

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

2/69

Département

336

12A

THESE DE FIN D'ETUDES

proposée et dirigée par M. LASFARGUES

Département: *Genie chimique*

LES GISEMENTS STRATIFORMES DE PLOMB ET DE ZINC :

Possibilités de détection par l'action combinée
de la géologie, de la géophysique et de la géochimie

Par BENTAKOUK Rachid

"A la mémoire de mon père"

"Possibilités de détection des gisements stratiformes
de plomb et de zinc, par l'action combinée de la géologie,
de la géophysique et de la géochimie"

par Rachid BENTAKOUK,

Sous la direction de M. Pierre LASFARGUES, Ingénieur
Civil des Mines, Professeur de Géophysique à l'Ecole Nationa-
le Polytechnique et à la Faculté des Sciences d'Alger, qui
a proposé le sujet et avec la collaboration de M. ESTERLLE,
Géologue, chargé de cours à l'Ecole Nationale Polytechnique
d'Alger.

Juin 1969

INTRODUCTION

====

L'épuisement progressif des gisements métalliques à hautes teneurs, oblige l'industrie du traitement des minerais à s'orienter vers l'étude des moyens d'enrichissement, de minerais de plus en plus pauvres.

Cette nouvelle voie de recherches suppose évidemment l'existence d'importants gisements à faible teneur et par la même, soulève un problème d'une importance majeure : la détection de ces gisements.

a) - En effet, et à cause de leur faible teneur, ceux-ci sont beaucoup moins accessibles que les autres par les techniques purement géologiques.

b) - La nécessité d'un tonnage métal minimum, d'une part,

- La faible teneur des gisements, d'autre part, impliquent pour ceux-ci une extension importante des zones minéralisées.

On considère généralement comme gisements exploitables :

- les gisements de plomb à plus de 100 000 tonnes de plomb métal

- les gisements de zinc à plus de 400 000 tonnes de zinc métal

c) - Quant aux teneurs :

Elles varient suivant les conditions économi-

ques, techniques et sociales des pays. Le plomb est souvent exploité jusqu'à 1 %.

d) - On admet la relation suivante, entre teneurs et tonnages :

$$\text{teneur} = a + b \log \text{tonnage}$$

où a et b sont des constantes dépendant des facteurs précités.

e) - Les minéralisations à faibles teneurs sont souvent constituées par des sulfures disséminés. Nous nous proposons donc d'établir dans ce qui suit, les possibilités de détection des sulfures de plomb et de zinc disséminés dans les gisements stratiformes.

PREMIERE PARTIE :

Etude des gisements stratiformes de Plomb et de Zinc

Mise en évidence des contrôles de ces minéralisations

CHAPITRE I

====

LES GISEMENTS DE PLOMB ET DE ZINC DANS LE MONDE

IMPORTANCE DES GISEMENTS STRATIFORMES

3°/ - Des gisements dans des shales plus ou moins bitumineux, plus ou moins carbonatés et également cuprifères :

La paragenèse est plus complexe : Galène, Blende, Chalcopirite
Chalcocite, bornite, tetraédrite
safflorite, smaltine, molybdé-
nite, nickeline, pechblende,
bi natif, traces de Re, Se, Va.

Quartz et barytine comme gangue.

Ag et Au sont dans tous les minéraux de Cu et Pb.

Exemple : Gisements des KUPFERSCHIFER en Allemagne.

4°/ - Des gisements filoniens dans la courverture sédimentaire -
Filons et dépôts stratiformes peuvent être associés.

Exemple : Gisements de VILLEMAGNE (Gard, France).

Au point de vue économique, les gisements du type 1 et 2 sont les plus importants.

5°/ - Dans ces types de gisements : RAGUIN distingue :

- Les amas de substitution en relation avec des filons
- Les amas de substitution sans relation avec des filons.

BATEMAN les classe dans les hydrothermaux qu'il subdivise d'après les formes des gites.

Enfin, disons ~~ce~~ que ces gisements sont très souvent appelés "gisements stratiformes"

6°/ - Dans ce qui suit, on entend par "gisements stratiformes" de plomb et de zing :

- Des concentrations de minerai dans une ou plusieurs couches privilégiées (carbonatées et essentiellement à composante dolomitique),
- Ces concentrations sont en forme d'amas, de runs, de couches ou (et) de lentilles très allongées.
- La minéralisation est disséminée : les minerais sont en imprégnation ou en substitution dans les roches.
- Les gisements s'étendent souvent sur des superficies importantes.

B) - GISEMENTS ASSOCIES A DES PLUTONS GRANITIQUES SOUVENT MONZONITIQUES

On distingue dans ce groupe :

1°/ - Des gisements filoniens intra-plutoniques.

La paragenèse y est généralement : Galène, blende, chalcopryrite
chalcocite, bornite, énergite
tétraèdrite, pyrite.

La gangue est à : Quartz, dialogite, rhodonite.

Exemple : Gisements de BUTTE (Montana, U.S.A.).

2°/ - Des gisements péri-plutoniques qu'on peut classer en deux groupes :

a) Les gisements surtout filoniens dans des fractures, parfois dans des cheminées :

Les roches encaissantes sont très variables, mais fréquemment carbonatées.

La paragenèse est généralement : Galène, blende, chalcopryrite,
chalcocite, bornite, tétraé-
drite, pyrite, pyrhotite,
mispickel, magnétite, boulan-
gerite, scheelite.

Gangue : Quartz, siderose, carbonates variés.

Exemples : Gisements de COEUR D'ALENE (Idaho, U.S.A.)

Gisements de PEYREBRUNE (Tarn)

Gisements de CONCEPTION DEL ORO (Mexique).

On passe graduellement aux :

b) Gisements où la forme dominante est celle d'amas dans des roches carbonatées, situées dans le zone pyrométasomatique ou en dehors.

On rencontre fréquemment du cuivre dans la zone pyrométasomatique.

Paragenèse : Galène, blende, cinabre, réalgar, orpiment, pyrite
(avec Au), pyrhotite, oligiste.

Gangue : Quartz, calcite.

Exemples : Gisements de BINGHAM et TINTIC (Utah, U.S.A.)

Gisements de LAURIUM (Grèce)

C) - GISEMENTS ASSOCIES A DES ROCHES VOLCANIQUES OU SUBVOLCANIQUES :

1°/ - Gisements filoniens dans des laves ou des tufs, en général acides (rhyolites, trachytes, dacites, andésites), post-orogéniques :

Paragénèse : Galène (avec Ag), blende, stibine, chalcopryrite, tétraédrite (avec Ag), pyrite (cristalline et en gel), jamesonite, wurtzite.

Gangue : Barytine.

Exemples : Gisements de PULACAJO (Bolivie)

Gisements de BADWIN (Birmanie)

Gisements de MAZARON (Espagne).

2°/ - On passe graduellement à des gisements en amas dans des calcaires, au contact de cheminées volcaniques (dacites, andésites, trachy-andésites).

La texture est généralement bréchique.

Paragénèse : Galène, blende, (marmatite), chalcopryrite, pyrite, pyrhotite, mispickel, jamesonite.

Gangue : Quartz, dialogite, sidérose, calcite.

Exemples, Gisements de TREPICA (Yougoslavie)

3°/ - Gisements associés à des laves acides et à des tufs de la phase géosynclinale :

Exemples : District de SKELEFTE (Suède) : District cuprifère où existent des dépôts où le zinc et le plomb domine sur le cuivre.

4°/ - Gisements associés à des roches basiques, subvolcaniques ou volcaniques (basaltes) et en dehors d'elles :

Leur importance économique est faible.

Exemple : Gisements de MERETRICE (Nouvelle-Calédonie).

D) - GISEMENTS DANS DES TERRAINS METAMORPHIQUES SANS RELATIONS VISIBLES AVEC DES PLUTONS :

1°/ - Gisements dans des formations argileuses métamorphisées : gneiss, micaschiste (sans exclure un peu de constituants carbonatés).

Paragénèse : Galène, blende, Au dans les sulfures, arseniures, et antimoniures de Co-Ni, chalcopryrite, pyrhotite, molybdénite.

Gangue : Quartz, grenats (manganésifères), spinelles, calcite...

Exemple : Gisements de BROKEN HILL (Australie).

2°/ - Gisements dans des argilites, parfois carbonatées peu métamorphisées :

Paragénèse : Galène, blende, pyrite, marcacite, pyrhotite, mispickel, penitlandite.

Exemples : Gisements MONT ISA (Australie)
Gisements SULLIVAN (Colombie britannique)

3°/ - Gisements à oxydo-silicatés dans des calcaires cristallins :

Paragénèse : Franklinite, willemite, zincite.

Gangue : Grenat, calcite, dialogite, rhodonite...

Exemples : Gisements de FRANKLIN (New Jersey, U.S.A.)
STERLING HILL (New Jersey, U.S.A.).

4°/ - Gisements dans des formations volcaniques (et sédimentaires) métamorphisées :

Paragénèse : Galène, blende, pyrite, pyrhotite.

Gangue : Quartz, microcline, tourmaline, pyroxène, grenat, hornblende.....

Exemple : Gisement de AMMEBERG (Suède).

Les gisements de plomb-zinc ne semblent donc guère (actuellement exclus que des roches basiques et ultrabasiques grenues.

REPARTITION MONDIALE DU PLOMB ET DU ZINC

=====
=====

Les gisements de plomb et de zinc ne semblent pas obéir à une quelconque loi de répartition dans le monde : On les trouve un peu partout et à tous les âges.

F. BLONDEL a tenté d'en présenter une vue générale en 1934. Cette étude est encore valable de nos jours.

A) - Il considère :

1°/ - Les Mézoïdes :

a) Régions où affleurent des terrains jurassiques ou plus récents.

b) Régions où affleurent des terrains plus anciens mais ayant subi des mouvements jurassiques ou plus récents.

2°/ - Les Palaïèdes :

- a) Régions où affleurent des terrains primaires ou triasiques
- b) Régions où affleurent des terrains plus anciens ayant subi des mouvements d'âge primaire ou triasique.

3°/ - Les Archaïdes :

Régions en dehors des Palaïèdes et des Mezoïdes où n'affleurent que des terrains pré-cambriens ayant ou non subi des mouvements orogéniques anté-Cambriens.

B) - BLONDEL étudie dans les secteurs ainsi déterminés la répartition du plomb et du zinc. Les résultats auxquels il parvient sont les suivants :

- Les Archaïdes apparaissent pauvres en Pb et Zn.
- L'essentiel de la production mondiale de Pb-Zn vient des Palaïèdes qui fournissent 70 % de Zn et 54 % de Pb. Une forte proportion est contenue dans les couvertures paléozoïques des archaïdes.
- Les Mézoïdes sont beaucoup moins riches en Zn que les Palaïèdes et presque aussi riches en Pb.

On y remarque par ailleurs que les gisements y sont plus éparpillés et que la proportion du Zn diminue au fur et à mesure que l'on "monte" dans le temps, contrairement à celle du Pb.

Le schéma de FERNSMEN, complété par celui d'EMMONS (voir explications en annexe), permet d'expliquer cela et justifie en même temps la division mondiale proposée par BLONDEL (ce schéma est postérieur à 1934) : "Tout se passe comme si naissant au niveau des Palaïèdes la minéralisation en Pb-Zn allait en se dispersant au fur et à mesure que l'on monte, le Zn se localisant préférentiellement en profondeur.

C) - Cependant si en 1934 se sont les palaïèdes qui dominent l'essentiel de la production de Pb-Zn, l'analyse de récentes productions montre que ce sont les Mezoïdes (particulièrement le Secondaire) qui tendent à fournir les plus grandes productions : on y découvre de plus en plus de gisements, très souvent stratiformes.

IMPORTANCE DES GISEMENTS STRATIFORMES ET DE LEUR RECHERCHE

=====
=====

1°/ - 60 à 70 % des réserves en plomb-zinc (Cu) se trouvent réparties dans quelques très gros gisements.

2°/ - Compte tenu de la consommation, ces gisements sont en voie d'épuisement.

3°/ - La presque totalité des indices et affleurements minéralisés sont connus.

Tout semble donc donner de plus en plus d'importance dans l'économie minière mondiale aux gisements "cachés".

Parmi ces gisements "cachés", les "gîtes sulfurés de couverture" constitués essentiellement par les gisements stratiformes, occupent une place très importante.

D'autre part, du point de vue de la recherche, les gisements stratiformes sont très intéressants par rapport aux autres types de gisements "cachés".

En effet :

- Ils s'étendent sur de grandes superficies : Les progrès des techniques d'exploitation et d'enrichissement les font rechercher même si leurs teneurs ne sont pas élevées.

- Il semble que le mode de contrôle géologique (contrôle structural et tectonique) de ces gisements soit un peu analogue à celui des gisements de pétrole : Le pétrole se localise sur les sommets des zones hautes du socle alors que les gisements stratiformes de Pb-Zn ont tendance à être sur les flancs de protubérances du socle (comme nous le verrons plus loin). Cette analogie n'est pas sans intérêt quand on sait que bien des gisements de pétrole ont été découverts grâce à des recherches intelligentes, sans qu'on ne dispose d'affleurements.

Aussi, faut-il souligner l'intérêt de l'étude d'une méthodologie de prospection et des possibilités de détection physique de nouveaux gîtes stratiformes de Pb-Zn, par l'action combinée de la géologie, de la géophysique et de la géochimie.

Il est évident qu'on ne déduira objectivement cette méthodologie qu'à partir de l'étude des grands gisements du monde appartenant à ce type.

Cette méthodologie étant établie, on l'appliquera, avec les variantes adéquates, aux différentes régions à prospecter.

CHAPITRE II

==:::==:::==:::==:::==

DESCRIPTION DE QUELQUES GISEMENTS STRATIFORMES

MISE EN EVIDENCE DE CONTROLE DES MINERALISATIONS

QUELQUES EXEMPLES A TRAVERS LE MONDE

=====

Pour chaque gisement, on établira une fiche d'après les critères qui peuvent orienter la recherche.

- 1°/ - Aperçu géologique de la région
- 2°/ - Roche magasin
- 3°/ - Paragénèse
- 4°/ - Morphologie du gite

Ces facteurs influent directement sur l'intensité d'une anomalie géophysique.

- 5°/ - Contrôles de la minéralisation.

GISEMENT DE TRI-STATES (U.S.A.)

=====

- 1°/ - Aperçu géologique de la région :

(voir coupe schématique du plateau d'OZARK - figure 2)

- Le pays du plateau d'Ozark, à l'Ouest de Saint-Louis, est formé de terrains primaires peu inclinés. Ce plateau est en forme de dôme surbaissé.

- Ces terrains comprennent de puissantes séries calcaires dans l'Ordovicien et le Mississipien.

- Ces terrains sont transgressifs sur un socle pré-cambrien qui affleure au centre du plateau.

- Les minéralisations en zinc et en plomb se trouvent à la base de ces terrains de couverture du socle.

Le district de Tri-States est la principale région pour le zinc. Il s'étend au sud-ouest du Missouri, au sud-est du Kansas et au nord-est de l'Oklahoma.

- 2°/ - Roche encaissante :

La minéralisation est dans l'assise calcaire du "Boone"

PLATEAU D'OZARK

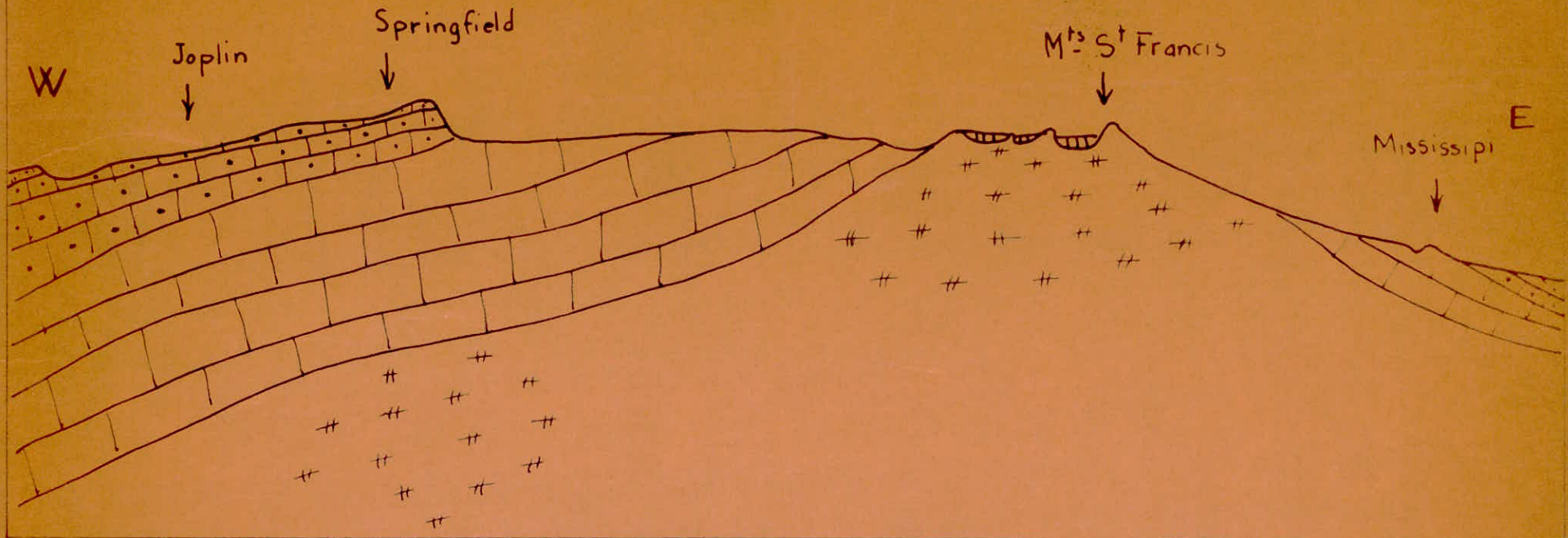
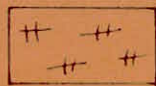


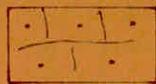
Fig. 2



Roche cristallines du pré-cambrien



Calcaires du cambrien et l'ordovicien



Sédiments du Silurien et du carbonifère

(assise du Mississipi).

Cette assise a une puissance d'environ 100 mètres.

Elle est divisée en plus de 16 "lits" (2 moments d'érosion ont pu supprimer certains lits).

L'ensemble est très légèrement **fracturé** et **plissé**. Cependant certains endroits sont intensément broyés (voir figures 2 et 3).

Le recouvrement est faible. Il varie de 100 à 200 mètres.

3°/ - Paragénèse :

Par ordre décroissant, on a :

Blende	}	minerai bien cristallisé.
Galène (avec traces d'argent)		

Pyrite

Chalcopyrite

Marcassite

Calcite

Peu de Barytine

Indices d'Enargite et de siégénite.

Il n'ya pas d'oxidés malgré la faible profondeur à laquelle se trouve la minéralisation.

Gangue :

Dolomie, calcaire, chert.

Une silicification donne lieu à des jaspéroïdes.

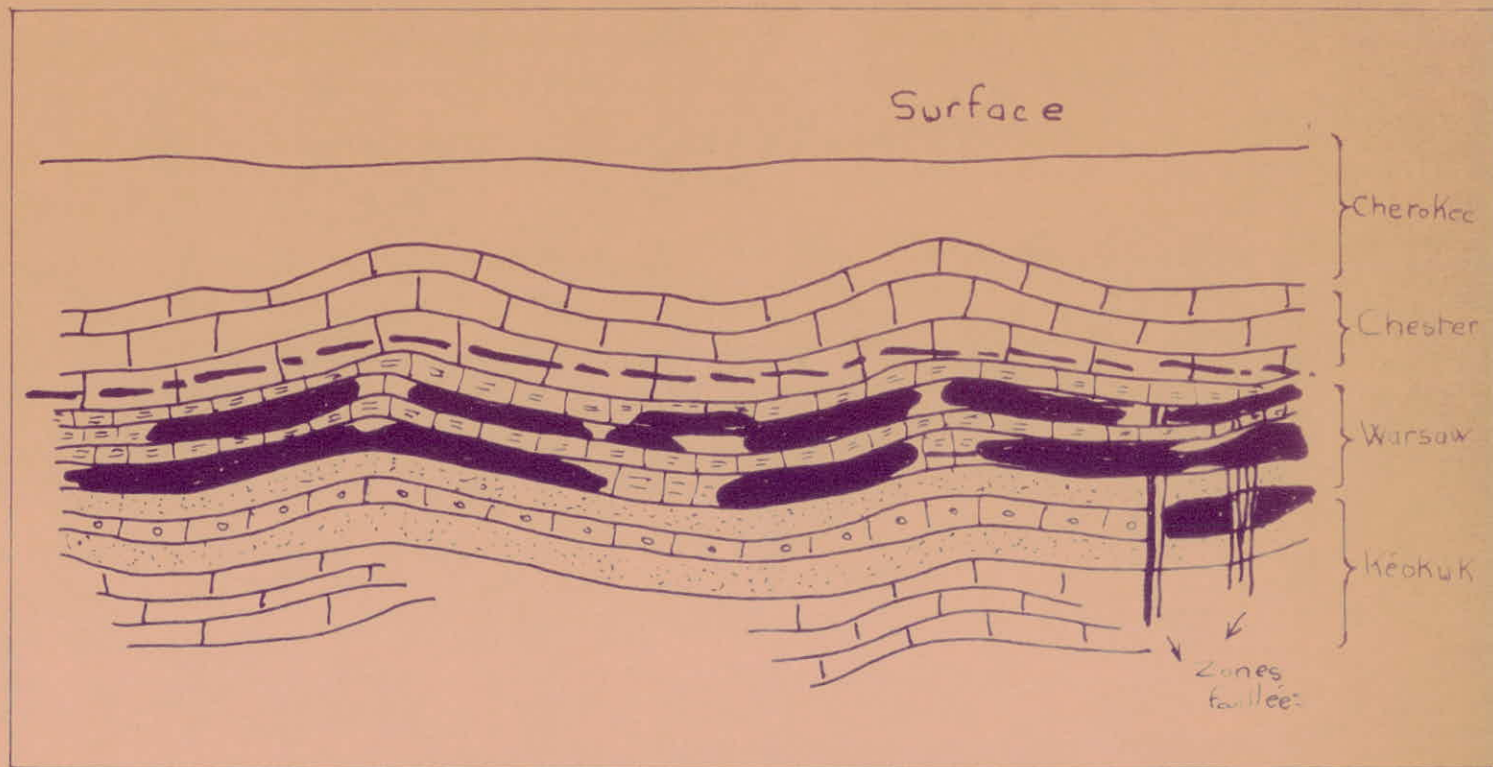
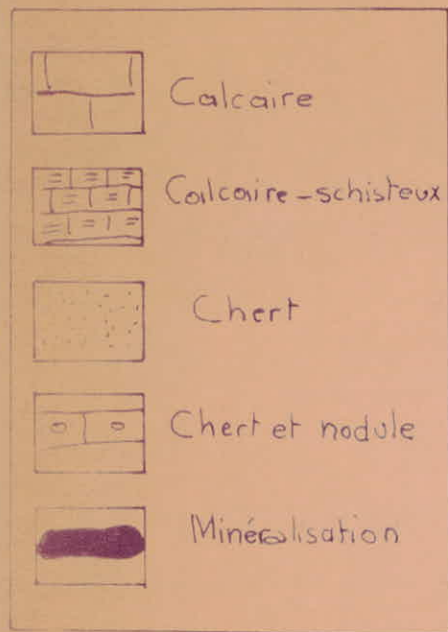
4°/ - Morphologie du gite :

(voir figures 2 et 3)

Nous avons affaire à des amas stratoïdes.

Le minerai est en imprégnation dans les dolomies.

Prés des zones fissurées, on a des combinaisons d'amas stratoïdes et d'amas de fissures.



Coupe schématique de la mine Lasalle - Goodwin (concession Oklahoma, Kansas)

Remarque: La minéralisation traverse les strates des lits inférieurs et se répartit en petits amas dans les lits supérieurs près des crêtes des dômes et anticlinaux.

Fig-1

5°/ - Controles de la minéralisation :

a) contrôle stratigraphique :

- La minéralisation est dans l'~~assise~~ assise calcaire du "Boone".
- Les "lits" les mieux minéralisés de cette assise sont :
 - Les "lits" à composante de calcaire et chert (voir coupes à travers la mine de BENDELI)
 - Les "lits" à composante de calcaire-schisteux (voir coupe à travers la mine de LASALLE-GOODWIN).

b) Contrôle lithologique :

La minéralisation est dans les dolomies. Au contact de la minéralisation, le calcaire disparaît et la dolomie le remplace.

c) Contrôle structural :

1) D'ordre paléogéographique (régional) :

La minéralisation est à la base de la couverture sédimentaire transgressive sur le socle ancien.

Dans les couches incurvées, les amas sont à la crête des dômes et des anticlinaux, ou au bas des bassins et synclinaux.

(voir coupe à travers la mine LASALLE-GODWIN).

Dans les couches horizontales, les amas sont généralement près des zones faillées verticalement. Ils peuvent être continus sur plusieurs "lits" (voir coupe à travers la mine de BENDELI).

2) D'ordre tectonique (local) :

Les zones les plus intensément broyées (larges et puissantes) sont les plus favorables à la présence d'amas.

Les amas s'allongent souvent suivant les failles, même à faible rejet.

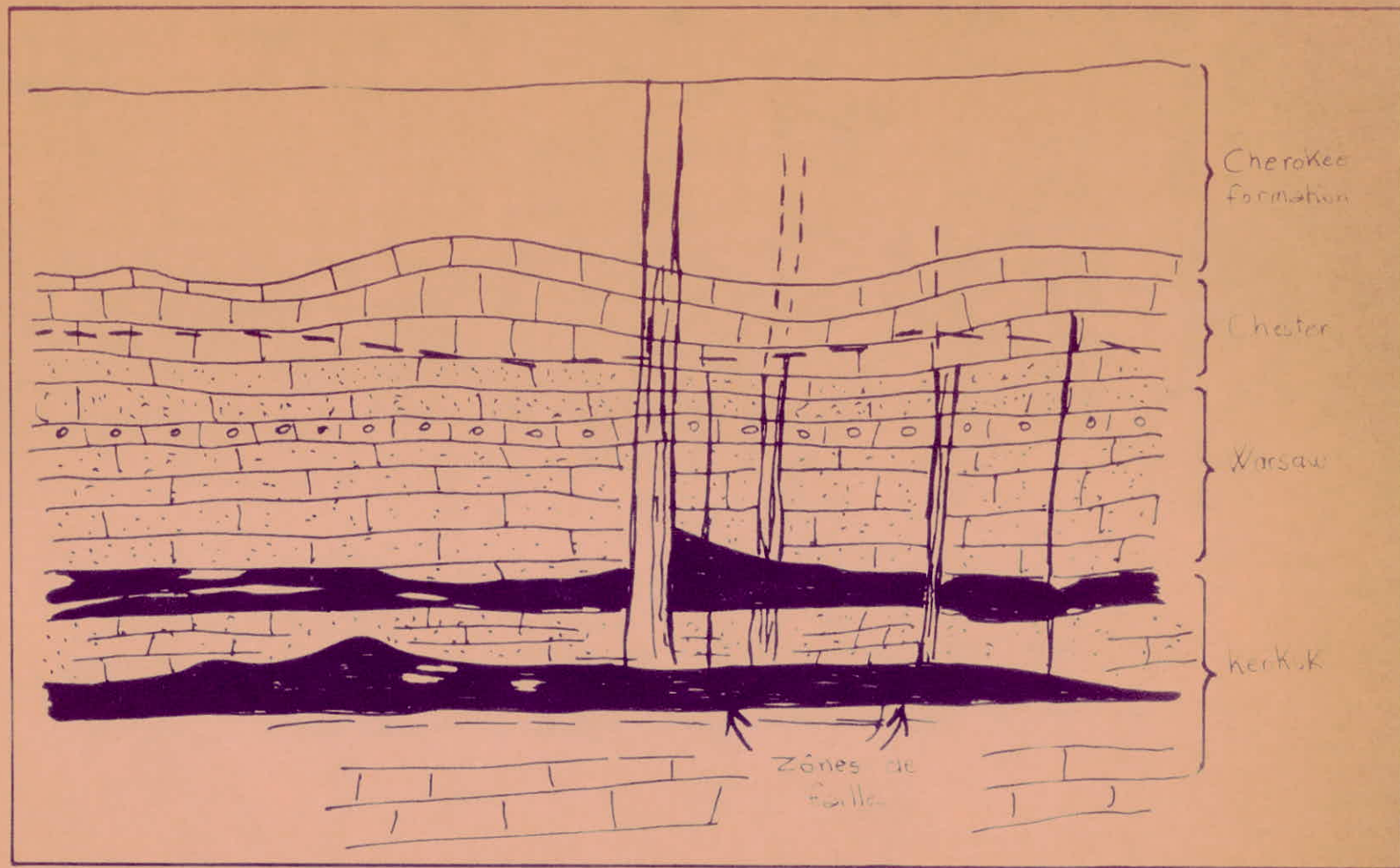
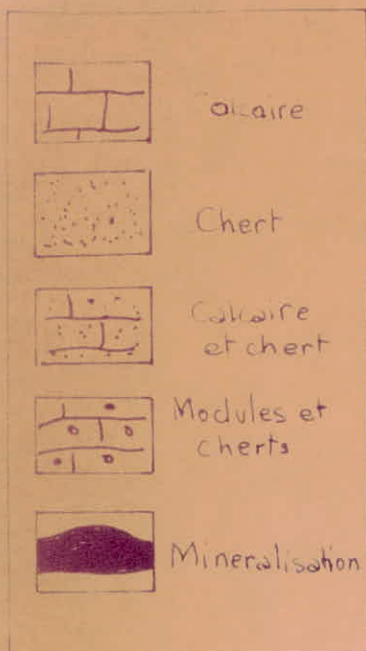


Fig-3

Coupe à travers la mine de Bendelali dans la concession Oklahoma-Kansas
 (district de Tri-State)

Remarquer: la relation entre la zone de failles et la minéralisation
 la chertification d'un horizon à proximité et entre les ens

GISEMENTS DE MISSOURI SUD-EST (U.S.A.)

=====

1°/ - Aperçu géologique de la région minéralisée :

Les gisement s'étendent au Nord-Est du dôme d'OZARK, précédemment décrit.

a) stratigraphie :

Sur le socle ancien (pré-cambrien) formé de granit et de porphyres, reposent en transgression des formations sédimentaires du Cambrien dont les couches sont généralement subhorizontales.

De bas en haut, on rencontre :

- Les grés de "Lamotte" allant jusqu'à 120 mètres au dessus du socle. Les points hauts du socle ne sont pas recouverts.

- L'assise "Bonnetterre" : Elle est dolomitique. Elle est épaisse de 130 mètres. Elle est en moyenne à 200 mètres de la surface.

b) tectonique :

Les failles principales ont une direction Nord-Ouest - Sud-Est.

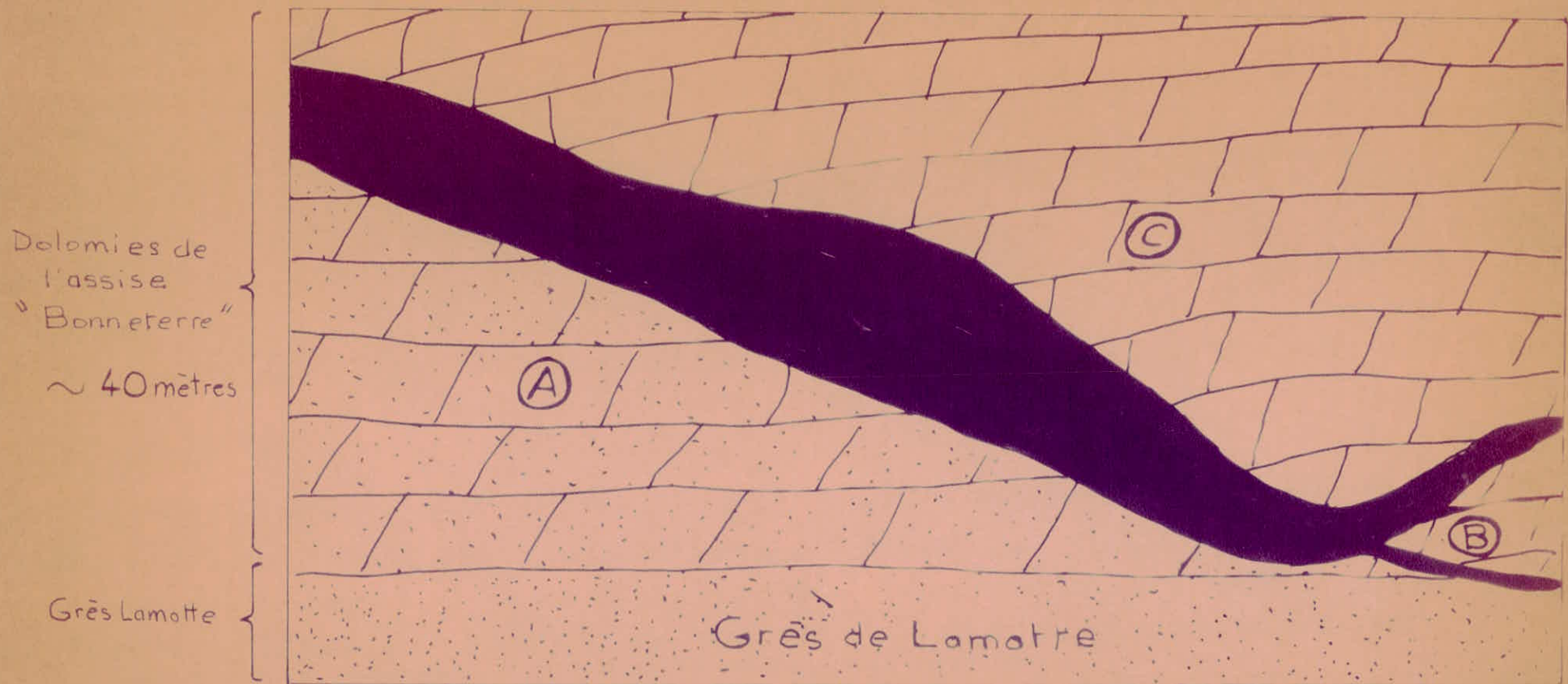
Les failles secondaires ont une direction Sud-Ouest - Nord-Est.

c) Le socle n'a pas été entièrement pénéplainé et détermine ainsi des hauts-fonds et des bassins subsidants. La minéralisation se situe près de ces hauts-fonds.

2°/ - Roche encaissante

C'est l'assise "Bonnetterre". Les minéralisations s'y répartissent suivant plusieurs zones, de la façon suivante :

- La zone intermédiaire de dolomies sableuses de 0 à 30_m avec peu de minéralisations.



- (A) Dolomies brunâtres et noduleuses.
- (B) Dolomies à grains fins
- (C) Dolomies altérées.

Fig. 5

Remarquer que: la minéralisation est dans les bancs inférieurs de l'assise "Bonnetterre" (dans les 40 premiers mètres)

- Un lit mince de schistes noirs ou de conglomérats, associés à des dolomies brunâtres noduleuses : c'est la première zone d'importantes minéralisations.

- Des dolomies claires, recristallisées, à gros grains (0 à 25 mètres d'épaisseur).

- Des lits minces de dolomies à grains fins : C'est le deuxième horizon d'importantes minéralisations ; c'est une zone altérée à environ 30 mètres au dessus des grés de Lamotte, ^{ou} dépit des variations d'épaisseur.

- Un troisième horizon important de 30 mètres d'épaisseur en moyenne. La minéralisation est accompagnée d'altération des dolomies.

- 30 mètres de dolomie brune oolithique : Quelques petits lits y sont minéralisés.

3°/ - Paragenèse :

Minerai :

- Galène
 - Blende (peu, sauf dans le 2ème horizon)
 - Un peu de pyrite
 - Un peu de chalcopryrite
 - Exceptionnellement du cobalt et du nickel
- } Minerai
disseminé

Gangue :

- la calcite accompagne la galène.
- la dolomie.

4°/ - Morphologie des gites :

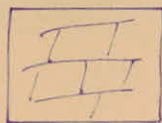
Les concentrations de minerai forment des couches et les "runds" conformes à la stratification.



Socle:
porphyres
et granites



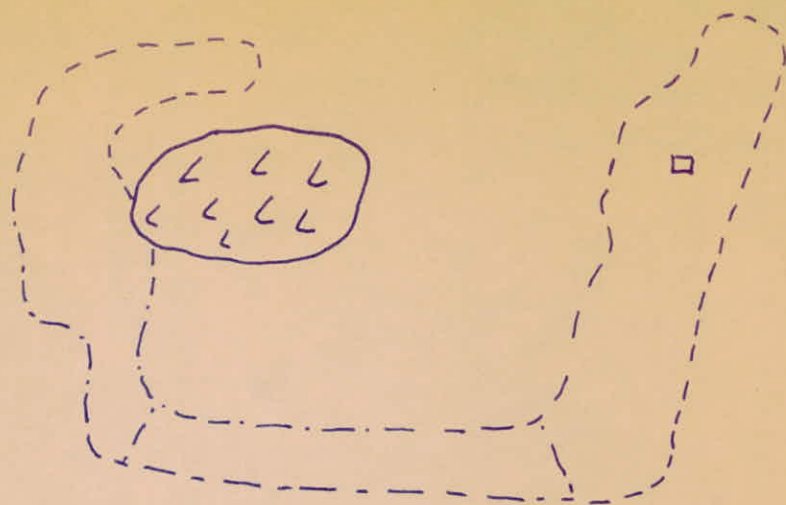
Grès de Lamotte



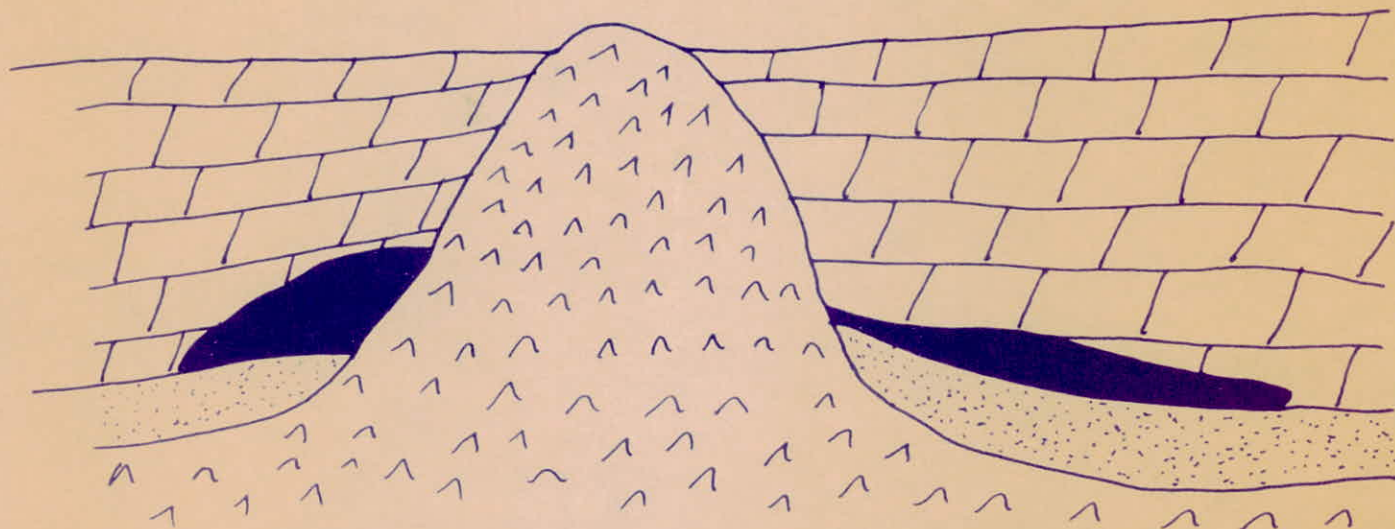
Dolomites de
l'assise
"Bonneterre"



Minéralisation



En coupe



Répartition de la minéralisation autour d'un dôme du socle.

Remarquer: elle est à la base (niveaux inférieurs) de l'assise dolomitique "Bonneterre".

- elle est sur les flancs du socle et non sur le "top", dans des "biseaux" stratigraphiques. (formés la variation de puissance de la couche dolomitique).

Fig. 4

La galène imprègne la dolomie, remplit des vides géodiques ou suit parfois des joints et des failles.

Chaque couche ou run est composé de lits de minerai riche séparés par du minerai pauvre. On passe soit graduellement, soit brusquement au stérile.

5°/ - Contrôles de la minéralisation :

a) contrôle stratigraphique :

- La minéralisation est dans l'assise calcaire de "Bonneterre".

- L'essentiel des concentrations de minerai est dans les 40 mètres inférieurs de cette assise.

b) contrôle lithologique :

- Le minerai imprègne les dolomies. On remarque le passage du calcaire à la dolomie au contact de la minéralisation.

- Les dolomies les plus favorables sont :

- . Les dolomies brunâtres et noduleuses (1er zône)
- . Les dolomies à grains fins (2ème zône)
- . Les dolomies altercés (3ème zône).

c) contrôle structural :

1) D'ordre paléogéographique (régional) :

- On remarque une élongation des concentrations Sud-Ouest - Nord-Est en relation avec des rides sédimentaires à la base de la série dolomitique.

- Les autres concentrations se rencontrent à la périphéries des protubérances du socle, à la verticale des biseaux des grés de Lamotte sur le socle éruptif (voir figure 4).

2) D'ordre tectonique (local) :

Les couches et les runs se rencontrent près des failles secondaires Sud-Ouest - Nord-Est.

Minéralisation en fonction du mouvement des dolomies



dolomies broyées

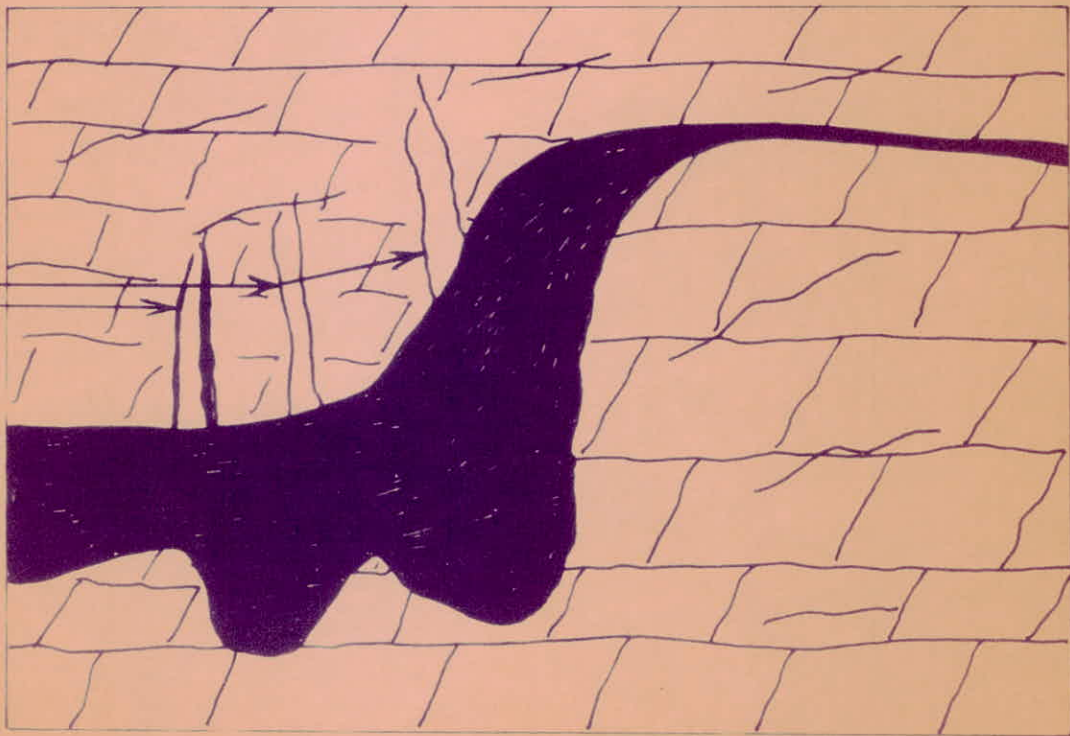
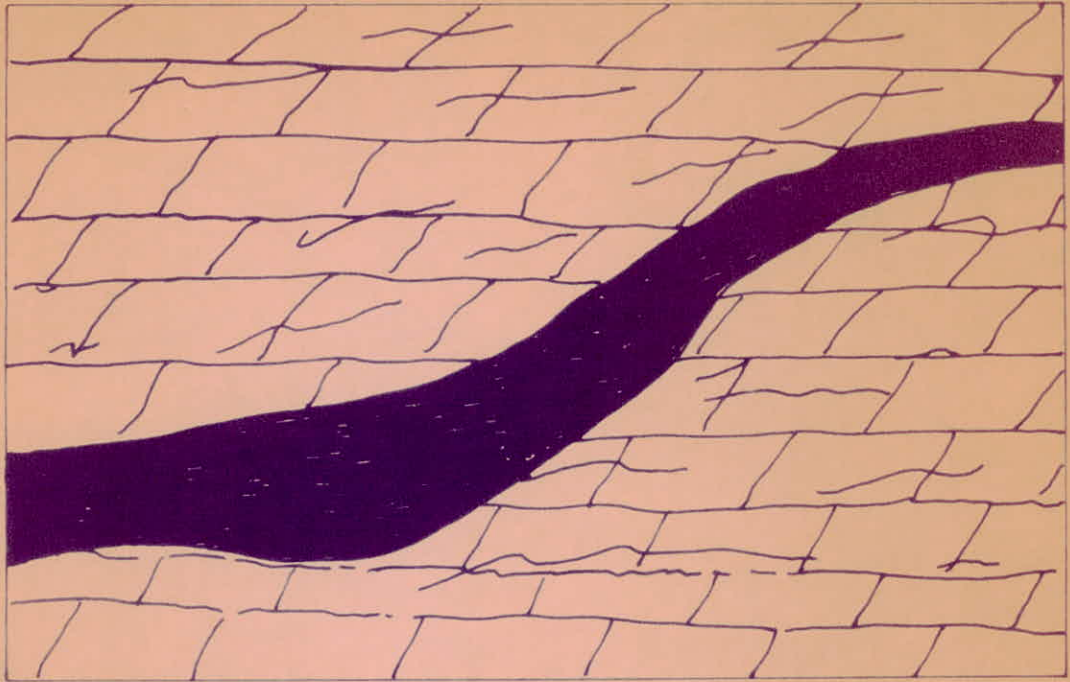


Fig-6

Remarquer que les concentrations sont en relation avec les zones broyées, fracturées, faillées.

GISEMENTS DES CEVENNES : LES MALINES
(F R A N C E)
=====

1°/ - Aperçu géologique de la région minéralisée :

Le gisement se situe sur la bordure Sud d'un horst parallézoïque (une avancée des Cévennes), bordé de causses de terrains secondaires.

Dans la stratigraphie : voir carte géologique et coupes.

- Le Trias est composé de dolomies, de marnes noires dolométiques, de marnes bariolées, de dolomies grises et de conglomérats de base. Le Trias est transgressif sur les dolomies géorgiennes.

- L'Hettangien est formé de dolomies cubiques. Sa puissance se réduit du Sud au Nord de 210 mètres à 88 mètres. Il disparaît dans la zone du gisement (forme un biseau stratigraphique).

- Le Bathonien est formé de dolomies. Il est en discordance angulaire soit sur le Trias, soit sur l'Hettangien. Il forme un biseau stratigraphique d'une inclinaison de 45° à 60°.

La paléogéographie :

L'étude des variations de puissance des couches (biseau stratigraphique) et des lacunes permet de résumer ainsi l'histoire géologique de la région :

- Au début du Jurassique existe un haut-fond formant un dôme parfois émergé. Il se dépose : Un trias marno-dolomitique, un Hettangien dolomitique.

- Du Sinémurien à l'Aélnien, il ya une emersion.

- Suivant les endroits, il y a un ennoisement soit au Bajocien , soit au Bathonien supérieur.

