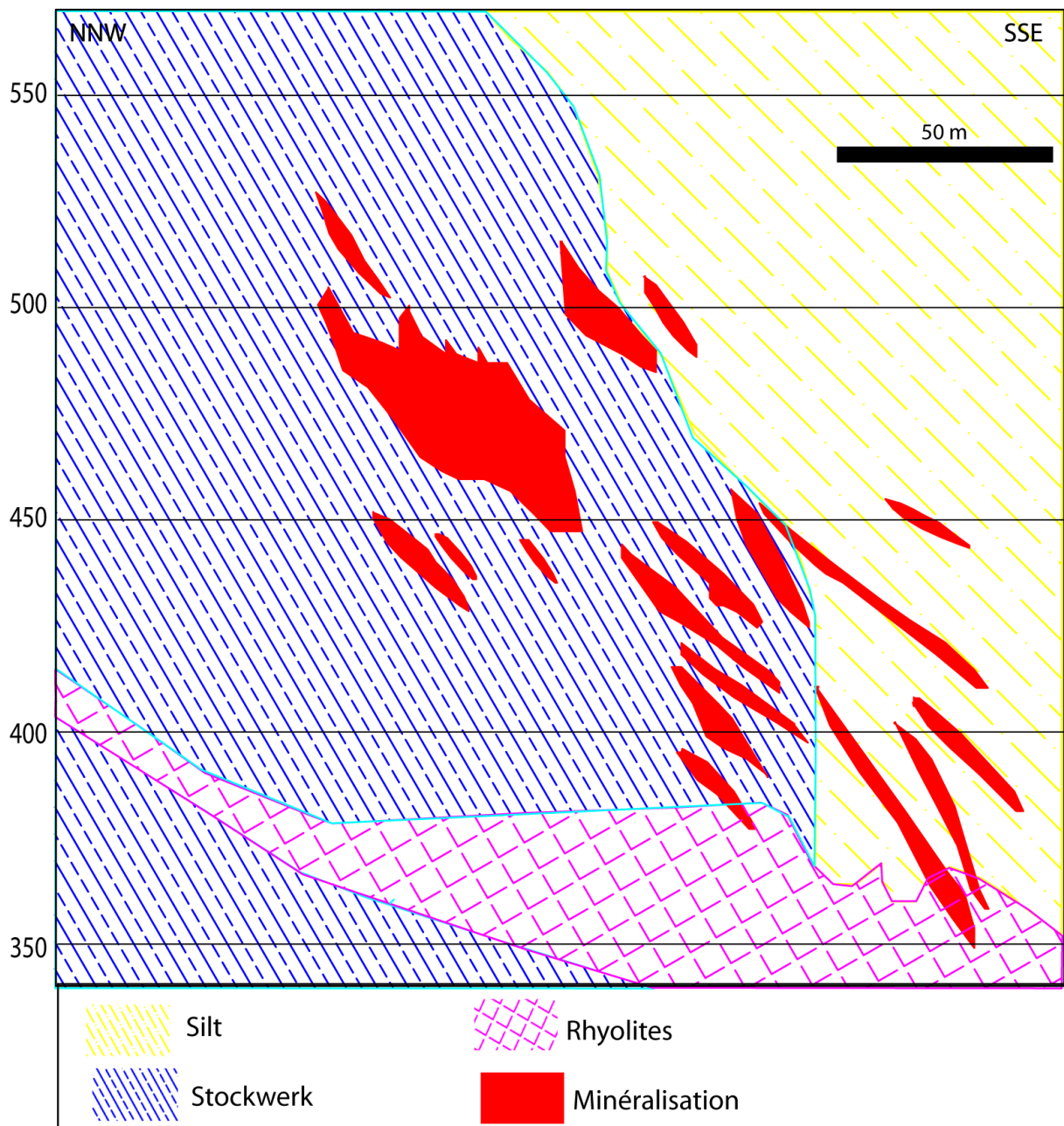


**Figure 12 : Coupe géologique (A) de direction NE-SW à travers le compartiment sud-est du corps principal (Voir localisation sur les figures 5 à 10).**



**Figure 13 : Coupe géologique (B) de direction NE-SW à travers le compartiment sud-est du corps principal (Voir localisation sur les figures 5 à 10).**





**Figure 14 : Coupe géologique (C) de direction NNW-SSE à travers le compartiment sud-est du corps principal (Voir localisation sur les figures 5 à 10).**

### ***III.3- Modélisation géologique du compartiment Sud-Est du corps principal***

La modélisation géologique est définie comme étant l'ensemble des méthodes mathématiques qui permettent de modéliser de façon unifiée la géométrie et les propriétés physiques des objets géologiques. Pour établir un modèle conceptuel de données géologiques, la connaissance des différentes procédures et instructions sur laquelle se base le suivi géologique est nécessaire. Le logiciel *VULCAN* est un outil de modélisation et de planification minière qui suit une procédure avancée dans la réalisation des modèles géologiques, et propose une option « *Batch* » pour la superposition des couches afin d'aboutir à une vision en trois dimensions du corps modélisé. Le modèle ainsi établi traite les données de la description lithologique des sondages.

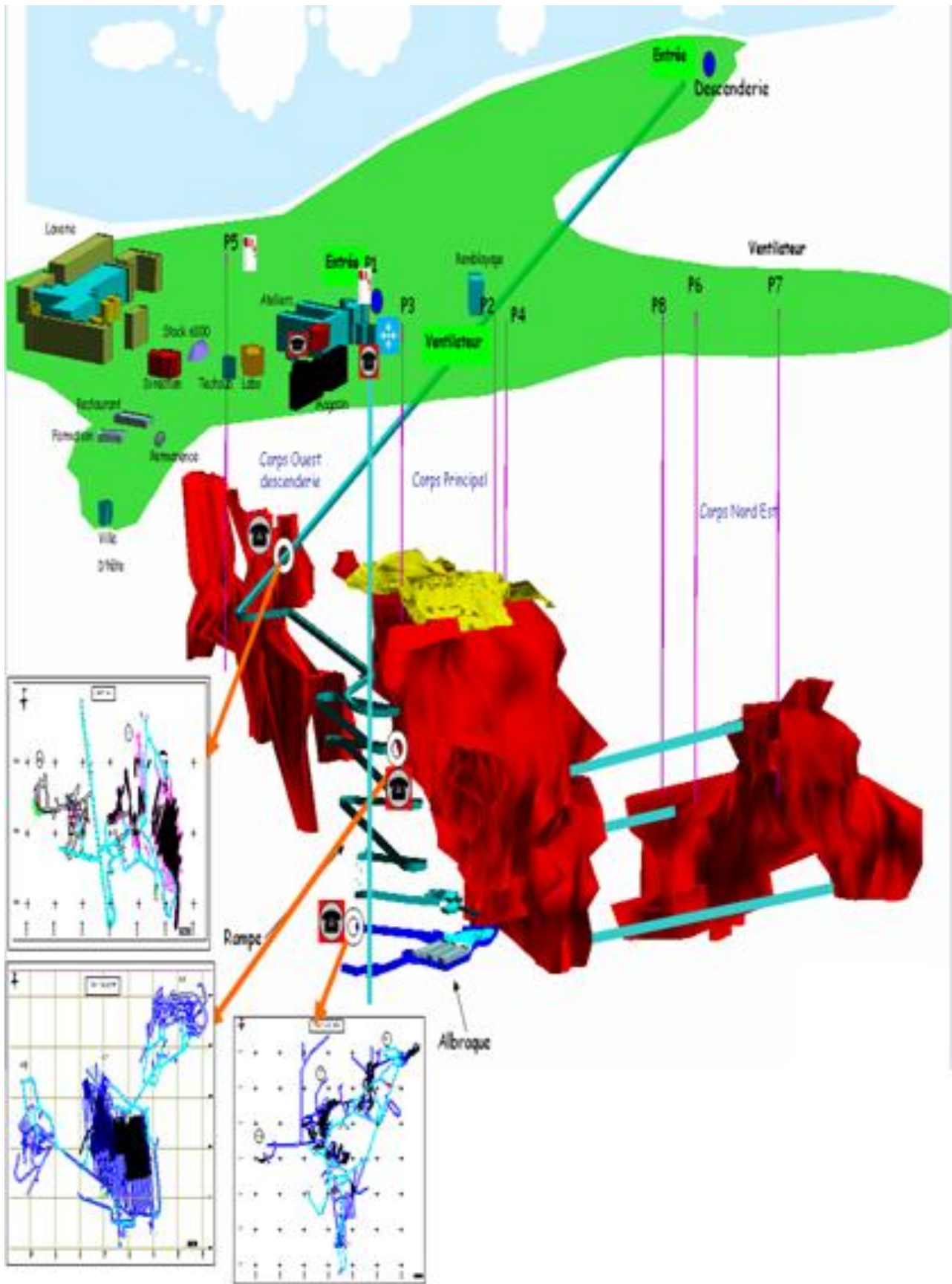
La modélisation d'objets géologiques en 3D permet d'avoir une meilleure compréhension de l'environnement géologique en question. Cependant, la construction de modèle géologique 3D se heurte à certains problèmes découlant de la complexité des données géologiques à savoir :