Carte géologique des Malines

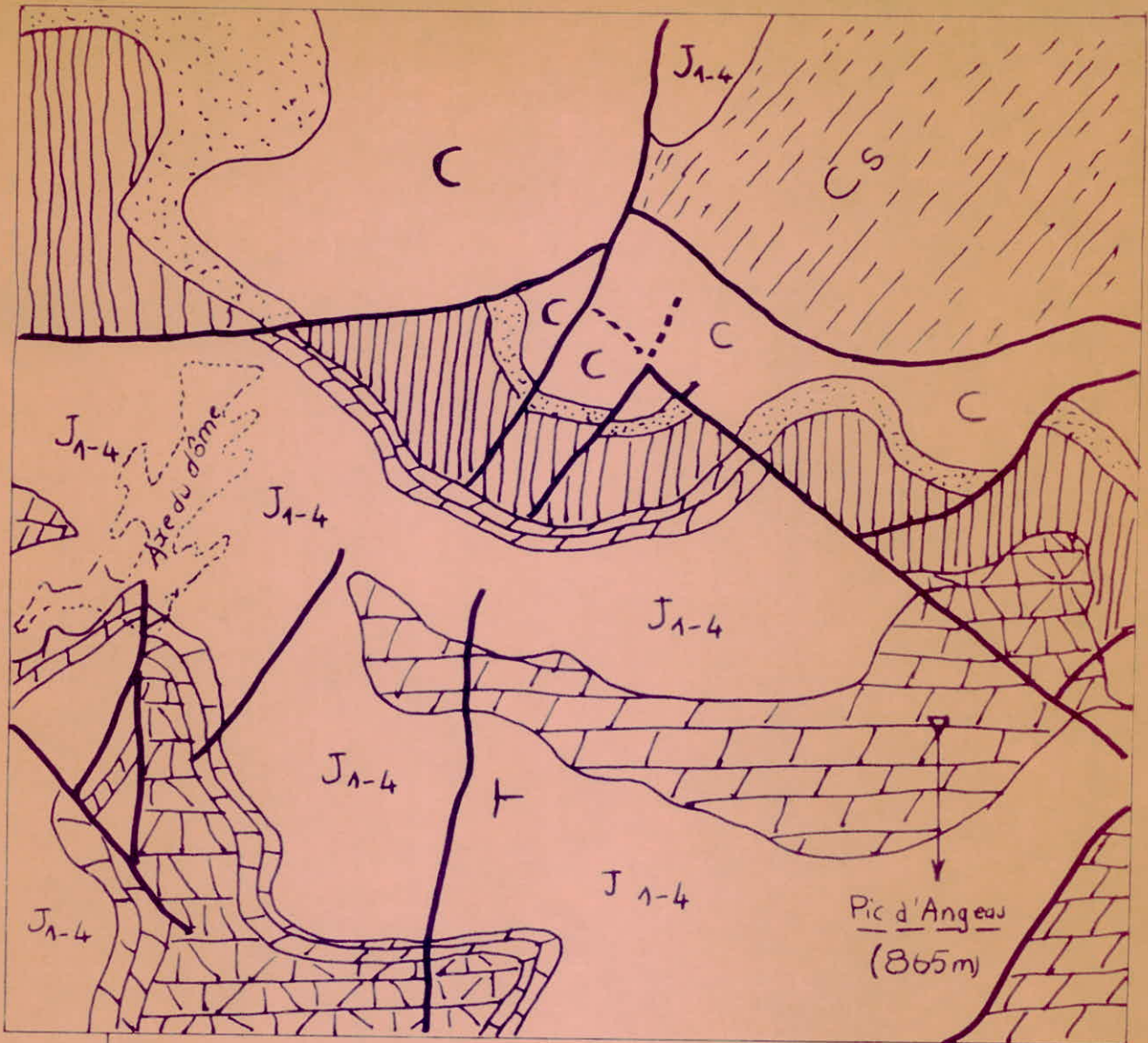


Fig. 7



Sequarien, Kimmeridgien, Portlandien, plus ou moins dolomitisés.



Bathonien supérieur: dolomies



Hettangien: dolomies cubiques



Trias supérieur (Keuper): dolomies, marnes noires dolomitiques ou marnes bariolées



Trias moyen et inférieur: dolomies grises et conglomérats de base

J₁₋₄:
Callovo-Rauracien:
Calcaires et marnes
C:
Georgien: dolomies

C_s:
Schistes
Cambro-siluriennes

2°/ - Roche encaissante :

Le minerai est dans les marnes dolomitiques du Trias. La puissance du Trias supérieur varie. Il passe d'autre part de marnes dolomitiques noires et bitumineuses (dans la zone des travaux) à des marnes baridées avec gypse.

- Les amas et les marnes se situent dans le conglomérat.

- Ils se situent aussi dans la dolomie bathonienne et dans la dolomie georgienne.

3°/ - Paragenèse :

Le minerai : Les structures en sont variées :

La blende { Fibreuse, rougeâtre ou brunâtre : schalenblend
{ Jaune clair dans des vénules
{ Normale.

La galène : Elle est postérieure à la blende (succession normale).

Les oxydés : Smithsonite et cérusite.

La gangue : On a :

- Des shales dolomitiques : plissements passant à des structures bréchiques.

- De la barytine.

- Egalement du quartz, de la pyrite.

- On observe une silicification.

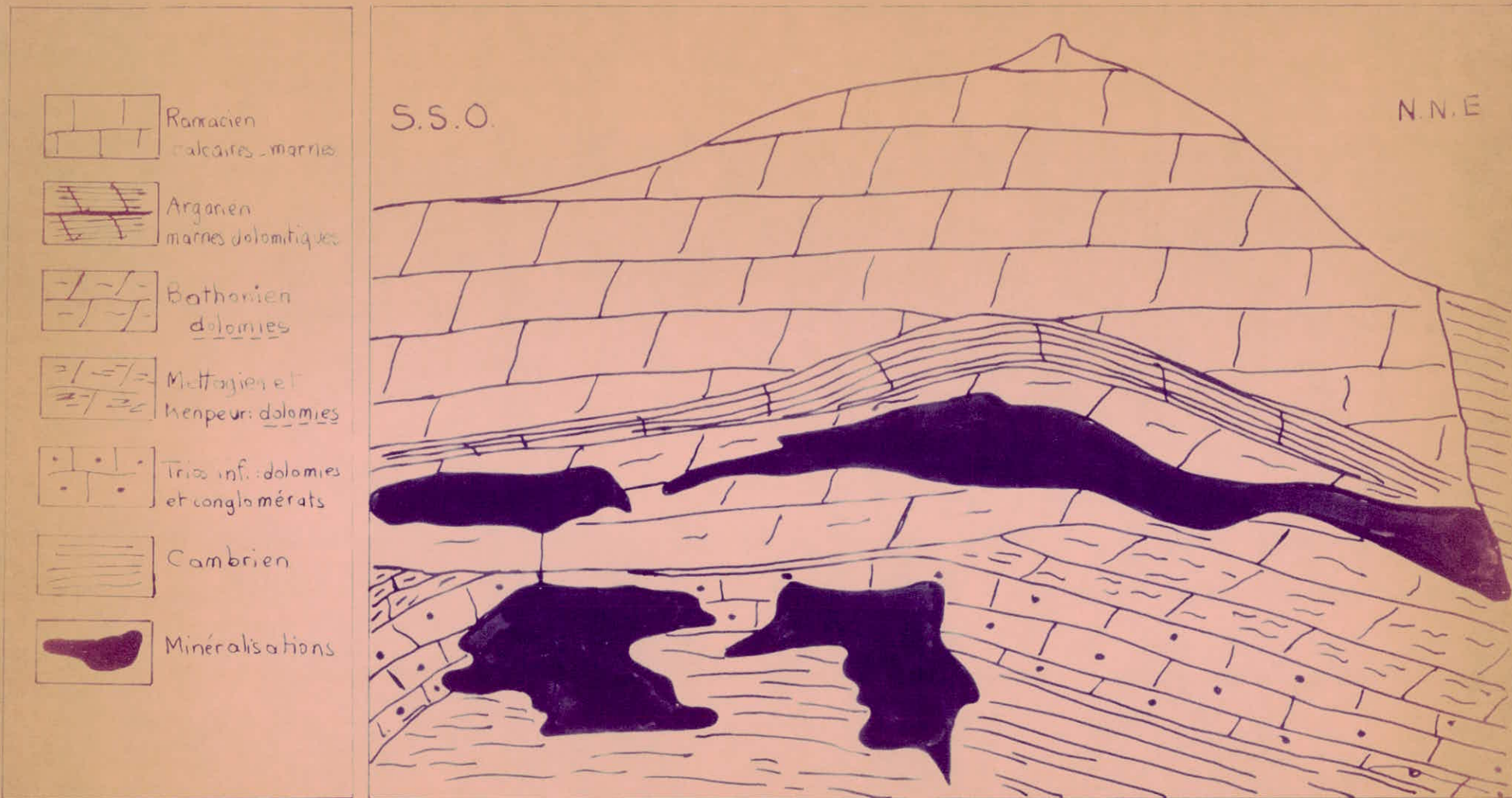
4°/ - Morphologie des gîtes :

Les gîtes sont en forme de couches et d'amas.

a) Les couches : Deux en sont bien reconnues sur le flanc Est du dôme à FONTBONNE.

b) Les amas : Ils présentent parfois une racine qui se coince rapidement dans le socle.

Amas des Malines



Remarquer: - les variations de puissance du Bathonien et du Trias (Kenpeur et Trias inférieur)
 - que la minéralisation est sur l'axe du dôme dans le Bathonien (et le Trias)

Fig. 8

La minéralisation est fortement barytique. Le minerai est blendeux, largement oxydé (smithsonite, cérusite).

5°/ - Contrôles de la minéralisation :

a) Contrôle stratigraphique :

- Le Trias, le Bathonien, la dolomie géorgienne, le conglomérat de base du Trias contiennent la minéralisation
- La répartition stratigraphique verticale est étroite : les amas ne s'enfoncent pas sous 80 mètres du mur des marnes.

b) Contrôle lithologique :

Le minerai est :

- Dans les dolomies marneuses (essentiellement),
- Dans les dolomies et le conglomérat à éléments de dolomies géorgiennes de la base du Trias,
- Dans la dolomie géorgienne du socle primaire
- Dans la dolomie bathonienne. (Ce minerai n'est plus exploité).

c) Contrôle structural :

1) - d'ordre paléogéographique (régional) :

- 50 % de la production provient d'amas se situant sur l'axe du dôme ou tout près et sur son flanc nord-est. Ces amas sont alignés par groupes suivant la direction cévennale nord-est - sud-ouest.

- Les deux couches reconnues se trouvent sur le flanc Est du dôme. Elles disparaissent à l'aplomb de la partie culminante du dôme.

- La minéralisation se rencontre dans les couches qui ont tendance à se biseauter.

2) - d'ordre tectonique (local)

Les minéralisations sont situées aux abords de failles. Signalons que les failles du Tertiaire ne sont pas minéralisées.

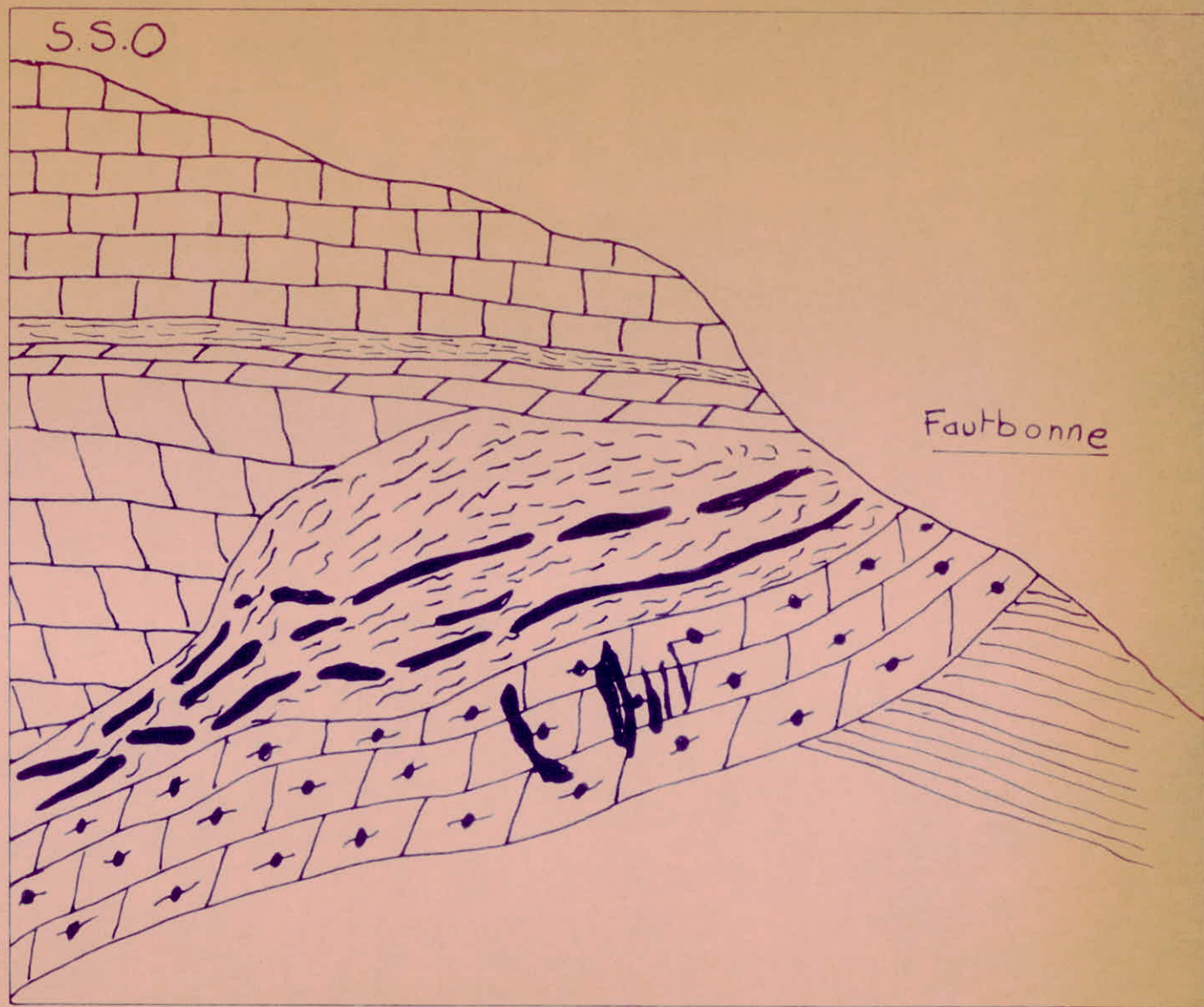
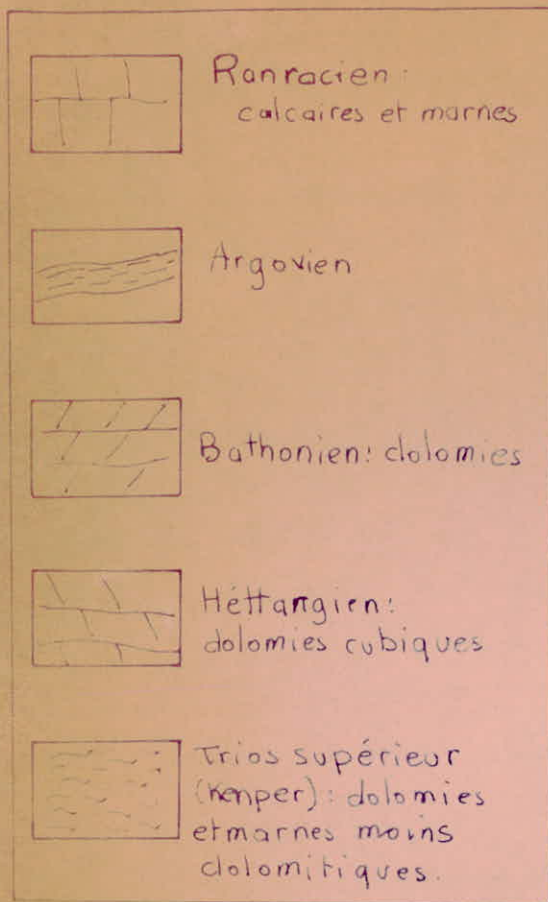


Fig-9

- Remarques:
- les variations de puissance de l'Hettangien et du Trias supérieur formant des "biseaux" stratigraphiques.
 - la minéralisation est sur le flan (N.E) du dôme.
 - la minéralisation est dans le Trias.

GISEMENTS DE REOCIN (ESPAGNE)

1°/ - Aspect géologique de la région :

Le synclinal de l'orogénie pyrénéenne, près de Santander est dirigé suivant un axe Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest. Son pendage est de 20° en moyenne.

a) Stratigraphie (voir schémas) :

A partir de la surface, il y a en descendant :

- des grès
- des marnes
- des dolomies de l'Aptien supérieur sur 200 mètres de puissance, avec intercalation de grès et de marnes.
- des calcaires marneux.

b) Le gisement est localisé au flanc sud du synclinal.

2°/ - Roche magasin :

La minéralisation est dans les dolomies de l'Aptien supérieur. Elle est à la base de ce banc.

3°/ - Paragenèse :

- Minerai : - Blende
- Galène
- pyrite.

Gangue : - Dolomie plus un peu de barytine.

4°/ - Morphologie du gîte :

Le minerai forme des couches de blende (et de galène) au sein des dolomies (voir figures).

Le minerai est en substitution plus ou moins régulière dans les dolomies. La couche inférieure est plus riche en plomb.

Coupe schématique du gisement de Réocin

(Espagne)

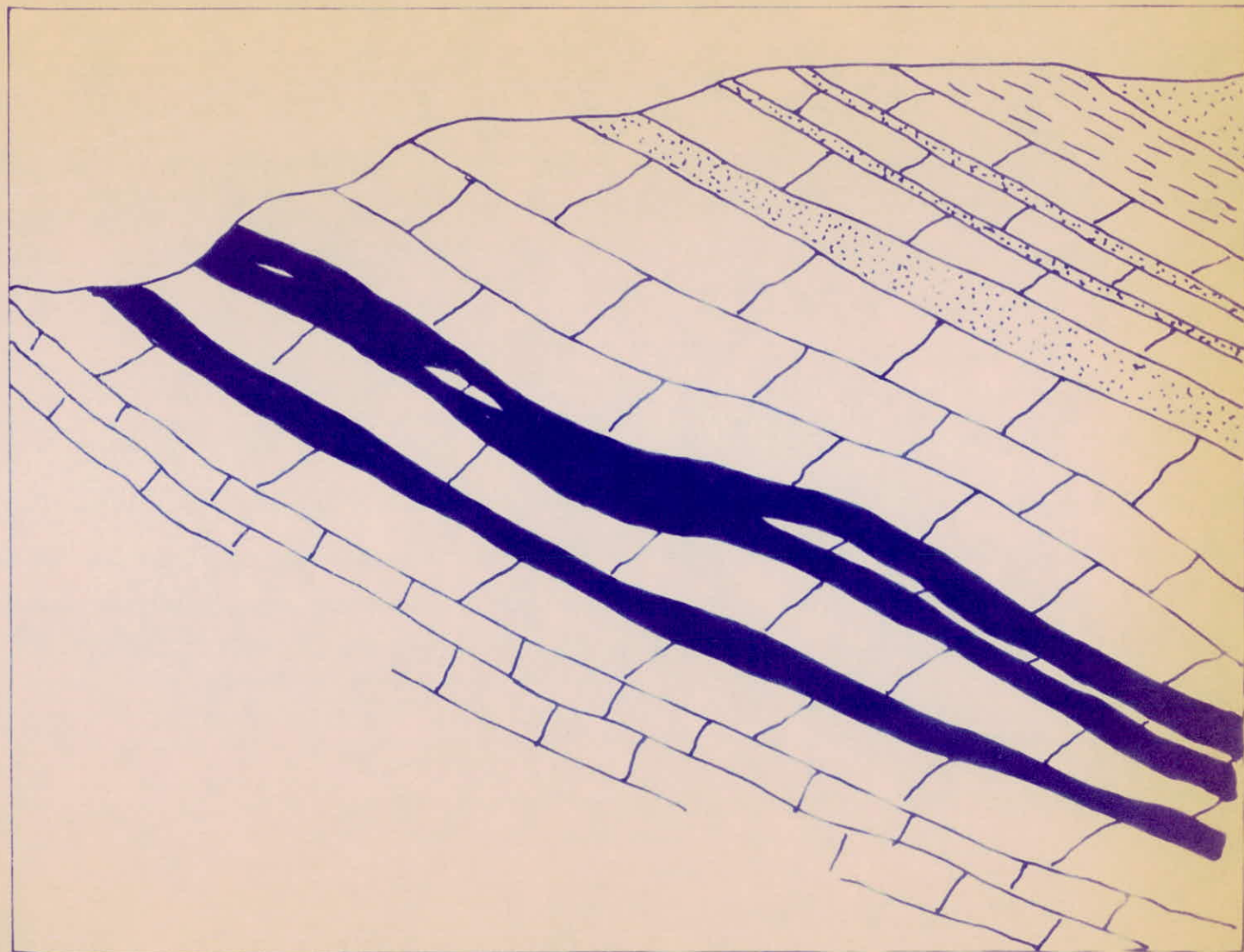
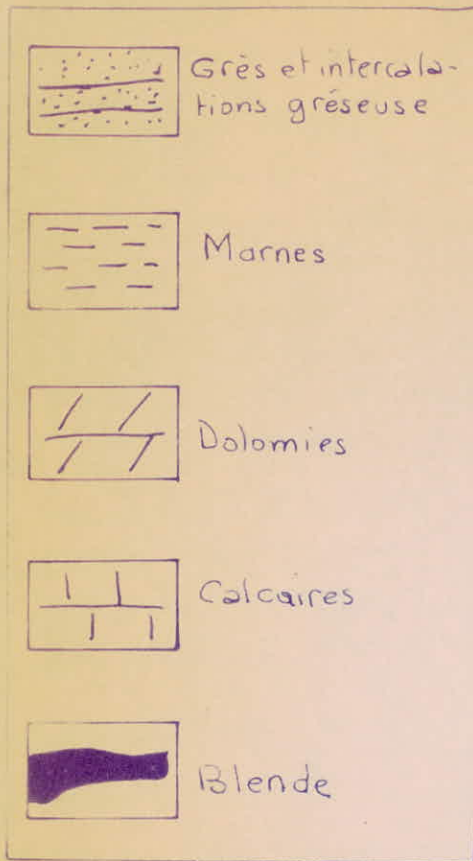


Fig. 10

5°/ - Contrôles de la minéralisation :

a) Contrôles stratigraphiques et lithologiques :

Le minerai est dans l'Aptien composé de dolomies.
Il est à la base de l'assise dolomitique.

b) Contrôle structural :

- Le gisement est au flanc sud du synclinal.
- D'autre part, il existe d'autres affleurements au flanc nord du même synclinal.

Il semble donc que ce soit le synclinal lui-même qui contrôle la minéralisation.

A une échelle plus grande, on peut établir une analogie entre les anticlinaux correspondant à ce synclinal et le bombement de socle des Malines : La minéralisation se trouve respectivement sur leurs flancs.

GISEMENTS DE TOUISSIT - BOU - BEKER (MAROC)

=====

1°/ - Aspect géologique de la région :

C'est la région des plateaux jurassiques du sud d'Oujda.

a) La tectonique :

Les plateaux sont affectés d'une tectonique de horsts et de grabens dirigés est-nord-est - ouest-sud-ouest.

Ils sont séparés par des failles de grande extension avec rejet de l'ordre de 100 mètres et davantage.

Le horst entre TOUISSIT et BOU-BEKER, dirigé est-nord-est - ouest-sud-ouest, est interrompu par un graben de second ordre transversal dirigé nord-est - sud-ouest (dû à une torsion locale des failles principales.)

Au voisinage apparaissent des failles de direction est - sud-est, moins importantes, affectant horst et graben.

Carte géologique du socle dans la
région de Bou-Bekeur

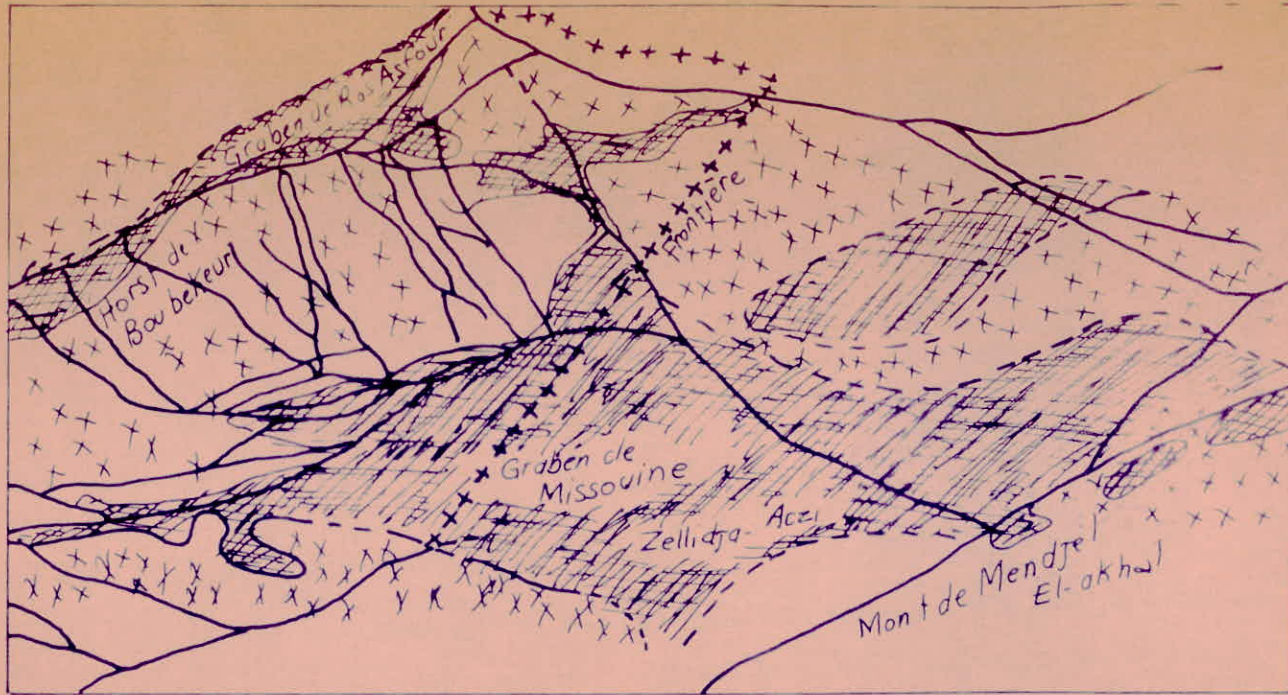
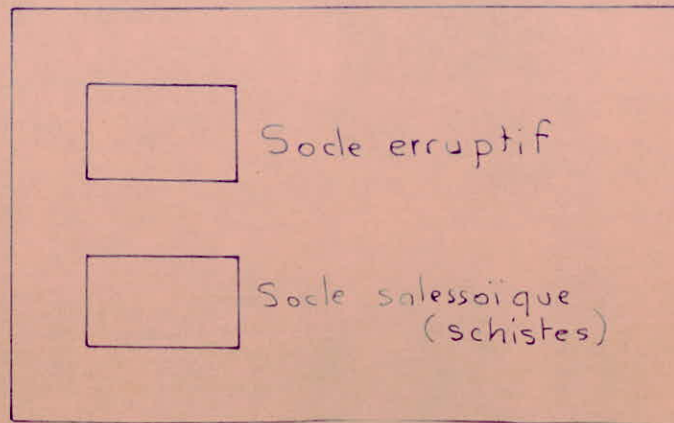


Fig-11



D'autres failles, subméridiennes et même nord-est - sud-ouest, se localisent sur le horst à l'est de BOU-BEKER et se développent sur le côté algérien.

b) stratigraphie :

La série comporte :

- un paléozoïque schisteux ou éruptif (voir carte géologique du socle)
- un Trias conglomératique discordant, réduit ou absent dans la zone du gisement
- un Lias } Dolomitiques et à calcaires de facies
- un Dogger } néritique, d'épaisseur faible.
- des marnes et grès du Callovo-Oxfordien.
- Le Jurassique supérieur dolomitique.

c) Paléogéographique :

Le socle présente des protubérances qui ont pu être des "hauts-fonds" à une certaine époque car on observe des réductions d'épaisseurs des sédiments sur leurs flancs.

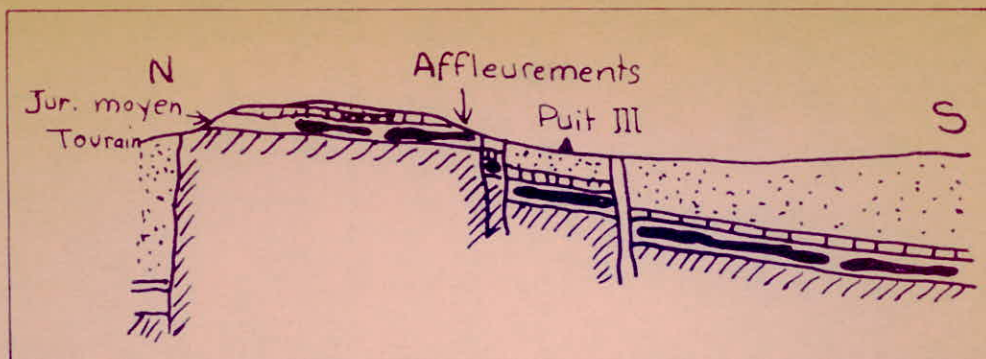
D'autre part, la paléogéographie du Lias peut se résumer ainsi :

- Discordance sur un socle primaire, hétérogène à surface topographique bosselée (hauts-fonds) et fracturé de failles "vivantes", délimitant des horsts et grabens.

- Puissance faible.

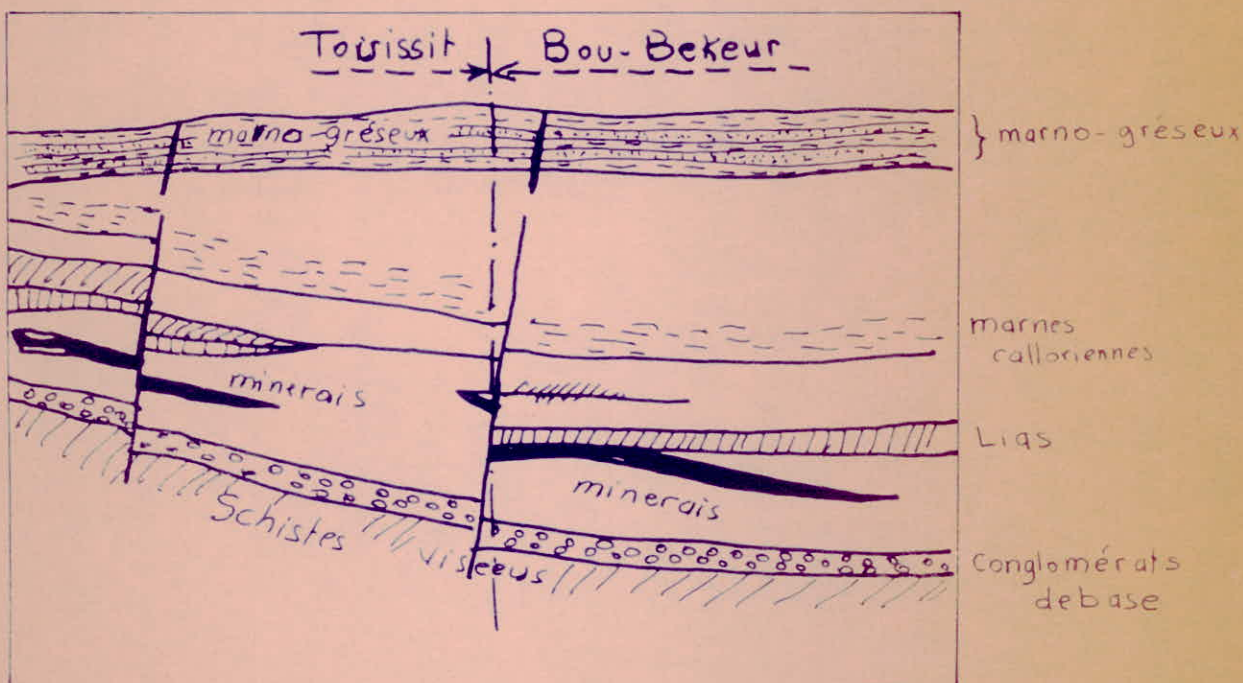
- Formé de dolomies résultant de la dolomitisation diagenétique ou épigénétique d'un sédiment calcaire.

- A été soumis au moment de son dépôt à des mouvements tectoniques de faible amplitude (brèches intra-formationnelles).



Coupe N.S. à Bou-Bekeur.

(d'après J. Bouladon)



Coupe Touissit-Bou-Bekeur.



d) Les minéralisations en plomb et en zinc :

1) Des filons dans le socle paléozoïque : quelques petits filons de blende, galène, pyrite, à gangue de barytine et quartz ont été signalés dans les laves du complexe schisto-volcanique viséen. (En Algérie aussi à GHAR-ROUBAN). Ils sont négligeables au point de vue économique.

2) Des gîtes d'imprégnation stratiforme dans la couverture : Ils s'observent dans le Lias. Ce sont les plus importants.

3) Des gîtes de cassure : Ils tiennent lieu à la fois de gîtes filoniens (remplissages et cassures) et de gîtes d'imprégnation (donnent lieu à ce phénomène à leurs épontes). Ils se localisent pour la plupart le long des failles bordières des horsts ou à proximité.

2°/ - Roche encaissante :

Elle est constituée par le Lias dont le pendage général est de 7° sud-est sur le horst. La puissance du Lias est de 25 à 30 mètres, exceptionnellement de 40 mètres. Dans les zones de dissolution, le Lias a une épaisseur d'un mètre seulement.

a) composition du Lias :

De bas en haut, on a :

- Un calcaire sublithographique au dessus du conglomérat.

- Des bancs de dolomies de quelques centimètres à 0,80 mètre d'épaisseur, séparés par des "lits" argileux et par des bancs de calcaire et de calcaire dolomitique, s'étendant sur des grandes surfaces. Ces "lits" appelés "joints" constituent des repères stratigraphiques (excellents pour certains, très mauvais pour d'autres). On les classe en :

Coupe schématique
du
Graben de Missourine

(Gisement de Bou-Bekur)

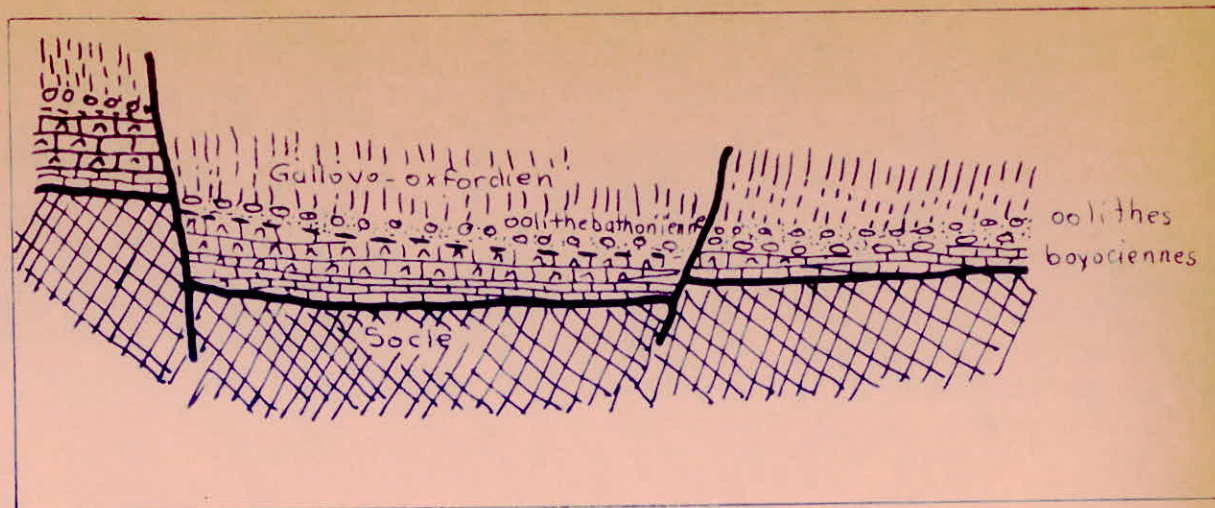
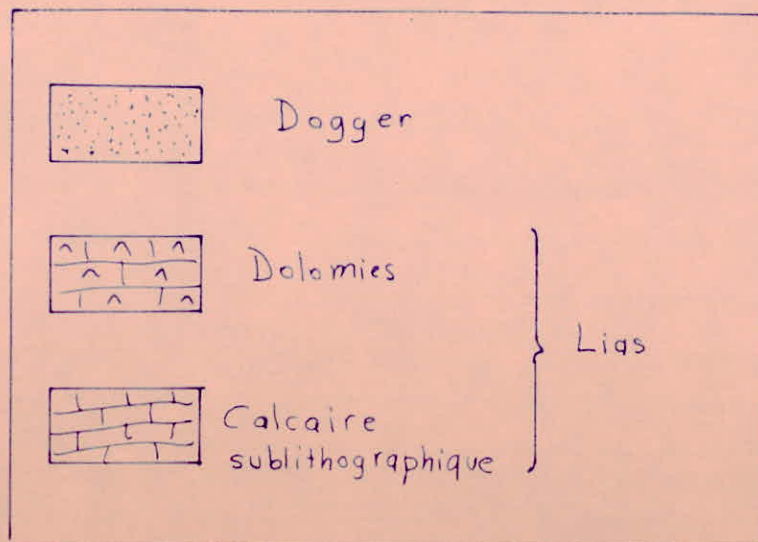


Fig. 13



Passage du S au N
 du calcaire à
 la dolomie.

- "joints principaux" délimitant les horizons stratigraphiques ;
- "joints secondaires" servant à l'identification des joints principaux.

Les horizons délimités sont groupés en trois couches (inférieure, intermédiaire, supérieure) d'aptitudes à la minéralisation, différentes suivant les parties du gisement.

- Des dolomies argileuses et pyriteuses
- Du calcaire jaune gréseux.

b) Le facies du Lias :

Dans l'ensemble, le Lias est calcaire et dolomitique mais le gisement est lié à la présence de dolomies. Ces dolomies se présentent sous plusieurs facies :

1) Les dolomies à grains fins ayant une couleur beige et une couleur grise :

- Dolomie beige : Dans les niveaux inférieurs, ces dolomies sont massives en bancs puissants passant latéralement à des faciés gris bigarés.

- Dolomie grise : Elle est plus répandue, en bancs d'environ 60 centimètres ; elle est souvent géôdée ; elle renferme des particules d'argile et de quartz bipyramidé.

2) Les dolomies bigarées, cristallines, blanches et roses associées en toutes proportions à la dolomie fine, grise. On y distingue :

- Les dolomies bigarées "diffuses" : Elles sont mal différenciées. C'est une forme de transition.

- Les dolomies tachetées : Elles forment des taches bien visibles sur un fond de dolomies primaires.

Coupe N.S. du sillon du puits 4

(à l'aplomb du niveau 950) à Touissit

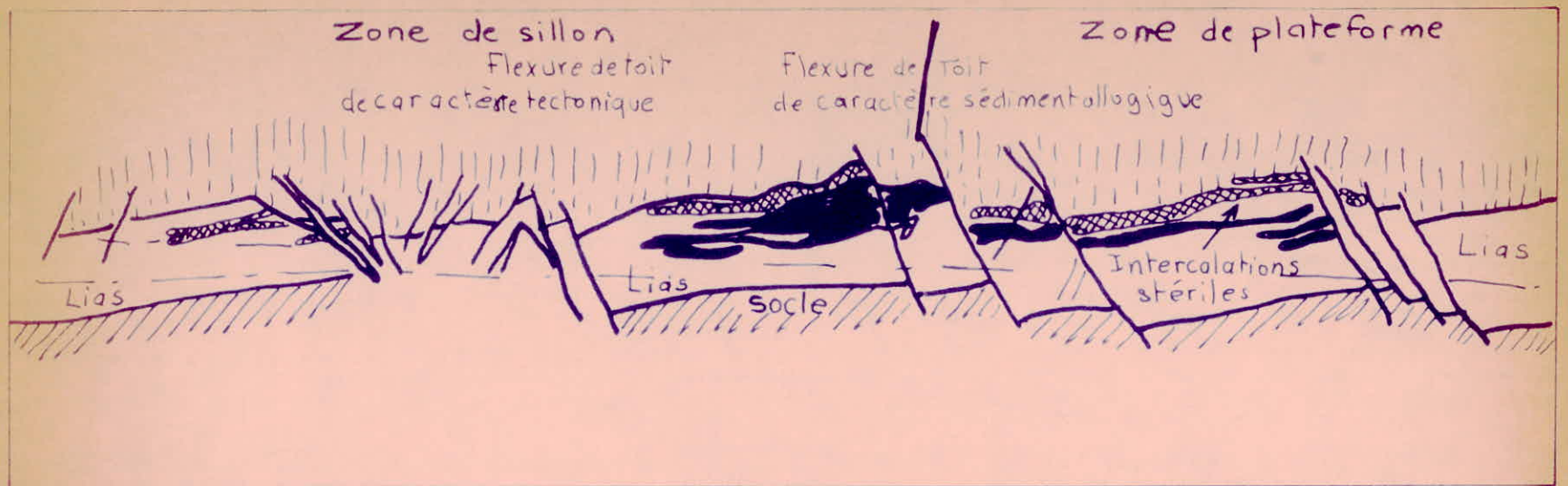
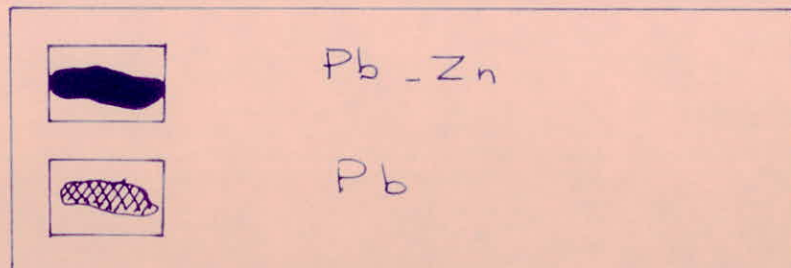


Fig. 14



- Les dolomies réticulées : Ce sont de minces filonnets sans orientation particulière.

- Les dolomies rubanées : La recristallisation est très importante. (grande quantité). Les rubanements sont parallèles aux plans de stratification.

- Les dolomies grossières : La recristallisation affecte toute la roche et efface la structure primaire. C'est le stade de recristallisation le plus avancé. Amas et gros filonnets de dolomies sont orientés de façon quelconque.

- Les dolomies organiques : Dolomies contenant des débris organiques.

. Tous ces faciès du Lias sont répartis d'une façon quelconque.

. La recristallisation secondaire est plus importante sur le sommet du horst.

. On passe d'un faciès à l'autre soit brusquement, soit progressivement.

L'ancienne hypothèse selon laquelle les dolomies seraient d'origine récifales est actuellement très controversée car on ne trouve pas de structures récifales dans le calcaire originel.

3°/ - Paragenèse :

a) Minerai primaire :

- Blende : peu argentifère }
- Galène : argentifère } minerai proprement dit.

- Chalcopryrite : assez commune dans la galène, quelquefois dans le blende de substitution, dans les géodes en cristaux isolés.

- Quelques cuivres gris avec la chalcopryrite dans les dolomies beiges.

Coupe N-S. à Touissit

montrant la tectonique en horsts et grabens

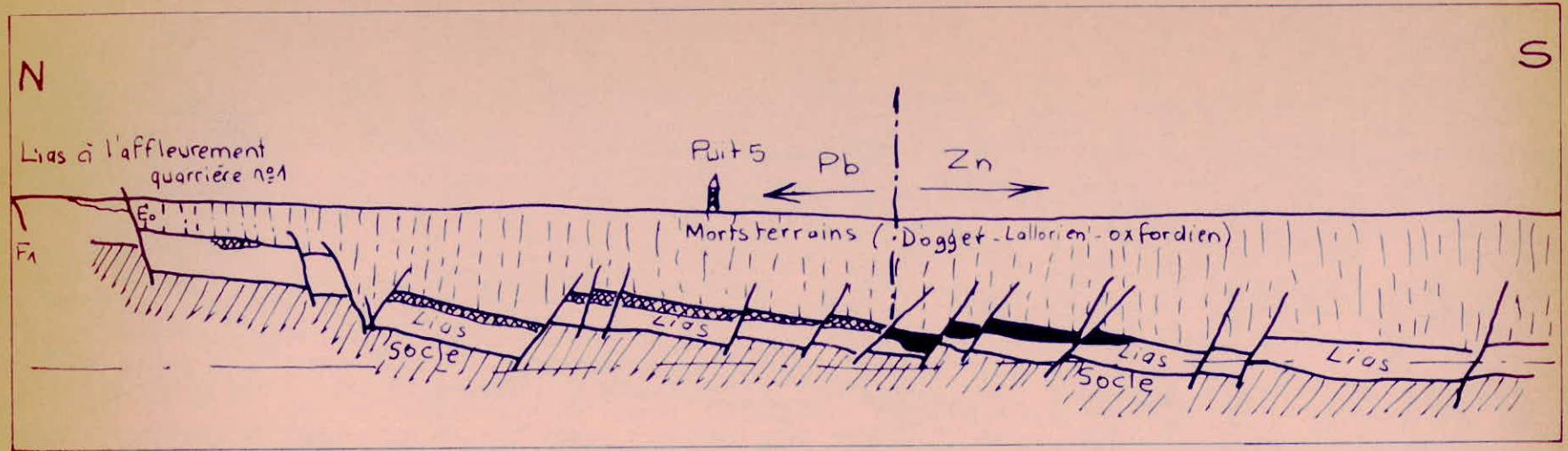
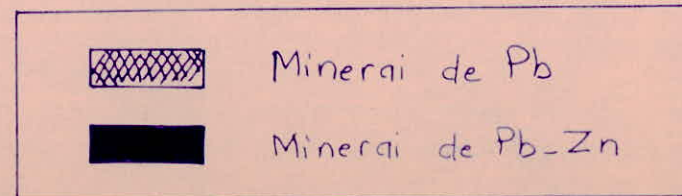


Fig. 15



- pyrite : communément présente en petits cristaux cubiques bien formés en bonne quantité dans la dolomie marneuse.

- marcassite : masses importante au sud-est du gisement dans le faciès détritique du Lias.

- Greenockite (Cd S) : indices mis en évidence sur blende et dolomie.

b) Minéraux secondaires (d'oxydation) :

- Cérusite ($\text{Co}_3 \text{ Pb}$)
 - Smithsonianite ($\text{Co}_3 \text{ Zn}$)
 - Anglésite ($\text{So}_4 \text{ Pb}$) : Fréquente.
 - Goslarite ($\text{So}_4 \text{ Zn, 7H}_2 \text{ O}$)
 - Hydrozincite ($2\text{Co}_3 \text{ Zn, 3 Zn (OH)}_2$) : plus rare
 - Malachite ($\text{Co}_3 \text{ Cu}_2 \text{ (Oh)}_2$)
 - Azurite ($\text{Co}_3)_2 \text{ Cu}_3 \text{ (Oh)}_2$)
- } Communément répandus. Ils font partie du minerai.
} Parfois avec la chalcopryrite.

c) Gangue :

- Dolomie : Provenant de la recristallisation de la dolomie primaire. C'est évidemment la gangue principale.

- calcite : plus rare, mal cristallisée, elle existe dans le calcaire sublithographique.

- Quartz : Généralement en petites aiguilles bipyramidées dans les dolomies primaires. Il y a également des encroutements de calcédoine et de quartz en gouttelettes sphériques dans les poches de dissolution.

- Gypse : Existe presque partout (sauf au nord-est du horst).

- Giobertite ($\text{Co}_3 \text{ Mg}$) : en masses ou en enduits (secondaire)

- Barytine : Très rare (Extrême ouest du grand "Run")

4°/ - Morphologie des gîtes :

a) Forme des minéralisations : On a affaire à :

- Des bandes allongés ("runs") :

- . qui constituent des ensembles relativement simples
- . où la minéralisation généralement importante est forte dans l'axe de la bande et s'arrête brusquement sur ses bords.

- Des couches ou amas stratiformes : Ce sont des ensembles complexes. Plusieurs couches minéralisées de forme quelconque, appartenant à des horizons stratigraphiques différents, se superposent et donnent des figures compliquées et de grandes variations locales de puissance minéralisée. La teneur diminue progressivement vers les bords de la lentille.

- Une minéralisation dans les zones de dissolution.

b) Faciès des minéralisations :

- Faciès de remplissage :

- . Remplissage des fractures : s'observent dans les "runs" ; la galène est grossièrement constituée.

- . Remplissage de vides : Blende et galène, associés à la dolomie rose, cimentent les éléments bréchiques.

- Faciès de substitution : C'est le faciès type des gros amas à prédominance de zinc, situés le long des failles bordières (sud du horst):

- . Blende : brun clair à brun sombre ; toujours en petits cristaux. S'observe surtout dans les dolomies primaires à faible recristallisation.

- . Galène de substitution : généralement en larges cristallisations, remplace sur de grandes surfaces des bancs dolomitiques entiers (bigarés).

5°/ - Contrôles de la minéralisation :

a) Contrôle stratigraphique :

- La minéralisation est localisée dans le Lias, plus précisément dans les dolomies du Lias. Elle se trouve concentrée dans les secteurs où le Lias est épais de 25 à 35 mètres.

- D'une manière générale, c'est surtout la moitié supérieure du Lias qui est minéralisée. Le zinc est plus profond que le plomb. Les zones plombifères se situent au nord des gisements.

- La minéralisation n'existe pas au dessus des marnes du Callovien, particulièrement au sud et au sud-ouest.

b) Contrôle lithologique :

Les concentrations de minerai sont encaissées dans les dolomies. Pour chaque couche de dolomies, il existe des horizons préférentiellement minéralisés. Ainsi :

- Le faciès gris des dolomies fines est le magasin type des minéralisations d'imprégnation et de substitution fine à très forte prédominance de zinc.

- Les dolomies grossières (bigarées) où la recristallisation est très avancée, recèlent de très importantes minéralisations de substitution et de remplissage.

- Les dolomies rubanées (bigarées) où la recristallisation est importante contiennent des minéralisations souvent plombées où les cristaux de galène sont alignés le long et au bord des rubanements de dolomies. Il n'y a jamais de minéralisation dans les rubanements ~~et~~ inclinés.

- Dans les autres faciès des dolomies, les minéralisations sont très rares et jamais importantes.