- Le caractère hétérogène des données qui sont souvent regroupées en secteur, ce qui cause des problèmes de généralisation et de corrélation.
- Elles sont de sources différentes (lithologie ou type de roche, analyses chimiques, teneurs, degré de fracturation, etc.)
- Elles résultent d'observations directes (données géoscientifiques recueillies par le géologue sur une carotte de sondage et les levés géologiques).

Par conséquent un modèle qui possède un grand nombre d'objets géologiques différents devient rapidement très complexe et lourd à gérer. Par exemple, pour un modèle possédant deux objets, il est facile de déterminer les relations spatiales entre les objets simplement à l'aide d'une analyse visuelle. Par contre, si le modèle possède plusieurs objets différents, la tâche sera beaucoup plus difficile et laborieuse à accomplir.

La Compagnie Minière de Guemassa dispose de licences d'utilisation du logiciel *VULCAN* et l'utilise en routine pour la modélisation des différents corps minéralisé du gisement de Hajar et pour le suivi des travaux d'exploitation de ces corps (Fig. 15).

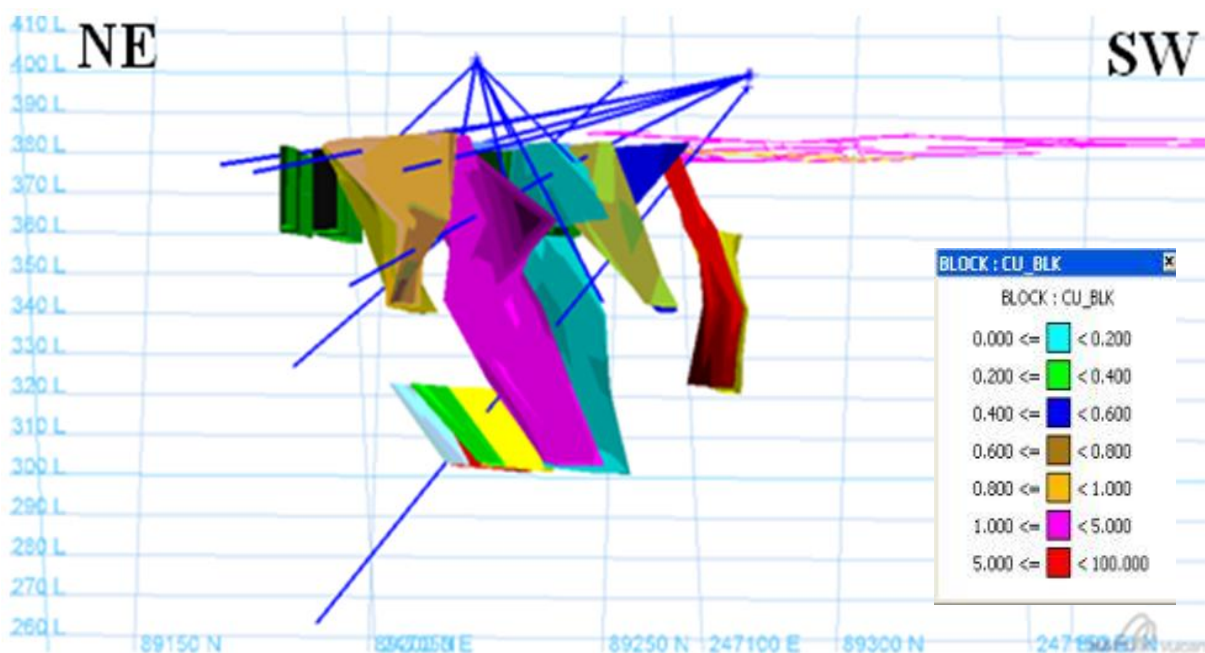




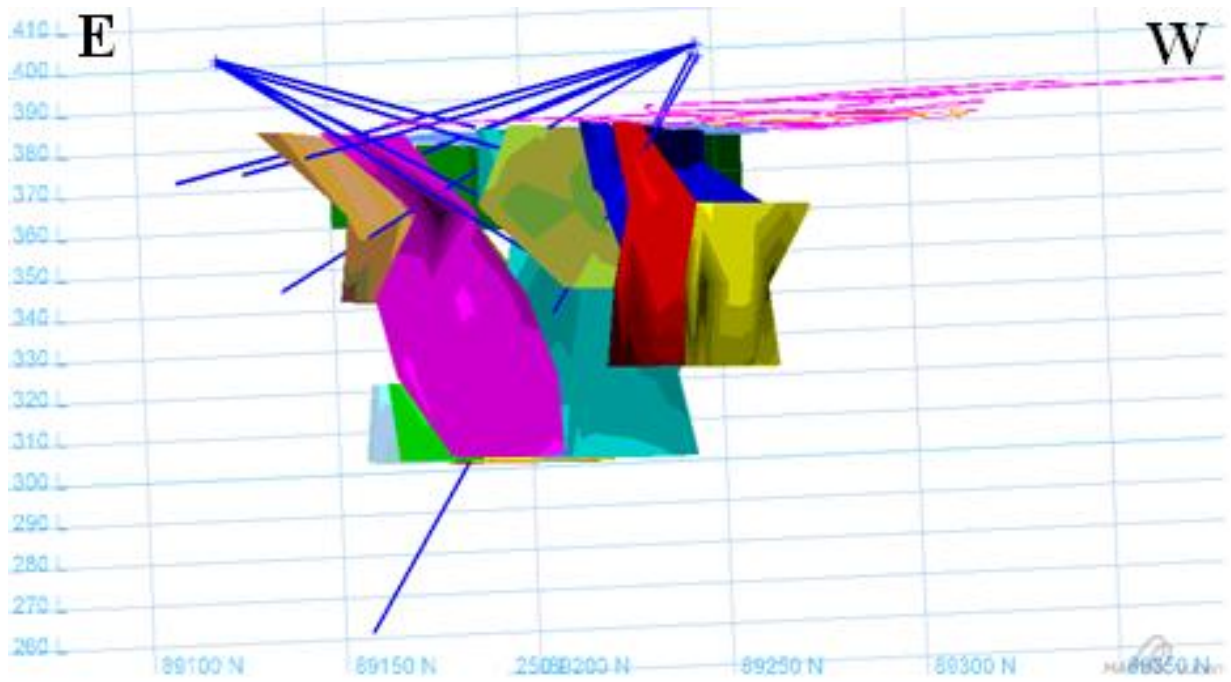
**Figure 15 : Représentation 3D du gisement de Hajar avec le logiciel Vulcan**

### III.4- Morphologie globale du corps minéralisé

Après avoir constitué la base de données relative aux différents sondages réalisés au niveau du compartiment Sud-Est du corps principal du gisement de Hajar, nous l'avons introduite au logiciel VULCAN afin de calculer un modèle géologique en trois dimensions de la minéralisation et de son encaissant. Les résultats de ce calcul sont présentés sur les figures 16 et 17 qui montrent deux vues différentes du modèle produit. Sur la figure 16, le modèle géologique 3D est observé à partir du Nord-Ouest. Il montre une vue de profil de la minéralisation représentée en rouge qui illustre clairement son évolution verticale et son enracinement en profondeur. Cette minéralisation s'apparente à un corps lenticulaire de faible épaisseur dont la partie supérieure plonge vers le Nord-Ouest et le segment inférieur est incliné en sens inverse c.-à-d. vers le Sud-Est. La figure 17 présente le même modèle vu du Nord. Avec cet angle d'observation, le corps minéralisé modélisé est visualisé en vue de face c.-à-d. dans le sens de sa largeur et son extension verticale.