Les zones les plus favorables sont les zones où les

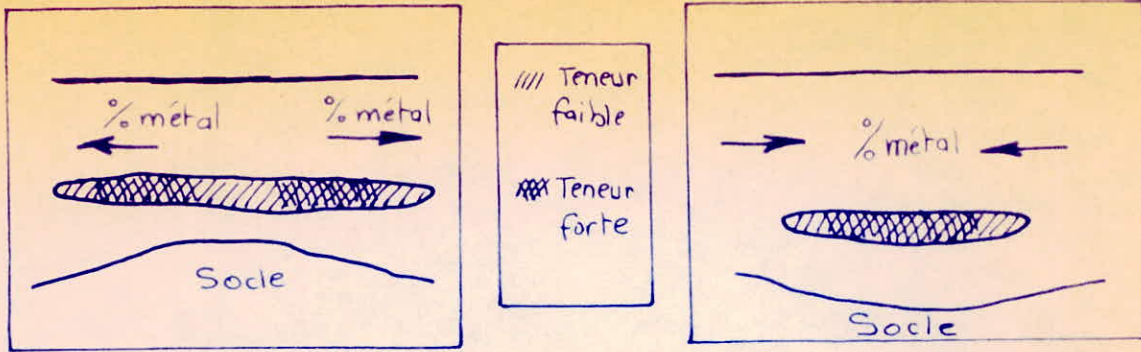
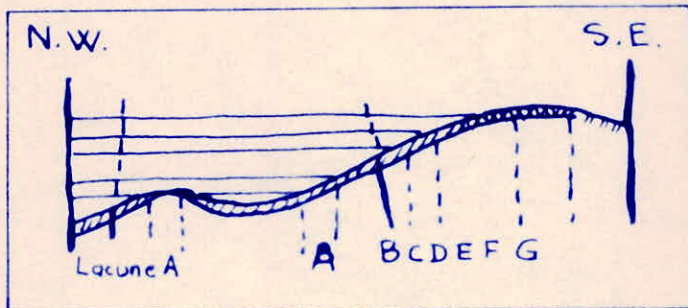


Schéma des variations de puissance du Lias et des variations de l'importance des minéralisations en fonction de la forme du socle. (Bou-Bekeur)



Paléogéographie du Lias: dépôt transgressif du Lias sur la pénéplaine paléozoïque. Cette structure est analogue à la structure Paléinsulaire de H. Pelissonnier.

Fig. 16

dolomies (des faciès précités) sont broyées.

c) Contrôle structural :

1) D'ordre paléogéographique :

La minéralisation la plus importante se localise sur les flancs des dômes du socle, plutôt que sur leurs sommets, dans les dolomies du Lias près des biseaux stratigraphiques de ces dolomies. En effet, la puissance du Lias variant, il forme des biseaux près des bombements du socle.

Les failles bordières des horstz ne contrôlent pas la minéralisation. Elles recoupent souvent les gisements sans être minéralisées (sauf quelques exceptions : MEJDEL ELAKHAL, DJEBAL MAÇOUR).

2) D'ordre tectonique :

- Une tectonique de direction Nord-nord-ouest et Ouest-nord-ouest oblique par rapport aux failles principales des horsts, contrôle fréquemment les "runs " (BOU-BEKER, SIDI-AMAR).

- La minéralisation se localise aussi à proximité des failles mettant en contact Lias et socle, Lias et Callovien, ou n'affectant que le Lias seul.

- La minéralisation se trouve aussi près des zones de broyage et de fractures dans le socle et la couverture ou dans la couverture seulement.

- Elle est aussi dans les zones de glissement et de décollement de la couverture sur le socle, avec broyage et brechification du Lias.

MINERALISATIONS DU BASSIN DU NIARI AU MOYEN CONGO

=====

Cette région recèle de très nombreux indices minéralisés, essentiellement de cuivre, dans des chapeaux de fer parfois radioactifs.

Nous nous contenterons de citer quelques régions où la minéralisation est dans des dolomies (ou des grés arkosiques), et où la galène et la blende ou les deux ensemble, entrent pour une part importante dans la paragenèse.

1. / - Aperçu géologique de la région

Le bassin minéralisé du NIARI constitue une bande Ouest-sud-ouest - Est-nord-est sur la rive gauche du fleuve, en bordure du plateau des Cataractes.

a) Stratigraphie :

G. BIGOTTE propose la stratigraphie suivante (pour les formations plissées de la chaîne congolaise) :

- Série schisto-gréseuse :

- . Série d'Inkisi
- . Lacune et légère discordance
- . Série de M'Pioka
- . Couches continentales intercallées.

Lacune et légère discordance

- Série schisto-calcaire :

- . Couches supérieures S C III
- . Couches moyennes S C II
- . Couches inférieures S C I

Lacune faible.

- Série de la Tillite supérieure du bas-Congo

Lacune et discordance.

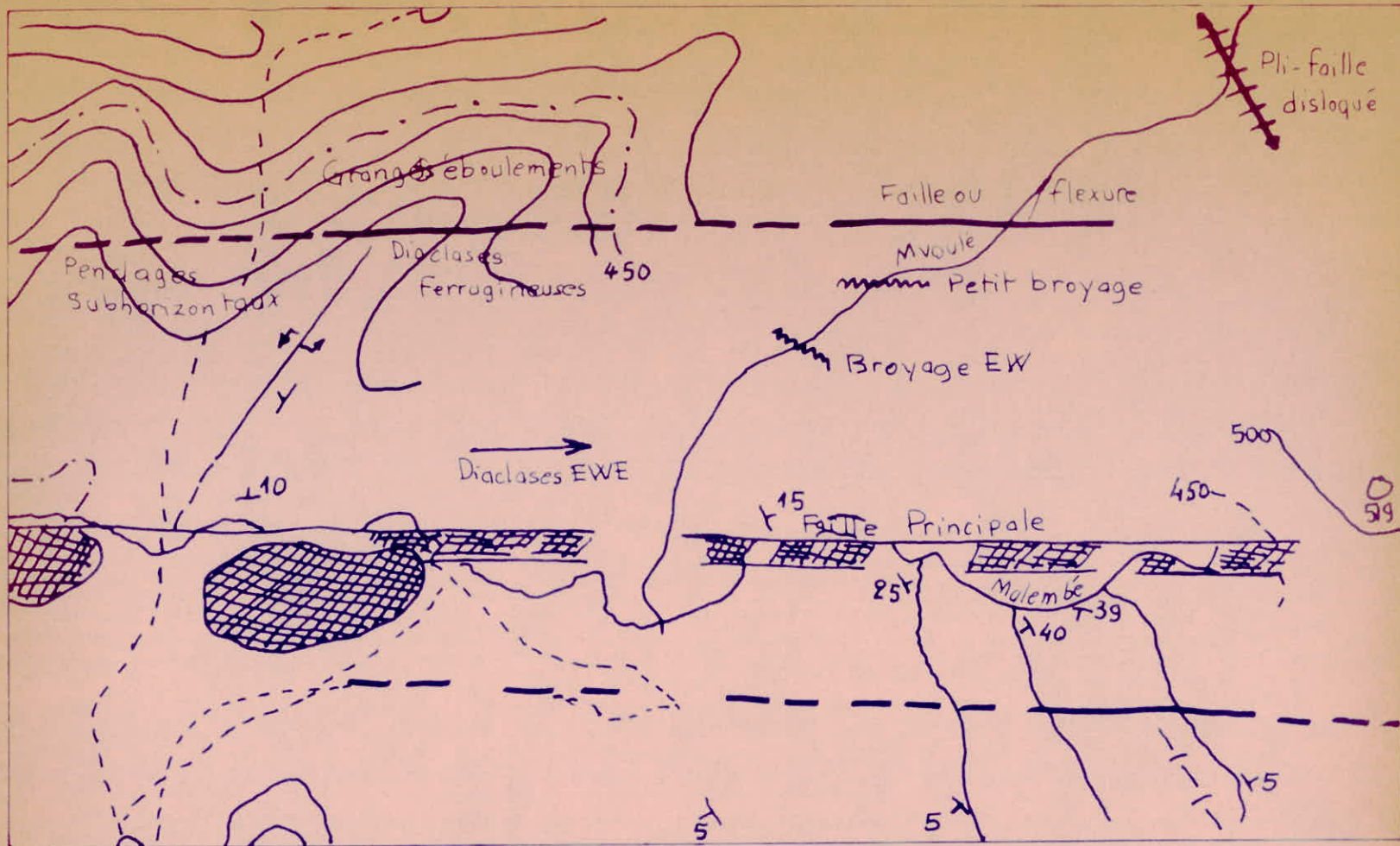
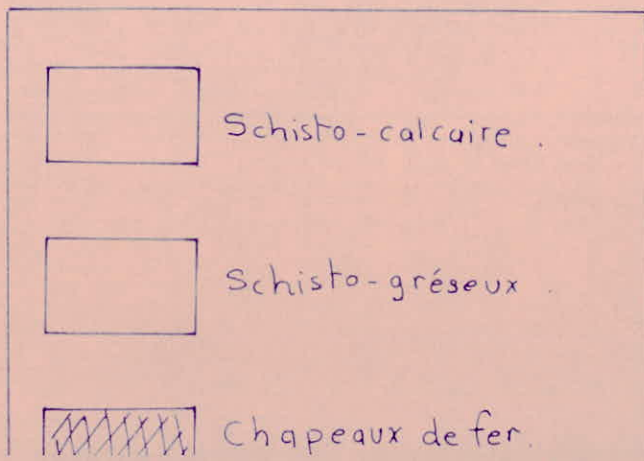


Fig. 17



- série de la Louila.

b) Structure :

Les principales directions tectoniques sont :

- Les failles de direction Nord-ouest - Sud-est : Direction Mayonbienne.
 - La faille de direction Est-nord-est - Oues-sud-ouest, appelée aussi faille principale: direction Combienne.
 - Les failles de direction Nord-sud : direction subméridienne.
- c) La direction cambrienne est jalonnée de minéralisation.

B / - La Grande Mine de BOKO - SONGO

1°/ - Roche encaissante :

La minéralisation est localisée dans les couches des dolomies massives des terrains du schiste calcaire.

Sur la coupe, ce sont les dolomies massives compétentes du milieu du Schiste calcaire II.

2°/ - Paragenèse :

Minerai : Galène

Blende

Pyrite

Hématite

Limonites

Divers minerais de cuivres.

Gangue : Dolomie

Calcite

Quartz.

Coupe N34°W à la grande mine

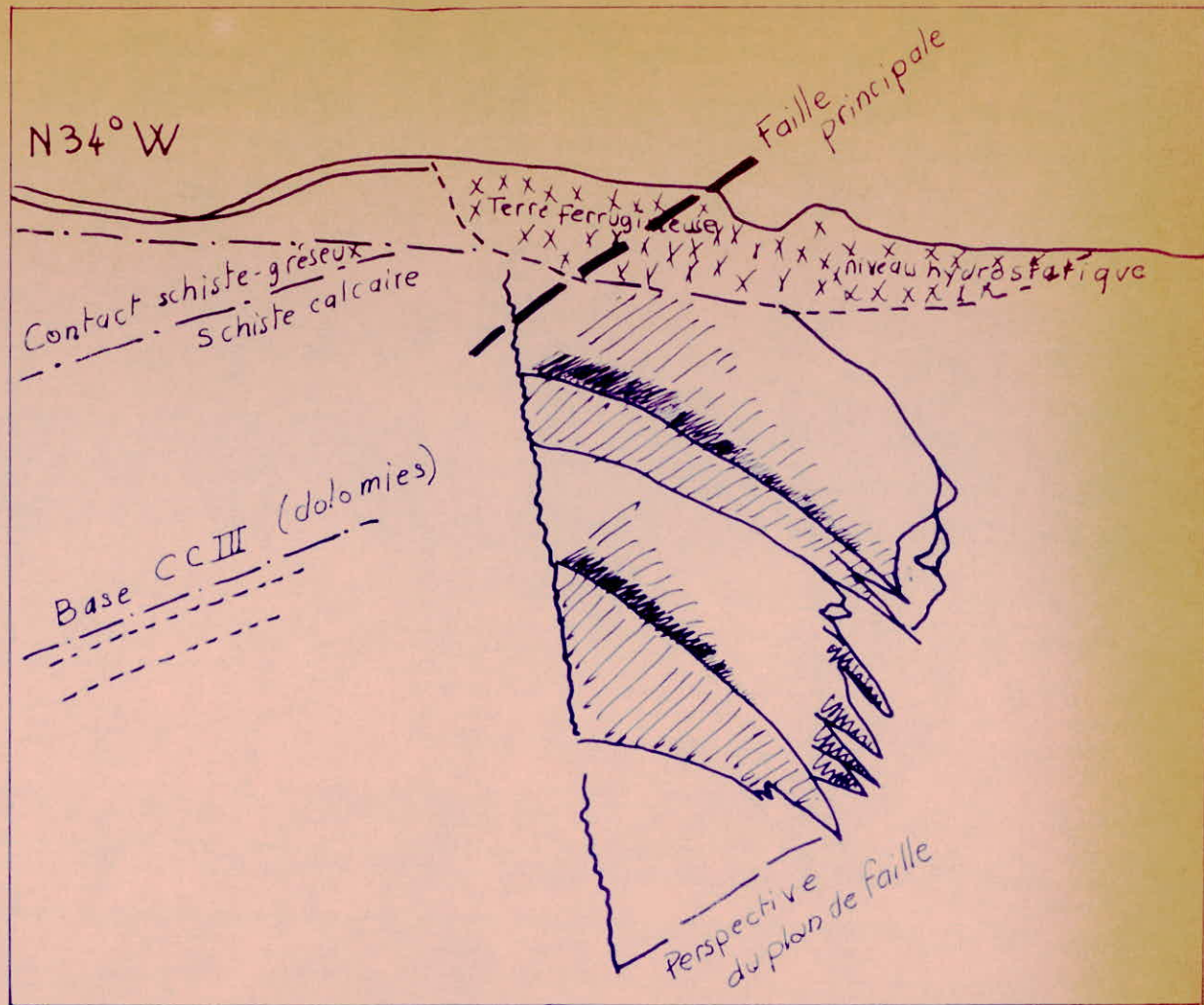
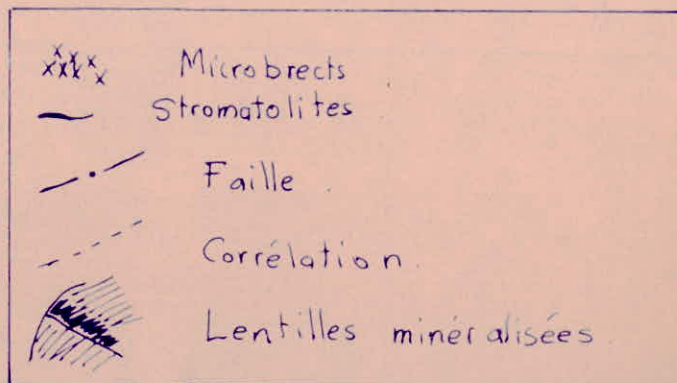


Fig-19



3°/ - Morphologie des gîtes :

Schématiquement, on^a des sortes de demi-lentilles :

- Elles se prolongent vers le sud par des apophyses plus ou moins étroites.
- Des failles satellites peuvent les redoubler ou altérer leur forme.
- Elles sont limitées^{le} en extension parallèlement à la faille principale.
- Elles se composent :
 - . d'un noyau essentiellement sulfuré,
 - . d'une zone limonitisée, d'épaisseur variable, se développant dans les petites cassures et surtout près de la grande faille.

C / - Mine de M'PASSA :

1°/ - Roche encaissante :

La minéralisation est dans les dolomies massives de la partie supérieure du Schisto-calcaire, au contact du Schisto-gréseux.

2°/ - Paragenèse :

Minerai : Essentiellement cuprifère au Sud.

Au nord, blende et galène dominant (rapport de 1 à 3).

Il y a un grand nombre de minéraux dont la liste n'est pas encore complète.

Beaucoup d'oxydés.

Gangue : Dolomie encaissant les minéralisations

Calcite

Quartz.

Coupes schématiques dans le gisement de M'Passa

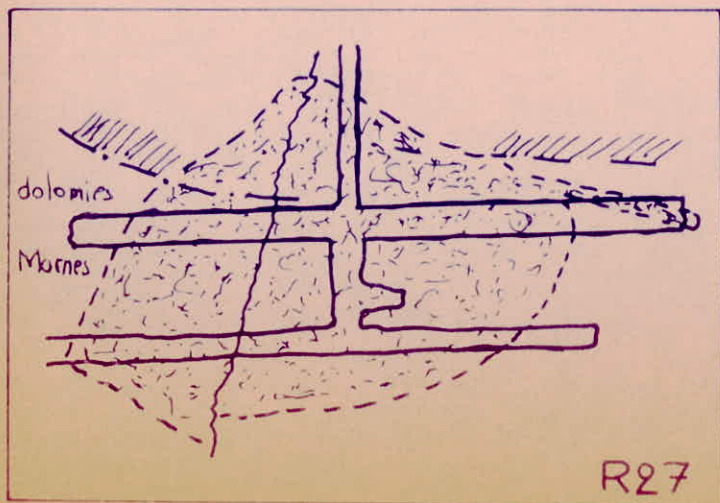
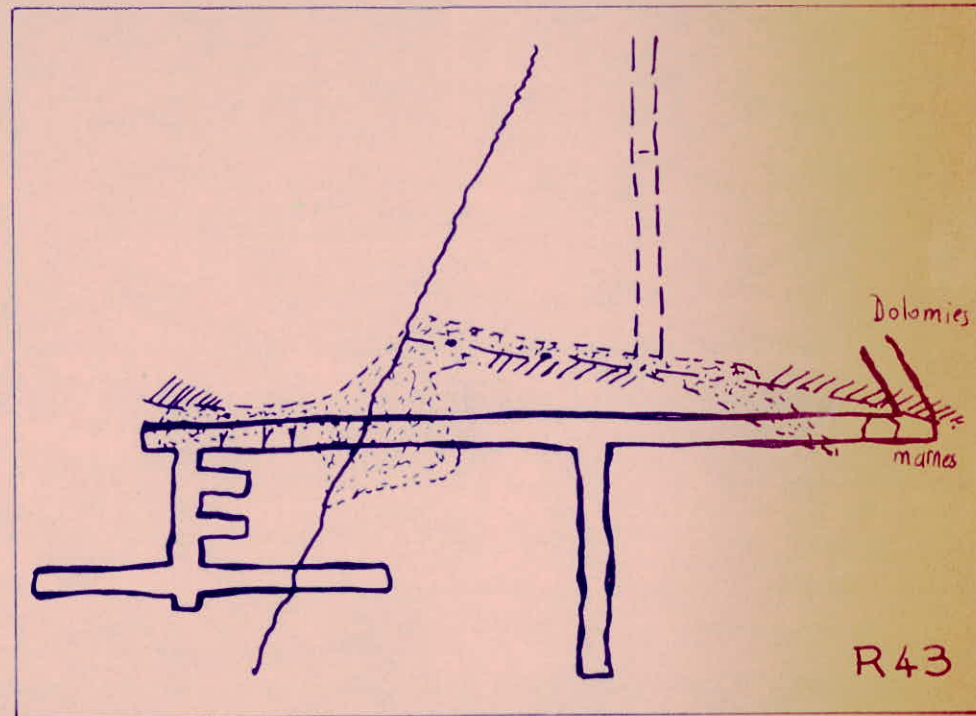
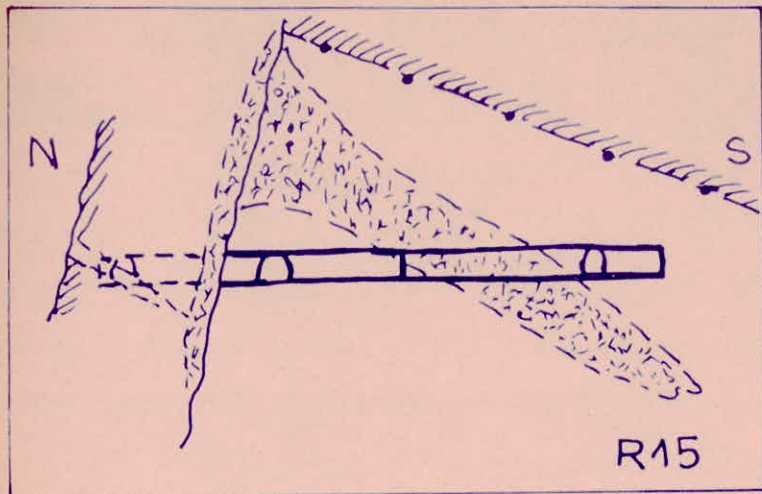






Fig-20

-  Minerai
-  schisto-gréseux
-  schisto-calcaire
-  Faille
- R43 : N° de la galerie.

3°/ - Morphologie des gîtes

- l'ensemble constitue une lentille allongée OSO - ENE de forme irrégulière avec des apophyses étendues à peu près parallèlement

- c'est un ensemble non homogène. On le divise en deux parties :

a/ les minéralisations sulfurées intactes, à l'Ouest

b/ la zone oxydée, altérée à l'Est.

- la minéralisation se concentre le long des failles, ou fractures, dans leur compartiment Sud.

D/ - Contrôles de ces minéralisations

1°/ - Contrôle stratigraphique

Dans les deux cas, la minéralisation est dans la série du schisto-calcaire (schisto-calcaire II)

2°/ - Contrôle lithologique

Ce sont des dolomies massives qui encaissent les minéralisations. Le calcaire disparaît au profit des dolomies au voisinage du minerai.

3°/ - Contrôle structural

La faille principale contrôle et limite les minéralisations :

- à BOKO-SONGO : les concentrations sont limitées en extension parallèlement à la faille

- à M'PASSA : les concentrations sont dans le compartiment Sud des failles et fractures (satellites de la grande faille).

4°/ - La géologie de la région était très bouleversée, il est difficile de parler de contrôle paléogéographique, des minéralisations.

(CHAPITRE III
=: : = : : = : : = : : = : : = : : =

//-) PPROCHE DU PROBLEME GENETIQUE
=: : = : : = : : = : : = : : = : : = : : =

LES HYPOTHESES GENETIQUES ET L'AIDE
QU'ELLES PEUVENT APPORTER A LA RECHERCHE

--:--:--:--

Dans l'étude des exemples de gisements, nous n'avons pas parlé de problème génétique, car deux grandes théories s'affrontent quant à la gènesse des gîtes stratiformes : le syngénétisme et l'épigénétisme. Une nouvelle théorie, celle de la "régénération" y est récemment venue s'ajouter.

Les mêmes observations peuvent le plus souvent s'interpréter aussi bien dans l'une que dans l'autre des théories. Par conséquent, elles semblent, à priori, équivalentes du point de vue de la recherche. Malgré tout, on peut penser que la recherche sera envisagée différemment, selon que celui qui la dirige est un tenant de l'une ou de l'autre des hypothèses.

Aussi donnerons nous uniquement les grands principes de chaque théorie, spécialement ceux susceptibles d'orienter la recherche.

I - Hypothèse épigénétique.

1°/ - Généralités

On peut considérer dans un processus métallogénique élémentaire, l'origine, le mode et le moteur du transport, le dispositif de concentration, et le mode de dépôt. Un processus métallogénique correspond à une phénomène géochimique qui peut donc se décrire de la façon suivante : de la matière est mobilisée dans une certaine zone, transportée dans un certain volume et finalement déposée ailleurs.

2°/ - Hydrothermalisme et Epigénétisme (d'après H. PELISSONNIER).

a/ - Le mode de transport : la minéralisation circule sous forme de solutions diluées (tubes de courant).

b/ - Le moteur du transport :

- Hydrothermalisme : les solutions viennent des profondeurs. Les mouvements orogéniques seraient à l'origine de cette ascension.

- Epigénétisme : pour les gisements de plomb et de zinc, c'est la pesanteur qui joue un rôle.

c/ - Le dispositif de concentration : pour qu'il y ait concentration il semble nécessaire que les "tubes de courant" présentent un étranglement et que d'autre part les dépôts se fassent au voisinage de l'étranglement (voir schéma). L'étranglement type serait une structure centrée, crevée, pour que les solutions puissent passer. Cette structure peut être soit une paléinsule (voir schéma) soit une structure volcanique centrée, soit aussi une simple faille.

d/ - Le mode de dépôt : il y a deux possibilités :

- Une sursaturation provoquée par la dépression brutale des solutions remontantes.

- une réaction chimique, des solutions, sur les roches encaissantes, en particulier sur certaines roches carbonatées, surtout les dolomies.

e/ - Processus : on peut établir une analogie avec un circuit électrique : générateur-conducteur-récepteur.

- Hydrothermalisme :

Le générateur serait un phénomène orogénique

Le fil conducteur serait constitué par les failles.

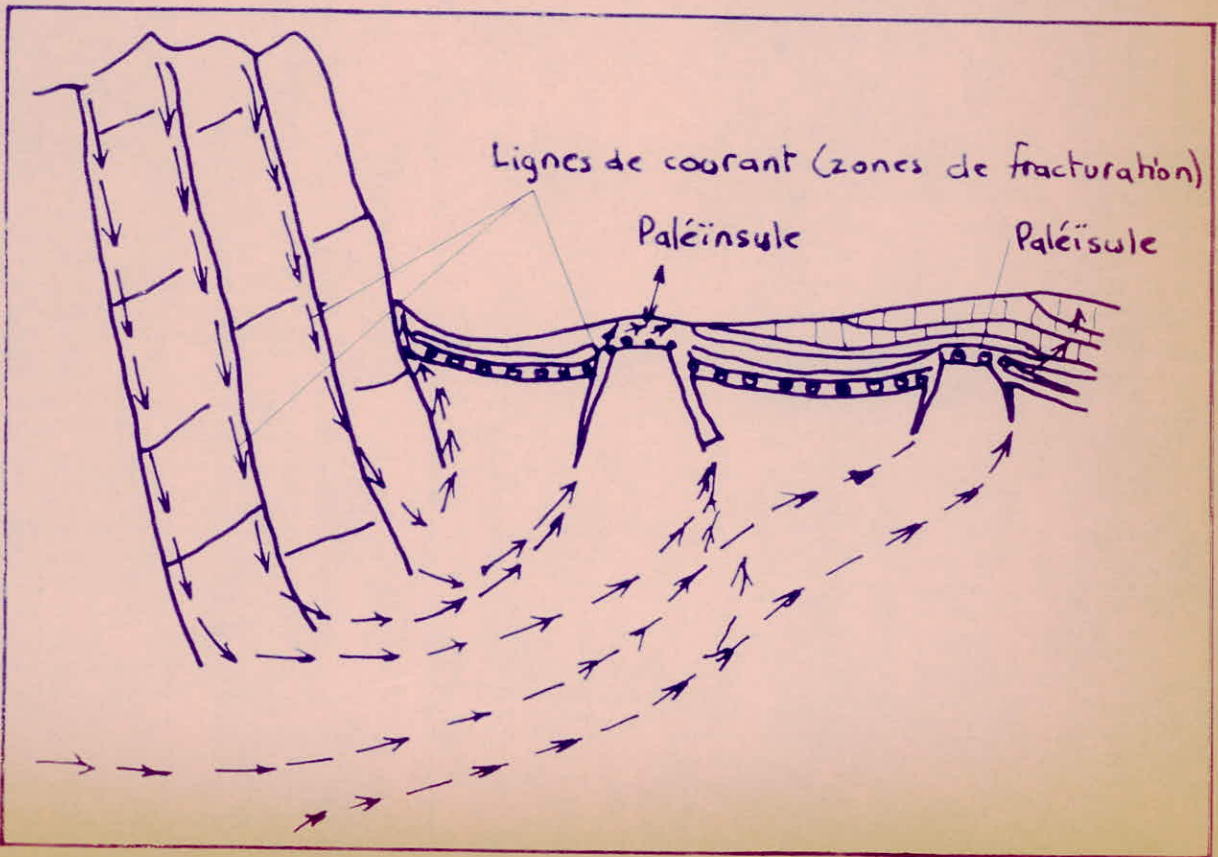
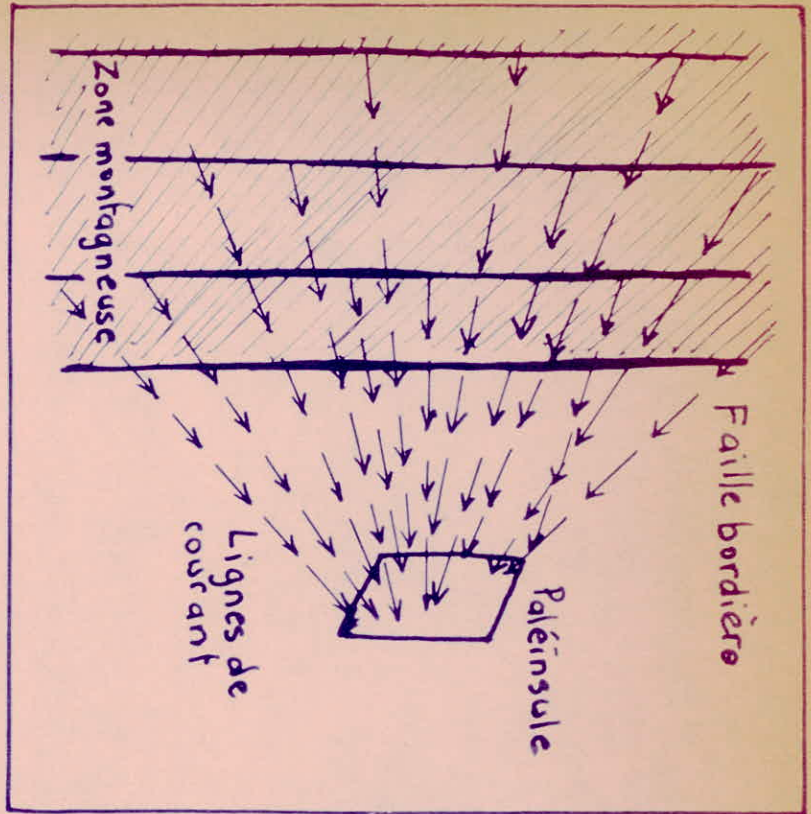
Le récepteur serait la couche de dolomies favorables.

- Epigénétisme :

. Le générateur serait ici la pesanteur

Fig. 22

↑ Coupe.



Exemple schématique de dispositif hydrothermal
(d'après H. Pélissonnier)

c'est-à-dire une différence de niveaux, importante entre le point d'entrée et le point de sortie des solutions : d'où le schéma avec juxtaposition d'une chaîne de montagnes, et d'une structure centrée.

. Le fil conducteur, serait d'abord le réseau des fissures qu'un massif montagneux normalement tectonisé possède, et ensuite le trou à travers l'écran qui entoure la structure centrée.

Ainsi la circulation peut-elle s'établir suivant les lignes pointillées du schéma et ce d'autant mieux que la pluviosité est plus importante en altitude, sur les zones de relief.

Le schéma en plan fait ressortir la convergence des lignes de courant sur la structure centrée, convergence nécessaire à la concentration (étranglement).

- Le cas le plus général serait probablement celui de l'hydrothermalisme.

3°/ Point de vue de la recherche

De ce schéma on peut tirer certaines précisions sur la position des structures positives :

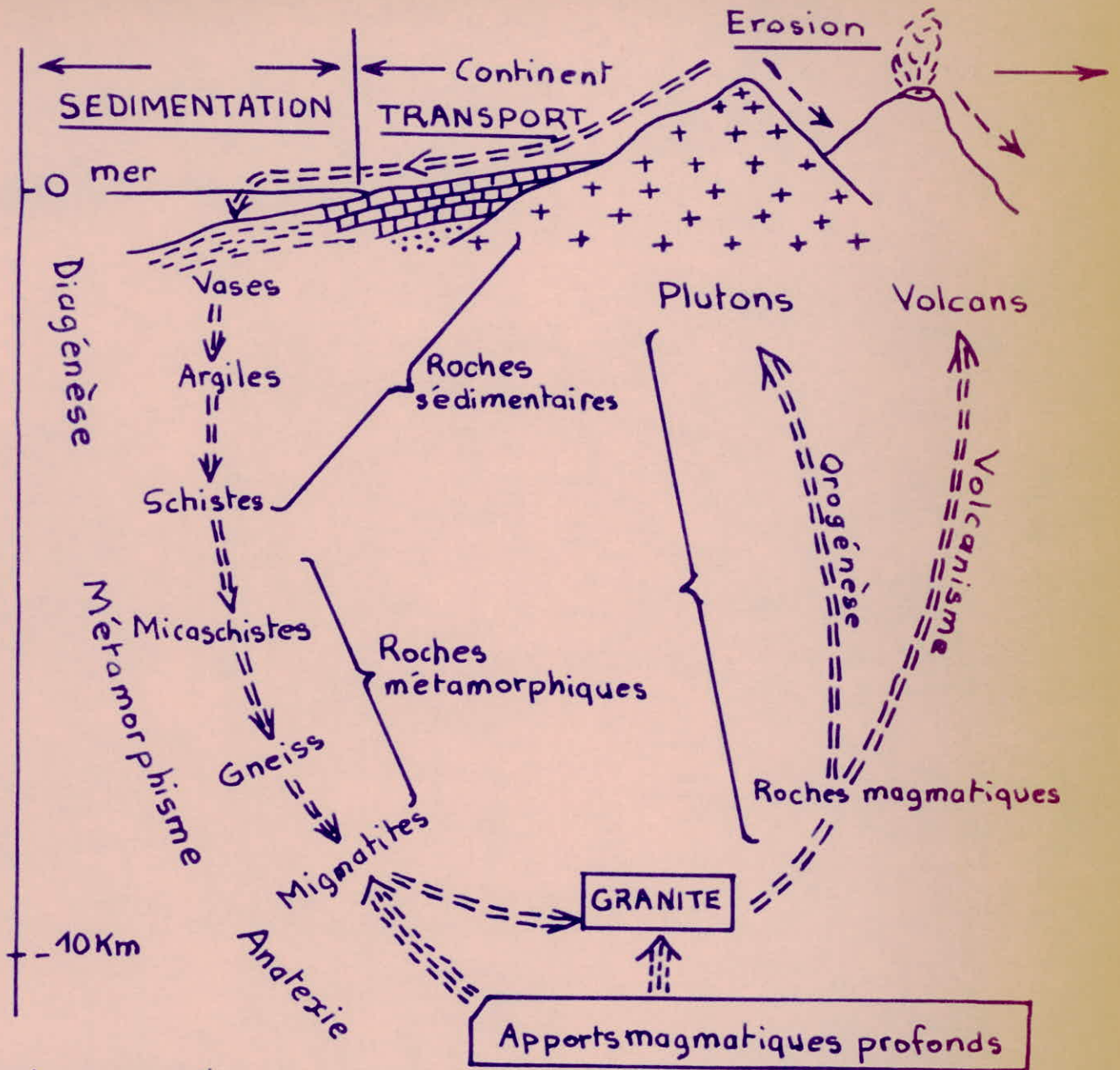
- quand la structure s'ennoie latéralement et longitudinalement, on obtient, la structure centrée nécessaire (fait assez visible)

- le voisinage d'un massif montagneux est favorable.

Deux cas peuvent se présenter :

a/ - La structure centrée est crevée : les solutions peuvent la traverser et déposer leur contenu métallique. S'il y a deux structures, les solutions choisiront celle qui correspond aux plus faibles pertes de charges, c'est-à-dire celle la plus proche du massif montagneux.

ESQUISSE DU CYCLE GEOCHIMIQUE DANS LA LITHOSPHERE



Esquisse du cycle géochimique dans la lithosphère:

Le granite, forme d'équilibre des éléments de l'écorce terrestre à une profondeur de l'ordre de 10 kms, devient métastable à l'affleurement et vulnérable sous l'action des agents d'érosion.

b/ - La structure centrée n'est pas crevée : pour peu que d'autres conditions soient réunies, on aura intérêt à la prospector pour le pétrole.

II - Hypothèse synœnétique (d'après A. Bernard)

1°/ - Les phénomènes concentrateurs :

a - Les concentrations exploitables sont obtenues à partir des teneurs crustals de la géochimie, suivant un processus géologique banal : la succession chronologique des phénomènes géologiques est schématisée dans un cycle (voir schéma).

b - La surface d'érosion, considérée comme discontinuité du cycle, est prise comme origine géométrique de la concentration : il y a en effet une coupure très brutale dans l'état de la matière.

On aurait ainsi :

- un processus pédologique très puissant, du à l'érosion qui provoque des remaniements d'envergure mettant en oeuvre des millions de tonnes de matière (exemple des latérites)

- un processus sédimentaire : la différenciation sédimentaire semble particulièrement intense en milieu épicontinental.

2°/ - La série virtuelle normale (d'après Augustin Lombard).

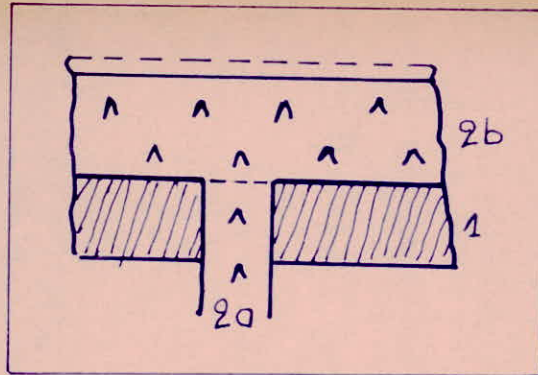
La distribution des différentes strates dans l'espace, n'est pas purement aléatoire, mais suit une règle séquentielle très générale qu'on appelle "série virtuelle type".

Cette série serait ainsi constituée : (voir schéma).

(1) détritiques grossiers

(2) détritiques fins : arénites (a) et arénites phylliteuses (b)

(3) colloïdes : argilites détritiques (a) et matières organiques, argilites de néoformation (b) présentant éventuellement des lentilles du terme suivant

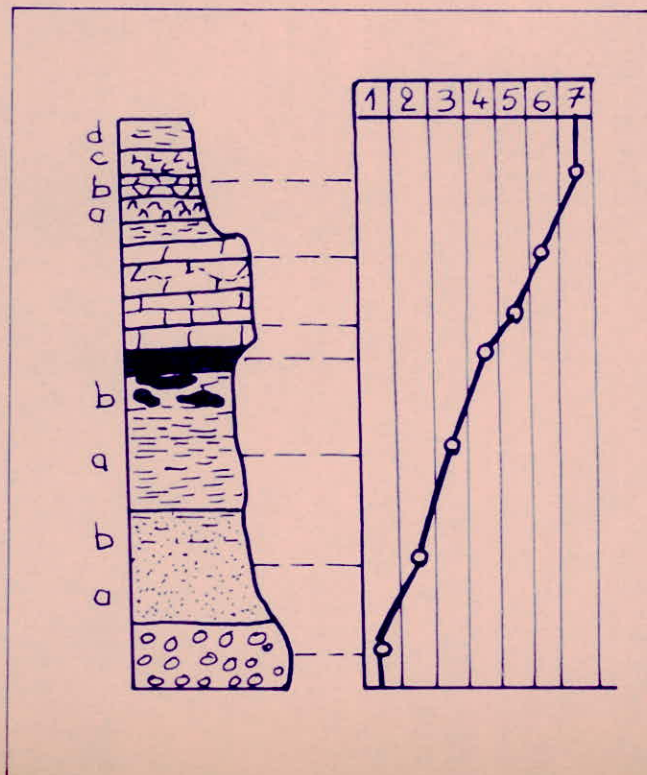


Disposition en faveur d'une origine syngénétique

1 : Minéral.

2a : Roche recoupant le minéral, mais non son toit.

2b : Roche du toit du minéral (semblable ou non à 2a).



Série virtuelle générale

d'après A. Lambard (1956)

Fig-23

(4) méta-génétique : fer, phosphates, charbon ...

(5) précipités carbonatés : calcaires

(6) précipités carbonatés magnétiques : dolomies diagénétiques

c'est le domaine du dépôt du plomb et du zinc

(7) précipités salins : sulfates (anhydrites, gypse) (a) ; dolomies syngénétiques (b) ; chlorures (c) mêlés à des argilités souvent bariolées (d).

L'évolution séquentielle ainsi figurée est dite positive.

3°/ - Point de vue de la recherche

De cette hypothèse il découle que le cadre géologique idéal serait :

"un environnement où la différenciation sédimentaire serait suffisamment intense pour hypertrophier la tendance différenciatrice des sols du continent voisin, source des dépôts. Ceci se rencontre en milieu épicontinental".

Les rivages, la périphérie des hauts fonds (c'est-à-dire des reliefs émergés) seraient particulièrement favorables. (analogie avec la structure paléinsulaire de l'hypothèse épigénétique).

Il ressort aussi de cette hypothèse que l'étude sédimentologique devrait permettre de savoir si telle ou telle région est favorable à la présence des minéralisations.

Pour l'affirmative, cette étude devra mettre en évidence :

- des faciès de "rivières" des roches (faciès épicontinentaux)

- des zones d'instabilités positives donnant lieu à des

"biseaux stratigraphiques" successifs (voir schéma de "biseau stratigraphique") et à des lacunes.

III - Conclusion sur la genèse des dépôts stratiformes de plomb et de zinc

La géochimie devrait permettre de lever l'indétermination entre ces deux théories, notamment en ce qui concerne le rôle des failles. En effet :

1°/ - Epigénétisme : les accidents sont des accidents "nourriciers" qui auraient alimenté les dépôts de minerai (à partir d'une source superficielle ou profonde). Par conséquent les teneurs devraient montrer une tendance générale à la décroissance quand on s'éloigne transversalement des accidents.

2°/ - Syngénétique : les accidents seraient des accidents pièges. Par conséquent l'anomalie positive de la concentration doit être suivie par une anomalie négative correspondant au lessivage de l'accident par les solutions d'infiltration.

((H A P I T R E I V
= : : : : : = : : : : : =

- / Caractères des gites stratiformes
- / Gides pour la recherche

CARACTERES GENERAUX (COMMUNS) DES GITES

STRATIFORMES

I - Définition de la couverture et du socle :

1°/ - On entend par couverture les terrains sédimentaires de recouvrement d'un socle. Dans le cas des gîtes stratiformes de plomb et de zinc, ce sont les couches dolomitiques (éventuellement calcaires et beaucoup plus rarement gréseuses ou à argilites) de la couverture qui contiennent la minéralisation.

2°/ - On entend par socle ou soubassement :

-/ une formation sur laquelle reposent les couches minéralisées et présentant avec les terrains de couverture l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes :

* une très forte discordance

* une tectonique très différente : un socle a en général une tectonique cassante (rigidité) alors que la couverture a une tectonique souple (plissement).

Ce qui implique pour la lithologie d'un socle, une très grande variété : en pratique toutes les roches cristallines et métamorphiques et quelques types de roches sédimentaires.

3°/ On parle d'"effet socle-couverture" chaque fois qu'une couverture est discordante sur un socle.

II - Relations avec la minéralisation

A) Relation entre "effet socle-couverture" et minéralisation

A priori, il est difficile de prévoir, si un effet socle-couverture, sera favorable ou non à la minéralisation.

Cependant l'observation et l'extrapolation des données de surface, à petite échelle, permettent de se servir de cette notion de socle et de couverture comme guide.

B) Relations entre socle et minéralisation

1°/ - Nature lithologique du socle et minéralisation

Ces relations ne s'en tiennent qu'aux concentrations importantes. Il semble ainsi que :

a) il existe une relation entre socle granitique et plomb.

Exemple des gisements de : Largentière, Missouri Sud-Est, la Haute Moulaya.

b) un socle schisteux ou cristallophyllien est plus favorable à une minéralisation à dominante zincifère.

Exemple du gisement de Touissit-Boubeker (il ya aussi du granit).

Cependant un socle est rarement exclusivement granitique ou non granitique.

2°/ Relations entre tectonique du socle et minéralisations.

On distingue deux sortes de déformations du socle :

a) les déformations cassantes par une épirogénie violente, qui comportent une tectonique en horsts et grabens.

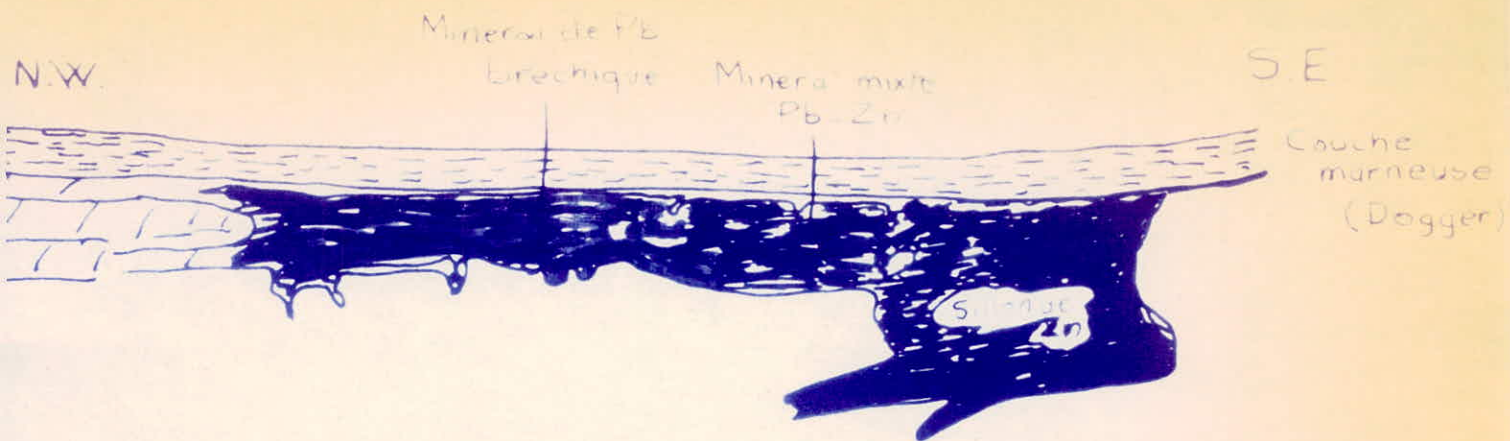
Elle existe souvent sous les gîtes stratiformes.

b) les déformations par bombements : la diminution d'intensité des mouvements verticaux donne une déformation du socle à grands rayons de courbure.

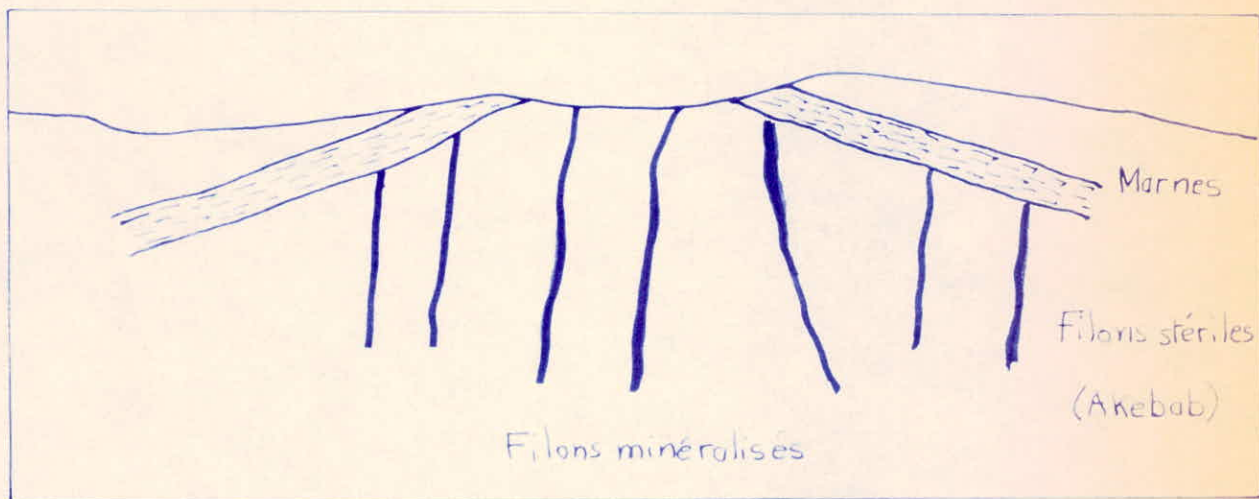
Ces notions nous permettent de définir pour la recherche deux échelles :

* une échelle régionale : on constate l'existence de grandes structures positives qui ont joué à une époque donnée sans que la localisation des gisements dépende de la configuration de ces déformations, plutôt que de leur seule proximité.

Il s'agit souvent des déformations souples de la surface du



Coupe schématique du sillon zincifère de Timsit, montrant sous l'écran marneux du Dogger, la zonalité du SE au NW.



Position schématique des filons du plateaux d'Akebab, par rapport aux écrans imperméables avant l'érosion.



Fig. 25

socle. La qualité pétrographique de ce dernier interviendra probablement pour fixer la dominante métallifère du gisement à venir.

* une échelle locale où la tectonique cassante est un critère majeur pour la localisation directe du gîte.

C) Relation entre couverture et minéralisation

1°/ - Relations entre nature lithologique de la couverture et les minéralisations.

En général, il semble que :

- dans les roches carbonatées, on ait du zinc, du plomb et éventuellement du cuivre.

Exemple de Tri-States, de Boubeker

- dans les grès (et les conglomérats), on ait du plomb, du cuivre, de l'argent, éventuellement du manganèse.

- dans les argilites, on ait de la pyrite, du cuivre, du zinc, ainsi que du plomb (non négligeable localement)

Exemple des Kupferschiefers

2°/ - D'autres roches si elles ont été fracturées peuvent être minéralisées. Plusieurs notions sont ainsi émises :

a) la notion de roches différentiellement plus perméables dans la série sédimentaires, et plus faciles à imprégner

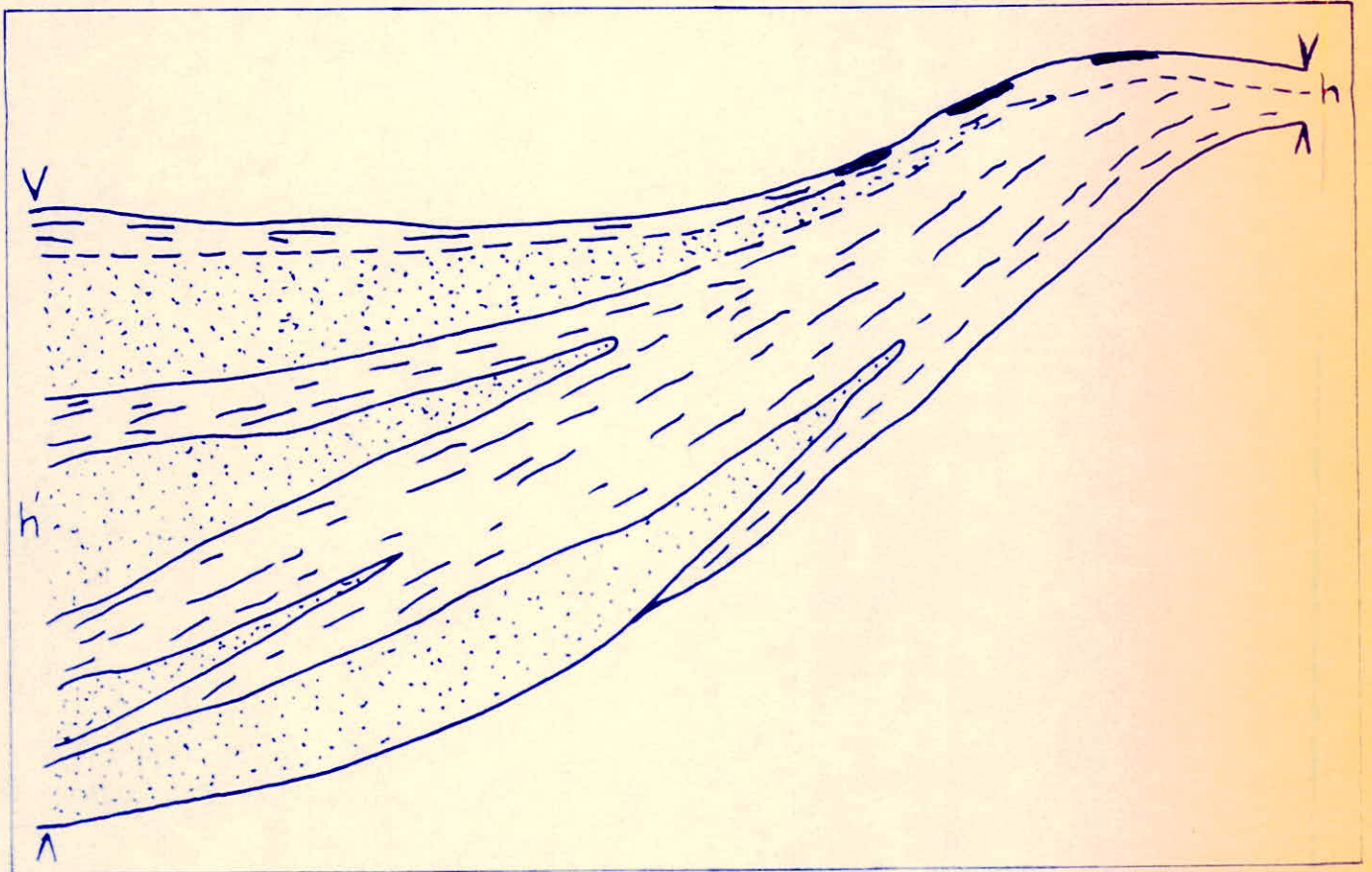
b) la notion de roches "structurées" qui seraient de bons réceptacles (exemple de Fouissit - Boubeker)

c) la notion d'"écran imperméable" (généralement marneux) (voir schéma)

III - Distance des horizons magasins par rapport au socle, et morphologie des corps minéralisés.

1°/ - Il semble que ce soient les premières séries transgressives carbonatées (dans la plupart des cas) qui sont toujours intéressantes, particulièrement sur le "top" et sur les flancs des

Biseau "stratigraphique"



Notion de concentration sur un biseau de réduction dû à une quantité égale de métal en h' et h , et peut-être même plus élevée en h qu'en h' en raison du pouvoir adsorbant des formations sur le haut-fond.

structures positives (dans un socle).

2°/ - Il semble aussi que plus on monte dans une série stratigraphique plus on rencontre des discordances et plus les zones minéralisées s'éloignent horizontalement du "top".

3°/ - La plupart des minéralisations se trouvent dans des séries dolomitiques, peu épaisses. Dès que la série devient plus épaisse, les gisements deviennent beaucoup moins riches et beaucoup plus disséminés.

4°/ - Les corps minéralisés revêtent la forme de "runs", d'amas stratoïdes, de couches.

IV - Cadre géologique des gisement stratiformes (structure type).

Dans la plupart des cas nous avons trouvé la minéralisation :

a) aux alentours d'un dôme du socle :

- soit uniquement sur les flancs du dôme (le plus souvent)

- soit sur les flancs et sur les "tops" (beaucoup plus rarement)

b) dans des couches (dolomiques) présentant des variations d'épaisseur assez rapides.

On retrouve donc le schéma paléogéographique suivant :

- des zones d'instabilité positive, ayant joué à une certaine époque : hauts fonds permettant la mise en place de biseaux stratigraphiques souvent séparés par des lacunes (voir schéma).

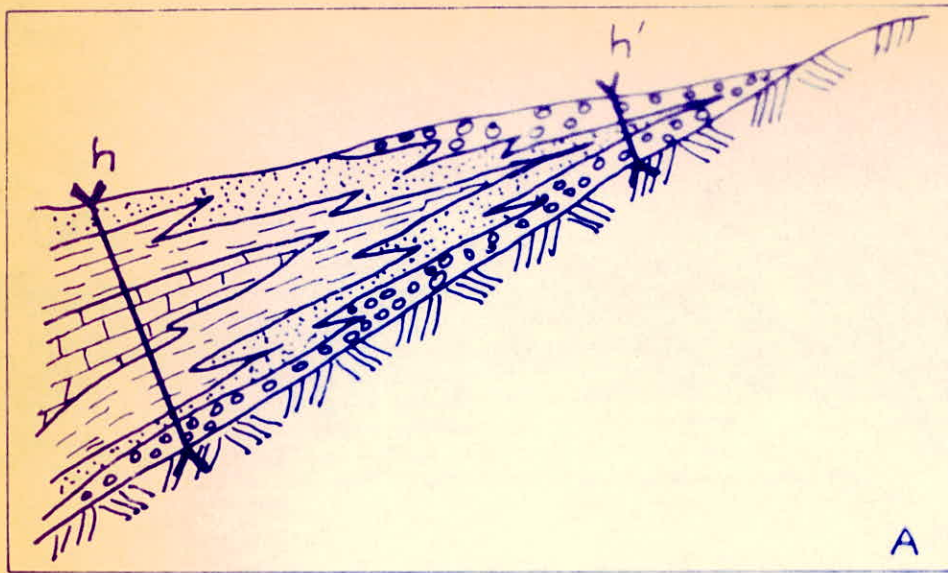
- les faciès rencontrés seraient donc des faciès épicontinentaux liés aux transgressions.

P.S. : cette structure correspond à la "structure centrée, crevée" ou structure paléinsulaire.

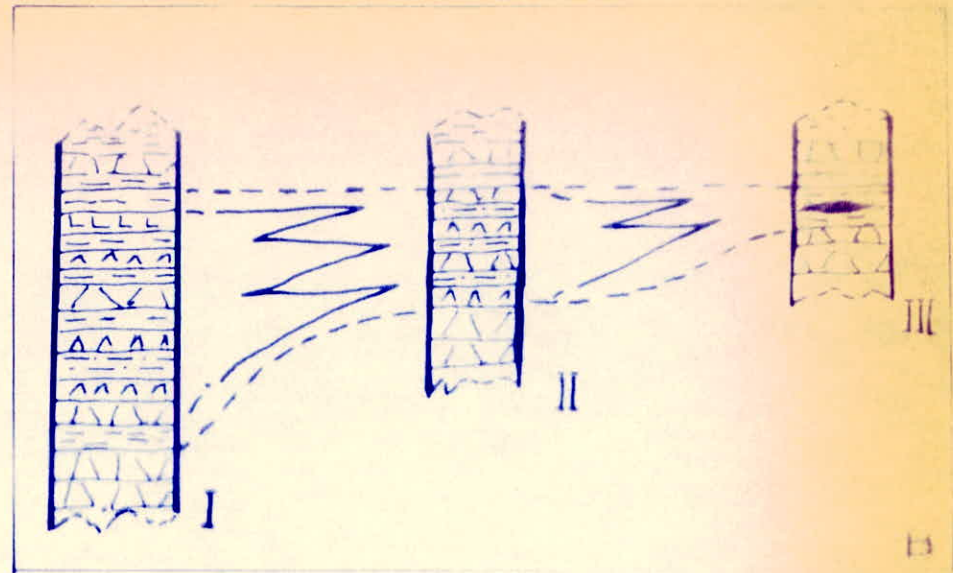
Signalons que les gîtes stratiformes sont parfois associés à des filons qui recourent, soit les strates, soit le socle.

Biseaux de rivage et biseaux de hauts fonds

On utilise ici la série virtuelle de A Lombard

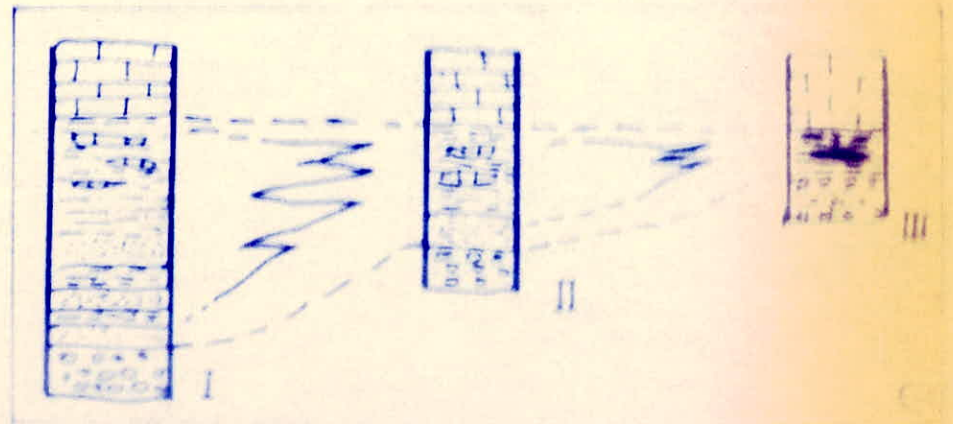


(A) Cycle côtier transgressif puis régressif. Remarquer que la série h n'est pas condensée en h', mais réduite.



(B) Différenciation latérale de bassin (I) en haut fond (III) en milieu évaporatif qui a tendance régressive

Fig. 26



(C) Différenciation de bassin (I) en haut fond (III) en milieu gres-argileux qui a tendance transgressive

(voir en annexe les minéralisations plombifères de la Haute Moulaya).

On peut en déduire, la possibilité de présence de gîtes stratiformes quand on a un effet socle-couverture, dans une région où on connaît des filons.

Les mêmes contrôles paléogéographiques se rencontrent dans les minéralisations en galène de type "Red-Beds).

Exemple le gisement de Largentière dans l'Ardèche en France.
(voir aussi en annexe).

0 0 0

GUIDES POUR LA RECHERCHE D'AUTRES

GISEMENTS

I - à l'échelle régionale :

On recherchera les structures favorables, c'est-à-dire les dômes du socle, de la région à prospector.

- la connaissance de la paléogéographie de la région ou du pays, permet d'orienter sérieusement cette recherche (anciennes chaînes de montagnes ayant pu être des hauts fonds, anciens rivages..)

- les grands accidents peuvent avoir joué le rôle de sillons à une certaine époque. Ils permettraient la localisation d'anciennes chaînes montagneuses.

Ceci pour une région où on connaît l'existence de couches favorables (dolomitiques ou éventuellement calcaires ou gréseuses) et où existe un effet socle-couverture.

II - à l'échelle locale

Une fois un dôme localisé, les failles secondaires et les zones broyées en bordure de ce dôme (éventuellement sur le "top" de dôme) constituent des guides essentiels. Aussi serait-il intéres-

sant de les localiser.

Pour la recherche dans une mine (ou si en surface on a effectué des sondages) l'étude séquentielle (terrains susceptibles de jouer le rôle d'écran...); l'étude des faciès, les indices et anomalies géochimiques, peuvent apporter des renseignements très importants sur la répartition possible des minéralisations.

Nous verrons dans la partie suivante comment mener cette recherche.

II EUXIEME. P ARTIE

METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

LES CHANCES DE SUCCES D'UNE EXPLORATION :

La recherche minière ayant pour but la découverte de gisements, certains auteurs se sont demandés s'il n'est pas possible de déduire des lois simples de succès d'une exploration. Ils ont été amenés à faire des études statistiques et à définir des probabilités géologiques. Cette étude n'est toutefois pas très convaincante. D'ailleurs/S.G. L SKY d'après
"Celui qui évalue le terrain, devrait être délibérement optimiste et spéculateur, quoique compensant sa spéculation par un exemple rigide des faits et des théories admises..."

G.O SWANSON a proposé la formule suivante :

Chance : profit escomptable X probabilité géologique.

Cependant au stade du démarrage d'une exploration, les données du problème ne comportent pas encore la possibilité d'évaluation réelle d'un profit. Aussi propose-t-on plutôt la formule suivante :

Chance = probabilité statistique X probabilité géologique

1°/ - Probabilité statistique :

Elle ne peut se déduire en début d'exploration en terrain inconnu que de la répartition de la production minière à la surface de la terre. Beaucoup d'auteurs ont essayé et essaient encore de préciser la probabilité statistique de succès dans une région donnée (G.O SWANSON, T. KOULOMZINE, R.V. DAGENNAIS...).

2°/ - Probabilité géologique :

Les calculs qui la précisent ne sont possibles que dans des régions minières suffisamment développées pour offrir un nombre suffisant de cas possibles et de cas probables.

En première exploration elle reste une évaluation imprécise.

3°/ - Les prévisions budgétaires :

Quoiqu'il en soit de la probabilité statistique et géologique, l'élément déterminant de la décision de faire une exploration, sera le plus souvent l'importance de l'investissement estimé nécessaire par cela.

Il est évident que le financier doit se satisfaire d'une estimation sans demander des précisions que le géologue ne pourrait lui fournir en toute certitude.

SUR LA RECHERCHE DE NOUVEUX GISEMENTS
=====

La prospection d'un territoire se propose de répondre aux questions suivantes :

- 1°/ - Quelles substances est-il raisonnable de chercher sur ce terrain?
- 2°/ - Quels types de gisements peut-on espérer y rencontrer ?
- 3°/ - Où peut-on recommander de chercher une substance déterminée?
- 4°/ - Comment la rechercher ?

Pour cela, il est nécessaire de :

- 1°/ - Procéder à une prospection régionale si le territoire est géologiquement vierge.

2°/ - Rassembler une bonne documentation si on est en territoire géologiquement connu.

Notons que la comparaison avec des régions minéralisées voisines, et de constitution analogue exige des précautions. Les corrélations à des distances grandes ou moyennes peuvent-être trompeuses ; même lorsqu'elles s'accompagnent d'indices minéralisés, leur valeur dans la probabilité géologique de découverte est faible. Les processus géologiques qui peuvent différencier des substratums pétrologiquement analogues, sont de nature très diverse.

Dans ce qui suit, on se propose d'étudier comment mener à bien cette recherche pour les gisements stratiformes de zinc et de plomb, en fonction des contrôles que nous avons dégagé dans la partie précédente.

N.B. : - Tous les moyens d'investigation dont il sera question, seront détaillés et justifiés dans l'annexe relatif à cette deuxième partie - .

! CHAPITRE I !
! LA RECONNAISSANCE GENERALE !
!

I - REGION GEOLOGIQUEMENT VIERGE . /

Si on dispose de photos et si la région est difficilement pénétrable, on exécute la photogéologie.

1°) Une prospection de grande reconnaissance, ne peut se contenter d'un seul minéral pour objectif. Aussi utilise-t-on en général dans une première phase, les moyens aéroportés suivants :

a) magnétisme :

- De part la différence des susceptibilités magnétiques entre socle et couverture sédimentaire, il constitue un moyen d'investigation des variations structurales du socle : anticlinaux, synclinaux, horsts, grabens, failles (provoquant un rejet vertical important).

- Dans une mission de reconnaissance, l'interprétation des résultats est uniquement qualitative.

b) scintillométrie :

On remplace actuellement le scintillomètre par un spectromètre, appareil qui sépare les émissions γ d'une part :

- à l'isotope K 40 (granits etc...)
- au thoriom
- à l'Uranium

c) Signalons que dans les régions d'accès difficile, notamment au Canada, on effectue aussi une prospection électromagnétique. Sur l'avion est montée une caméra généralement de 35 mm, ainsi que différents appareils de guidage.

2°) Dans le cas qui nous intéresse, on effectue au sol :

a) la photogéologie :

Il est intéressant de comparer les teintes et la nature de la végétation observée avec les photos de végétation existant au dessus des gisements de plomb et de zinc (stratiformes de préférence).

b) en même temps que le levé géologique, le relevé des indices de Plomb et de Zinc. (On prendra une échelle de 1/50.000°)

c) une prospection de géochimie stratégique, par prélèvements d'alluvions, sans eau (mais non des alluvions sèches), tous les 500 mètres.

d) en faisant ces différentes prospections, on ne manquera pas d'interroger les indigènes des régions.

e) il serait aussi intéressant de se faire expliquer la signification et l'origine des noms qu'ils donnent aux montagnes, cours d'eau

II - EN TERRITOIRE CONNU ./

1°/ Prospection par renseignements

2°/ Examen de la carte géologique au 1/500.000ème :

On choisit les aires contenant ou susceptibles de contenir des dolomies transgressives sur un socle.

3°/ Examen de la carte des indices minéralisés :

On recherche les indices de Plomb et de Zinc dans les dolomies.

4°/ Examen des photos aériennes des régions choisies d'après la carte géologique et la carte métallurgique au 1/50.000ème.

5°/ Consultation des différents documents : rapports, études sur ces régions.

6°/ Campagne de géochimie stratégique, par prélèvements d'alluvions tous les 500 mètres dans ces régions.

III - SELECTION DES AIRES A ETUDIER PLUS EN DETAIL, AU 1/10.000ème ./

1°/ Dans cette phase de reconnaissance, les principaux critères pour sélectionner les régions les plus favorables, sont :

- le contrôle lithologique : la présence de dolomies
- l'effet socle - couverture
- des teneurs anormales en Plomb ou en Zinc.

La sélection est possible puisque :

a) en région vierge :

- la magnétométrie aéroportée, renseigne sur l'existence ou non d'un effet socle - couverture (ou de failles profondes en liaison, si possible avec la photogéologie - lorsque les photos existent).
- au sol, les levés géologiques, les relevés d'indices en Plomb et Zinc, et les prélèvements géochimiques renseignent sur les deux autres critères.

b) en région connue :

L'existence de cartes géologiques, des cartes tectoniques et de cartes métallogéniques, permettant de procéder facilement à cette sélection.

2°/ En plus de la sélection, on essaye d'orienter la prospection semi-détaillée (1/10.000ème) qui va suivre :

Nous avons vu que les hauts-fonds, exercent un contrôle effectif sur les gîtes stratiformes de Plomb et de Zinc, aussi :

a) en région vierge :

On se fera une idée sur la topographie du socle, grâce aux résultats de la magnétométrie. Par ailleurs la photogéologie permet de connaître la tectonique. (Celle-ci est mieux connue, si on a fait de l'électromagnétisme)

b) en région étudiée :

Dans la documentation réunie on étudiera la paléogéographie de la région choisie, et l'on examinera à cet égard si l'on en dispose les cartes gravimétriques et magnétiques intéressant la région.

On peut en définitive avoir :

- une région où l'on soupçonne l'existence de hauts-fonds ayant joué certaine époque : on étudiera la topographie du socle, au 1/10.000ème.

- une région où il n'y a pas de hauts-fonds s'orientera essentiellement vers la recherche des failles et accidents.

! ! !
! CHAPITRE II ! ! !
! RECHERCHE DE STRUCTURES ET ACCIDENTS, ! ! !
! AU 1/10.000 DANS LES REGIONS SELEC- ! ! !
! TIONNEES PRECEDEMMENT ! ! !
! ! !

I - RECHERCHE DES COUCHES INTERESSANTES DE DOLOMIES . /

Nous avons vu que :

- les minéralisations sont dans une couche de dolomies, d'âge déterminé. (contrôle stratigraphique)

- la couche de dolomies la plus proche du socle est généralement la plus favorable.

Seule une étude géologique et une prospection géochimique pourraient déterminer la couche favorable. Aussi effectuera-t-on :

- des levés géologiques : Si la géologie de la région est difficile à étudier, on fera un sondage mécanique.

- des relevés d'indices minéralisés.

- une prospection géochimique, par prélèvements systématiques des sols, éluvions, alluvions suivant une maille de 200 à 250 mètres (par exemple) à l'aplomb des failles, zones de broyage.....

II - DETERMINATION STRUCTURALE . /

L'étude des exemples précédents nous a montré le contrôle effectif exercé par les parties hautes du socle et les failles sur les minéralisations.

1°/ Recherche des protubérances du socle

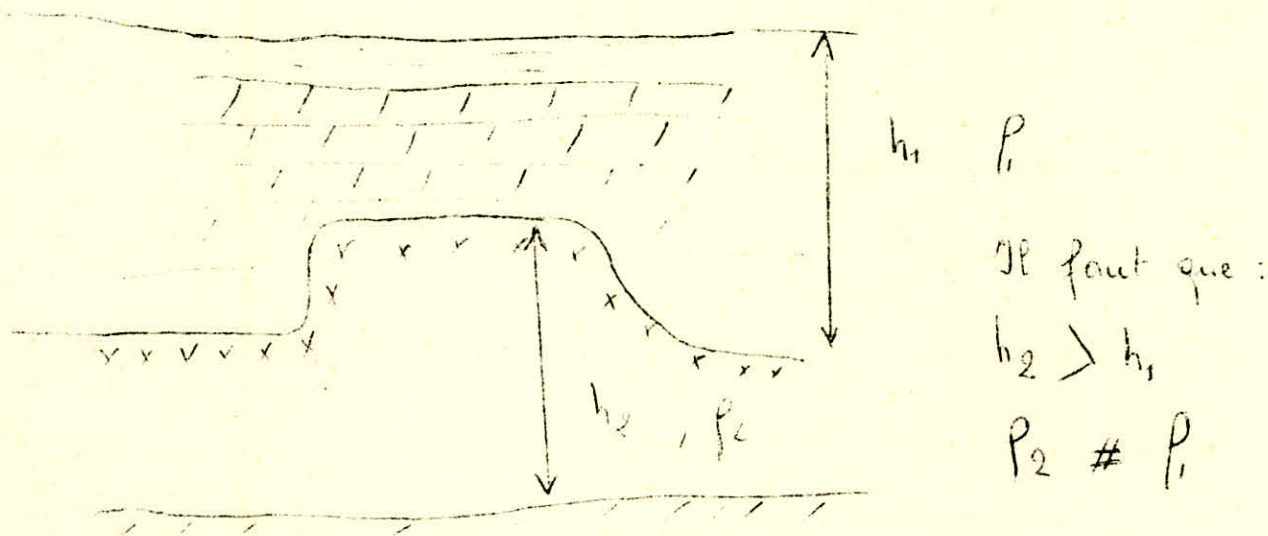
Exemple des gisements de Missouri Sud-Est (U.S.A.) de Boubekeur (Maroc), des Malines (France), où les minéralisations sont contrôlées par des protubérances (les concentrations de minerai sont périphériques).

On les détectera par :

a) Un examen géologique, et notamment l'étude paléogéographique de la région.

b) Une étude gravimétrique, qui permettra d'étudier le relief du socle et nous renseignera donc sur l'existence de parties hautes. Malheureusement il n'est pas toujours aisé de préciser si une anomalie de gravité doit être attribuée à une cause profonde ou à des perturbations de surface.

c) Ou bien par sondages électriques, Ils nous permettront de déterminer la profondeur du socle, pour autant qu'ils présentent un contraste de résistivité important avec la couverture, et que son épaisseur soit au moins égale à celle de la couverture.



Les sondages électriques pourront ^{donc} être utilisés pour l'étude du relief du substratum.

On peut aussi les utiliser pour compléter les études gravimétriques à une plus grande échelle (1/2.000ème).

2°/ Recherche des failles et accidents ./

Nous avons vu que les minéralisations étaient constamment contrôlées par des failles. Deux cas sont à envisager :

a) Dans la région sélectionnée, il n'y a pas de remontées du socle :

Le contrôle est uniquement par failles : exemple des minéralisation du Bassin du Niari au Congo (de Kherzet Youcef en Algérie).

La détermination de ces failles se fera sur toute l'aire sélectionnée par :

- des levés géologiques,
- la photogéologie : signalons que les photos dont on dispose en Algérie (et ailleurs) sont au 1/25.000ème.
- électromagnétisme au sol : TURAM et contrôle par polarisation induite.

a) Possibilités : Les failles sont conductrices, en général, du fait de leur humidité (circulation d'eaux). Elles seront d'autant mieux, mises en évidence, que le contraste des conductivités sera important puisque nous avons affaire à des terrains carbonatés (dolomies et calcaires).

b) Limitation : Un recouvrement conducteur (d'épaisseur moyenne 50m et de résistivité $10 \Omega/m$) forme un "écran".

L'électromagnétisme ne permet pas la détection de gisements stratiformes de Plomb et de Zinc : il nécessite des corps relativement bon conducteurs, sulfures massifs par exemple, alors que les minéralisations que nous recherchons sont délimitées.

b) Dans la région sélectionnée il y a des remontées du socle : ~~elles~~ contrôlent la minéralisation. Par ailleurs nous avons vu que la répartition des "runs", "couches", étant étroitement liée à des accidents locaux voisins des remontées du socle, et à des zones de broyage.

Exemple des gisements de Tri-States, de Missouri Sud-Est, de Boubekour.

On les détectera par une prospection électromagnétique au TURAM, à l'aplomb et aux abords des remontées du socle.

III - SELECTION DES AIRES A ETUDIER DE FAÇON TRES DETAILLEE, AU 1/2.000ème (et même à plus grande échelle éventuellement).

On étudiera en détail :

- Les aires où l'on a mis en évidence des remontées du socle, aires recouvrant aussi les failles voisines détectées.
- S'il n'existe pas de remontées du socle, on s'orientera vers les aires très fracturées et où existe la couche de dolomie supposée favorable.

CHAPITRE III
ETUDE DETAILLEE POUR LA DETECTION
DES MINERALISATIONS AU 1/2000

I - COMPLEMENT DE DETERMINATION STRUCTURALE ./

De la précédente détection des remontées du socle, il peut subsister des doutes et des imprécisions, notamment avec l'emploi de la gravimétrie.

On lèvera ces indéterminations par de nouveaux sondages électriques aux endroits considérés comme douteux.

Il appartiendra évidemment au chef de mission de décider, s'il faut ou non exécuter ce complément d'étude.

II - DETECTION DES MINERALISATIONS ./

A ./ Par l'étude géologique :

On déterminera avec plus de précision l'allure des courbes, ce qui permet d'établir les courbes prévisionnelles avec plus d'efficacité.

B ./ Par l'étude géophysique :

Deux cas peuvent se présenter :

1° / La couche de dolomies présumées intéressante et subhorizontale :
Missouri, Tri-States, Les Malines...

On effectue à l'aplomb des failles et des remontées du socle,
des mesures de polarisation induite.

2° / La couche précitée s'enfonce (comme à Reocin en Espagne)

a) On peut évidemment étudier l'inclinaison de la couche et la suivre par des sondages mécaniques.

b) Il est cependant plus économique de faire des sondages électriques. Ceux-ci permettent effectivement d'étudier la répartition des bancs dolomitiques interstratifiés avec d'autres terrains, à condition que la résistivité de ces terrains tranche avec celle des dolomies. C'est le cas de certains calcaires aptiens en Algérie.

c) En même temps et avec les mêmes appareils, on effectue des mesures de polarisation induite.

Parmi tous les moyens d'investigation, seule la méthode par polarisation induite est adaptée pour la recherche des sulfures disséminés, à faible teneur.

Malheureusement :

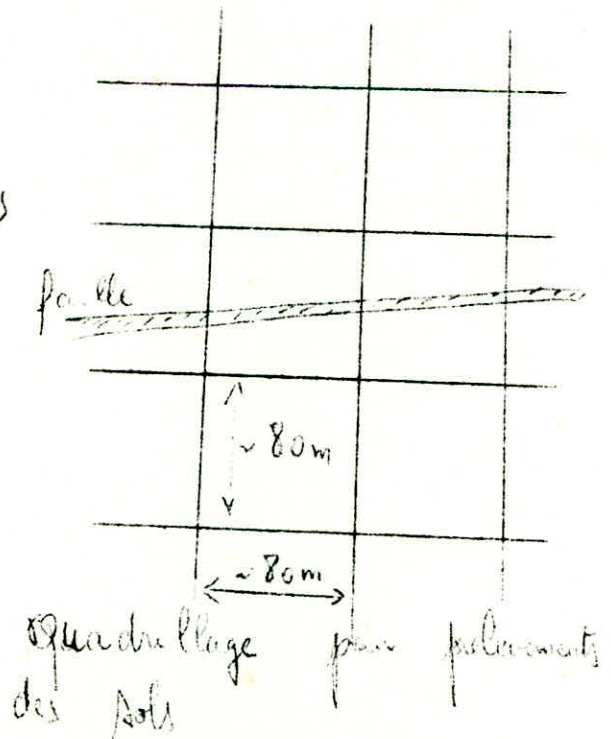
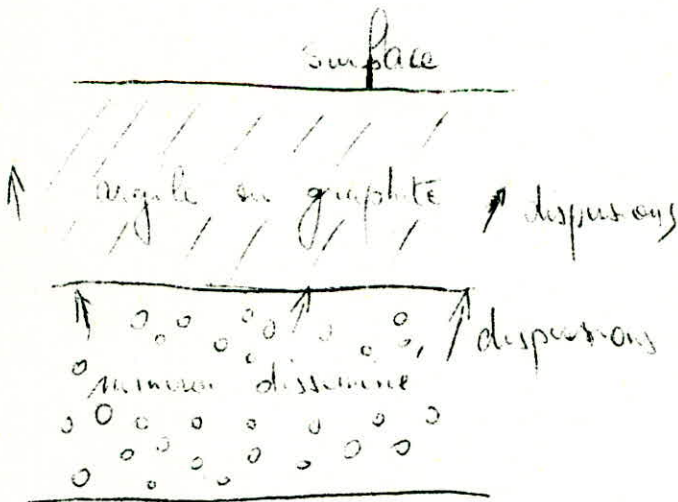
- la présence d'argile,
 - la présence de graphite
- introduisent des ambiguïtés d'interprétation.

Par ailleurs on ne peut pas utiliser efficacement :

- à plus de 200 m de profondeur
- en présence d'un recouvrement conducteur
- si la teneur en galène est inférieure à 3 %.

C. / Par l'étude géochimique.

Nous avons vu les ambiguïtés de l'interprétation qualitative d'une anomalie de polarisation induite. L'étude géochimique permettrait de lever cette indétermination.



A l'aplomb des failles, des zones de broyage et des anomalies de polarisation induite, on fait des prélèvements systématiques des sols (ou des alluvions, éluvions ...) suivant une maille de 50 à 100 mètres. Si le terrain n'a pas de couvert végétal, il est préférable de faire des prélèvements des sols dans des tarières, car l'altération superficielle peut donner lieu à des transports qui faussent les interprétations.

On remarquera l'emploi systématique de la géochimie. Celle-ci prend une place de plus en plus importante dans les investigations minières notamment en U.R.S.S.

D. / Les différentes anomalies détectées préciseront l'implantation des sondages mécaniques.

CHAPITRE IV

LES SONDAGES MECANQUES : ETUDE AU 1/500°
(essentiellement à plus grande échelle)

Leur utilisation est possible pour les gisement stratiformes parce que

- Les formes des gîtes sont généralement constantes

- les dimensions sont assez importantes

- la minéralisation est répartie assez régulièrement

Il constitue le terme ultime de la recherche essentiellement à cause du coût relativement important de leur emploi.

1° / Les forages :

a) La couche intéressante de dolomies est horizontale

(on ne dépasse pas 35° d'inclinaison)

On fait des sondages verticaux :

- soit suivant une maille (carré, triangulaire, ou autre)

- soit en ligne suivant des directions structurels géologiques et géophysiques.

b) La couche a une inclinaison pendant 45 °

On fait des sondages inclinés dirigés de manière à recouper la couche sous un angle de 35° à 40°.

Dans tous les cas on s'arrange en déplaçant le position du sondage, pour ne jamais faire de forage d'inclinaison moindre que 60°

Les forages sont orientés de la même façon que précédemment.

2° / On procède à une analyse géochimique des carottes.

3° / Les sondages permettant de déterminer :

a) Quand ils rencontrent la minéralisation :

- sa profondeur

- sa puissance :

- sa teneur sa texture

- des coupes lithostratigraphiques de préférence, 1/500°

- b) Quand ils ne rencontrent pas la minéralisation :
- des coupes lithostratigraphiques de référence 1/500°
 - des possibles réinterprétation des résultats géophysiques.

4 °/ La géophysique dans les sondages ./

Les sondages n'apportent que des renseignements punctuels, renseignements qu'on ne peut étendre sans risques à l'ensemble de la région à prospecter.

Aussi doit-on, si le sondage est stérile, y procéder à des mesures géophysiques au niveau des dolomies.

Ces mesures peuvent être :

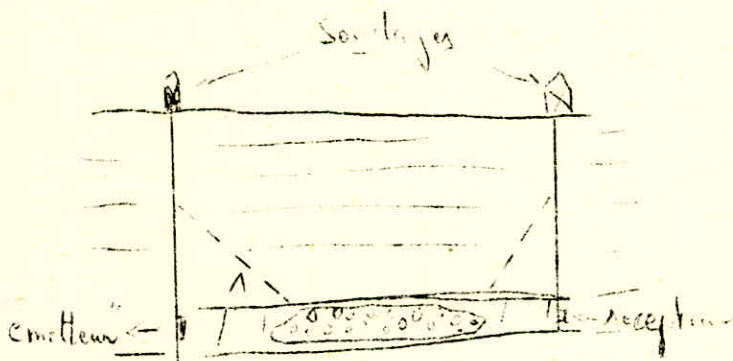
- a) des carottages par polarisation induite.
- b) des mesures d'ondes-radio : Pour minéral massif si on suppose la présence de futures massives.
- par l'absorption d'ondes-radio par le gisement : il faut un sondage "émetteur" et un sondage "récepteur".

Les ondes sont envoyées dans la couche de dolomies favorables.

- c) par réflexion des ondes : (pour minéral massif aussi)

Il suffit d'un seul sondage émetteur-récepteur.

Tous ces appareils de diagraphies complètent les mesures géophysiques effectuées en surface.



inclinaison d'un des sondages, suite aux résultats, pour les carottages : on peut en effet incliner les sondages.

5 °/ Etude de lames minces ./

Nous recommandons l'étude des ciments des couches intéressantes, par lames minces, dans chaque sondage.

!	<u>CHAPITRE V</u>	!
!	<u>CONCLUSIONS</u>	!

Nous dégageons finalement les schémas de recherche détaillés, suivants :

I) - CAS DE COUCHES INTERESSANTES DE DOLOMIES QUI S'ENFONCENT

1°/ Il n'existe pas de recouvrement conducteur important :

- sondages électriques, si le contraste de résistivités est suffisant,

- polarisation induite

- prospection géochimique de détail

- sondages mécaniques avec diagraphies

2°/ Il existe un recouvrement conducteur important :

- sondages électriques, si le contraste des résistivités est suffisant

- prospection géochimique de détail : si le recouvrement est glacière, l'interprétation est plus difficile (déplacement du glacier)

- sondages mécaniques inclinés avec diagraphies.

II) - CAS DE COUCHES DE DOLOMIES INTERESSANTES SUBHORIZONTALES

1°/ Il n'existe pas de recouvrement conducteur important : à l'aplomb et aux abords des structures et accidents favorables, on prospectera par :

- polarisation induite : le dispositif tripôle semble le mieux adapté pour ce problème

- prospection géochimique de détail

- sondages mécaniques verticaux avec diagraphies.

2°/ Il existe un recouvrement conducteur important : on emploiera
seulement :

- la géochimie de détail avec la même restriction que précédem-
ment
 - les sondages mécaniques verticaux avec diagraphies.
-

CHAPITRE VI

RECHERCHE DU OU DES PROLONGEMENTS D'UN GISEMENT

1°/ Un bonne connaissance de :

- la sédimentologie
 - la lithologie
- } pour la mise en évidence de possibles
contrôles paléogéographiques, (biseaux...)
- la tectonique : mode de contrôle par faille
 - la morphologie

de la partie exploitée est nécessaire.

Pour cela il faut faire une étude méthodique du gisement avec :

- une étude géologique détaillée, avec report de tous les indices minéralisés (même aux ceux sans intérêt économique)
- une étude des compositions chimiques des corps minéralisés
- une étude des répartitions statistiques

afin de mieux orienter les recherches (Cf conclusions à l'étude des exemples cités en première page).

2°/ On procède à des essais de méthodes de géophysique et de géochimie dans la partie exploitée : on s'orientera à priori vers l'utilisation de la polarisation induite qu'on essayera d'adapter aux conditions du gisement.

3°/ Il faut signaler les méthodes graphiques mises au point par les pétroliers :

- cartes de faciès
- cartes d'isopaques
- cartes de reconstitution de gisements à partir de niveaux donnés.

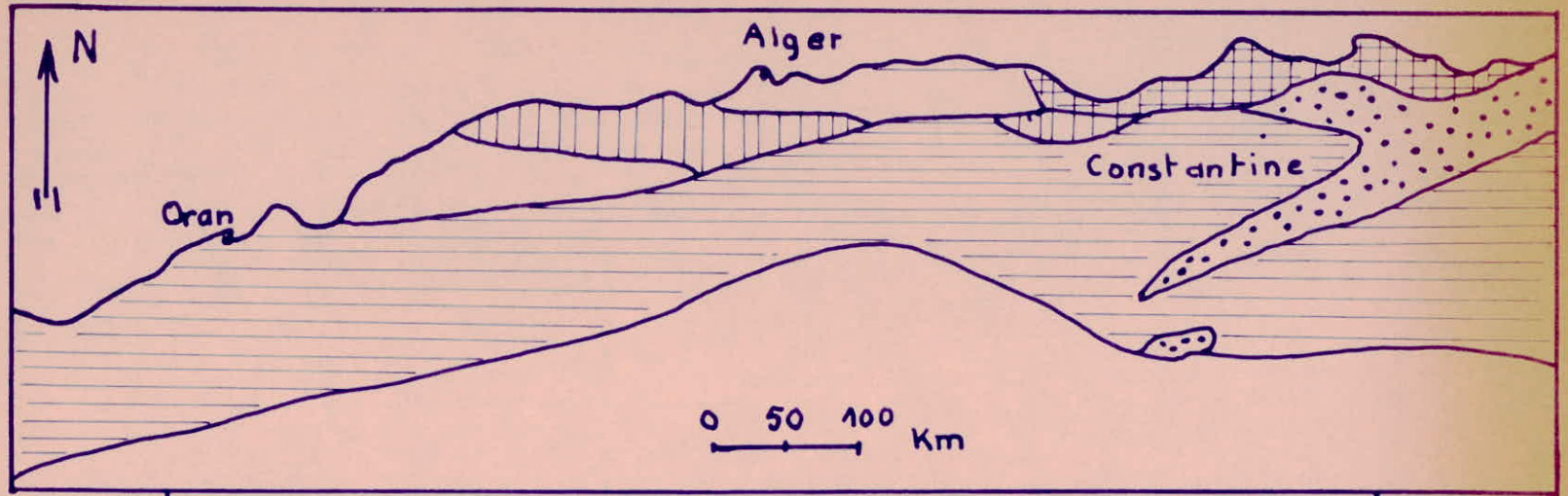
/// ROISIEME PARTIE

=====
=: : = : = : = : = : = : = : = :

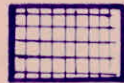
L ' [/ -) L G E R I E

=: : = : = : = : = : = : = : = :

SCHEMA DE LA REPARTITION DES ASSOCIATIONS MINERALES



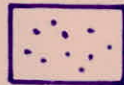
Blende - Galène - Gisements stratiformes



Blende - Galène - Cuivre - Grès - Siderite

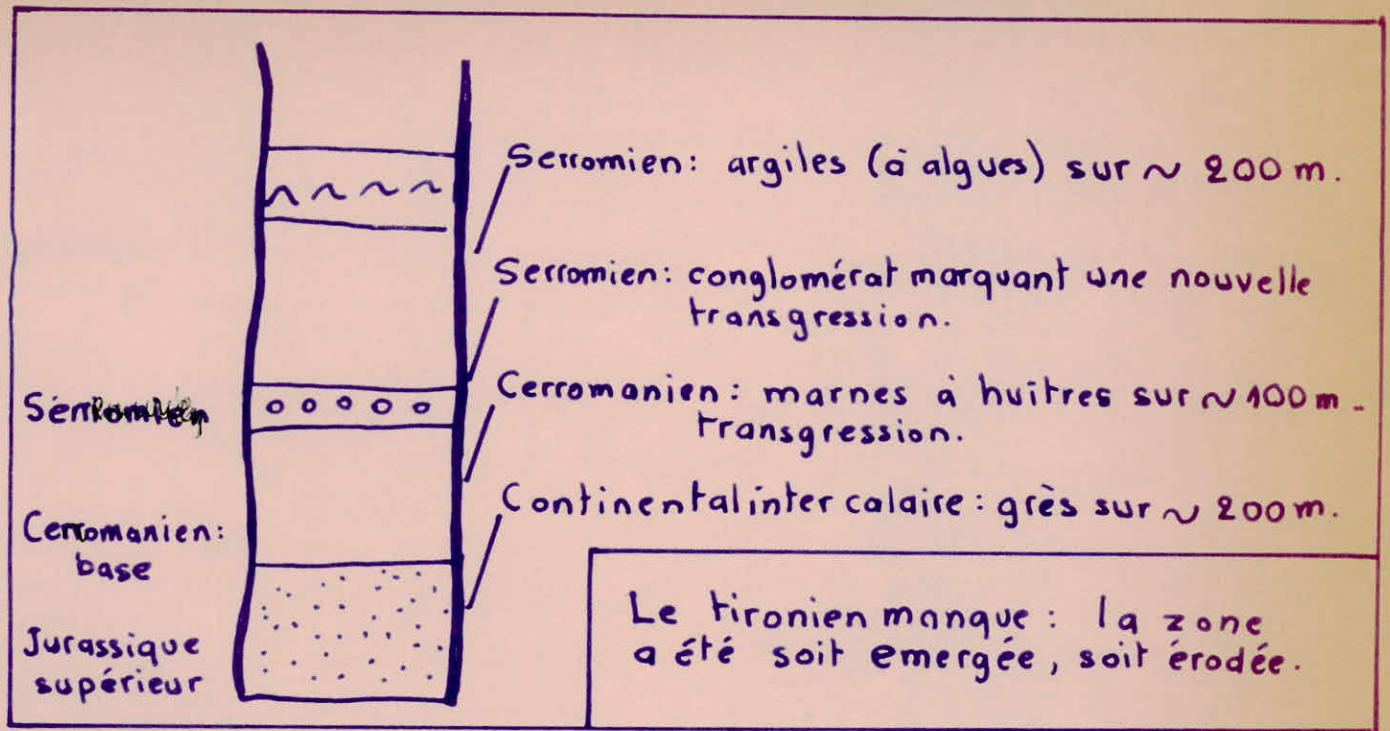


Galène - Blende - Chalcopirite

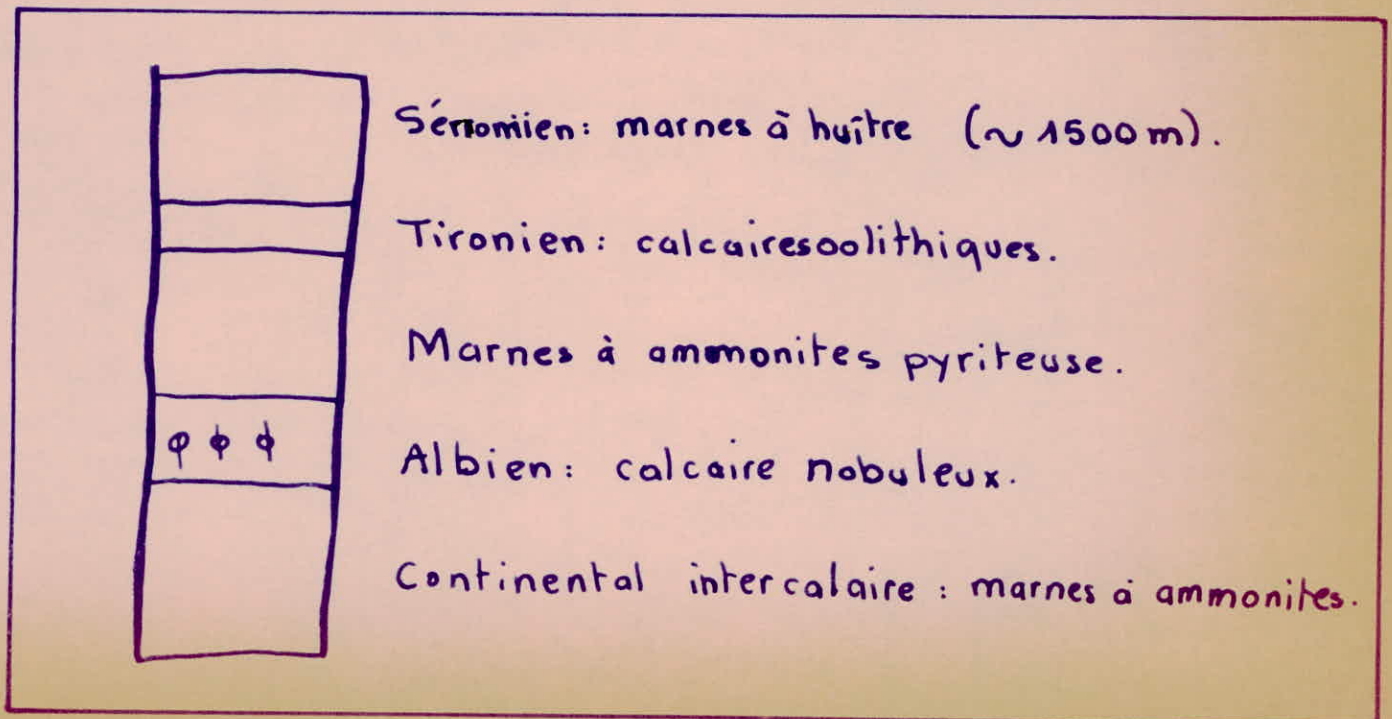


Blende - Sb - Galène - Cinable

HAUTES PLAINES ORANAISES



HAUTES PLAINES CONSTANTINOISES



Le tironien est fréquemment érodé. Au serronien la partie orientale du Hodna est émergée.

aux mouvements épirogéniques.

b) - Au nord, les terrains argileux ou calcaires sont pélagiques (constitués de boue très fine) et indiquent que la sédimentation s'est effectuée sous une épaisseur d'eau assez importante et peu agitée (oxygénation faible, peu de faunes...).

- Au Sud, les dépôts sont néritiques (voire organiques) : faible épaisseur d'eau, zone agitée, oxydation importante. Ce qui signifie qu'on est proche du rivage, et que les protubérances du socle ont joué le plus probablement le rôle de hauts fonds.

- C'est précisément au Sud de la Province Oranaise, qu'on rencontre des gisements stratiformes de plomb et de zinc, parmi lesquels le plus important en Algérie (pour le plomb et le zinc), celui d'El Abed.

GISEMENTS STRATIFORMES DE LA MESETA ORANAISE

A) - EL-ABED - OUED ZOUNDER

1°/ - Aperçu géologique de la région :

C'est le prolongement à l'Est du district Touissit-Boubeker au Maroc.