**Figure 16 : Représentation de la morphologie globale des corps minéralisés au niveau tranche 400\_340 (vue du Nord-Ouest)**



**Figure 17: Représentation de la morphologie générale des corps minéralisés dans la tranche 400-340 (vue du Nord)**

#### IV- CONCLUSIONS

La minéralisation sulfurée du gisement de Hajar présente une morphologie en amas auquel sont associées des lentilles annexes de différentes tailles telles que celles mises en évidence, dans le cadre de la présente étude, au niveau du compartiment Sud-Est du corps principal.

En effet, les sondages réalisés par la Compagnie Minière de Guemassa dans cette partie du gisement font état de plusieurs impacts minéralisés. L'analyse des données fournies par ces sondages nous a permis d'établir des cartes en plan, des coupes verticales et des modèles 3D illustrant la morphologie de la minéralisation et son rapport avec la série volcano-sédimentaire qui l'encaisse.

La minéralisation apparaît sous forme de lentilles parallèles très étirés selon la direction NW-SE à NNW-SSE, ce qui témoigne de l'activité tectonique qu'elle a subie. La représentation en trois dimensions montre que si l'on considère cette minéralisation dans sa globalité, celle-ci s'apparente à un corps redressé de forme générale lenticulaire dont l'évolution verticale est principalement marquée par un changement de pendage.

La présente étude montre également que le contact lithologique rhyolite-silt constituerait un métallotecte auquel est intimement l'occurrence de la minéralisation et la présence des stockwerk. Ces derniers sont des indicateurs de l'interaction du fluide minéralisateur avec l'encaissant volcano-sédimentaire.

Signalons enfin que la modélisation en trois dimensions apporte un appui considérable à la géologie d'exploration car. Elle représente actuellement un outil de reconnaissance incontournable qui offre une visualisation précise en perspective des corps modélisés avec des possibilités d'observations sous n'importe quel angle.

## Références bibliographiques

- Boummane, M.H. (1987).** *Les déformations hercyniennes superposées dans le Sud de la Méséta marocaine l'exemple des séries paléozoïques du Horst de Guemassa (Haouz de Marrakech).* Thèse de 3ème cycle, Université de Marrakech, 212 pp.
- Gros, Y. Milesi, J.P. & Vinchon, C. (1986)** - *Evolution dynamique de l'ensemble des Guemassa. Recherche des structures précoces pouvant guider les minéralisations sulfurées.*
- Haimeur, J. (1988)** - Contribution à l'étude de l'environnement volcano-sédimentaire et du minéral de douar Lahjar (Guemassa, Maroc), lithologie, paléo-volcanisme, géochimie, métallogénie. Thèse 3ème cycle, ENSG, Nancy, 151 p.
- Hibti M. (1993)** - L'amas sulfuré de Hajjar : contexte géologique de mise en place et déformations supposées (Haouz de Marrakech, Meseta Sud-Occidentale, Maroc). Thèse de 3ème cycle. Université Cadi Ayyad Marrakech, 197 p.
- Hibti M. (2001)** - Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud-Occidentale, Maroc) : Témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mesetien. Thèse de Doctorat Es-Sciences. Université de Marrakech.
- Maier, O.W.; Mellal, A. & El Hakkour, A. (1986).** Le gisement polymétallique hydrothermal sédimentaire de Douar Lahjar, Rapport BRPM, inédit.
- Soulaimani A., 1991 ;** L'évolution structurale des affleurements paléozoïques du Haouz de Marrakech (Guemassa-Nfi's, Maroc). Thèse troisième cycle université de Marrakech.
- Zouhry, S (1998)-** Etude métallogénique d'un amas sulfuré viséen à Zn Pb Cu : cas de Hajjar, Guemassa, Maroc. Thèse de l'école polytechnique de Montréal.