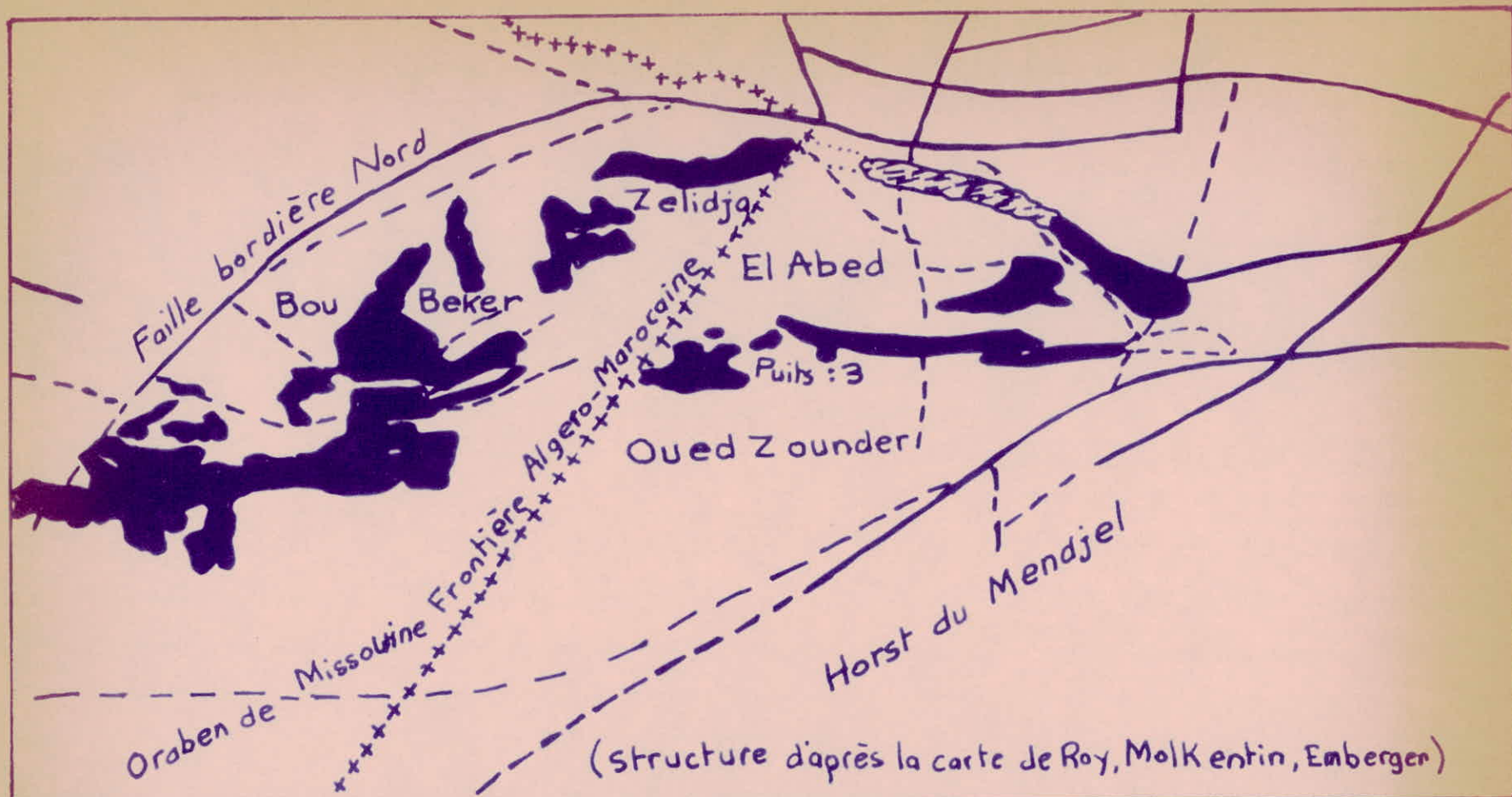
- la structure se caractérise par une succession de horsts et de grabens délimités par des failles de direction générale Nord 70°. On retrouve les mêmes caractéristiques qu'au Maroc.

- le horst est sur une zone haute du socle paléozoïque

- le socle est découpé par des failles qui ont rejoué lors des phases tectoniques tertiaires.

- la sédimentation Jurassique fortement influencée par les mouvements tectoniques précurseurs verticaux, est transgressive sur le socle

- le lias est très peu puissant sur la zone haute du



-  Faille reconnue
-  Faille supposée

GISEMENT D'EL-ABED .OUED ZOUNDER

Position des murs minéralisés dans
la structure d'ensemble.

socle (2 à 30 m), puissant au Nord et au Sud (100 m à 500 m)

- le Dogger représenté par une bande très mince (0 à 8 m) de calcaires oolithiques et ferrugineux (lacune d'émer-sion locale)

- la couverture du Jurassique supérieure augmente vers l'Est (Crétacé absent). C'est une série marnogréseuse avec des bancs de calcaire et de dolomies.

2°/ - Roche magasin :

Ce sont les dolomies bigarées et brechiques du Lias qui contiennent la minéralisation.

La puissance des dolomies du Lias diminue vers l'Est (de 2 à 5 m) avec remplacement par une roche détritique (argile noire, sables dolomitiques, dolomies altérées) très pyri-teuse et minéralisée ("panneau détritique").

3°/ - Paragenèse :

Minerai :

- blende, galène subordonnée : cristaux fins ca-ractéristique des minerais d'imprégnations (gros cristaux dans les géodes).

- un peu de pyrite

- très peu de chalcopryrite

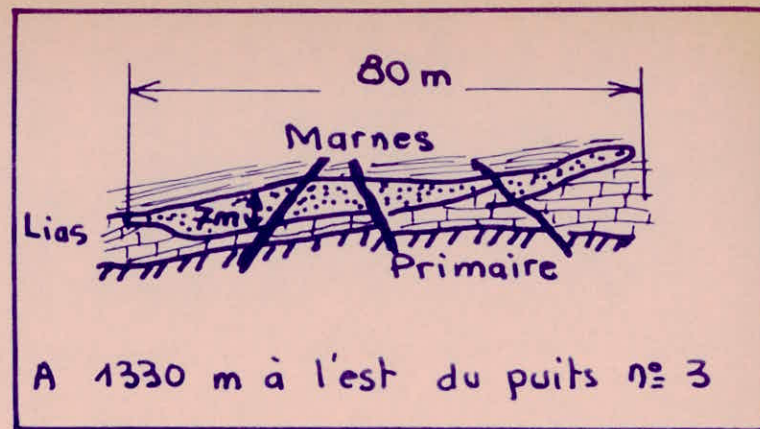
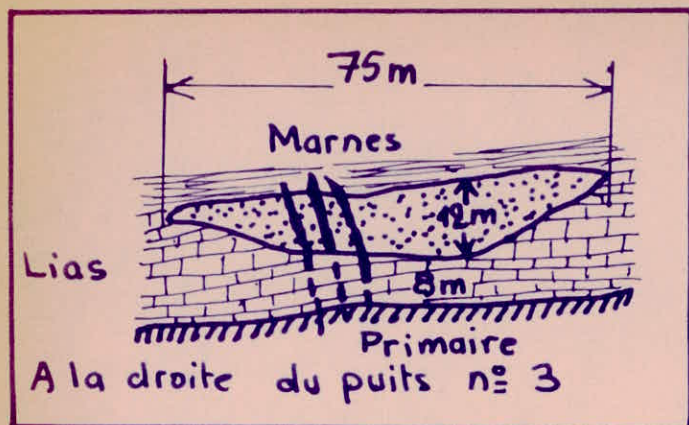
Gangue :

- dolomie, calcite, quartz

4°/ - Forme des gîtes :

La minéralisation se concentre sous forme de "runs" allongés, qui sont :

- interstratifiés



RUN PRINCIPAL : COUPES VERTICALES N-S
(El-Abed)

- d'une largeur variant entre 1 et 12 mètres
- traversés par des intercalations marneuses et argileuses
- parfois, il y a imprégnation de sulfures sur toute l'épaisseur des dolomies
- découpés par des failles intéressant le socle et sans influence sur la minéralisation

5°/ - Contrôles de la minéralisation :

a) - Stratigraphique :

Le Lias supérieur contient la minéralisation. Celle-ci est dans les zones où il est peu épais et où il a tendance à se réduire.

b) - Lithologique :

- le minerai imprègne les couches intermédiaires et supérieures des dolomies (des Lias). Les dolomies affectées sont bigarées et bréchiées.

- la minéralisation est limitée vers le bas à 8 mètres au dessus du socle par un calcaire à grains fins.

- au toit, il y a de minces bandes de calcaire oolithique du Bathonien.

- les roches détritiques (argiles noires, sables dolomitiques...) peuvent aussi être minéralisées, notamment vers l'Est (exemple du "panneau détritique")

- les concentrations sont plus grandes vers le toit, sauf dans le panneau détritique

c) - Structural

*

* d'ordre paléogéographique

- la minéralisation se localise aux bordures de la zone haute du socle, près du sommet

- les couches intermédiaires et supérieures des dolomies affectées, tendent à se biseauter (autour de cette zone haute du socle).

L'existence de lacune, montre une tendance à l'émersion du socle (particulièrement des bosses)

* d'ordre tectonique :

Les failles découpant le socle découpent aussi la couverture (rejeu) mais ne semblent pas influencer la minéralisation.

6°/ - POSSIBILITES D'EXISTENCE D'AUTRES
GISEMENTS DANS LA REGION

Des conditions analogues à celles d'El-Abed, avec des indices de minéralisation se retrouvent :

- au horst de Ghar Rouban
- à l'Est d'El-Abed, au Djebel Tenouchfi

A Boukdèna, il existe une minéralisation de type stratiforme et de cassure dans les dolomies Jurassiques. Des particularités la rapprochent d'El-Abed. Cependant il y a une association de plomb et de zinc avec des minéraux de nickel et du groupe de l'énergite.

7°/ - METHODOLOGIE DE RECHERCHES :

Nous proposons de faire :

a) - à l'échelle régionale :

- la gravimétrie et les sondages électriques : afin de détecter les ^{particularités} ~~bosses~~ du socle paléozoïques sur l'ensemble de la région.

- électromagnétisme, par TURAM : près des bosses détectées afin de déterminer les failles, les zones de broyage...

- géochimie stratégique

b) - pour l'étude de détail

en surface :-géochimie de détail : mailles de 50 à 100 m

-sondages mécaniques avec mesure de polarisation induite

dans les galeries :

- géochimie
- polarisation induite
- sondages mécaniques
- creusement de galeries de recherches

B) - GISEMENTS DES MOLES DE SAIDA

ET TAGREMARET

1°/ - Aperçu géologique de la région :

La région est comparable en bien des points à celle d'El-Abed.

La zone haute du socle affleure dans le horst de Tifrit.

La bordure est fracturée, instable avec variations de faciès et de puissances.

Des failles profondes bordent le horst. Il y a la même direction tectonique qu'à Ghar Rouban : N 50° E.

Le Lias est peu puissant : 25 à 80 m de dolomies.

POSITION DE LA MINERALISATION DANS LES HORSTS DE TIFRIT ET TAGREMARET

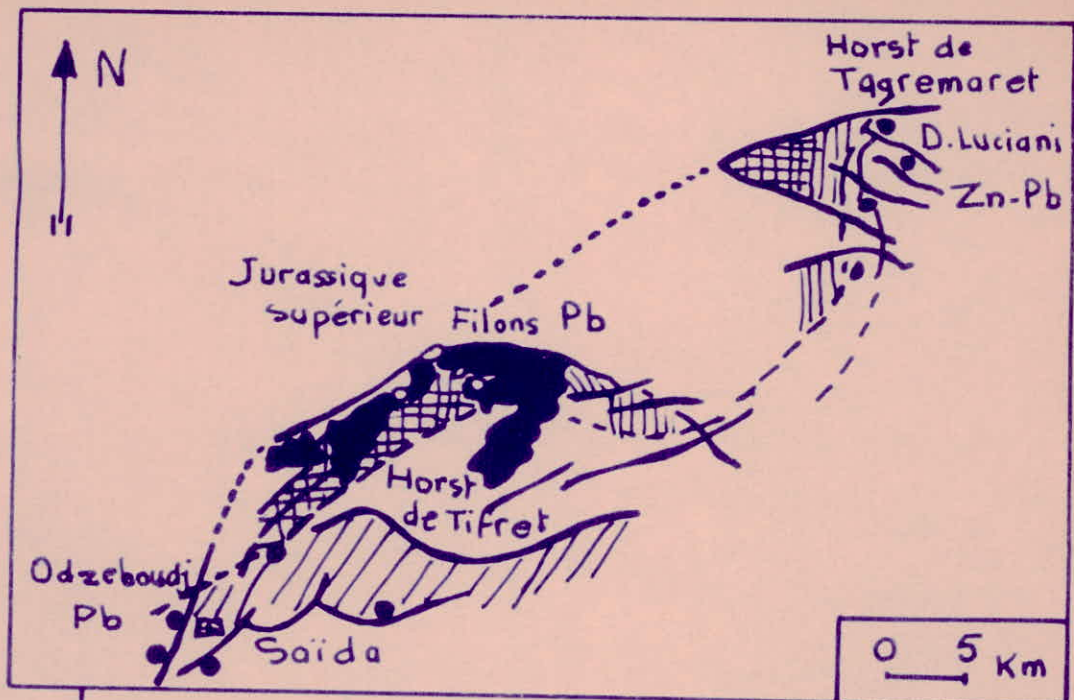



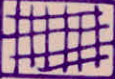


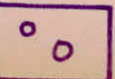



Schéma
d'après
G. Lucas

-  Primaire.
-  Régions où le calovien repose directement sur les dolomies.
-  Régions où existent l'aclement et le boyocien à accident silicieux.
-  Régions comportant des quartzites aclemenus.
-  Régions où le boyocien est connu. Bathonien à Fanès Telliens.
-  Failles.
-  Minéralisation Pb-Zn.
-  Limite de la zone pré-telliene.

Le Dogger est parfois absent : il est formé de dolomies.

Le Callovien est marneux.

Deux gisements sont reconnus : Oued Zeboudj et Dominique Luciani.

2°/ - Roche magasin :

C'est la dolomie du Lias supérieur : dolomies rubéfiées à gros grains d'allure bréchique.

Le toit est représenté par les marnes du Callovien.

3°/ - Paragenèse :

Minerai :

- blende : surtout à Dominique Luciani
- galène : surtout à Oued Zeboudj

Le minerai est en imprégnation dans les dolomies.

Gangue :

- dolomie
- silicification des dolomies aux épontes

4°/ - Forme des gîtes :

Les minéralisations sont irrégulières.

A Oued Zeboudj, une seule lentille est reconnue.

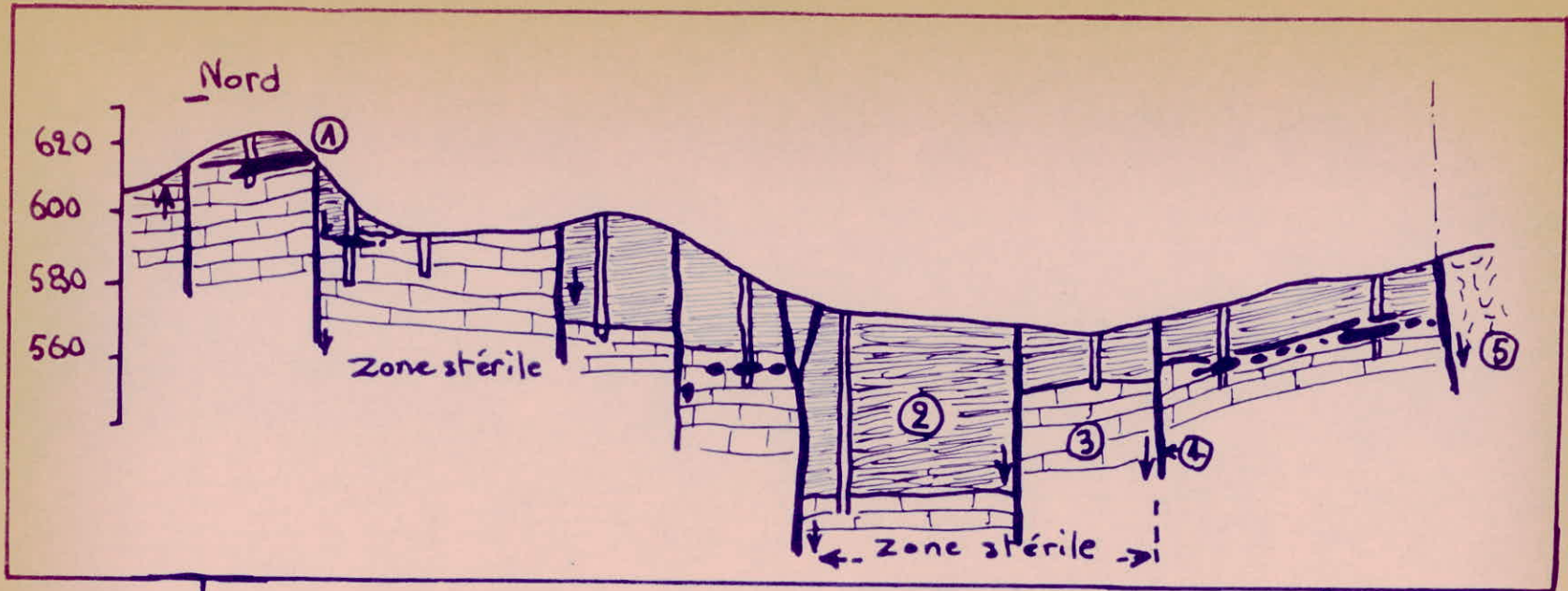
A Dominique Luciani, la minéralisation est très irrégulièrement répartie et découpée par des failles.

5°/ - CONTROLES DE LA MINERALISATION

a) - stratigraphique :

- la minéralisation est dans le Lias supérieur
- elle est ~~au~~ sous une lacune du Dogger
- la distance au socle sous jacent ne joue au-

cun rôle dans la localisation de la minéralisation.



Dominique Luciani: Coupe transversale de la zone Nord

①. Minéralisations.

②. Marnes et grès du calvo-oxfordien.

③. Dolomies.

④. Failles. ⑤. Pliocène et alluvions.

(Echelle verticale 1/20000, horizontale 1/20000).

GISEMENTS PRES DE SAÏDA ET TAGRE MARET

b) - Lithologique :

- les dolomies minéralisées (Lias supérieur) sont rubéfiées, à gros grains et d'allure bréchique.

- la minéralisation est limitée vers le haut par les marnes du Callovien

c) - Structural :

* d'ordre paléogéographique :

-/ la minéralisation se localise uniquement sur la bordure des horsts

-/ on observe justement sur cette bordure, des variations de faciès et des lacunes du Dogger, qui permettent de penser que le horst a été un haut fond.

* d'ordre tectonique :

La liaison avec les failles n'apparaît pas clairement.

6°/ - METHODOLOGIE DE RECHERCHE

à l'échelle régionale : comme précédemment

pour l'étude de détails :

- la polarisation induite : la profondeur le permet. Cependant les gîtes sans galène ne seront pas détectés. Le dispositif tri-pôles peut-être très avantageux.

-- la géochimie

- les sondages mécaniques avec mesures de polarisation induite.

Evidemment on décidera des mailles à adopter sur le terrain.

/ II - LA PROVINCE D'ALGER ET LES HAUTES PLAINES CONSTANTINOISES/

TECTONIQUE : elle semblable à celle de la région d'Oran (failles verticales d'effondrement, horsts et grabens)

STRATIGRAPHIE : voir colonne stratigraphique.

Dans les parties méridionales, on voit dans le Jurassique, une sédimentation détritique influençant ces séries.

PALEOGEOGRAPHIE : la topographie sous-marine semble irrégulière (sédimentation récifale dans certaines zones, variations de faciès...).

La série stratigraphique est plus épaisse et plus complète dans la partie orientale : la mer venait de Tunisie (transgression Cénomaniennne).

On peut donc penser que les hauts-fonds aient été de plus en plus actifs vers l'Ouest : dans les gisements stratiformes de plomb et de zinc, c'est vers l'Ouest qu'il semble y avoir un contrôle par dômes du socle.

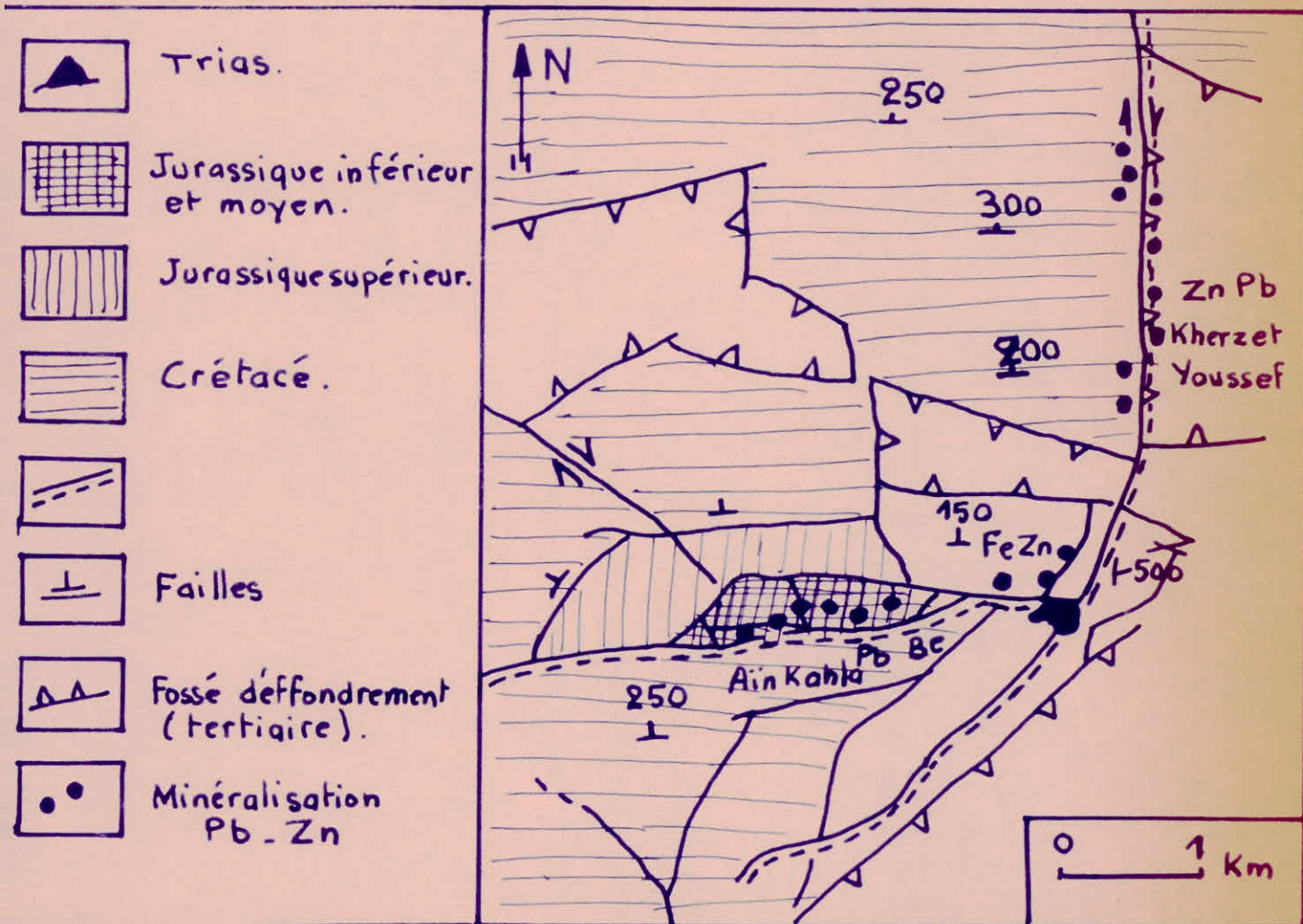
GISEMENTS STRATIFORMES DE PLOMB ET DE ZINC

Ce sont ceux de la zone intermédiaire du Môle d'Aïn-M'Lila et sa bordure.

A) GENERALITES SUR LA REGION : APERÇU GEOLOGIQUE

1 - Cette zone couvre la partie septentrionale de la plateforme continentale (l'avant fosse tellienne et une partie de l'autochtone pré-saharien). Elle est bordée de tous côtés par des bassins très subsidants. Au nord, le sillon Tellien, au Sud le sillon du Hodna et au Sud Sud-Est, celui de l'Atlas Saharien.

SCHEMA GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE DE LA REGION DE KHERZET YOUSSEF ET AIN-KAHLA



2 - Elle se subdivise en deux parties de mobilité différente : une zone haute à tendance positive, peu subsidente (Môle d'Aïn M'Lila du Ch. Bar et M. Kicken), et sa bordure instable subsidente, mais conservant toujours une faible profondeur (dépôts néritiques et récifaux).

3 - Les faciès (surtout au Crutacé inférieur) et le style tectonique de cette région, sont intermédiaires entre ceux de l'Atlas Saharien et ceux du Tell. Il est tentant d'expliquer cette zone comme un bloc du socle compris entre des accidents profonds, les "Transversales" de L. Glaugeaud.

En effet, cette zone est bordée à l'Est par la "Transversale" Batna- Souk-Ahras ; une autre, celle de Constantine la traverse ; et une troisième passe peut-être à l'Ouest entre le Djebel Zaïm et le Djebel Youssef.

4 - Les minéralisations de plomb et de zinc, essentiellement stratiformes se localisent uniquement sur la bordure du Môle, ce dernier étant dépourvu de gisements. Les plus importants sont : Aïn Kahla, Kherzet-Youssef, Djebel Gustar.

B) - GISEMENT DE AIN KAHLA (à 8 km vers l'Ouest d'Ampère)

1°/ - Roche magasin :

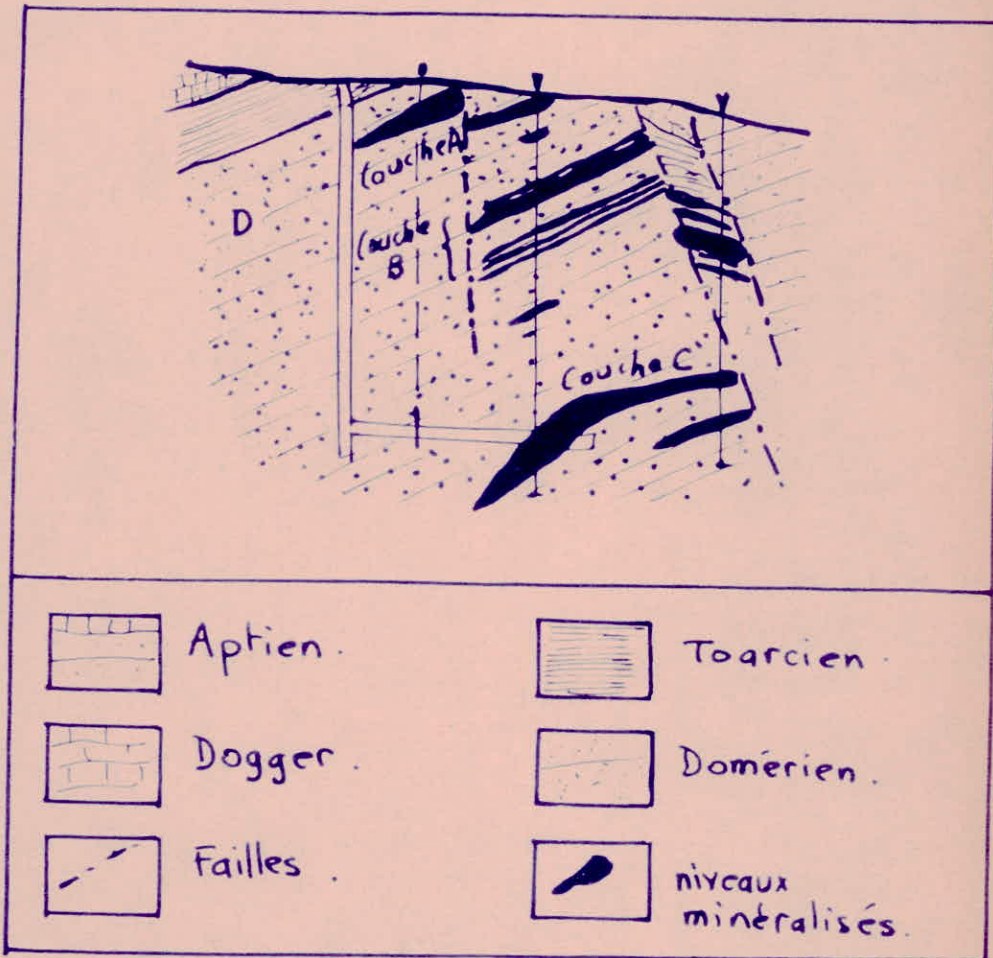
La minéralisation est dans le Lias, probablement Domérien, apparaissant en demi-boutonnières anticlinales. Elle est limitée par des failles profondes dont une au Sud met en contact Lias et Aptien

2°/ - Paragenèse :

Minerai :

- Galène ; sous forme de : cristallisation fine,

AÏN-KAHLA



Coupe transversale des niveaux minéralisés.

mouches et gros cristaux dans dolomie grise (très souvent), recristallisation en tâches (rarement).

- blende : assez rare

(Gangue :

- dolomies

- baryte et fluorine : plusieurs générations (caractéristiques du gîte).

- quartz : précède et accompagne toujours la minéralisation en plomb (proviendrait de roches sédimentaires siliceuses).

Il existe près d'Aïn Kahla une roche chertreuse minéralisée en galène (le chert remplace la dolomie). On rencontre une même paragenèse vers l'Est.

3°/ - Morphologie des gîtes : ce sont des lentilles de forme plus ou moins allongées :

- elles sont interstratifiées, localisées dans plusieurs niveaux superposés

- trois couches sont reconnues dont une, (couche "B") est constituée de cinq niveaux minéralisés.

4°/ - CONTROLES DE LA MINERALISATION

a) - Stratigraphique et lithologique

- la minéralisation est dans les dolomies du Lias.

- les niveaux affectés sont plus ou moins profonds, plus ou moins silicifiés.

b) - Structural

* d'ordre paléogéographique :

- l'existence de lacunes montre une tendance à

l'émersion.

- les niveaux se placent sous une lacune de sédimentation.

- toutes les minéralisations de la région se localisent uniquement en bordure du môle de Aïn M'Lila.

* d'ordre tectonique :

- la minéralisation est prise de la faille Sud
- loin de la faille on constate une brusque diminution des minéralisations.

- les lentilles de minerai sont découpées par des failles postérieures à sa mise en place.

5°/ - POSSIBILITES DE LA REGION

De faibles indices existent entre le Djebel Gorsî et le Djebel Ham.

La minéralisation est au voisinage d'un grand accident jalonné de Trias.

Plus à l'Est, toujours dans l'anticlinal à noyau Liasique, des dolomies affleurent sur de grandes distances.
Seules les zones broyées ou proches des failles sont minéralisées.

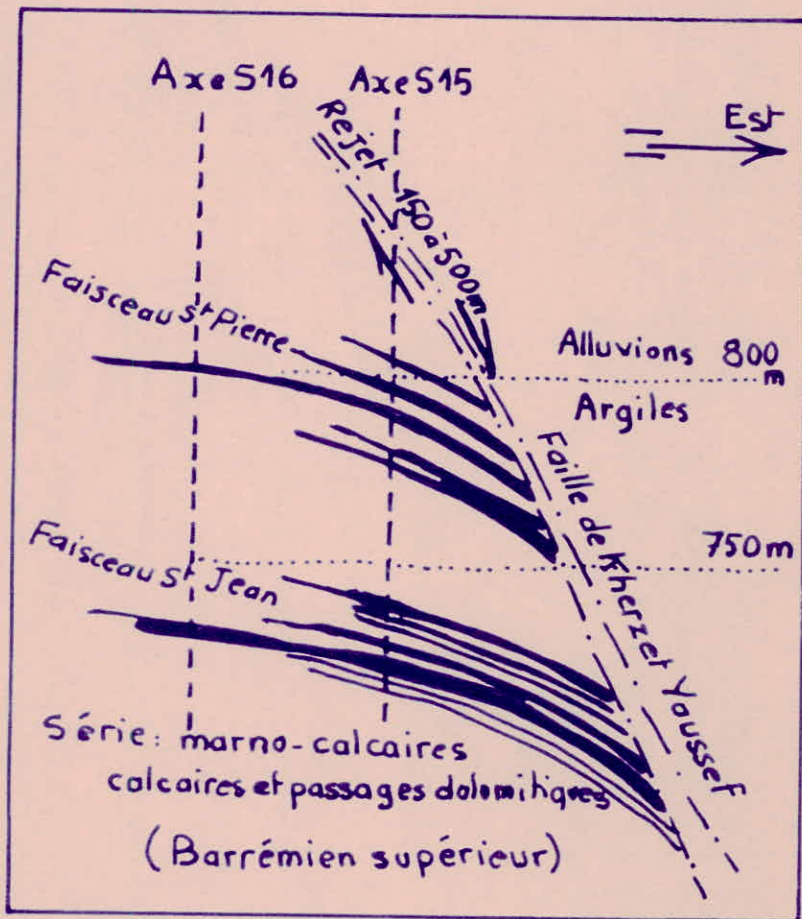
C) - GISEMENT DE KHERZAT-YOUSSEF

Il est à deux kilomètres au nord d'Aïn-Kahla (bordure de la plaine d'Aïn-Azel).

1°/ - Roche magasin :

La minéralisation est dans le Barémien supérieur constitué par une alternance de :

- calcaires
- marnes



KHERZET YOUSSEF

coupe transversale à la faille.

Les niveaux minéralisés se ressèrent en s'éloignant de la faille.

- calcaires

- dolomies

La série présente une structure monoclinale plongeant vers le Nord.

Le trait dominant de la structure est une faille inverse de direction Nord-Sud, qui limite le gisement à l'Est. Son rejet vertical est de 150 à 500 m et s'amortit vers le Nord. Les séries crétacées sont déplacées de 150 m au centre.

2°/ - Paraganèse :

Minerai : Il est massif, bréchique et parfois concrétionné ou rubanné.

- blende, sous forme de : cristallisation fine, tâches irrégulières (trois générations) contenant parfois des cristaux idiomorphes de dolomie.

- galène, sous forme de : gros cristaux (souvent). Localement on trouve des concentrations plus fortes.

- rapport zinc/plomb = 6/1

- pyrite et marcassite

Gangue :

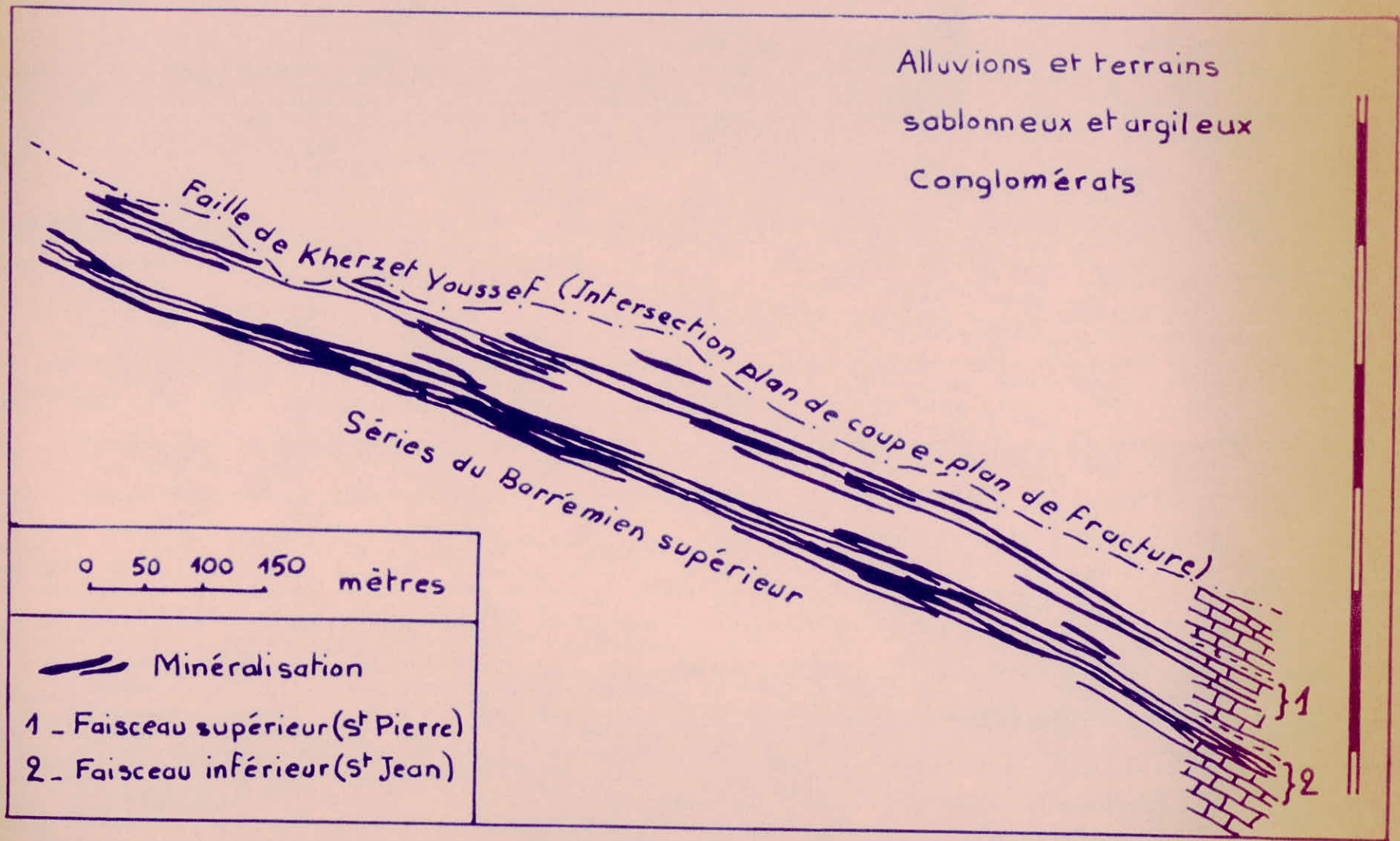
dolomie, calcite, baryte, quartz, gypse, bitume (fréquemment dans les parties minéralisées, dans les joints et géodes).

Altérations superficielles :

De faibles concentrations d'oxydes de zinc dans les dolomies, affleurent loin de la faille et n'ont pas d'extention en profondeur.

3°/ - Morphologie des gîtes :

a) - la minéralisation est en forme de "runs" très aplatis (sortes de couches).



KHERZET YOUSSEF

Niveaux minéralisés dans le barrémien supérieur.
Coupe parallèle à la faille.

Ils forment deux faisceaux :

* faisceau inférieur "St Jean" formé de sept couches principales groupant vingt cinq niveaux minéralisés

* faisceau supérieur "St Pierre" formé de cinq couches

b) la minéralisation est sur :

1 200 m de longueur

60 à 80 m de largeur

10 cm à 8 m de puissance

c) les sulfures sont disséminés ou remplissent des cavités et des fissures dans les dolomies.

4°/ - CONTROLES DE LA MINERALISATION

a) - Stratigraphique et lithologique

La minéralisation affecte essentiellement les dolomies du Barémien supérieur.

Elle se localise de préférence dans les couches bréchoïdes d'intra-formation, et au dessous de joints marneux.

b) - Structural

* d'ordre paléogéographique : comme tous les autres gîtes de la région, le gisement est au bord du môle d'Aïn-M'Lila.

* d'ordre tectonique :

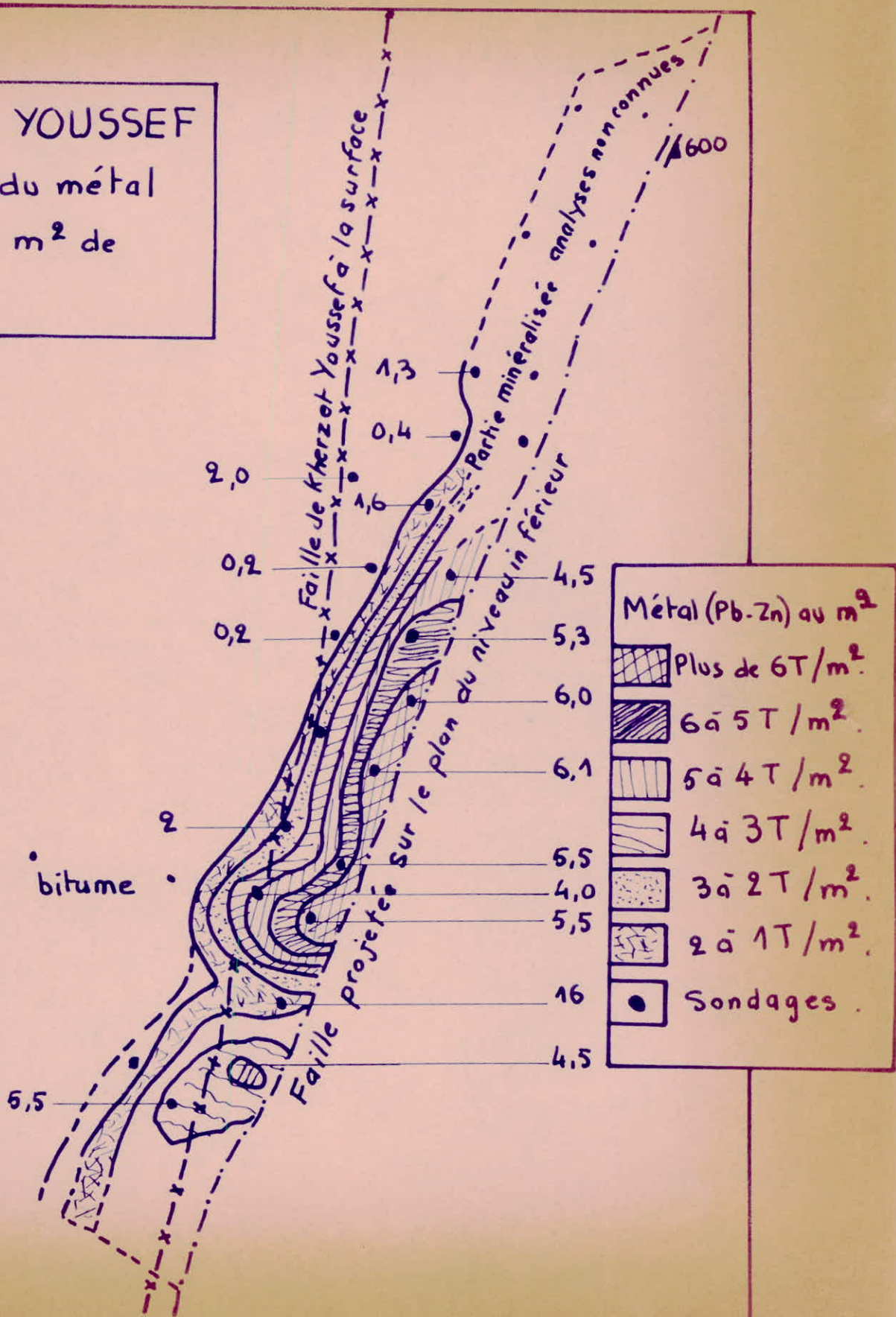
La minéralisation est localisée près de la faille.

Le nombre et la puissance des "runs" augmente près de la faille.

La quantité de métal au m² diminue quand on s'éloigne de la faille.

KHERZET YOUSSEF

Répartition du métal
(Pb-Zn) au m^2 de
surface.



D) - GISEMENT DU DJEBEL GUSTAR

Il s'agit d'un petit ^{dôme} du Djebel Youssef.

1°/ - Roche magasin

La minéralisation est dans un niveau de calcaires récifaux de l'Hautérien.

2°/ - Paragenèse

Minerai :

Blende et galène constituent le minerai.

Gangue :

Dolomie et quartz : une forte dolomitisation et silicification, formes des auréoles autour des corps minéralisés

3°/ - Morphologie des gîtes :

Plusieurs lentilles sont reconnues dans les zones de fracturation des calcaires récifaux.

4°/ - Autres indices de gîtes stratiformes (mis en évidence par J. Glacon en 1966).

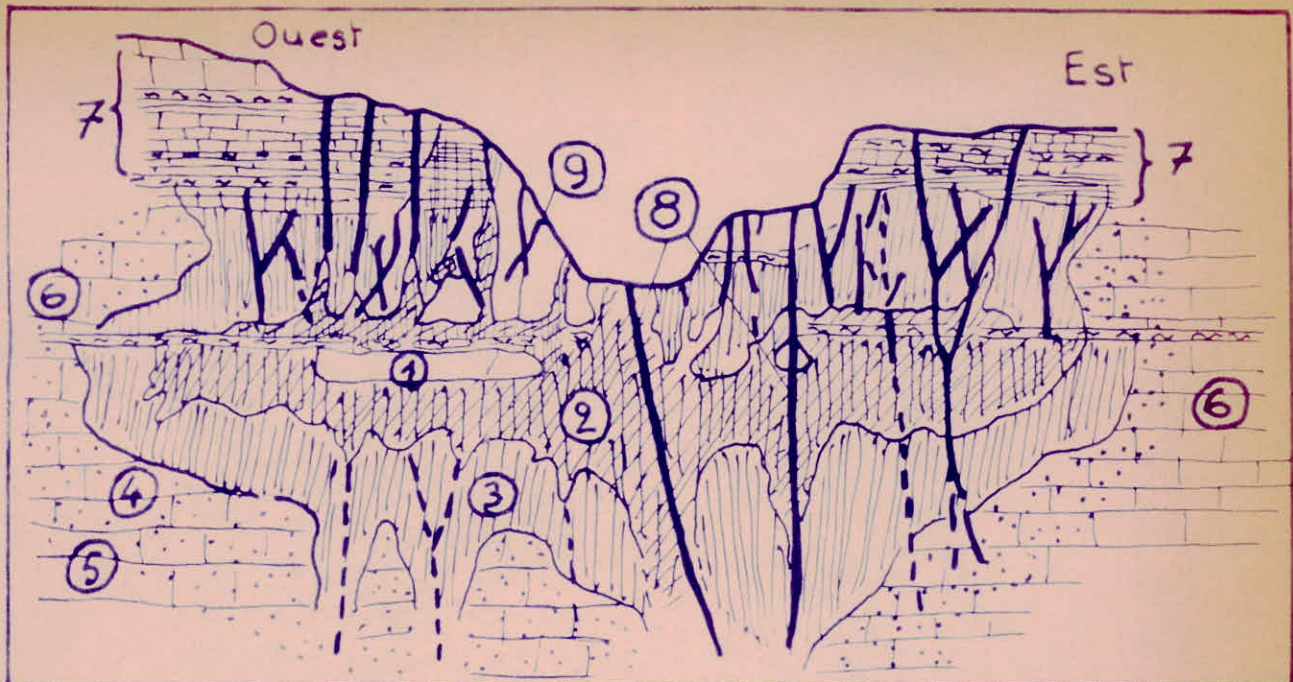
Retenons seulement que :

- Les dolomies minéralisées sont à grains fins ou moyens, de couleur gris-clair parfois avec du bitume.

- il existe une silicification régionale, mais surtout dans les zones minéralisées, avec des quartz de néo-formation très caractéristique.

- plusieurs générations de blende et de galène

- en règle générale, minéralisation sous des joints argileux.



DJEBEL GUSTAR

Arnas Louise; zonalité de la minéralisation; dolomitisation et silicification par rapport aux failles et aux fractures.

(D'après Drovenik, 1965)

- ① - Minerai riche exploité. ② - Forte dolomitisation et silicification renfermant la minéralisation (rums). ③ - Forte silicification. ④ - Faible silicification. ⑤ - Calcaires récifaux. ⑥ - Joints de marnes argileuses. ⑦ - Calcaires gris et marnes supérieures. ⑧ - Failles importantes. ⑨ - Fractures.

E) - METHODOLOGIE DE RECHERCHE

On recherchera les niveaux favorables selon les lieux.

1°/ - A l'échelle régionale on prospectera par :

- électromagnétisme au TURAM : pour la recherche de failles, zones de broyages...

- sondages électriques : pour suivre les niveaux dolomitiques favorables

- géochimie stratégique.

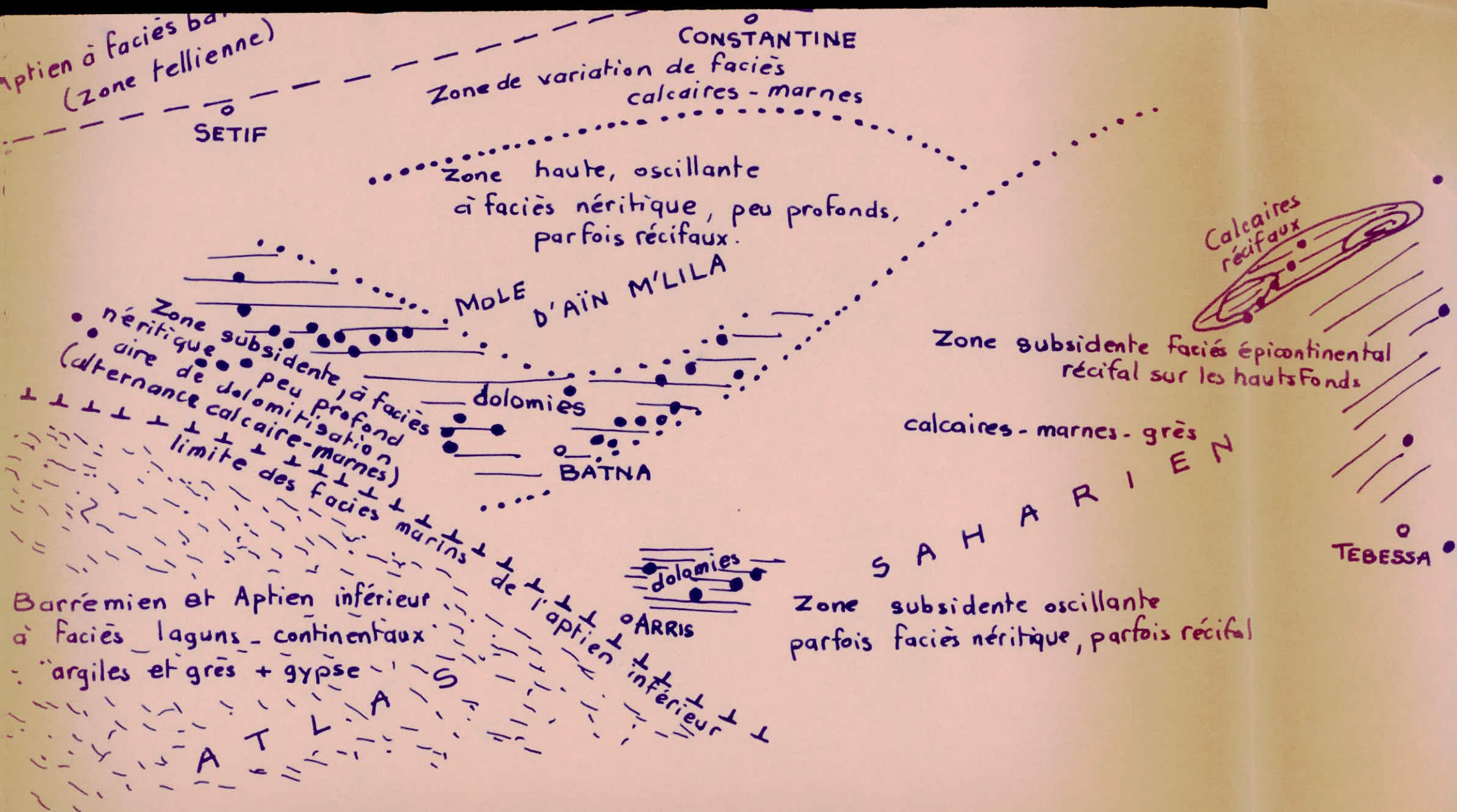
2°/ - Pour l'étude de détails on fera :

- des sondages électriques sur des profils plus serrés que précédemment, voire différents.

- des mesures de polarisation induite : afin de détecter les minéralisations. Ces mesures peuvent se faire en même temps que les sondages électriques.

- une étude géochimique de détails

- des sondages mécaniques, avec mesure de polarisation induite.



D'après Bar ch. Emberger. J. Glacon.

• gîtes minéraux Pb-Zn.

SCHEMA DE LA REPARTITION DES FACIÈS AUX BARREMIEN, APTIEN - Position des gisements

L' Atlas SAHARIEN

Les gisements se localisent essentiellement dans les Aurès.

STRATIGRAPHIE - PALEOGEOGRAPHIE

Au Lias se déposent des calcaires dolomitiques et des dolomies.

Au Dogger se déposent des alternances de marnes et de calcaire marneux. On trouve aussi des grès.

Le Malm est composé de grès continentaux. On constate des réductions d'épaisseur du Sud au Nord : on parle de sillon de l'Atlas Saharien.

Au Cénomaniens il y a des dépôts évaporitiques.

Du Cénomaniens au Sémuriniens a lieu une transgression Est-Ouest : dans les Aurès la sédimentation est représentée par des calcaires récifaux.

La sédimentation dans les Aurès est plus profonde qu'ailleurs. (c'est toujours le sillon atlasique).

Il ne semble pas qu'il y ait de haut-fonds.

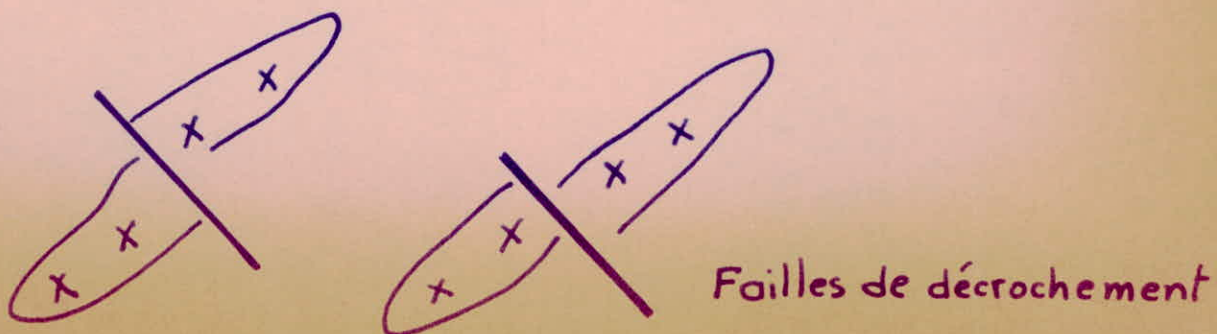
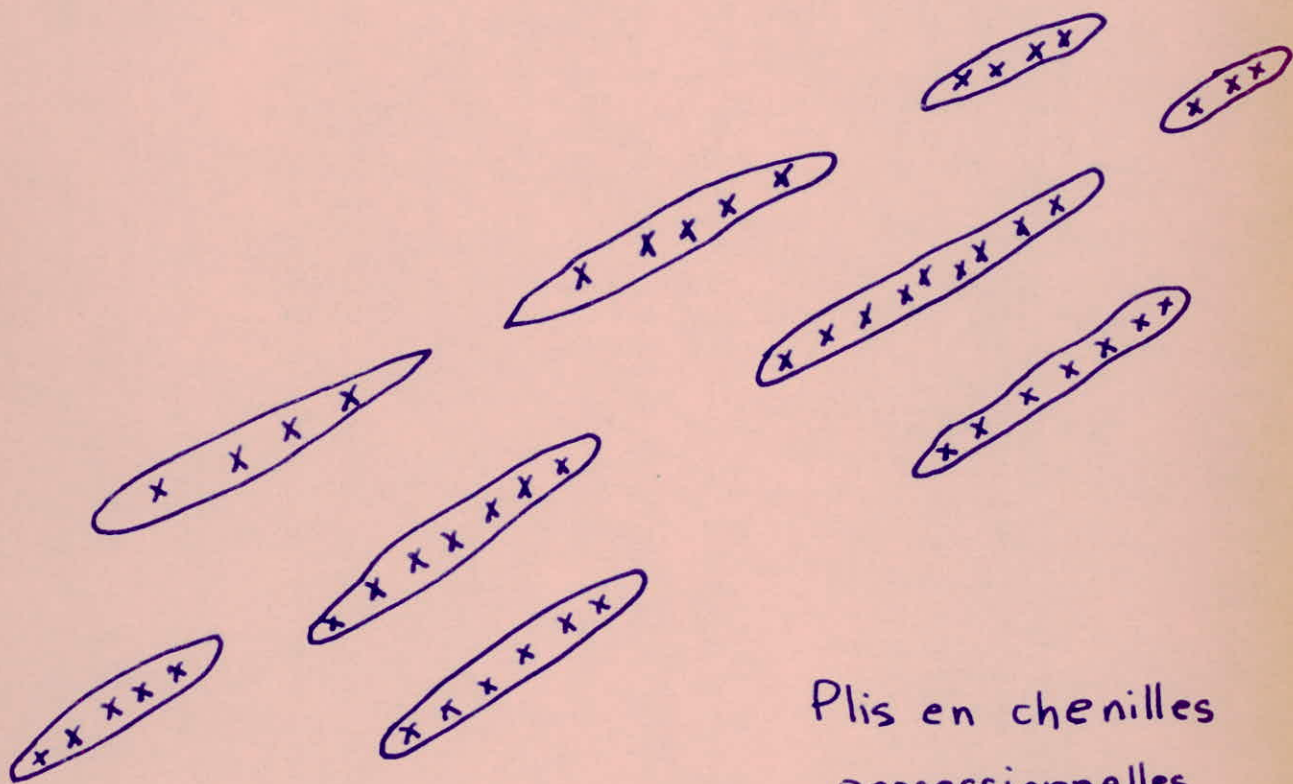
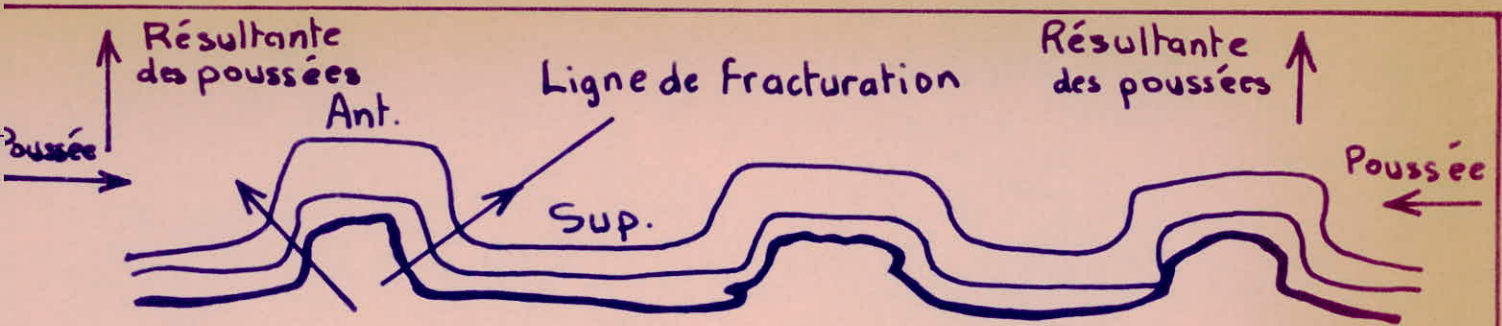
TECTONIQUE

Les formations sont très énergiquement plissées.

On a une suite d'anticlinaux plats et étroits et de synclinaux larges et plats (plis-coffrets ; voir schéma).

De l'Ouest au Nord-Ouest, les anticlinaux sont très allongés : on obtient un style de plis appelés "plis en chenille processionnelles". (voir figure).

A la base des séries crétacées existe un trias qui semble avoir giclé.



Parfois des failles perpendiculaires à tous ces systèmes décrochent les structures (voir figure).

Les gisements connus semblent justement contrôlés par ces structures :

- Ichmoul se situe sur le flanc Sud Est d'un de ces anticlinaux, cassé par deux grandes failles avec affaissement et apparition de Trias diapyr.

- Hamam N'Bails est localisé dans un complexe de puissantes montées triasiques.

LES GISEMENTS CONNUS

A) - GITES STRATIFORMES DE L'ATLAS SAHARIEN : ICHMOUL

C'est le plus important des Aurès.

1°/ - Aperçu géologique :

Il se situe sur le flanc Sud-Est de l'anticlinal cassé par deux grandes failles avec affaissement et apparition de Trias diapyr.

2°/ - Roche magasin :

La minéralisation affecte des dolomies.

Le toit est constitué de marnes noires.

Le mur est constitué de calcaires bleus, compacts.

3°/ - Paragenèse :

Minerai : essentiellement galène et baryte

Gangue : dolomie : dolomitisation probable des calcaires sous jaçants.

4°/ - Morphologie du gîte

La minéralisation est en "runs".

Trois "runs" obliques (au pendage des strates) sont

reconnus.

- 81 -

5°/ - CONTROLES DE LA MINERALISATION

a) Stratigraphique et lithologique :

La minéralisation est dans des dolomies aptiennes.
Elle est limitée vers le haut par des marnes.

b) Structural :

* d'ordre paléogéographique :

Il est difficile de parler de contrôle paléogéographique. Répétons cependant que le gisement se trouve sur le flanc d'un anticlinal près de la zone d'apparition du Trias (diapyr)

* d'ordre tectonique :

Il y a enrichissement en galène près de la faille de décrochement.

En profondeur le plomb disparaît au profit de la baryte.

6°/ - Possibilités :

De l'autre côté de l'affaissement précité, aux Djebels Chelia et Herig, des indices du même type sont reconnus dans les dolomies aptiennes.

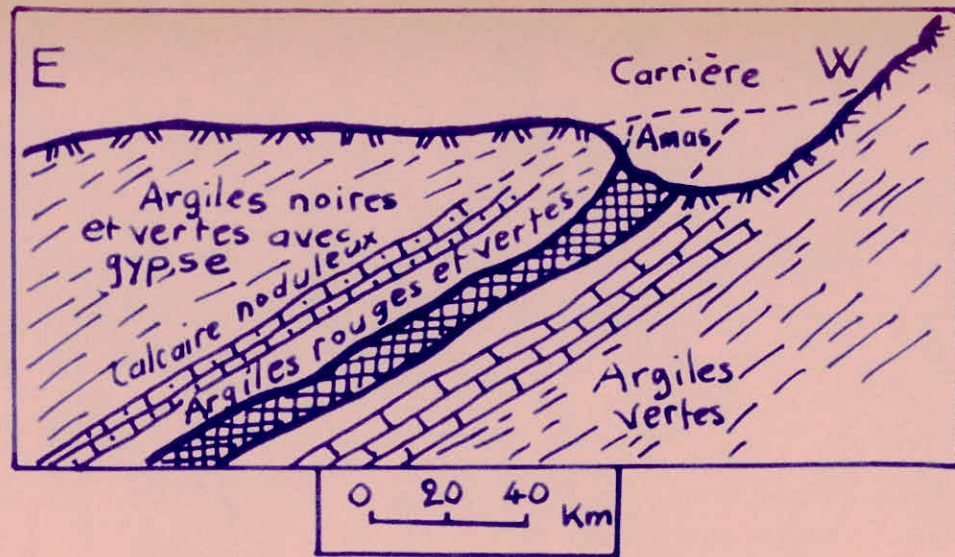
B) - GISEMENT DE HAMMAM N'BAILS DANS L'ATLAS SAHARIEN ORIENTAL.

C'est l'un des plus beaux gisements de zinc en Algérie.

1°/ - Aperçu géologique de la région minéralisée :

C'est la région de la sous-zone d'écaillés bordières entre le Tell.

C'est une bordure à tectonique bouleversée : plis, failles, écaillés.



HAMMAM N'BAILS

Coupe verticale de la lentille principale.
(données de l'exploitation).

Les structures transversales Nord- Nord-Ouest, Sud - Sud-Est, probablement très profondes, sont jalonnées de puissantes montées du Trias.

Le gisement est localisé dans un complexe Triasique.

2° - Roche magasin :

Les minéralisations sont dans des dépôts fluvio-lacustres du Miocène supérieur formant des couches monoclinales pendant de 40° vers le Sud-Est.

Le gîte est encaissé dans un calcaire fluvio-lacustre avec :

- * des niveaux d'argiles rouges et vertes au toit
- * des couches d'argiles noires et marno-calcaires au mur.

3°/ - Paragenèse :

Minerai :

- smithsonite
- minéraux d'antimoine : nadorites; flagolotite
- cérusite et galène.

4°/ - Morphologie des gîtes :

Cinq lentilles ont été reconnues.

La lentille principale reconnue sur 140 m de profondeur a une minéralisation non loin d'une faille affectant les calcaires miocènes.

En profondeur, la nadorite forme des amas mono-minéraux, distinctes des amas de smithsonite.

5°/ - Contrôles de la minéralisation.

a) - Stratigraphique et lithologique :

La minéralisation est dans des calcaires fluvio-lacustres du Miocène supérieur.

Elle est limitée vers le haut par des argiles rouges et vertes, vers le bas par des argiles noires et des marnes calcaires.

b) - Structural

De même qu'à Ichmoul, le gisement est dans la zone d'apparition d'un complexe triasique.

La minéralisation est non loin d'une faille affectant les calcaires miccènes.

Cérusite et galène sont surtout dans les parties hautes du gîte.

6°/ - Possibilités

Cette association zinc antimoine se retrouve également dans certains gîtes qui longent la "Transversale" Batna-Souk-Ahras, et également dans la bordure Nord de l'Atlas Saharien (Djebel Hammimat, Aïn Kerma...).

Dans la région, on retrouve des minéralisations en zinc et en plomb affectant un niveau bien déterminé des calcaires récifaux.

Ces minéralisations constituent à l'échelle régionale une minéralisation stratiforme.

Elles sont liées aux mêmes phénomènes structuraux que ceux que nous avons vus pour l'Atlas Saharien, à l'échelle du gisement : les failles, les zones de broyages, l'apparition de Trias (diapyrisme).

Les indices connus sont ceux de :

- Mesloula : c'est le plus important. (il semble néanmoins que ce soit un gîte de cassure).

- Bou-Jabeur, Djebel Djebissa, Bou-Roumane : galène et smithsonite sont interstratifiés dans des zones de broyage, près des failles et des apparitions de Trias diapyr.

GISEMENT DE L'OUARSENIS

C'est un cas qu'il nous paraît important de signaler bien que n'étant pas à proprement parler stratiforme, et que se situant dans l'autochtone intra-tellien.

1°/ - Aperçu géologique de la région :

La massif culminant de l'Ouarsenis présente une série Jurassite, essentiellement néréitique. Elle indique l'existence d'un haut-fond qui s'est maintenu après le Jurassique (couverture crétacé moins épaisse).

L'ensemble présente un style tectonique extrusif, et semble faire partie d'un complexe para-autochtone (d'après M.MATTAUEL) constitué :

- d'extrusion de lames jurassiques très redressées, perçant le flysch crétacé (Rokba, Belkeiret, Kef N'Hel) - voir coupe
- des lambeaux de Jurassique non enracinés : c'est le cas notamment du grand pic (voir coupe) où la série est complètement renversée.

2°/ - Roche magasin

La minéralisation se localise dans les calcaires fracturés du Lias moyen, constituant les lames extrusives et le Grand Pic.

3°/ - Paragenèse

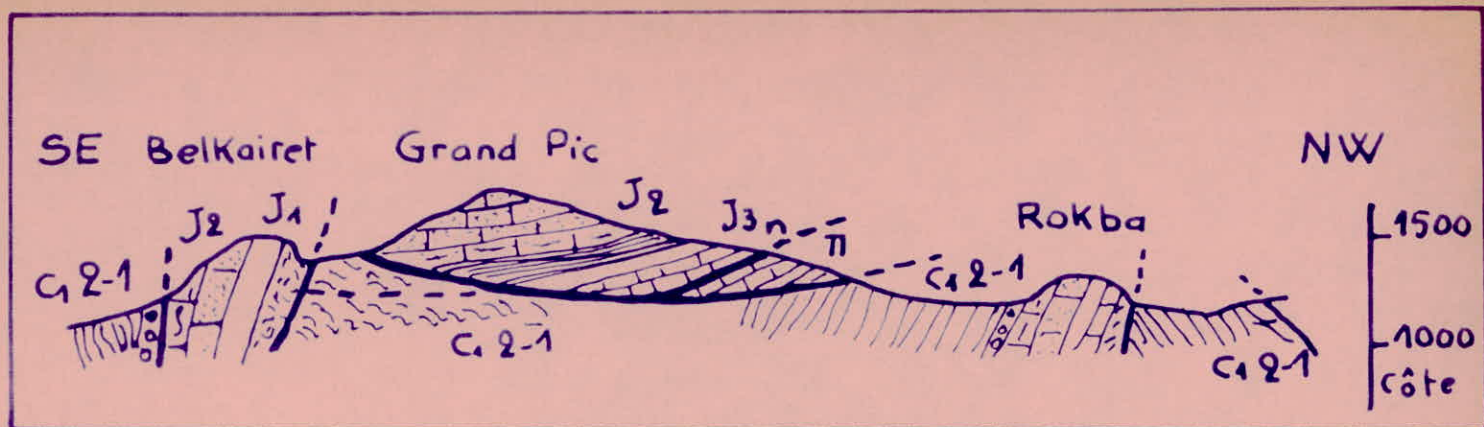
Minerai :

smithsonite, hydrozincite, blende, et galène subordonnée.

Gangue :

Pyrite, anglesite, cérusite, baryte, calcite, un peu de fluorite.

La texture des sulfures est bréchiques.



J₁ : Lias inférieur.
 J₂ : Lias supérieur. Dogger.
 J₃ : malm.
 π : Néocomien.
 C₁₂₋₁ : Danscuycsien. Albien.
 C₉ : Sémomanien.
 Niveaux minéralisés en pointillés.

COUPE DU MASSIF CULMINANT DE L'OUARSENIS

(d'après M. Mataner).

C'est le plus important gîte d'oxyde de zinc en Algérie.

4°/ - Morphologie :

La minéralisation est sous forme :

- de colonnes plus ou moins régulières, obliques ou verticales.

- d'amas de dimensions variables, de remplissage de grottes.

- d'amas d'allure filoniens

- de filons

- de stockwerts

5°/ - Contrôles de la minéralisation.

a) - stratigraphique et lithologique

Les calcaires (et les dolomies) du Lias moyen encaissent les minéralisations.

b) - Structural

* d'ordre paléogéographique : la série de calcaires et de dolomies du Jurassique, essentiellement nérotique, la réduction d'épaisseur de la couverture crétacée, montrent que le massif contenant les minéralisations a été un haut-fond.

D'autre part, on peut remarquer sur la coupe que les minéralisations ne semblent pas intrusives dans la série Jurassique mais suivent approximativement son inclinaison.

Les sulfures sont quelquefois diffusées dans les calcaires.

Autant d'éléments permettant d'établir une analogie avec les gisements stratiformes étudiés.

* d'ordre tectonique

Les colonnes s'observent essentiellement dans les

zones de fracturation, les fractures et contacts tectoniques.

C'est surtout du minerai oxydé.

La minéralisation apparaît souvent près du contact des extrusions (Rokba) ; plus rarement elle constitue le ciment de brèche tectonique de contact.

6°/ - Les possibilités

On peut penser qu'à l'origine, il y avait un gisement stratiforme de plomb et de zinc, auquel les bouleversements géologiques ont donné la forme actuelle.

Ceci nous conduit alors à envisager les possibilités qu'offre la "chaîne calcaire" (Kabylie) et les dômes de calcaires Jurassiques et Crétacés qui apparaissent en extension et en "fenêtres" dans l'allochtone intra-tellien (qui va au delà de Constantine), d'autant qu'on y connaît des indices.

CONCLUSION POUR LA RECHERCHE
EN ALGERIE DE GISEMENTS STRATI-
FORMES DE PLOMB ET
DE ZINC

On peut diviser l'Algérie en deux zones :

I) - ZONE OCCIDENTALE

A l'Ouest d'Alger, principalement la province Oranaise, (Môle oranais, Môle de Saïda) dans les hauts plateaux.

1°/ - Guides stratigraphiques :

Les gisements et indices de plomb et de zinc stratiformes se rencontrent essentiellement dans les niveaux dolomitiques du lias supérieur.

2°/ - Guides structuraux :

Les gîtes sont généralement sub-horizontaux.

Les ^{protubérances} ~~écarts~~ du substratum exercent un contrôle effectif sur les minéralisations.

Les profondeurs sont parfois importantes (jusqu'à 350 m à El-Abéd).

3°/ - Paragenèse :

Minerai : blende et galène essentiellement

Gangue : dolomitique ; pas de baryte.

II) - Les ZONES ORIENTALES

A) - Les hautes plaines :

1°/ - Guides stratigraphiques :

Les principaux niveaux minéralisés sont dans :

- le Lias moyen : dolomies dans les extrusions

et noyaux anticlinaux

CARTE TECTONIQUE SCHEMATIQUE DE L'ALGERIE AVEC LA POSITION DES MINERALISATIONS STATIFORMES DE Pb,Zn et celle du gisement de l'OUARSENIS

avant p-37. PL 00269

(Fond tectonique d'après L. Glaucoud, A. Claire, M. Mattauer, M. Kieken)



LEGENDE

1. Structure

- Zone des massifs Kabyles
- Domaine tellien
- Autochtone et couvertures Post-nappes
- 1. Allochtone indifférencié
- 2. Flychs crétaées tertiaires
- Structures présahariennes**
- Couverture tabulaire des hauts plateaux
- Môle oranais
- Môle d'Ain M'lila et sa bordure
- Primaire des horsts
- Couverture plissée de l'Atlas saharien

2. Minéralisation

- Gites et indices de Pb
- Zone minéralisée
- Zone sous-Kabyle
- Bordure du môle d'Ain M'lila
- Zone de l'Atlas saharien oriental

limité des unités tectoniques

- Accidents profonds du socle
- Failles importantes

Principaux gisements Pb Zn

1	Ghar Rauban stratiformes
2	El Abed - Oued Zouder
3	Dominique Luciani
4	Ain Mélaz
13	Ouarsenis
16	Kef Semmah
10	Dj. Felten
9	Hammam N'Bails
11	Ain Arto
7	Dj. Gustar
6	Kherzet Youcef
5	Ain Kahla
8	Dj. Schmoul
12	Maslouba
1...9	Gisement
10...12	indices (+4)

- l'hautérivien : calcaires récifaux dolomités et silicifiés.

- le barémien : dolomies du Barémien supérieur.

2°/ - Les guides structuraux :

- les minéralisations sont généralement inclinées
- il n'y a pas de bosse de substratum mais les zones de broyage sont très actives.

- la minéralisation est en relation avec une tectonique cassante.

- la profondeur est moins importante en général qu'à l'Ouest.

3°/ - Paragenèse :

Minéral : souvent oxyde de zinc, galène

Gangue : apparition importante de barytine

4°/ - Atlas Saharien :

1°/ - Guide stratigraphique :

Les principaux niveaux minéralisés sont :

- l'aptien : dolomies à la base de l'étage (Ichmoul)

- le miocène : calcaires récifaux déposés sur zone haute du socle.

2°/ - Guides structuraux :

- les zones de broyages des plis coffrets de l'Atlas Saharien sont très actives.

- la présence de failles injectées de Trias est très favorable.

- Il serait intéressant d'étudier la transversale Batna -Souk-Ahras.

- 89 -

3°/ - Paragenèse :

Minerai : blende, galène, plus minéraux d'antimoine (masse importante) plus cinabre...

Gangue : la barytine est très importante et constitue parfois des gisements.

0 0 0

METHODOLOGIE DE RECHERCHES

A) PARTIE OCCIDENTALE

On a vu qu'il y avait un contrôle par bosses du socle, et que les gisements sont dans le Lias. Par conséquent on fera :

1°/ - des levées géologiques des dolomites liasiques (ou des affleurements dolomitiques)

- de la géochimie stratégique
- le relevé des indices

2°/ Une campagne de géophysique pour déceler les structures du socle paléozoïque des hauts plateaux :

- par magnétométrie aéroportée (plus prise de photo aérienne)
- ou bien par gravimétrie.

3°/ Dans les aires sélectionnées (par superposition du résultat précédent) on fera : des sondages électriques. Ceci nous renseigne avec précision sur les protubérances du socle (hauts fonds). En faisant des profils plus serrés, ils permettront de suivre la répartition des bancs dolomitiques.

Les contrastes de résistivité semblent permettre l'utilisation des sondages électriques. Cependant, il faudrait faire des mesures locales de résistivité, avant d'en décider.

4°/ En même temps que les sondages électriques, on fait des mesures de polarisation induite, si la profondeur des couches dolomitiques du Lias n'est pas importante.

Dans la région d'El-Abed, la polarisation induite serait inopérante, du fait de l'importante profondeur à laquelle se situent les dolomies minéralisées du Lias.

Dans ce cas là, on ferait directement après les sondages électriques (ou même après la gravimétrie si ceux-ci ne sont pas possibles) une étude géochimique de détail.

5°/ Une étude géochimique de détail

6°/ Des sondages mécaniques verticaux (les couches étant généralement sub-horizontales).

B) PARTIE ORIENTALE

On la subdivise en deux zones :

I) - La zone des hautes plaines :

Le contrôle est essentiellement par des accidents locaux.

Les dolomies intéressantes semblent être :

- celle du Lias (Aïn Kahla)
- celle du Barémien (Kherzet-Youssef)

Certains calcaires récifaux de l'Hautérivien (Djebel Gustar) sont aussi favorables.

Donc on procèdera à :

1°/ des levées géologiques ayant des dolomies favorables (âges précités)

des relevés des indices minéralisés
de la géochimie stratégique dans ces aires
des sondages électriques afin de suivre si possible la répartition des bancs dolomitiques.

2°/ Recherche des failles, accidents locaux, zones de broyage..., par :

- les méthodes géologiques (levés de terrains ...)
- étude photogéologique
- électromagnétisme par TURAN : pour la détection des accidents non affleurants

3°/ A l'aplomb des failles :

- des sondages électriques : sur des profils plus serrés
- des mesures de polarisation induite : les profondeurs auxquelles se situent les gisements connus, le permettent.

Ces deux études se feront simultanément avec le même appareillage. Les couches étant inclinées (en général) les anomalies seront plus parlantes

- des études géochimiques de détail

4°/ Des sondages mécaniques (qui seront généralement inclinés, les gisements connus présentant un fort pendage).

II) - La zone de l'Atlas Saharien (Aurès en particulier)

Les gisements connus sont près d'anticlinaux d'où semble avoir "giclé" un Trias diapyr.

Les gisements sont dans :

- des dolomies aptiennes (Ichmoul)

- des calcaires fluvio-lacustres du Miocène (Hamman-N' Baïls)

Les couches sont généralement inclinées.

Donc :

1°/ - On sélectionnera les aires :

- où il y a des dolomies aptiennes, ou des calcaires Miocènes

- proches de l'anticlinal atlasique, où apparaît du Trias

- où on relève des indices de minéralisation

On fera une prospection géochimique stratégique (prélèvement d'alluvions).

En même temps on recueillera des renseignements sur les indices de minéralisation auprès des populations indigènes.

2°/ On recherchera les accidents locaux par :

- les méthodes géologiques : pour les accidents affleurants

- électromagnétisme (TURAM) : pour les accidents non affleurants

3°/ On fera des études détaillées par :

- sondages électriques, afin de suivre les bancs dolomitiques : les sondages électriques sont ici bien adaptés, les dolomies étant interstratifiées avec des calcaires apticiens bleus compacts, nettement plus conducteurs que les dolomies.

- en même temps on effectuera des mesures de polarisation induite : l'inclinaison des couches est favorable ; la faible

épaisseur de recouvrement aussi. Le meilleur paramètre de mesure serait l'effet de fréquence et le facteur métal.

- une étude géochimique de détail : prélèvements systématiques.

4°/ Des sondages mécaniques avec mesure de polarisation induite.

QUELQUES EXEMPLES DE RECHERCHES :

DJEBEL - GUSTAR (Campagne RUDIS - Yougoslavie 63-64)

I / PROSPECTION GEOCHIMIQUE STRATEGIQUE

1°/ Echantillonnage :

- Prélèvements le long des nombreux oueds plus ou moins grands se trouvant sur les versants du Djebel Youssef

- Prélèvements de 100 à 200 gr. sur une longueur de 20 à 30 m, un échantillon par oued.

- Prélèvement de matériel terreux, sablonneux ou argileux, souvent sondé par un ciment de carbonate.

2°/ Résultats obtenus :

Sur 428 échantillons, 406 étaient négatifs (échantillonnages enregistrés sur une carte au 1/10 000).

Les valeurs anormales indiquent surtout des minéralisations déjà connues, sauf à Kef El Ahmar où aucun affleurement n'est connu.

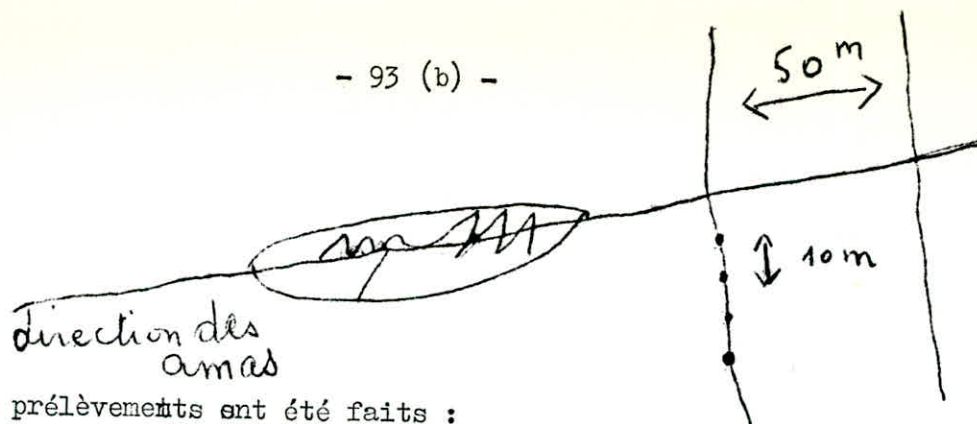
II / PROSPECTION GEOCHIMIQUE TACTIQUE (Systématique).

1°/ Prélèvements :

- de 200 à 250 gr. broyés et réduits à 50 gr. (analyse à la ditrizone...)

- sur des profils perpendiculaires à la direction Nord-Sud des amas de minerai

- la distance entre les divers profils est de 50 m, et de 10 m entre les prélèvements sur un même profil.



les prélèvements ont été faits :

- dans les régions où les sédiments recouvrant la série minéralisée n'étaient pas trop épais.

- des parties où la série minéralisée n'est pas trop érodée.

2°/ Résultats :

Sur 1825 échantillons, 218 étaient positifs pour le plomb (12%) et 417 pour le zinc (22,8 %).

Les zones anormales de zinc sont les plus larges et intensives.

III / RECHERCHE GEOPHYSIQUE

1°/ Essais de méthodes

- sondages électriques
- polarisation induite
- polarisation spontanée
- profils de résistivités

2°/ Résultats

La polarisation spontanée n'est pas applicable : les conditions physico-chimiques requises n'existent pas dans le gisement, bien que les concentrations soient importantes.

Sondages électriques et profils de résistivités : ils permettent de distinguer les diverses couches lithologiques, les différences de résistivités, étant importantes. La minéralisation n'est pas détectée, toutefois, ces mesures servent à établir les contacts géologiques, les failles et l'épaisseur des sédiments.

La polarisation induite : elle a donné les meilleurs résultats. Une faible concentration suffit et la résistivité de la roche ne doit pas être trop basse.

La polarisation induite et les mesures de résistivités ont donc été appliqués.

Le dispositif Wenner a été choisi. Les profils ont été tracés tous les 50 m suivant une direction E.W.

Sur les profils les mesures ont été faites tous les 40 m avec une distance entre les électrodes $a = 40$ m.

Les sondages électriques ont été faits avec des distances de $a = 2$ m à $a = 500$ m.

Alimentation par courants continus de 2 A.

Pour la polarisation induite :

- durée d'alimentation = 1 mn
- enregistrement 2mn après la coupure du courant et évaluation de la polarisation induite à 5 secondes après l'interruption.

Résultats obtenus : Dans la région des anciens travaux, quelques zones anormales ont été repérées par polarisation induite.

Les sondages électriques ont permis d'établir, la limite entre la série minéralisée et le sens de recouvrant, quelques lignes tectoniques, les failles principales, l'épaisseur de la série hétérogène et la profondeur de l'alluvion dans le S de la Mine.

La polarisation induite effectuée sur les sondages électriques exécutés au Sud de la mine ont permis d'établir que les amas de minerais se prolongent au Sud de la faille du Midi, à une plus grande profondeur.

Les couches du S. de la faille sont abaissées de 70 à 200 m par rapport au N. de la faille.

Prospections :

De nouvelles prospections géophysiques dans la région du Djebel Gustar par :

- polarisation induite
- sondages électriques.

DJEBEL GUSTAR : RECHERCHES GEOLOGIQUES EFFECTUEES

EN 1965 - 1966 (par la compagnie Yougoslave RUDIS)

TRAVAUX :

1ère campagne RUDIS (63/64)

- levé topographique au 1/1000 du Djebel Gustar

- levé géologique

- prospection

./ Géophysique (polarisation induite)

./ Géotactique (géochimie à maille - de 50 x 10 m -

sur 2,40 Km² - Echantillonnage des carottes),

- plan des futurs travaux.

2ème campagne (64/65)

- géochimie du Djebel Gustar plus région de Sekecken

- sondages dans deux zones d'anomalies géophysiques et géochimiques repérées précédemment.

(mailles de 50 x 20 ; 240 ha ; 3661 échantillons).

Les mailles ont été desserrées dans la direction des anomalies

Selon que les échantillons manifestent des dispersions primaires ou secondaires, ils ont été groupés aussi, en ceux prélevés dans les roches et en ceux prélevés dans les roches désagrégées (matériel terreux).

CONSTATATIONS

./ Les valeurs anormales du zinc dominant par leur nombre et par leur intensité sur les valeurs du plomb (32,60 % d'échantillons positifs de zinc contre 16,25 % d'échantillons positifs de plomb). La notion d'échantillon positif plomb est quand même supérieure ou égale à 50 ppm.

./ Les maxima pour le plomb et le zinc se trouvent dans la classe 5 à 200 ppm du métal respectif. Le maxima secondaire est dans la classe des valeurs supérieures à 1000 ppm (plomb 11,05 % des échantillons positifs et zinc 13,55%).

./ Il existe des différences considérables dans des répartitions dans les diverses catégories de roches échantillonnées.

./ Les dispersions sont plus intenses dans les séries de l'Hautéruvien, portant les minéralisations.

./ Les "anomalies secondaires" (roches désagrégées) sont plus riches que les "anomalies primaires" (roches compactes) et le plomb est plus important que le zinc.

Pour l'avenir, on propose d'établir l'échantillonnage et les zones anormales en fonction de la stratigraphie et de la tectonique, une fois les levés géologiques détaillés effectués.

INTERPRETATION

Les anomalies de la série minéralisée (série des mines) apparaissent dans les roches du niveau métallifère ou dans les roches des couches inférieures de la série des mines.

Dans le premier cas, les anomalies indiquent la présence de minéralisations jusqu'à 20 m de profondeur. Ces anomalies sont intéressantes.

Dans le deuxième cas, les anomalies bien qu'importantes ne semblent pas intéressantes, aucune minéralisation économique n'ayant été retrouvée dans la série inférieure.

Les anomalies au toit de la série des mines semblent les plus prometteuses. Mais aucune valeur n'a été exactement définie.

Il semble nécessaire d'établir une carte géologique au

1/1000. Il faudrait aussi tenir compte des dispersions par le vent, du minerai (haldes) déjà ~~travaux~~ extrait.

Dans la région des travaux miniers, les anomalies ont une direction qui correspond approximativement à celle des amas. En dehors de la région des travaux miniers, sur le restant méridional du Djebel Gustar, il y a quelques zones anormales.

PROSPECTION DES FAILLES

Les prélèvements sont faits parallèlement, à la faille dans la roche et dans la roche désagrégée, au même point.

La roche désagrégée a montré des valeurs plus importantes

Les résultats concordent avec ceux des prélèvements systématiques de surface.

La question de l'applicabilité de l'échantillonnage des failles, en combinaison avec les résultats du réseau systématique, n'est pas encore résolue.

ANOMALIES GEOCHIMIQUES DANS LES SONDAGES

Les carottes avaient pour but d'établir la présence d'une minéralisation oxydée dans des roches altérées (de la zone de Kes-Kes Nord). Les valeurs établies n'ont pas atteint des valeurs intéressantes (⇒ il faut tenir compte uniquement des phénomènes visibles de la minéralisation).

SONDAGES STRUCTURAUX

Ils ont permis de conclure qu'en dehors de la faille principale et la faille du Midi, il se trouve au Nord de celle-ci quelques failles parallèles, le long desquelles les blocs de terrain sont abaissés en escalier.

Ces résultats donnent de nouvelles possibilités de minéralisation dans les blocs abaissés.

LEVE DETAILLE

Les sondages ont permis de connaître avec précision le volume stratigraphique des couches Hautériuviennes.

Afin de compléter ceci, des levés détaillés de quelques profils géologiques ont été faits.

La carte établie constitue la base des futures recherches.

PROPOSITIONS RUDIS

1°/ Levé géologique au 1/1000

2°/ Travaux miniers

3°/ Sondages.

K H E R Z E T - Y O U S S E F

(RUDIS - YUGOSLAVIE 1964/1965)

Lors d'une campagne en 63/64 de prospection, des anomalies de polarisation induite considérée comme appropriée, et de géochimie ont été détectées.

Ces anomalies concordaient, les anomalies de zinc étant cependant plus étendues du fait de la mobilité plus élevée du zinc.

Ces travaux géophysiques et géochimiques ont été effectués suivant un réseau tracé conformément à la direction générale des couches E.W.

Le but poursuivi par la campagne 64/65 était de confirmer par sondages l'existence de la minéralisation de zinc et de plomb dans la zone des anomalies géophysiques et géochimiques.

Onze sondages ont été faits dans les deux grandes zones anormales, respectivement de 125 m la minéralisation n'a pas été repérée.

Les anomalies géophysiques semblent être dues à des concentrations de pyrite.

Les anomalies géochimiques ne semblent pas être due à des dispersions, mais à des enrichissements peu importants, de l'ordre de grandeur géochimique.

PROPOSITIONS POUR LES FUTURS RECHERCHES RUDIS

- recherches au fond, par galeries...
- recherche de la prolongation de la faille de Kherzet Youssef, déplacée vers le Nord par une grande faille de direction E.W., probablement vers l'Est. (RURAM ?).

PROSPECTION ELECTRIQUE DANS LA REGION DE

DOMINIQUE LUCIANI (C.C.G.)

Des essais ont montré que la résistivité des dolomies est assez élevée, supérieure à une centaine d'ohms-m.

Elles se distinguent bien du recouvrement Callovo Oxfordien dont la résistivité varie de 15 à 40 ohms-m, en moyenne.

En vue d'assurer au mieux l'interprétation des sondages électriques, quelques uns ont été faits à l'aplomb de forages existants. A signaler que la présence ~~exxxx~~ de grès fait que les sondages électriques indiquent des profondeurs faibles (résistivité des grès importante).

TRAVAUX EXECUTES :

- la prospection a couvert 11 km²
- 33 profils de résistivité et 918 mesures ont été

effectués :

- . Leur écartement est de 200 m
- . Deux dispositifs AB de longueurs différentes ont

été adoptés. Le premier est peu profond :

AB = 200 et mesure tous les 50m là où le bathonien est peu profond

AB = 300 et mesure tous les 100 m, là où le Bathonien est profond.

- 38 sondages électriques préalables ont fourni des renseignements sur la profondeur du Bathonien et permis d'établir des lignes de profils.

RESULTATS :

1°/ Une faille E.O. à rejet important sépare deux zones bien différentes

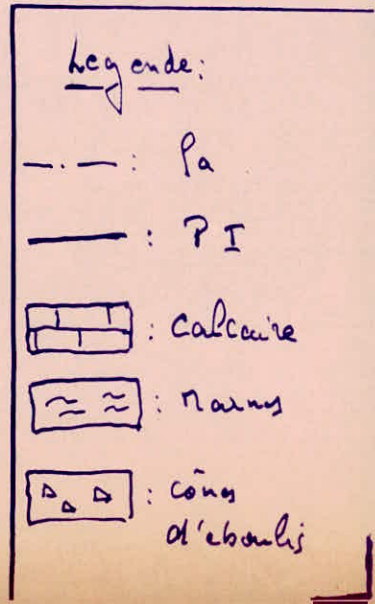
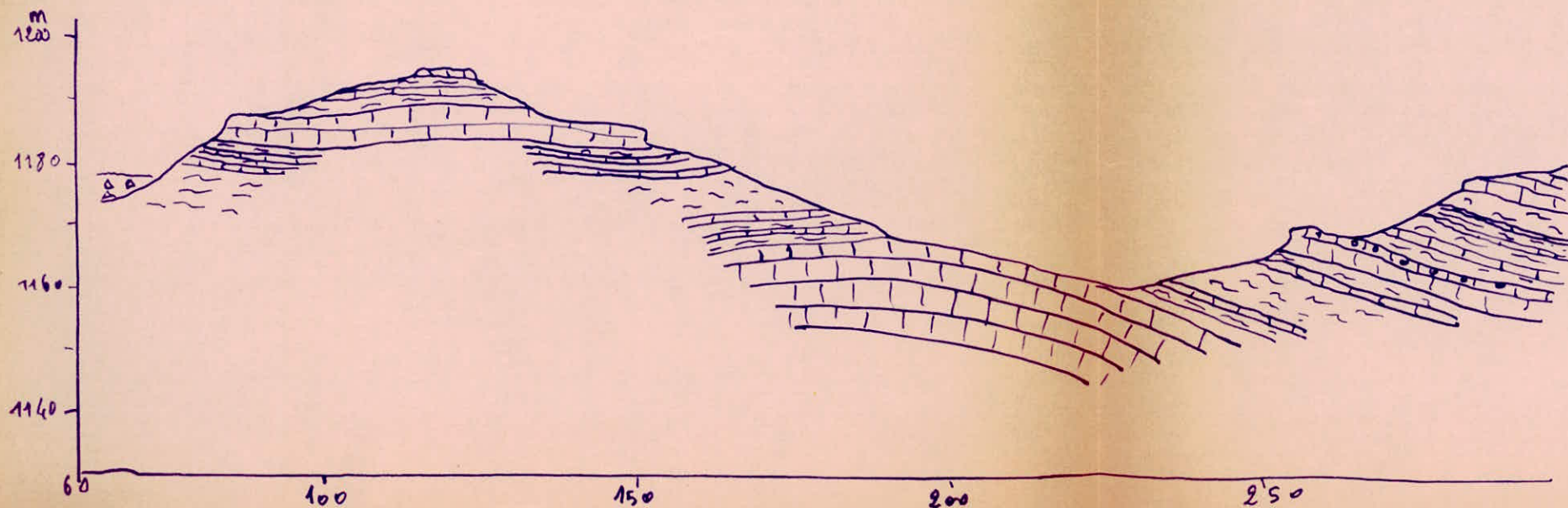
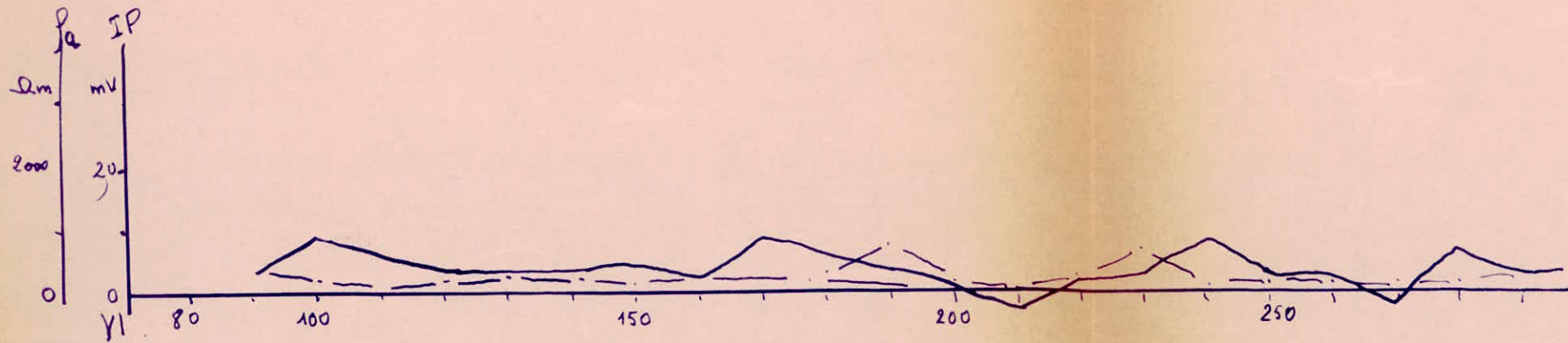
- le compartiment N effondré où les calcaires dolomitiques plongent vers le N.N.O. est profond

- le compartiment Sud, où les calcaires restent affleurents.

Echelle : 1:1000

DJEBEL GUSTAR

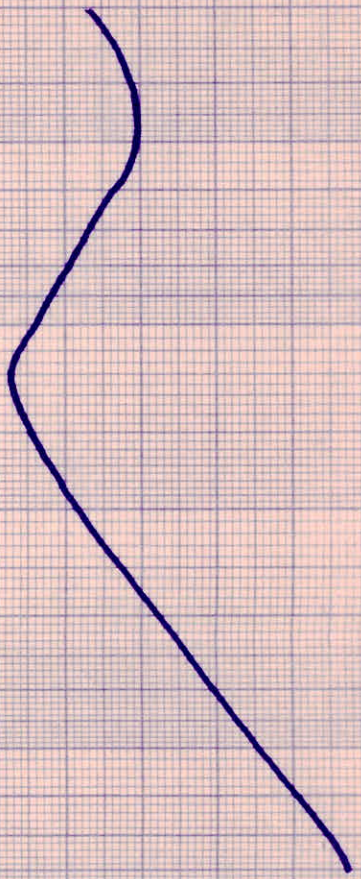
Exemple de profil Geophysique.



Dominique-LUCIANI
Exemple de SE.

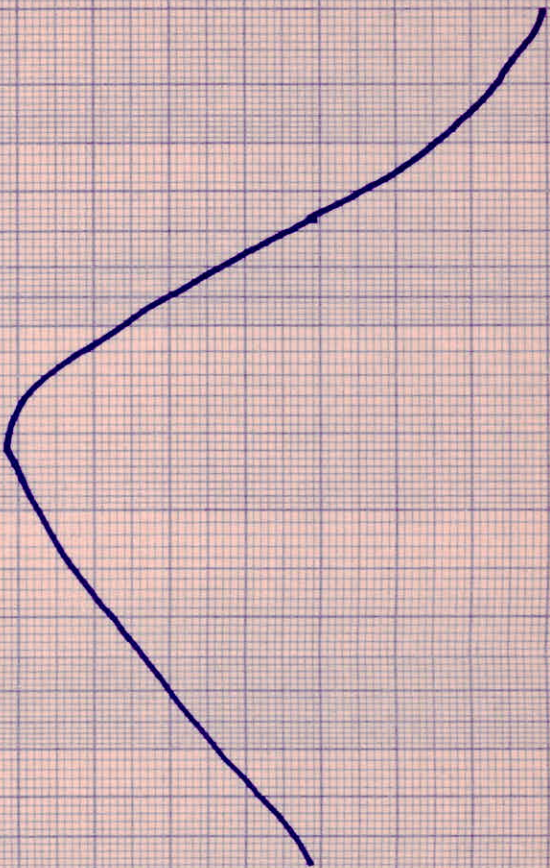
SE 1

3
4



DOMINIQUE. LUCIANI

SE 26



2°/ Un système de failles borde au Sud cette fosse et longe deux affleurements de calcaires dolomitiques.

CONCLUSIONS : la faille E.O. semble être l'accident majeur : il serait intéressant d'explorer les abords de cette faille par polarisation induite et par géochimie, à notre avis.

Les petites failles aussi, ne sont pas sans intérêt.

Les compléments d'études faites en 1950 et 1952, ont permis de prolonger vers le S.E. le tracé des failles décelées. Quatre failles principales dirigées N.O. S.E. ont été mises en évidence.

QUELQUES REMARQUES SUR CES RECHERCHES

I / DJEBEL GUSTAR ET KERZET YOUSSEF

On remarquera que le programme de recherche suivi correspond à celui que nous avons proposé :

En effet, la région ayant été précédemment étudiée, (par J. GLACON, L. GLANGEAUD...) on a tout de suite procédé à des levés géologiques, à une petite prospection géochimique stratégique et ensuite à l'étude de détails par les sondages électriques, (qui ont permis une détermination structurale) par polarisation induite et par géochimie systématique.

Malheureusement les sondages effectués à l'aplomb des anomalies de polarisation induite et de géochimie, se sont avérés négatifs.

Il semble d'ailleurs que ces sondages ne se justifiaient pas tellement, les anomalies en question étant de petites anomalies distinctes ponctuelles, ne faisant point penser à la présence d'amas de minerais importants.

II / DOMINIQUE LUCIANI

A l'époque (1952) la polarisation induite était encore mal connue, c'est pourquoi, les sondages mécaniques ont été effectués immédiatement après la prospection par résistivités.

On peut penser qu'il serait intéressant de reprendre la région pour une prospection par polarisation induite et par géochimie systématique, sur la base des résultats (structuraux) obtenus par les sondages électriques et les profils des résistivités.

IV ème P A R T I E
=====

II- III III E X E II

ANNEXE

En plus des éclaircissements et des précisions qu'il peut apporter, cet annexe a été constitué surtout pour faire de ce projet un outil de travail aux mains des étudiants du département "Mines et Géologie" de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

II-) N N E X E R E L A T I F A L A

P R E M I E R E P A R T I E

Nous avons dit que les constatations de la "répartition de Blendel" sur la zonalité du plomb et du zinc, pouvaient s'expliquer par les schémas de Fernsman et d'Emmans. Effectivement ceux-ci nous permettent de prévoir la position du plomb et du zinc par rapport aux plutons et aux autres métaux.

1°/ Shéma de Fernsman : zonalité des minéraux.

Les minéraux se disposent en zones schématiquement concentriques par rapport à la position somitale des massifs granitiques.

La zonalité normale montre que :

- le zinc est plus profond que le plomb
- le plomb disparaît en profondeur (l'argent est surtout avec le plomb)
- le cuivre est plus profond que le zinc

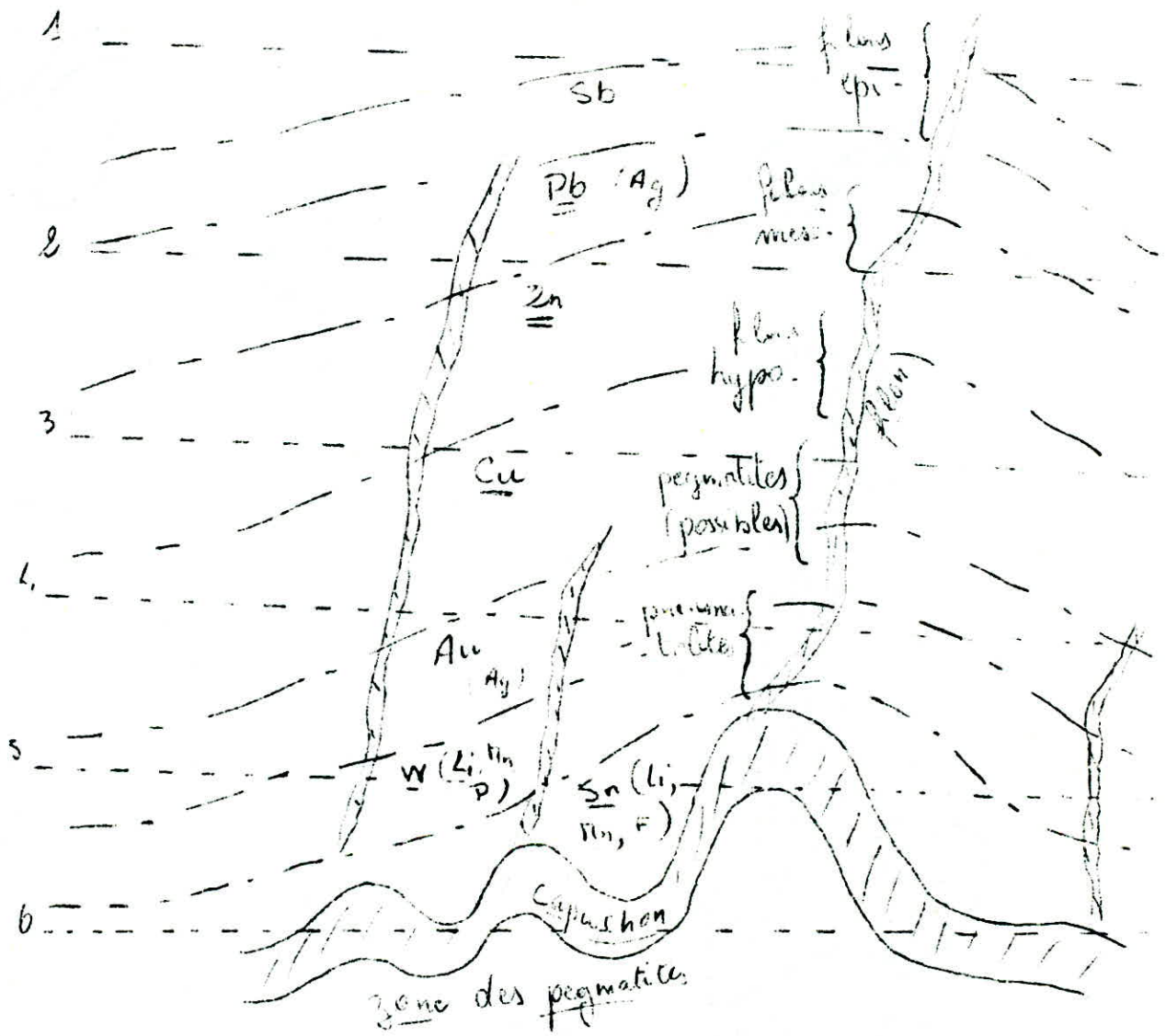
2°/ Schéma d'Emmans :


Il complète celui de Fernsman, en définissant une "profondeur d'érosion".

On suppose qu'un massif granitique se met en place dans une couverture :

- les parties voisines de la surface, vont cristalliser les premières. Elles forment un capuchon.
- les parties somitales du capuchon sont les plus épaisses.

On constate que les minéralisations se localisent préférentiellement dans les parties somitales des batholites. Elles deviennent moins importantes latéralement et




 = Zonalite de FERNSTAN
 1 ————— : Stades d'erosion d'EMMONS

s'évanouissent en profondeur.

Sommairement le processus est le suivant :

- cristallisation dans les fissures du magma résiduel : formation des pegmatites. Cependant des pegmatites peuvent exister loin de tout Batholite.

- concentration des produits volatils vers les parties apicales. Les solutions vont cristalliser :

* dans les fissures du capuchon : pneumatolites

* loin du batholite : filons hydrothermaux.

Emmans suppose alors six stades d'érosion :

1er stade : crypto : il correspond aux orogènes récents. Le niveau d'érosion est le plus faible. Toutes les minéralisations peuvent coexister parmi lesquelles le cuivre, le plomb, le zinc.

2ème stade : aéro : un apex a disparu : c'est encore des orogènes récents mais plus marqués par l'érosion. Quelques minéralisations ont pu disparaître (le zinc, le plomb...)

⋮

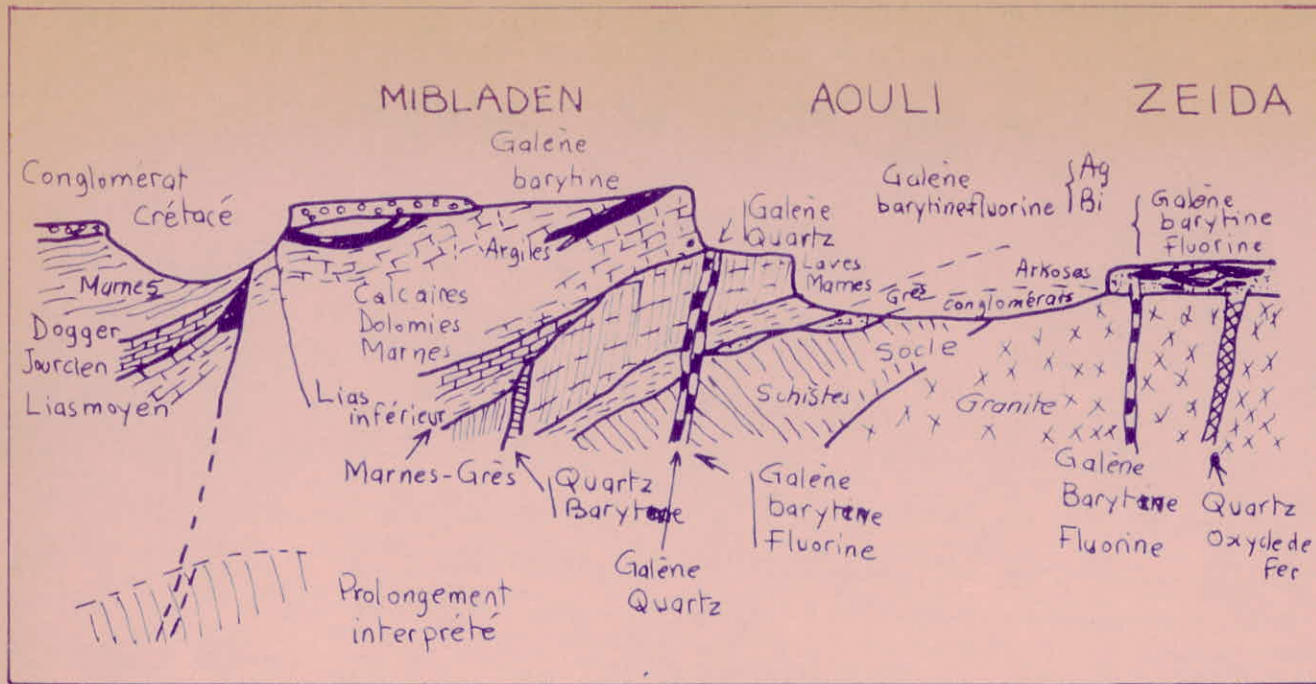
6ème stade : hypo : ce sont les orogènes précambriens, très profondément érodés. On n'y trouve que très peu de minéralisations.

DEUX EXEMPLES PARTICULIERS : LA HAUTE MOULAYA
 =====
 AU MAROC ET L'ARGENTIERE EN FRANCE
 =====

A) - Minéralisation plombifère de la Haute Moulaya

On y rencontre trois gisements : Aouli, Mibladen et Zeïda
 présentant respectivement les caractéristiques suivantes :

Eléments	Aouli	Mibladen	Zeïda
Morphologie des minéralisations	Filons	Amas stratiformes	Amas stratiformes
Roches encaissantes : -âges	Socle ancien et permo-Trias	Lias moyen Lias supérieur Crétacé moyen	permo-Trias
-nature	granites et schistes métamorphiques grès, marne, lave	Argilites, Marnes, dolomies, conglomérats	Arkoses
Cadre paléogéographique	socle en dôme topographique avec schistes plissés. fracture anté-permiennes avec rejeu postérieur	couverture tabulaire en biseau sur talus fracturé du dôme ancien milieu marin de faible profondeur Faille vivante antécédente calquée sur les failles du socle	couverture tabulaire sur sommet du dôme ancien milieu épicontinental rejeu de fractures anté-permiennes
Minéralisation - paragenèse	galène (Ag, Bi) sulfure de Cu quartz, barytine fluorine	galène (Ag) cérusite et barytine	galène (Ag) cérusite barytine, fluorine
- types de minéralisations	4 formes de quartz avec structures bréchiques Ba, non broyée	2 variétés de Ba, 3 de cérusite	2 types de minéralisations
- caractères	Epigénétiques les filons ne recoupent pas le Jurassique	syng. epigen. miner. débutant, 30m sur niv. strat. constant	epigénétiques



Ag: 350
Bi: 114

Schéma théorique montrant la répartition observée des minéralisations.

L'importance relative des faits n'est pas toujours respectée.

- Haute Moulouya (Projet Oklahoma) -

B) - GISEMENT DE L'ARGENTIERE (ARDECHE - FRANCE)

Contrôle de minéralisation en galène de type "Red-Beds"

Aperçu géologique de la région minéralisée :

Les minéralisations apparaissent à la base des formations sédimentaires mésozoïques qui bordent le flanc Sud-Est du Massif Central. Il s'agit d'un ensemble complexe de rudites et d'arénites siliceuses, accessoirement de lutités, attribuées au Buntsandstein.

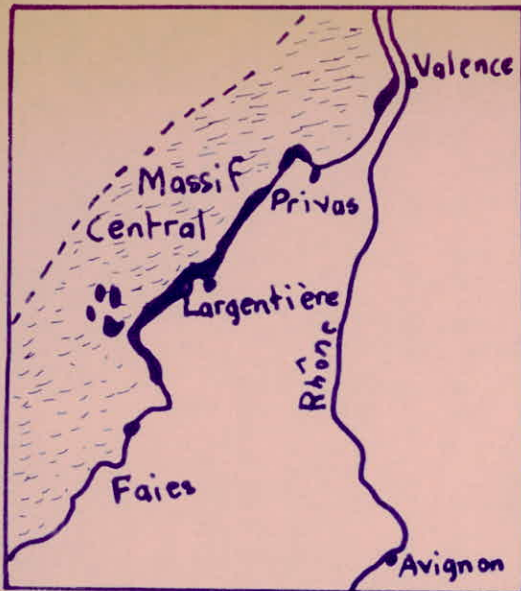
La paléogéographie de cette unité a pu néanmoins être cernée avec précision. Il s'agit d'un complexe continental de type pédiplaine où le ruissellement en nappe (au sheet flood) est très fréquent.

Les volumes minéralisés et leur contrôle


Les minéralisations exploitables se disposent en cinq niveaux préférentiels (ou couches) repérés statistiquement par rapport soit à la surface anté-triasique, soit à un niveau argileux vert qui sert de toit général à la très grande majorité des minéralisations. Celles-ci sont très discontinues et se présentent sous forme d'amas lenticulaires dont trois particulièrement significatifs :

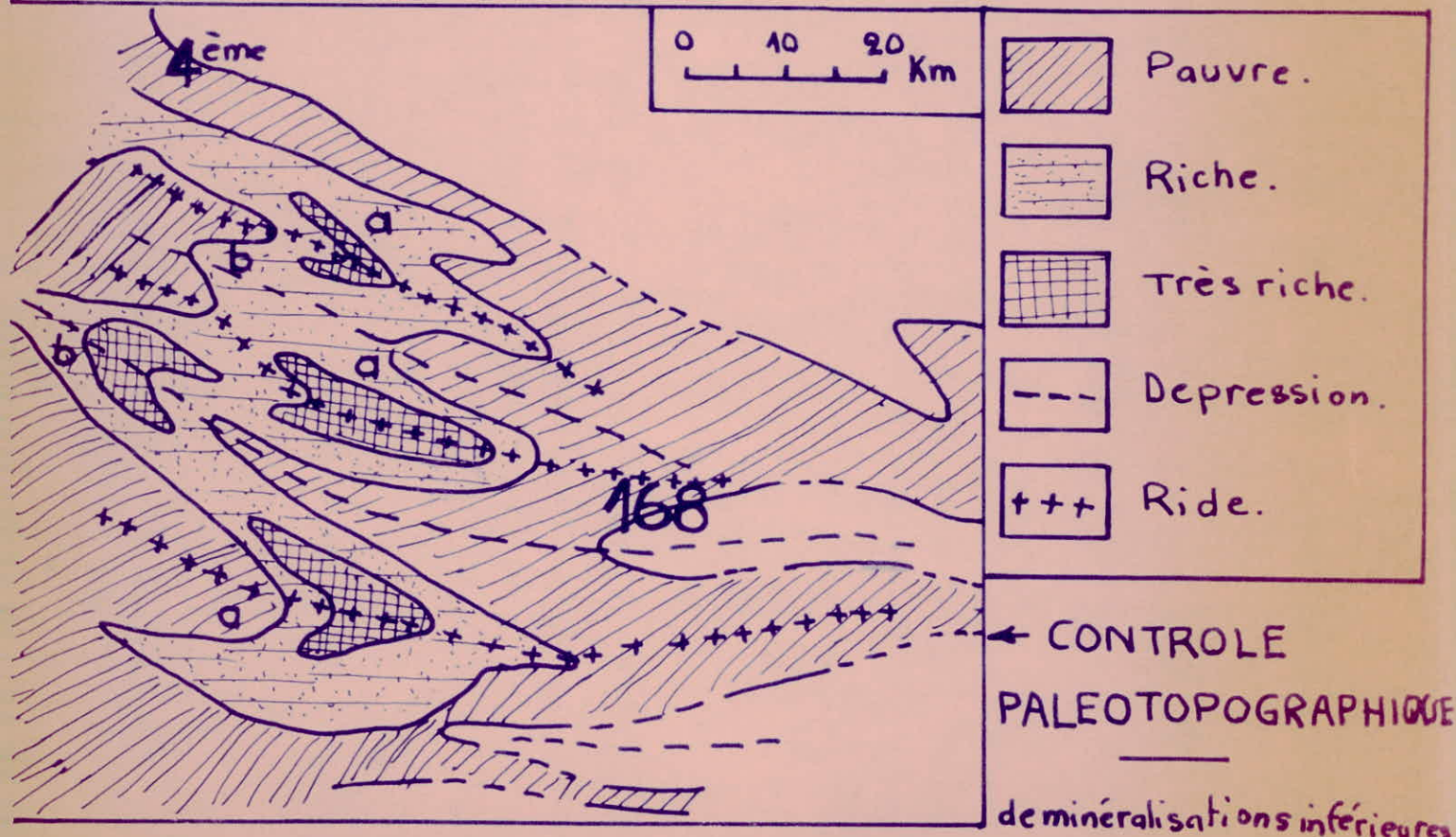
- 1/ minéralisation de la base (voir schéma)
- 2/ minéralisations supérieures (voir schéma)
- 3/ lentilles à coeur dolomitique (voir schéma)

Parmi les très nombreux caractères mis en évidence il a été possible de sélectionner les quatres éléments primordiaux qu'implique le modèle paléogéographique qui semble bien caractériser le gisement de Largentière. Ce sont :

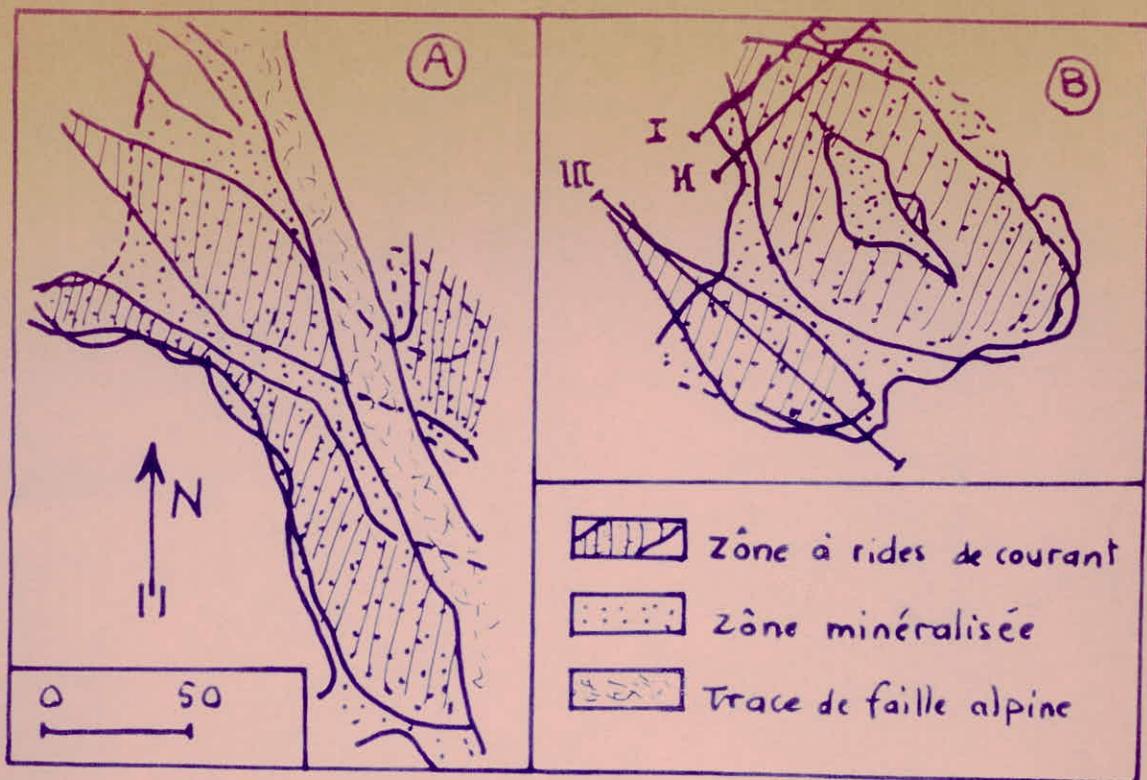


← Carte schématique de la bordure Sud-Est du Massif Central

 Bintsandsteins



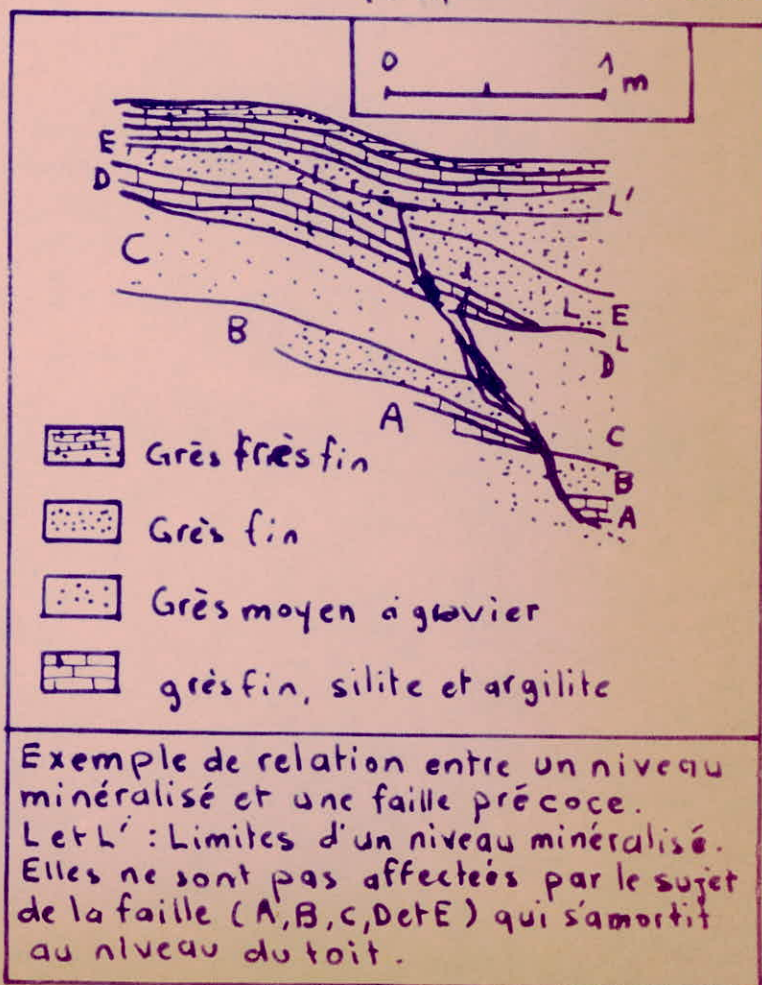
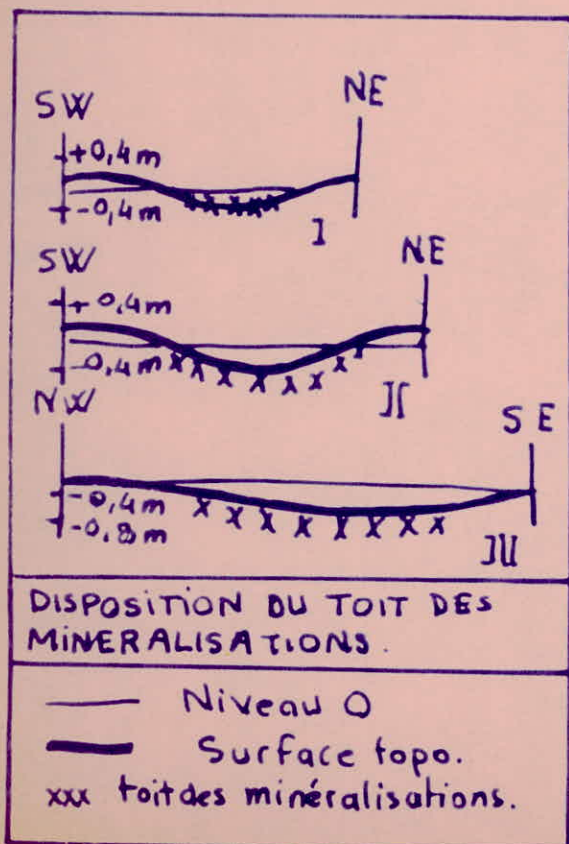
L'évaluation de la minéralisation provient d'une estimation des teneurs des fronts de taille. Seules quelques courbes d'isoaccumulation métal ont été tracées; elles soulignent les structures en croissant du type (b), suivant l'axe de dépression, et de type (a) suivant l'axe des rides.



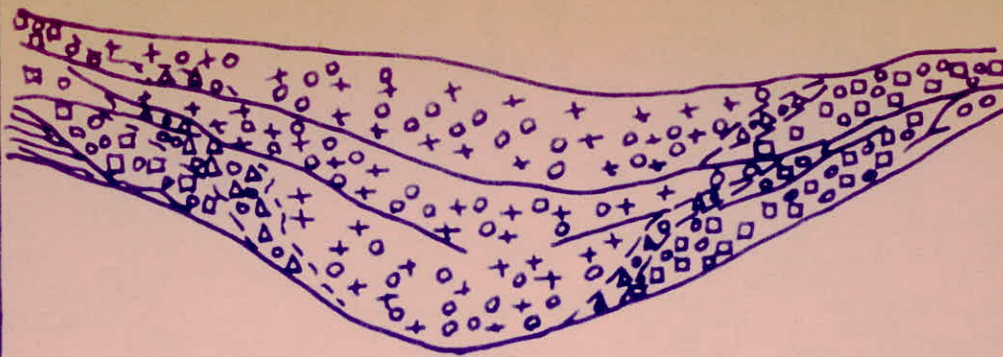
Contrôle paléogéographique des minéralisations des couches supérieures.

Les profils I, II et III renvoient à la figure ci-dessous.

(d'après SAMAMA 1967)



Exemple de petits chenaux à cœur dolomitique



○●○ Support détritique

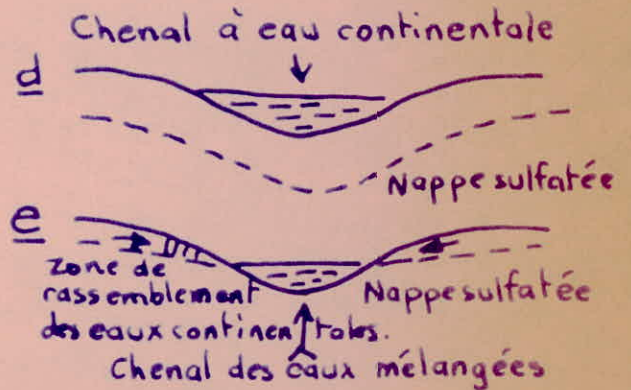
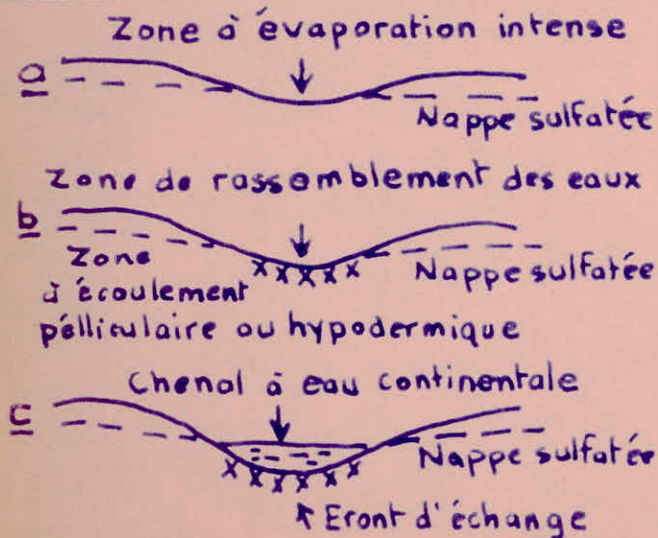
△△△ Ciment de blende et silice

▨ Argilite ou silite

+ + + Ciment dolomitique

□□□ Ciment de galène et silice

Une zonation analogue s'observe de l'amont vers l'aval de la structure.



Représentation du modèle hydrologique de la couche 2. (voir légende dans le texte). Les cas b etc sont directement inspirés de la figure 6 (I et II).

- l'environnement continental
- la bordure du bassin, riche en sulfates (nappe sulfatée)
- la présence de matière organique
- une chenalisation bien marquée (voir schéma)

QUELQUES NOTES SUR LES MINÉRALISATIONS DE PLOMB
ET DE ZINC DANS LES ROCHES CARBONATÉES

I) - N.H. Callahan, "distingue d'abord les gisements dans des roches carbonatées non plissés. . Les uns et les autres ne diffèrent que par le plissement post minéral". Disons que l'effet de ce plissement sera de compliquer la recherche, sans pour autant en changer les critères fondamentaux.

Il fait ensuite des distinctions fondées sur des critères sédimentologiques :

1° - Les gisements ~~sous~~ une discordance, souvent dans des brèches de dissolution, remplissant des effondrements.

C'est un faux problème, puisque des gisements ne sont placés sans la discordance qu'après un effondrement des terrains qui les supportaient.

2° - Gisements au dessus d'une discordance, avec talus, biseaux, brèches sédimentaires de glissement et parfois récifs.

3° - Gisements dans une zone de changement de faciès s'étendant verticalement à travers une formation avec brèches, débris récifaux, lits algaires...

N.H. Callahan insiste sur l'importance de la "paléogéographie" pour la compréhension de la localisation de la minéralisation et pour la prospection de ce type de gisements.

II) - Quelques répartitions de ces gisements :

1°/ - en Yougoslavie : District plombo-zincifère de Mesica.

80% des gîtes sont dans les calcaires : rapport

plomb sur zinc = 2/1

20% des gîtes sont des dolomies : rapport

plomb sur zinc = 1/6

2°/ - En Iran :

Parmi les 57 gisements de plomb et de zinc étudiés par L. Bunnol, 52 sont encaissés dans des roches sédimentaires (1 dans une roche intrusive, 4 dans des roches volcaniques).

Leur localisation est variable dans les séries sédimentaires, monotones, parfois très épaisses. L'effet Socle-couverture ne paraît pas déterminant, pas plus que les accidents importants de sédimentation.

La roche sédimentaire encaissante n'intervient qu'en tant que milieu lithologique plus ou moins favorable au dépôt dans des conditions données de stratigraphie et de tectonique locale. La tectonique cassant surtout a joué un rôle essentiel dans la mise en place de la minéralisation.

Signalons qu'on retrouve des gisements de type analogue en Algérie et dans le Massif Central français, où notamment l'effet socle-couverture est déterminant. On peut donc objecter que si l'effet socle-couverture et la topographie du socle ne semblent pas déterminants dans la localisation des gisements, c'est probablement, parce qu'ils n'ont pas été mis en évidence, les régions étant d'ailleurs assez mal connues.

Par ailleurs ces minéralisations semblent liées aux phases paroxymales tardives de l'orogénèse alpine, qu'il s'agisse de gisements localisés dans les arrières pays, ou les avant-pays de cette chaîne.

III) - Un problème de recherche fondamentale : le zinc dans les carbonates de calcium.

Dans une étude comparative des facteurs pouvant concourir à la concentration des éléments en traces dans les roches sédimentaires, K.B. Krauskopf (1955) émet l'hypothèse suivant laquelle le mécanisme de coprécipitation avec les carbonates de calcium peut jouer parfois un rôle important pour les éléments suivants : cuivre, plomb, zinc.

La coprécipitation : c'est la précipitation d'un composé avec un ou plusieurs autres composés. Elle peut être due à :

1°/ la formation de solutions solides :

- * par formation de cristaux mixtes isomorphes
- * par formation d'un cristal mixte anormal

2°/ l'occlusion : c'est le piègeage d'impuretés à la surface du cristal lors de sa croissance.

3°/ l'adsorption : des ions étrangers sont fixés sur une couche à la surface du cristal en fonction de l'attraction exercée par les atomes superficiels dont les liaisons ne sont pas entièrement satisfaites.

4°/ postprécipitation : c'est lorsque deux composés distincts ^{précipitent} consécutivement ^t l'intervalle de temps séparant leur formation étant variable.

Des études ont ainsi démontré la possibilité, pour le zinc, de coprécipiter avec les carbonates de calcium, donc de les accompagner pendant la sédimentation.

Au cours de la diagenèse du sédiment il semble que :

- les facteurs de piègeage du zinc sont nombreux

au stade de la diagenese précoce.

- dans le cas d'une évolution vers le pôle dolomitique, on peut concevoir la possibilité pour l'ion Zn^{++} d'être incorporé dans ce minéral à la place de Mg^{++} (exemple de l'étude de la dolomie de Tsumb).

M. Dardenne en étudiant la coprécipitation du zinc, avec les carbonates de calcium, n'a pas réussi à mettre en évidence avec certitude, un composé défini de zinc même pour les teneurs très élevés en cet élément.

Son étude de la localisation du zinc dans quelques carbonates de calcium (à l'aide d'une micro-sonde électronique) lui a permis de mettre en évidence la diversité des modes de distribution de cet élément dans ces minéraux.

Il s'est ainsi avéré :

- concentré dans les microfissures
- associé à des micro inclusions d'oxyde de fer et de manganèse
- apparemment substitué au manganèse dans la dolomie (de Tsumb).

D'autre part, il semble possible d'estimer les possibilités d'évolution par lessivage et recristallisation des composés à teneurs élevées en zinc par leur étude. (De tels mécanismes peuvent être à l'origine de minéralisation).

II-) ANNEXE RELATIF A LA
=====

DEUXIEME PARTIE

=====

LA PROSPECTION PAR PHOTOGÉOLOGIE :

=====

C'est l'étude de la géologie d'une région à partir de photographies aériennes.

On dispose généralement de photos aériennes au 1/50 000. Il existe une bonne couverture photographique au 1/50 000 de l'Algérie et de la plupart des pays africains.

L'utilisation des infra-rouge permet d'obtenir des photos au 1/25 000. Par ailleurs la photo n'est pas perturbée lors du passage sur des nuages, et permet de voir une foule de détails supplémentaires.

Mode opératoire :

On dispose pour l'étude des photos, d'un binoculaire, sous lequel sont placées deux photos, une sous chaque oeil. Ceci permet de voir nettement le relief, la végétation, les accidents et même les affleurements de la région photographiée.

La photo-géologie permet de discriminer toute la tectonique et donne des indications sur la lithologie de la région. Les résultats dépendent de l'expérience et de l'acuité visuelle de l'interprète.

Avec les photos prises par les satellites artificielles, de nouvelles possibilités sont offertes à la photogéologie, comme en témoigne la mise en évidence d'un important gisement au Pakistan, grâce aux photos de Gemini.

Principes de l'interprétation

Quand les accidents tectoniques affleurent, la variation brutale des couches qu'ils provoquent se traduit sur la photo par un tracé noir plus ou moins régulier. Ceci est dû à la

circulation des eaux "per ascensum" ou "per descendum", facilitée par la rapide décomposition mécanique des roches.

Quand les accidents tectoniques n'affleurent pas, ils se manifestent sur la photo par un grisé nettement plus foncé que ceux des sols environnants. Il semble que par simple imbibition et capillarité, les sols présentent une "zone humide", à l'aplomb des accidents.

Dans le cas de recouvrement végétal, les accidents sont parfois visibles par une variation brutale de la végétation.

Nous voyons que la photogéologie permet une étude tectonique plus poussée que celle qu'on obtiendrait par les méthodes géologiques traditionnelles.

Elle nous permet donc de localiser les régions où sont susceptibles d'exister des horsts et grabens enfouis, de par le jeu des failles.

L'interprétation dépend un peu de l'acuité visuelle (et surtout de l'expérience) de l'interpréteur. Aussi est-il préférable de travailler sur des photos par contact, et sur du papier brillant (pour accentuer les contrastes). La photogéologie est une condition nécessaire, mais non suffisante.

MAGNETOMETRIE AEROPORTEE
=====

Rappel du principe : on mesure l'intensité du champ magnétique terrestre, dont la valeur moyenne varie de 0,3 à 0,8 oested environ entre l'équateur et les pôles magnétiques (l'unité pratique est le gamma = 10^{-5} oested).

On ne mesure actuellement que l'intensité totale (l'avion ne permettant pas la mesure pratique de l'orientation du vecteur, ce qui définirait complètement le champ magnétique en un point).

Les anomalies détectées sont dues à des masses relativement plus magnétiques que les terrains environnants.

Instruments : on utilisait le magnétomètre Gulf : il est basé sur l'emploi d'éléments à noyaux saturés. Le principe est d'annuler le champ magnétique naturel par un champ artificiel inverse, dont on mesure l'intensité d'après les caractéristiques du courant qui le produit. La valeur mesurée est une valeur relative. La magnétométrie est étalonnée. Sa précision est de l'ordre de 1 à 3 gammas. Il présente une dérive qu'il faut corriger.

On le remplace actuellement par le magnétomètre nucléaire basé sur la résonance magnétique des particules élémentaires protons ou électrons.

Correction des mesures : l'observation des anomalies d'intérêt géologique, parfois de très faible valeur, impose une élimination très soignée de toutes les variations parasites. Celles-ci sont fortes et irrégulières : variation diurne de 10 à 50 gammas ; variation séculaire ; des variations courtes et très courtes ;

des orages magnétiques qui interdisent les mesures ; des variations régionales qui sont de vastes déformations du champ.

Deux principes de correction existent :

1° - Comparaison avec un enregistreur fixe

2° - Double passage sur des points assez rapprochés pour permettre les corrections. On vole selon des directions se recoupant, on établit les différences d'intensité aux sommets des quadrilatères...

Anomalie : les susceptibilités magnétiques naturelles s'étalent dans le rapport de 1 à 100 000 (la rémanance lorsqu'elle existe varie dans des proportions comparables). Les corps naturels sont magnétiques dans la mesure où ils contiennent un ou des minéraux magnétiques, lesquels sont très fréquents (certains d'entre-eux comme la pyrite) dans un grand nombre de roches. Les roches sédimentaires en contiennent moins.

La bonne sensibilité des instruments aidant, les anomalies peuvent être caractérisées de 5 à 10 gammas dans certains cas (elles peuvent atteindre 10 000 pour les minerais riches en magnétite).

De part la différence de susceptibilités magnétiques entre socle et couverture sédimentaire, la magnétométrie constitue donc, un moyen d'investigation des variations structurales du socle : anticlinaux, synclinaux, horsts, grabens, faille (provoquant un rejet vertical important dans un socle).

L'étude des anomalies permet donc de voir le paléo-relief. La magnétométrie aéroportée, contribue par là à la délimitation des "zones favorables" aux gisements stratiformes de plomb et de zinc.

Interprétation des anomalies

Qualitative : c'est la principale dans une mission de reconnaissance. Elle est conditionnée par les données géologiques obtenues par les bases de reconnaissance au sol, et par les renseignements apportés par la photogéologie.

Quantitative : Les critères d'interprétation sont les mêmes qu'en prospection au sol. Des abagues existent, notamment celles calculées par M. Lasfargues. Pour une bonne interprétation, il faut que les conditions de vol aient été bien adoptées au problème et que les mesures et leurs restitutions aient été convenablement faites.

Conditions de vol :

Altitude : on a intérêt à voler à une distance du sol suffisante pour éliminer les petites anomalies superficielles et mieux faire apparaître les anomalies liées au socle.

D'autre part, afin d'avoir une bonne restitution on vole à altitude constante, ce qui est plus facile. L'altitude est fixée en fonction de la dimension limite des détails à détecter, c'est-à-dire de l'échelle de la carte qu'on veut obtenir. En reconnaissance, en fait, en général des cartes au 1/50 000ème et on vole à une altitude moyenne.

Plan de vol : la couverture d'un territoire par aéroportée se fait au moyen de lignes de vol.

Comme on ignore la direction structurale dominante, on volera à maille carrée (lorsque les directions structurales sont connues, les lignes de vol principales leur sont perpendiculaires).

Positionnement :

* navigation : le respect des lignes de vol établies,

implique une navigation précise. Celle-ci est aisée quand on vole à grande altitude. Car le nombre de repères augmente ainsi que le temps pendant lequel ils sont dans le champ de vision.

* Pour les corrections ultérieures, on fait appel :

- au radioguidage qui enregistre les déviations
- aux points caractéristiques, repérés sur l'enregistrement photographique synchronisé pris en vol, et reportés sur les autres photos aériennes dont on dispose (notamment celle des points de croisements).

Equipement de l'avion : on disposera donc dans l'avion de reconnaissance :

- d'un magnétomètre : il ne représente pas un encombrement important. Il peut-être, à bord, en bout d'aile ou dans la queue, ce qui suppose une compensation rigoureuse de l'effet magnétique de l'avion. Il peut être remorqué dans un "bird" à distance suffisante pour que cet effet soit négligeable.

- une caméra de 35 mm photographiant la ligne de vol (film continu, ou vues successives se recouvrant). On fait un assemblage des photos par la méthode des fentes radiales.

- un dispositif de radioguidage de précision avec des postes au sol (les bases de reconnaissance par exemple).

- un barographe et une radiosonde enregistreuse pour maintenir et enregistrer l'altitude et la distance sol-avion.

- un dispositif de synchronisation entre tous les enregistreurs, de géophysique et de navigation.

Ces instruments ne représentent pas un encombrement important. Le choix de l'avion à utiliser est fonction avant tout de considération de prix. (pas d'Hélicoptère pour la reconnaissance)

LES SONDAGES ELECTRIQUES

=====

Ils peuvent :

1°/ renseigner sur la profondeur et la topographie du socle (tel qu'on l'a défini dans la première partie)

2°/ Permettre de connaître la répartition de bancs dolomitiques (interstratifiés avec des bancs de calcaires assez conducteurs dans une formation calcaire).

Rappels :

On peut calculer la resistivité vraie ρ d'un terrain homogène et isotrope par la formule :

$$= k \frac{\Delta V}{I}$$

k est un facteur qui dépend de l'appareillage utilisé

I est l'intensité du courant injecté dans le sol

ΔV est la différence de potentiel mesurée

Pour cela, on dispose d'un quadripole ABMN, où A et B sont les électrodes d'émission de courant I, M et N les électrodes de potentiel (ou sondes) entre lesquelles on mesure $\Delta V = V_m - V_n$. Ce quadripôle est généralement linéaire avec AB et MN respectivement symétriques par rapport au centre O du dispositif.

En prospection géologique, un terrain n'est jamais homogène, aussi ne mesure t-on pas la resistivité vraie, mais la résistivité apparente ρ_a (exprimée en Ohm/m/m²)

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

Utilisation du dispositif pour les sondages électriques

M et N étant fixes (ou variant peu) on effectue des mesures en éloignant A et B du centre O.

On détermine donc la courbe $\rho_a = f(AB)$

On prend généralement $\frac{AB}{2} = L \Rightarrow \rho_a = f(L)$

On réalise ainsi une investigation sur la verticale (sondage) parce que les filets de courant circulant entre A et B pénètrent de plus en plus profondément dans le sol, au fur et à mesure que L augmente.

En effet : (voir figure A₁)

Soit \vec{j} la densité de courant : $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

σ : conductibilité

\vec{E} : champ électrique du à un potentiel V

on sait que $V = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$

En O il y a :

- le champ $h_1 = \frac{I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r^2}$ du à A

- le champ $h_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r^2}$ du à B

Le champ total $E = 2h \cos \Theta$

$$\cos \Theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{p^2 + a^2}}$$

$$\text{d'où } E = \frac{\rho I}{\pi} \cdot \frac{a}{(p^2 + a^2)^{3/2}}$$

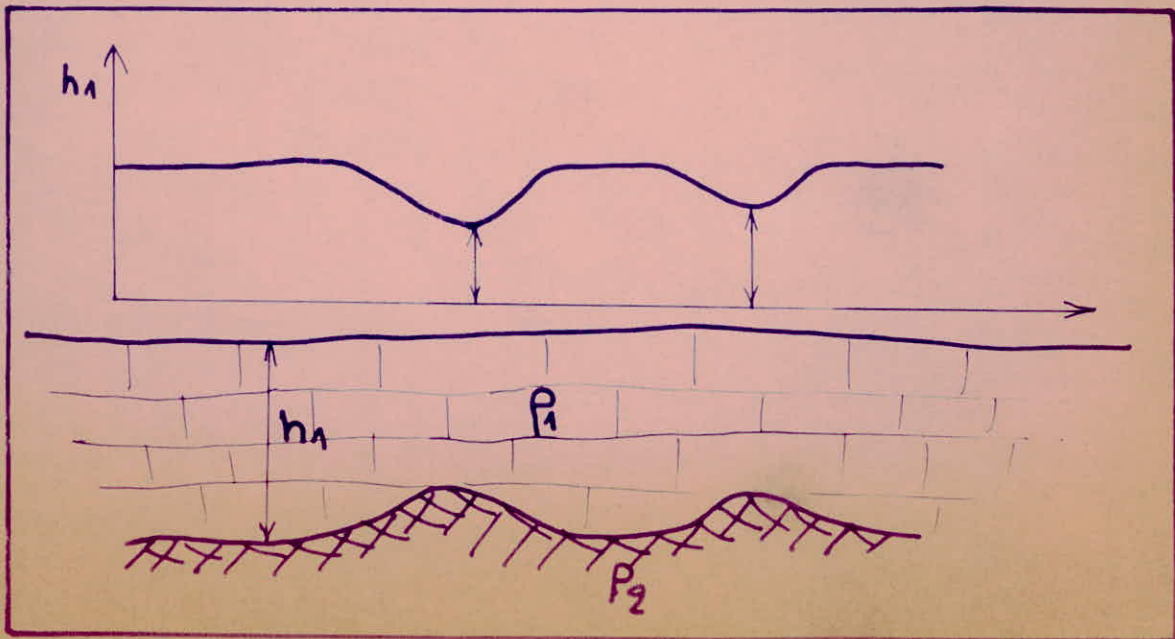
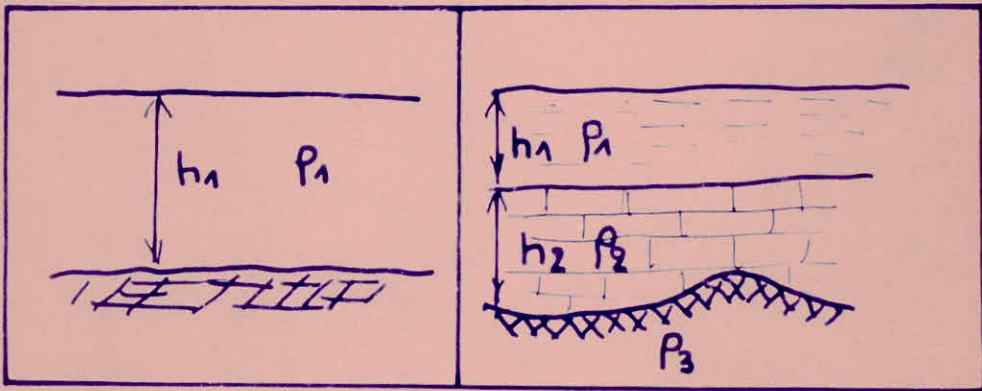
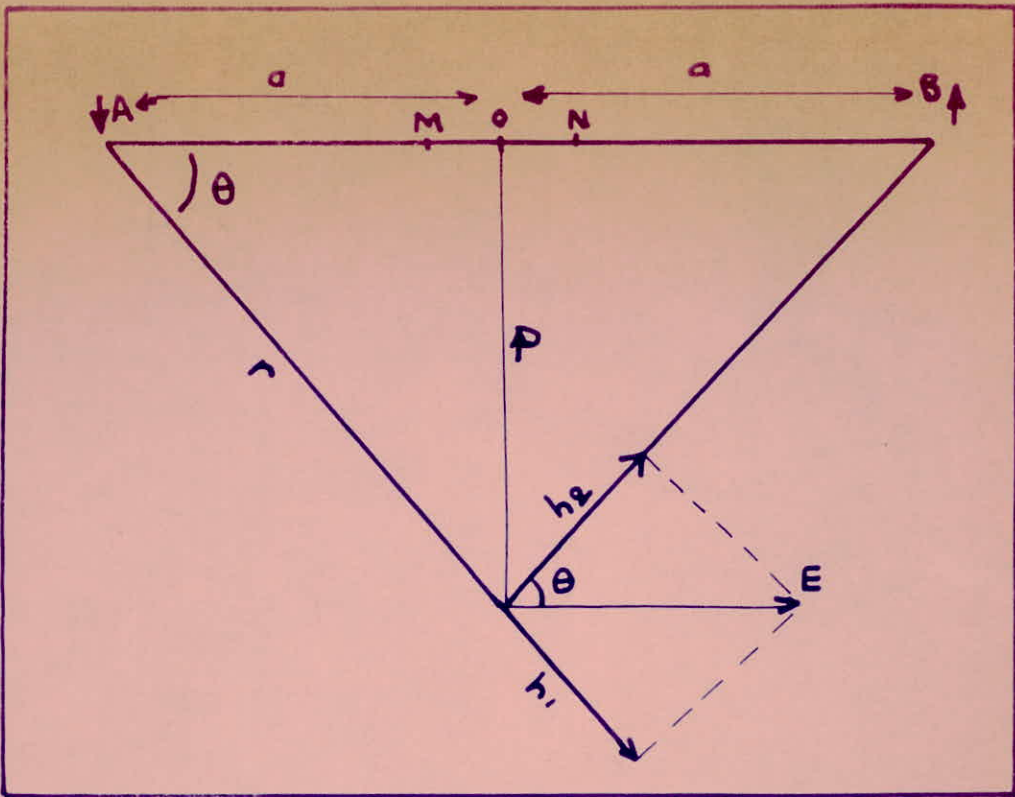
$$\vec{j} = \sigma \frac{\rho I}{\pi} \cdot \frac{a}{(p^2 + a^2)^{3/2}} = \sigma \frac{\rho I}{\pi} \cdot \frac{a}{a^3 \left(1 + \frac{p^2}{a^2}\right)^{3/2}}$$

$$\text{en posant } k = \sigma \frac{\rho I}{\pi a^2}$$

$$\Rightarrow \vec{j} = k \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{p^2}{a^2}\right)^{3/2}}$$

On voit que :

- si p augmente la densité de courant tombe rapidement



et tend vers l'infini.

- par contre si a et p augmentent proportionnellement, la densité de courant ne change pas, c'est-à-dire que les filets de courant s'enfoncent profondément quand a augmente donc, la profondeur d'investigation augmente.

Interprétation :

Le calcul théorique montre qu'on peut déterminer la profondeur \bar{c} n terrains interstratifiés et inclinés.

En pratique, on dispose seulement d'abaques pour 2, 3, 4 couches supposées parallèles au sol, la dernière couche ayant une épaisseur théorique infime (substratum).

Le tracé des courbes $\rho_a = f(L)$ est effectué sur papier bilogarithmique. Ceci permet de rendre utilisable pour un grand nombre de cas, la courbe calculée pour un cas particulier :

- les courbes $\rho_a = f(L)$ se déduisent l'une et l'autre par simple translation parallèle à l'axe des abscisses, quand on multiplie les longueurs et les épaisseurs par un paramètre

- les résistivités, par translations parallèles à l'axe des ordonnées quand on multiplie par un paramètre γ les résistivités sans modifier les épaisseurs

(ρ_a devient $\gamma \rho_a$ et $\log \gamma \rho_a = \log \rho_a + \log \gamma$ qui est constante).

1) - Etude d'un socle par sondage électrique :

Quand dans une région déterminée, on a des raisons de penser que la minéralisation est contrôlée par les bosses du socle, la prospection semi-détaillée, se propose de préciser la position de ces bosses.

Nous avons vu que ce socle est peu profond en général dans le cas des gisements stratiformes de plomb et zinc, aussi pouvons nous considérer trois cas :

1°/ - une seule formation surmonte le socle

2°/ - deux formations surmontent le socle

Ce qui est parfaitement possible étant donnée la profondeur assez faible des gisements stratiformes.

3°/ - plusieurs formations surmontent le socle.

D'autre part, nous avons vu que les gîtes de plomb et de zinc, sont très souvent localisés dans les dolomies, à faible distance du socle. Or on sait que les socles granitiques ou métamorphiques ont d'importantes résistivités. La présence de minéralisations, contribuerait à donner une notable différence entre les dolomies (qui sont résistantes) et le socle.

Premier cas : une seule formation surmonte le socle (voir figure A₂).

Dans ce cas, on peut toujours déterminer h_1 , ρ_1 et ρ_2

M.B. $\rho_1 =$ constante, on peut alors prendre

$a =$ constante et effectuer des profils de résistivité $f(a) = g(h_1)$

La connaissance de h_1 en différents points, permet de suivre la topographie du socle.

Quand on dispose d'affleurements, on y effectue des mesures de résistivités (il n'est ^{pas} évident que les résistivités de surface soient applicables en profondeur).

Deuxième cas : deux formations surmontent le socle (voir figure A₃).

On peut toujours déterminer h_1 , ρ_1 et h_2 , ρ_2 mais à condition que h_1 soit faible devant h_2 et que l'on n'ait pas :

$$\begin{cases} \rho_2 > \rho_1 \text{ et } \rho_2 > \rho_3 \\ \rho_2 < \rho_1 \text{ et } \rho_2 < \rho_3 \end{cases} \quad (\text{indétermination d'équivalence})$$

De la même façon que précédemment la connaissance de ($h_1 \neq h_2$) permet de suivre la topographie du socle.

Troisième cas : plusieurs formations surmontent le socle

Les sondages électriques ne pourront nous être très utiles que si nous disposons d'un sondage mécanique, à l'aplomb duquel on exécute un sondage électrique étalon.

II) - ETUDE DE LA REPARTITION DE BANCS DOLOMITIQUES PAR SONDAGES ELECTRIQUES

Les formations dolomitiques ont en général des résistivités supérieures à celles des calcaires. Le contraste est notamment assez important avec certains calcaires bleus (aptiens) qu'on rencontre en Algérie. Dans ces cas là les sondages électriques permettent de suivre la couche dolomitique au sein de ces formations calcaires.

III) - EFFET DE L'ANISOTROPIE :

Celle-ci est notable quand il existe des interstratifications fines (exemple les intercalations schisteuses). Il y a alors lieu de tenir compte de son effet sur la résistivité apparente.

Soient : $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_l}}$; λ = coefficient d'anisotropie avec :

ρ_t = résistivité transversale
 ρ_l = résistivité longitudinale

$$\lambda > 1$$

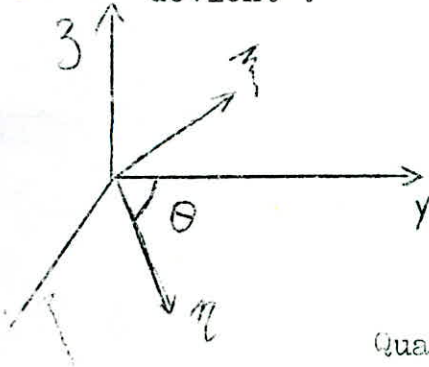
$$\rho_m = \sqrt{\rho_e \times \rho_t} = \text{résistivité moyenne}$$

et

θ = pendage de la formation

En un point de la formation, le potentiel $V = \frac{\rho_a}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$

devient :



$$V = \frac{\rho_m I}{2\pi} \times \frac{1}{(x^2 + y^2 \cos^2 \theta + d^2 y^2 \sin^2 \theta)^{1/2}}$$

Quand $\theta = 0$

$$V = \frac{\rho_m I}{2\pi} \cdot \frac{1}{(x^2 + y^2)^{1/2}} = \frac{I \rho_m}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$$

$$V = \frac{I \rho_a}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$$

$$\text{d'où } \rho_a = \rho_m = \sqrt{\rho_e \times \rho_t}$$

Donc, l'effet d'une strate horizontale d'épaisseur h , d'anisotropie λ , de résistivité moyenne ρ_m , sera le même que celui d'une strate isotrope de résistivité $\rho_a = \rho_m$ et d'épaisseur λh . Les abaques étant calculées pour des terrains isotropes, il y a lieu de tenir compte de l'anisotropie pour calculer l'épaisseur de terrains anisotropes

$$h \text{ réelles} = \frac{h \text{ abaques}}{\lambda}$$

IV) - Accessoirement, les sondages électriques pourront renseigner sur l'existence de contacts, failles, horsts, par l'effet que ces structures produisent sur les courbes.

On peut disposer pour cela, de catalogues de courbes

représentant des sondages électriques à proximité des structures précitées.

V) - CONDITIONS NECESSAIRES A UNE INTERPRETATION DES RESULTATS

1°/ - Deux terrains (voir figure B1)

Il faut que $h_2 \gg h_1$

2°/ - n terrains (voir figure B1)

Il faut que $h_n \gg h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1}$

Ambiguïtés d'interprétation :

1°/ - Si on a : $\begin{cases} \rho_2 > \rho_1 \\ \rho_2 > \rho_3 \end{cases}$

la courbe obtenue est une courbe dite en cloche.
(voir figure B2)

Les abaques ne permettent pas de préciser h_2 ,

épaisseur du 2ème terrain. Elles donnent la "résistance transversale"

$$R_t = \rho_2 h_2 \Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 = \rho_3 h_3 = R_t$$

Il peut y avoir une infinité de terrain de ρ et d'épaisseur h .

2°/ - Si on a : $\begin{cases} \rho_2 < \rho_1 \\ \rho_2 < \rho_3 \end{cases}$

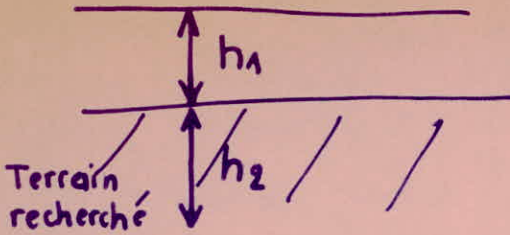
La courbe obtenue est une courbe en forme de bateau
(voir figure B2).

Les abaques donnent la "conductance horizontale"

$$C_1 = \sigma_2 h_2$$

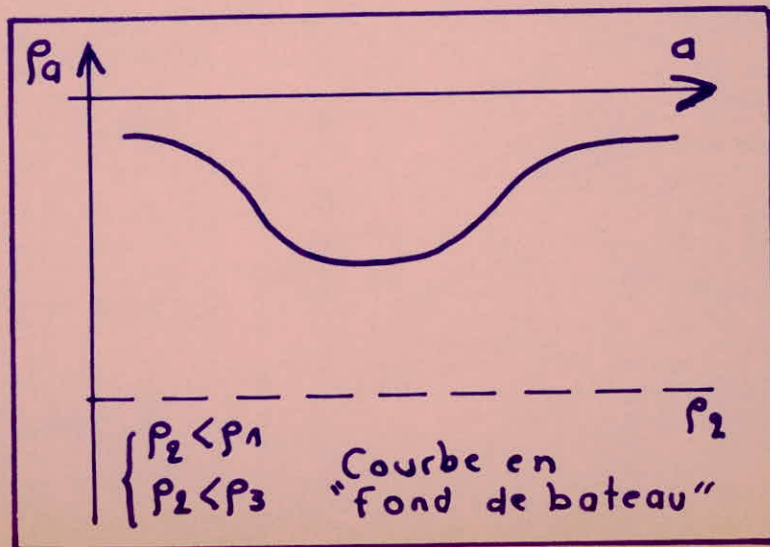
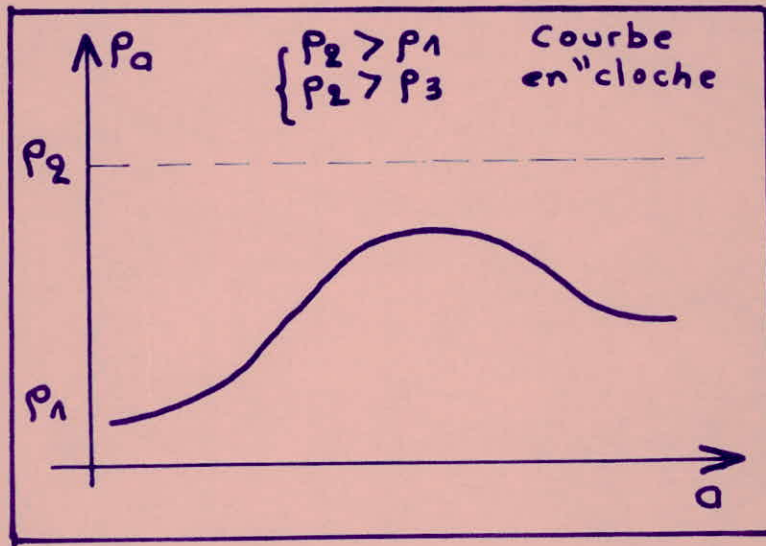
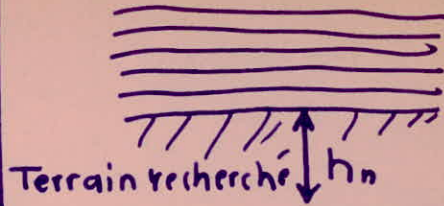
2 terrains

il faut $h_2 \gg h_1$



n terrains

il faut : $h_n \gg h_1 + \dots + h_{n-1}$



Comme dans le cas précédent, l'interprétation ne peut être déterminée que par la connaissance de P_2 .

On voit donc l'intérêt d'un sondage mécanique. (de géologie ou wild-cat)

LA GRAVIMETRIE : LES POSSIBILITES

Quand on ne dispose pas de cartes d'anomalies magnétiques, ni de renseignements sur le relief du socle, on peut être amené à effectuer une campagne gravimétrique pour palier à cela et aider l'interprétation des sondages électriques éventuels.

Rappel :

Le principe de la méthode est basé sur la loi d'attraction des masses de Newton :

$$F = k \frac{m \cdot m'}{r^2} \quad \text{où}$$

r = distance des deux masses m et m'

k = facteur qui dépend du système dans lequel on se place

(en cgs $k = 6,67 \cdot 10^{-8}$)

et sur la différence de densité existant entre les matériaux géologiques.

(voir schéma C1)

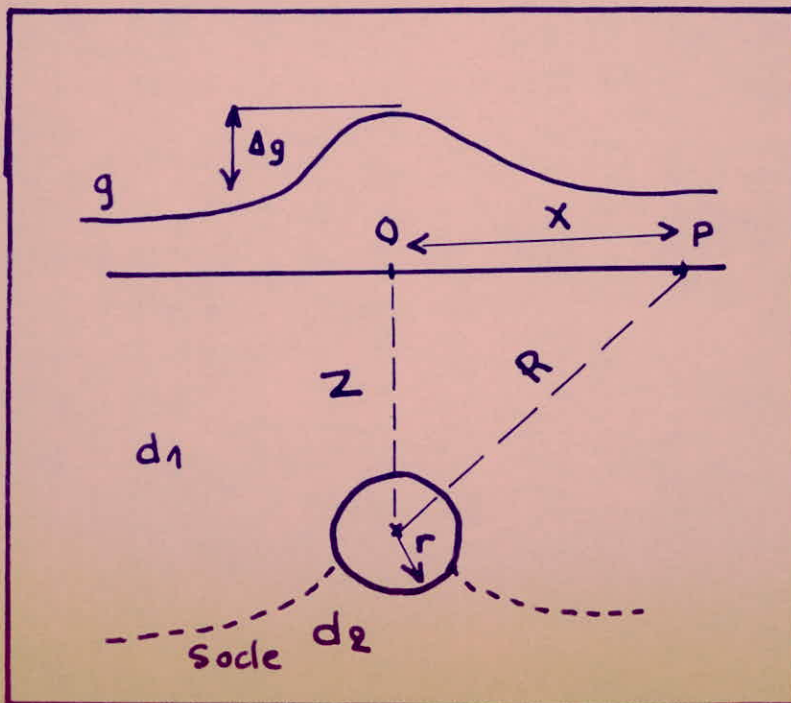
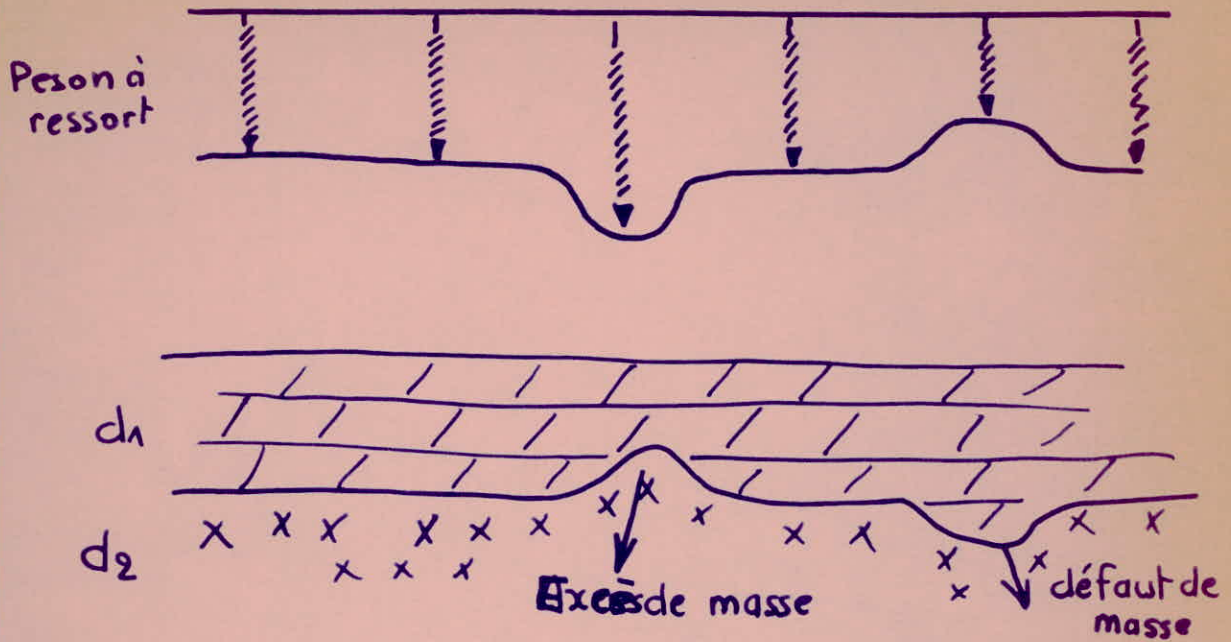
Le schéma de principe montre clairement que la gravimétrie est bien adaptée pour la détection de bosses (ou de creux) du socle.

En pratique, on dispose de gravimètres assez perfectionnés (le North American par exemple) robustes et pouvant être télécommandés, donnant des mesures relatives. On mesure la variation de g (en milligals) dont on trace la courbe.

Ainsi la présence d'une bosse du socle, donnerait lieu à une anomalie Δg .

a/ si on assimile cette bosse à une sphère, on peut calculer l'équation de la forme de l'anomalie à l'aplomb de cette bosse : (voir figure).

Schéma de principe



Soit M - masse différentielle

D'après le théorème de Gauss $\phi = 4 \pi kM = \text{flux}$
différentiel.

D'autre part on sait que pour une sphère : $\phi = H.4 \pi R^2$
en un point P.

(on considère que l'attraction de la sphère est la même
que si l'on concentrait toute sa masse en son centre).

$$\text{d'où } H = \frac{k.M}{R^2}$$

$$\text{Comme } H = - \frac{\partial V}{\partial z} \quad \text{---} \quad V = kM \cdot \frac{1}{R} = kM(x^2 + z^2)^{-1/2}$$

et comme $\Delta g = \frac{dV}{dz}$ (Δg due à la sphère)

$$\Delta g = - kMz (x^2 + z^2)^{-3/2}$$

à l'aplomb de la bosse, l'anomalie est maximum

$$x = 0 \quad \implies \quad \Delta g_{\max} = \frac{kM}{z^2}$$

b) si on a affaire à une ride du socle, assimilable à un
cylindre, on aura :

$$\phi \text{ du au cylindre } \phi = H. 2\pi R$$

$$\text{et } \phi = 4 \pi k.M \text{ (théorème Gauss)}$$

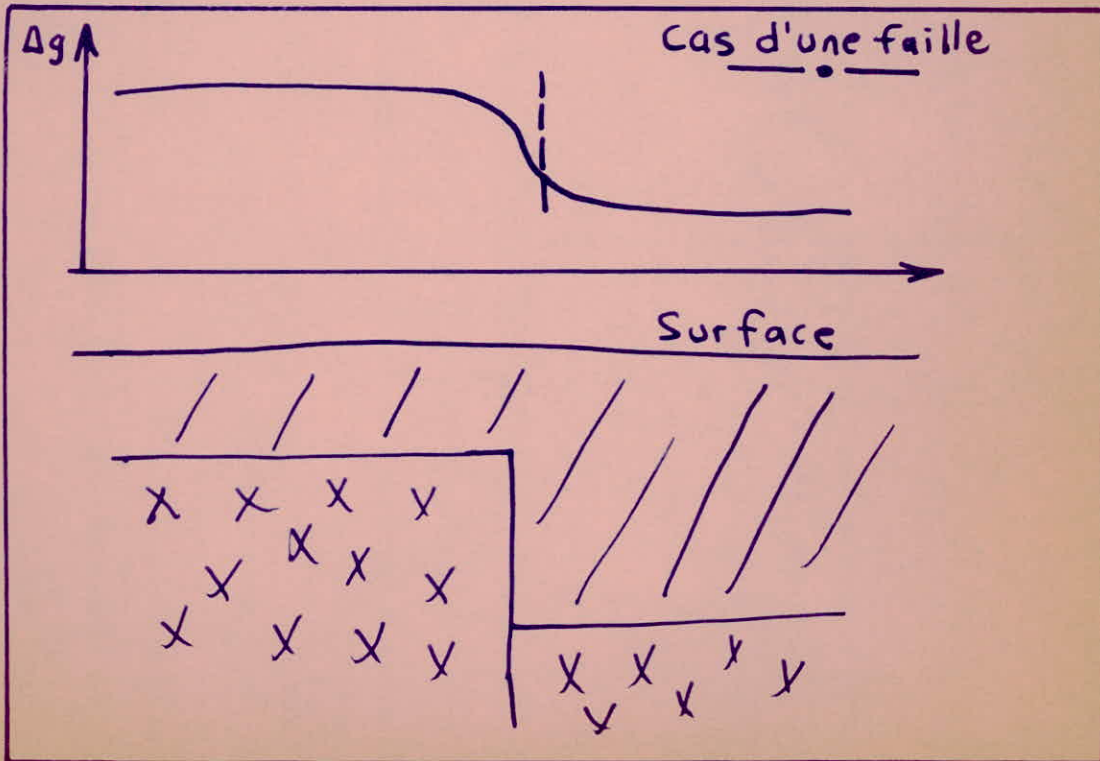
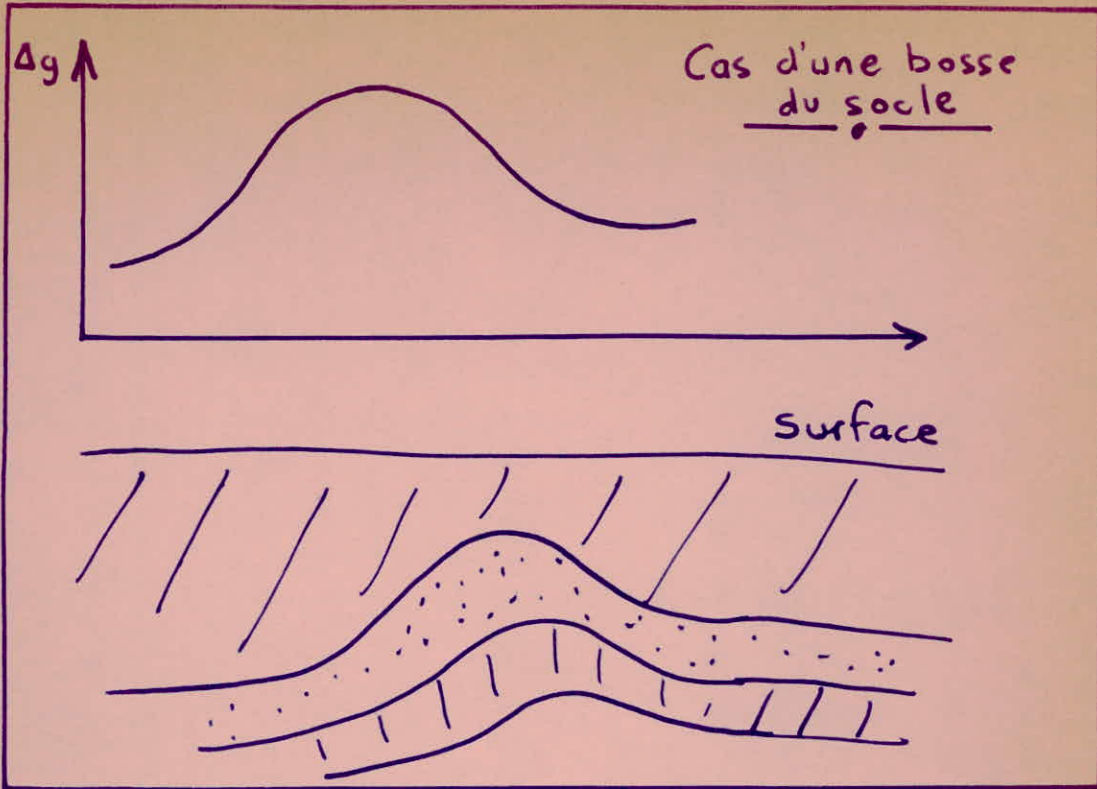
$$\implies H = \frac{2kM}{R}$$

En procédant de la même façon que précédemment on trouve :

$$\Delta g = \frac{2k.M.z}{R^2}$$

$$\text{et à l'aplomb de la ride : } \Delta g_{\max} = \frac{2kM}{z}$$

Conclusion : Il est donc possible de détecter les reliefs du socle
par la gravimétrie, à condition que la différence de densités entre
socle et couverture soit appréciable (voir schémas D)



La densité des calcaires et dolomies, lesquels surmontent le socle (ou n'en sont pas éloignés) dans le cas qui nous intéresse, varie de 2,4 à 2,7, alors que celle d'un socle est estimée à 2,67 en moyenne.

Il convient donc de procéder si possible à des mesures de densités, avant d'entamer une campagne gravimétrique.

D'autre part la précision sur le relief du socle est faible (profondeur...).

Sur le terrain, on peut faire les mesures, en procédant par mailles de 1 km par exemple.

LA SISMIQUE REFRACTION

Dans le cas où la prospection semi-détaillée est orientée vers l'étude du relief du socle, on peut, du point de vue technique, envisager l'utilisation de la sismique réfraction. Il est peu probable que cette méthode soit utilisée dans notre cas, mais nous la signalons seulement pour le cas où ~~une~~ prospection par sismique a été effectuée pour la recherche du pétrole, dans la région qu'on envisage d'étudier.

Rappels :

Principe :

L'étude est basée sur la différence de la vitesse de propagation des ondes, qui existe entre les différentes formations.

Technique opératoire :

On provoque une explosion en un point E.

Un appareil central relié aux différentes stations de mesures où sont placés des géophones, enregistre le temps de l'explosion et les temps des arrivées exactes de la première onde.

On construit alors la courbe (appelée dromochronique) temps d'arrivée de l'onde = f(distances du point d'explosion aux géophones).

Calculs de profondeur et de pendage :

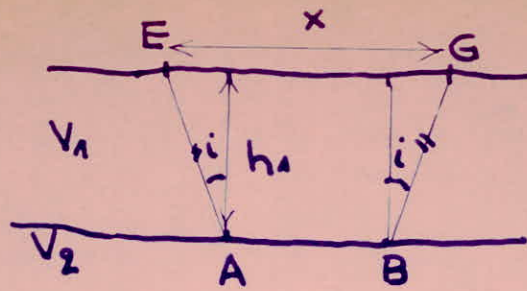
1°/ Cas où une seule formation horizontale surmonte le socle (voir figure E1) :

$$\sin i = \frac{V_1}{V_2} ; \cos i = \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2}$$

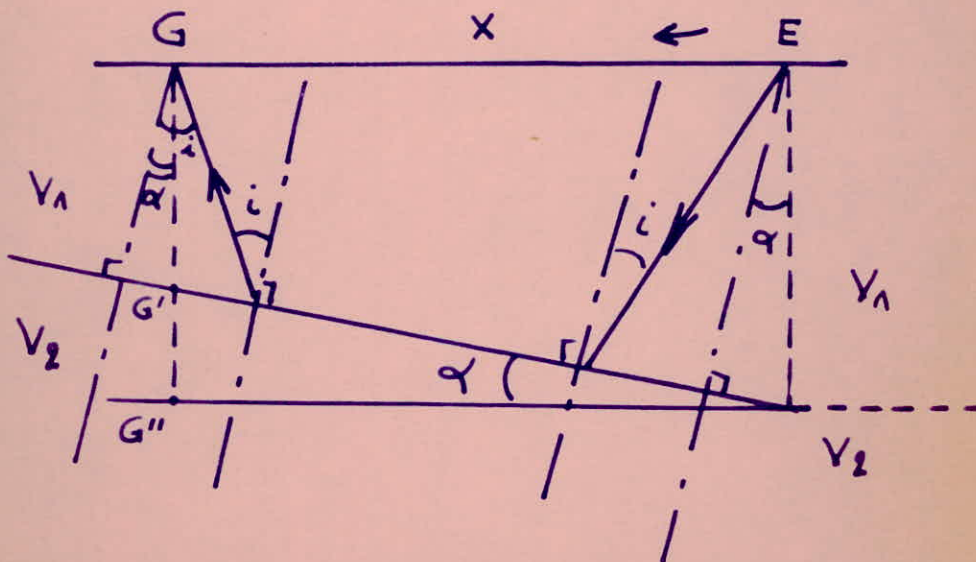
Temps d'arrivée de l'onde directe : $t_1 = \frac{X}{V_1}$

C'est l'équation d'une droite passant par l'origine.

Formation horizontale



Formation inclinée



Temps d'arrivée de l'onde réfractée :

$$t_2 = \frac{EA}{V_1} + \frac{BC}{V_1} + \frac{AB}{V_2}$$

$$EA = BC = \frac{h}{\cos i} ; \quad AB = X - 2h \operatorname{tgi}$$

d'où :

$t_2 = \frac{X}{V_2} + \frac{2h \cos i}{V_1}$: équation d'une droite ne passant pas par l'origine.

$t_1 + t_2 \Rightarrow$ la courbe dromochronique (qu'on obtient sur le terrain point par point).

Pour $X = 0$ on a $t_2 = t_0$

$$\text{d'où } h = \frac{t_0 \cdot V_1}{2 \cos i} = \frac{t_0 V_1 V_2}{2 \sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

La détermination de h en différents points, permettra donc de suivre la topographie du socle, donc de préciser la position des structures favorables.

2°/ Cas où deux formations se montent le socle (schéma E2).

On mène les calculs de la même façon que précédemment.

On obtient une dromochronique à trois branches.

$$t_3 = \frac{X}{V_3} + \frac{2h_2 \cos i_2}{V_2} + \frac{2h_1 \cos \alpha}{V_1}$$

$$\text{et } h_2 = \left(t_0' - \frac{2h_1 \cos \alpha}{V_1} \right) \frac{V_2}{2 \cos i_2}$$

3°/ Quand les formations sont inclinées :

a) on tire amont-pendage (voir figure E3)

On obtient le temps t_2^+

On montre par le calcul que :

$$t_2^+ = \frac{1}{V_1} \left[2H \cdot \cos x \cos i - \frac{X \sin(i-x)}{V_1} \right]$$

et $V_2^+ = \text{vitesse réelle} = \frac{V_1}{\sin(i-\alpha)}$

b) on tire aval-pendage :

de la même façon on obtient : $V_2^- = \frac{V_1}{\sin(i+\alpha)}$

on trouve ainsi que

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\text{arc sin } \frac{V_1}{V_2^-} - \text{arc sin } \frac{V_1}{V_2^+} \right)$$
$$i = \frac{1}{2} \left(\text{arc sin } \frac{V_1}{V_2^+} + \text{arc sin } \frac{V_1}{V_2^-} \right)$$

en faisant $X = 0$ on obtient

$$H = \frac{V_1 T_2^+}{2 \cos i \cos \alpha} ; \text{ et } H = h \text{ tg } \alpha$$

Conclusion : On voit donc que la sismique réfraction, donne beaucoup plus de précisions sur le relief du socle, que la gravimétrie (et même les sondages électriques).

Cependant, son emploi exige une bonne propagation des ondes, c'est-à-dire des terrains durs et compacts. Ce n'est généralement pas le cas pour les gisements que nous étudions. Par ailleurs la sismique réfraction est une méthode d'investigations profondes alors que les gisements stratiformes sont à faible profondeur, et où les différences de propagation entre couches sont faibles.

N.B. : on dispose d'un appareillage électronique très perfectionné pour l'interprétation des résultats de sismique. Une même explosion et ses conséquences, enregistrées sur bande magnétique peuvent être reproduites et filtrées à loisir, en laboratoire,

grâce à des appareils appelés "play-back".

Cependant, il est peu probable que l'utilisation de la sismique (si on y a recours) soit rentable pour la prospection des gîtes stratiformes de plomb et de zinc. Une campagne de sismique réfraction est en effet assez coûteuse. On l'estime à 100 000 dollars par mois, alors que la gravimétrie est estimée à 25 000 dollars par mois.

En résumé, c'est seulement dans le cas où une prospection par sismique pour le pétrole a été faite dans la région qu'il serait très intéressant de reprendre les résultats obtenus".

LA PROSPECTION ELECTROMAGNETIQUE
=====

Elle nous permet dans le cas présent, non pas de détecter les minéralisations, mais de déceler les failles, zones de broyage...

Rappel du principe des méthodes électromagnétiques :

A l'aide d'un courant alternatif, on crée un champ électromagnétique sinusoïdal qui, en rencontrant des zones conductrices, va y provoquer des courants de Foucault de distribution complexe, mais dont les tubes de force (filets de courant) forment des séries d'ovales dans des plans normaux au champ magnétique.

Ces courants déterminent un champ antagoniste opposé au champ inducteur, mais plus ou moins déplacé par rapport à lui selon les valeurs relatives de la self et de la résistance, les phénomènes de capacité jouant un rôle, en général négligeable.

On détermine par le calcul que le champ induit a pour composantes :

$$P = \frac{-KM}{Lw} \cdot (1 + \cos 2\varphi) \cos w t = \text{composante en phase}$$

$$Q = \frac{-KM}{Lw} \sin 2\varphi \sin w t = \text{composante en quadrature}$$

où :

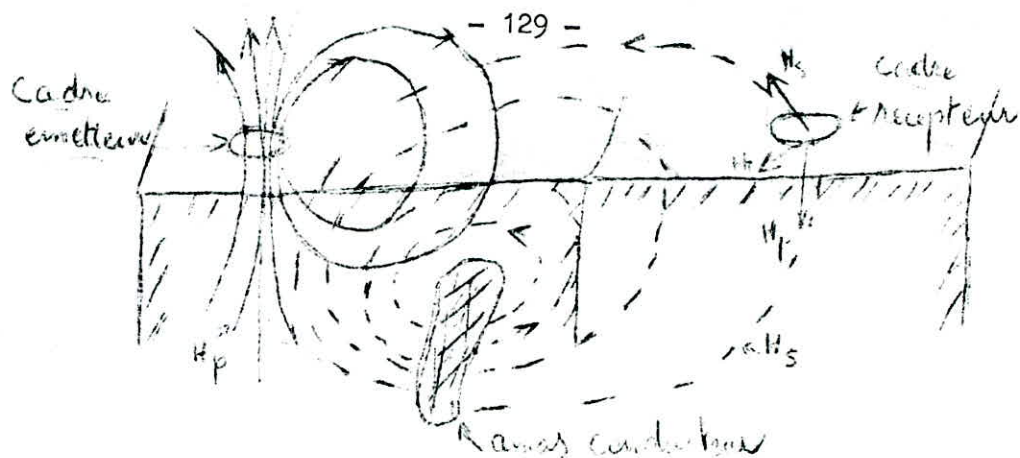
L = self du circuit

R = résistance du circuit

I = courant qui le parcourt

M = S H₀ w (H₀ = amplitude du champ primaire)

On emploie en prospection plusieurs fréquences.



Pour les détails sur les calculs et les différentes méthodes (aéro-portées et au sol) utilisées, nous renvoyons au cours de géophysique dispensé par Monsieur LASFARGUES à l'E.N.P.A.

De ce principe, il ressort que :

- les failles, accidents, zones de broyage etc... affectant des calcaires et dolomies et qui sont généralement nettement plus conducteurs, seront détectés par électromagnétisme.

- seules les concentrations de minerai massives et conductrices seront détectées. Les gisements stratiformes de plomb et de zinc, sont disséminés, et ne peuvent être décelés par électromagnétisme.

- si le recouvrement est conducteur et s'il est assez épais (environ 50 m), les courants de Foucault qui s'y développent forment un "écran".

On palie à cela en utilisant la méthode "semi aéroportée ou méthode du cable infini" (Cf cours de M. Lasfargues).

La méthode Turan :

C'est une méthode de prospection au sol, galvanique : en effet l' "émetteur" est en règle général un cable fiché au sol à ses deux extrémités.

On mesure simultanément deux stations consécutives S_n et S_{n+1} =

- le rapport $R_n = \frac{F_{Tn}}{F_{Tn+1}}$

F_T étant l'amplitude d'une composante du champ total (champ primaire plus champ secondaire). En général il s'agit de la composante verticale.

- le déphasage $\Delta\varphi_n = \varphi_{n+1} - \varphi_n$ du champ total
Les résultats obtenus sont computés.

L'interprétation des résultats nécessite toujours :

- le tracé de la courbe des
 - et le tracé de la courbe des rapports réduits λ
- (obtenus après computage des résultats).

Pour un conducteur moyen (c'est le cas des failles en général) on obtient un $\Delta\varphi$ fort et un λ faible (d'après des réactions grossièrement obtenus suivant la conductibilité).

LA POLARISATION INDUITE
=====

Rappels :

1°/ Avec un dispositif ABMN Schlumberger on injecte pendant quelques secondes un courant continu.

A la coupure du courant la tension V_0 enregistrée entre M et N ne disparaît pas instantanément. Il subsiste une tension transitoire décroissante $\mathcal{E}(t)$ qui tend vers 0 quand le temps tend vers l'infini.

On mesure pour la polarisation induite les paramètres suivants :

$$\text{Soit } m(t_i) = \frac{\mathcal{E}(t_i)}{V_0} = \text{chargeabilité}$$

$$\text{Soit } M_{\alpha\beta} = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{\mathcal{E}(t)}{V_0} dt = \int_{\alpha}^{\beta} m(t) dt$$

Ceci est la technique pulsée

2°/ Le même phénomène peut être mesuré en utilisant un courant alternatif, sous deux fréquences (basses) différentes. c'est la technique fréquentielle, dans laquelle on fait des mesures d'impédance, on enregistrant la résistivité apparente,

$$\text{complexe} = Z(\omega) = k \frac{V}{I}$$

Les paramètres mesurés sont :

.. l'effet de fréquence = f_e

$$f_e = \frac{f(\omega_1) - f(\omega_2)}{f(\omega_2)} = \frac{f(f_1) - f(f_2)}{f(f_2)} \quad \%$$

$$\omega_1 = \text{fréquence la plus basse} \quad \omega_1 = 2\pi f_1$$

$$\omega_2 = \text{fréquence la plus élevée} \quad \omega_2 = 2\pi f_2$$

- le facteur métal :

$$MF = \frac{2\pi (P(0) - P(f))}{10^{-5} P(0) P(f)}$$

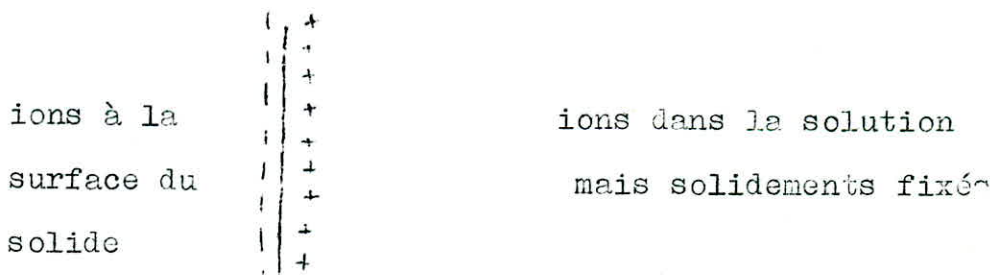
$P(0)$ = résistivité en courant continu.

3°/ On démontre (par les transformés de Fourier et de Laplace) que : "le maximum de l'effet de fréquence f_e est égal à la valeur maximum de la chargeabilité".

Rappel sur les "doubles couches":

Deux phases en contact, donnent lieu à une différence de potentiel, due à une distribution inégale des charges électrisées au sein de chaque face.

1°/ Double couche de Helmholtz : Helmholtz a proposé une double couche du type suivant :



Soient :

D : distance séparant les deux couches diamètre ionique

ϵ : constante diélectrique du milieu

ψ_0 : différence de potentiel entre les deux couches

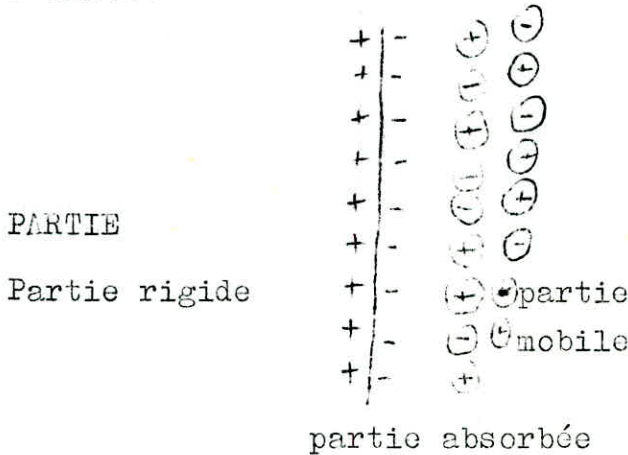
$\pm \sigma$: densité de charge

C : capacité de la double couche

$$\sigma = \frac{D}{4\pi\epsilon} \psi_0 \quad \text{et} \quad C = \frac{\sigma}{\psi_0} = \frac{D}{4\pi\epsilon}$$

2°/ Double couche de Stern :

La schématisation de Stern semble la plus proche de la réalité:



Soient :

- ψ : potentiel électrocinétique du à la partie mobile
- ψ_0 : potentiel de contact : potentiel de la couche d'Helmholtz
- ψ_0 : potentiel thermodynamique

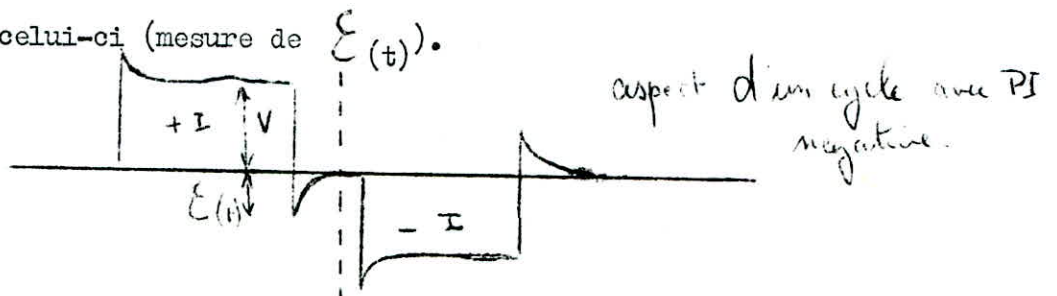
On a :

$$\psi_0 = \psi_0' + \psi$$

SUR LA POLARISATION INDUITE NEGATIVE

Son existence a été mise en évidence récemment.

Par polarisation induite négative, on entend que le sens du courant entre les électrodes de réception M et N n'est pas le même pendant l'émission du courant primaire, mesure de (V) que pendant la coupure de celui-ci (mesure de $\mathcal{E}(t)$).



Ce phénomène ne peut être observé que dans certaines conditions :

- cas d'une couche polarisable affleurante
- il semble apparaître aussi quand les amas polarisables sont peu profonds.

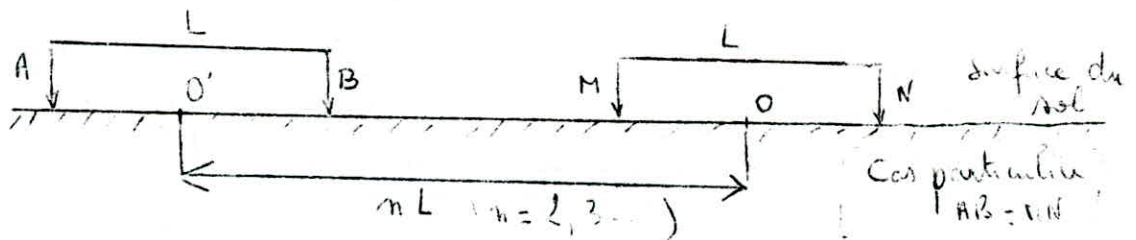
En technique frénétique, elle correspondrait à des effets de fréquences négatives dans lesquels, mais elle est souvent masquée par le bruit de fond des effets inductifs parasites.

Il existe une théorie mathématique (articles à paraître de Mr. LOEB) qui prévoit l'existence de polarisation induite négative, s'expliquant simplement par des effets géométriques du champ transitoire de dépolarisation, qui résulte de la position des corps ou des couches polarisables par rapport à la surface du sol où sont effectuées les mesures.

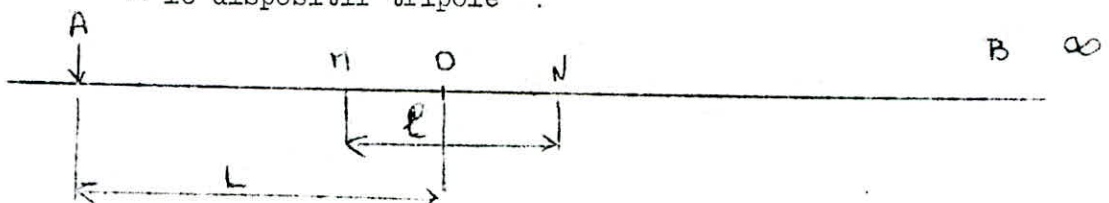
DISPOSITIFS UTILISES :

- tous les dispositifs utilisés pour la prospection par les méthodes de résistivités

- le dispositif dipôle :



- le dispositif tripôle :



Il est bien adapté pour les couches minéralisées sub-horizontales, résistantes.

SUR LES CARROTTAGES PAR POLARISATION INDUITE

Un cable poly conducteur permet de descendre dans le forage plusieurs électrodes mobiles, alors que d'autres électrodes complémentaires restent fixes en surface.

On peut ainsi réaliser plusieurs types de dispositifs (dipôles, tripôles...) aux différents espacements.

Cependant, la proximité des lignes dans le forage favorise les effets inductifs parasites.

LA POLARISATION INDUITE DANS LES GISEMENTS STRATIFORMES
DE PLOMB ET DE ZINC :

Quand on passe en revue tous les moyens d'investigation, on remarque que la seule méthode qui semble la mieux adaptée pour la recherche de gisements de sulfures disséminés (ce qui est le cas des gisements stratiformes de plomb et de zinc) est la méthode par polarisation induite.

En effet :

1°/ La notion de polarisation induite est liée à la notion d'hétérogénéité de la matière. Or on a vu que dans les gisements stratiformes de plomb et de zinc, la minéralisation est en imprégnation dans les dolomies (éventuellement les calcaires) c'est-à-dire constituée de grains distincts les uns des autres.

2°/ La polarisation induite est d'autant plus grande que la surface spécifique des minerais est grande. Ceci rend la polarisation induite adaptée aux gisements stratiformes de plomb et de zinc en ce sens que :

a) - on démontre que la surface spécifique s d'un grain est :

$k = \text{constante}$

$d = \text{diamètre du grain assimilé à une sphère}$

$$s = \frac{k}{d}$$

donc plus le diamètre est petit, plus la surface spécifique du grain est grande.

b) Plus il y a de petits grains, donc plus la

minéralisation est riche, plus la polarisation est importante. A la limite on tendrait vers un gisement de plomb et de zinc, "massif", mais où les grains resteraient distincts les uns des autres (bien que très rapprochés).

c) Un gisement massif homogène, ne donne qu'une très faible polarisation induite : sa surface spécifique est en effet assez faible. On démontre que la surface spécifique d'un même volume est multipliée par 10^5 à 10^6 , si ce volume est constitué par de petits grains distincts les uns des autres.

Les gisements stratiformes de plomb et de zinc ne sont jamais de cette façon.

Phénomènes de polarisation induite dans un gisement stratiforme de plomb et de zinc :

1°/ - Les expérimentateurs s'accordent pour dire que la polarisation induite est un phénomène de surface : elle serait la conséquence des modifications de toute nature et de toute intensité imposées à la configuration physico-chimique des interfaces, par un champ électrique extérieur.

Ces interfaces sont ici essentiellement les contacts :

- grains de blende-dolomie
- grains de galène-dolomie

Ces contacts donnent lieu à des différences de potentiel. On les schématisera dans ce qui suit par une double couche de type Stern, qui semble la plus proche de la réalité. (voir détails sur les doubles couches en annexe). Son potentiel thermodynamique s'exprime par :

$\Psi_0: \Psi_+ \int$ avec $\left\{ \begin{array}{l} \text{ddp d'une double couche de type Helmotz (voir} \\ \text{en annexe)} \\ \text{potentiel électrocinétique de la couche diffuse.} \end{array} \right.$

2°/ On démontre que les effets électrocinétiques (\int) et thermoélectriques contribuent pour une faible part à la polarisation induite. (Le géophysicien soviétique Rotikiansky ne semble pas partager ce point de vue).

Donc, en présence d'un gisement stratiforme de plomb et de zinc, l'énergie de polarisation serait stockée essentiellement sous forme électrique (ionique et surtout électronique) par un phénomène de "polarisation d'électrode".

Ceci conduit à considérer les doubles couches comme des cellules capacitives, de capacité :

$$C = \frac{D}{4\pi \delta} \quad (\text{d'après Helmotz}).$$

avec D = constante diélectrique du milieu

δ = distance entre les deux couches : diamètre ionique.

La polarisation induite est donnée par la décharge de l'élément capacitif C et par lui seulement. La polarisation induite exprime donc la ddp de la double couche.

Comment intervient C ?

a) - les minéralisations sont en imprégnation, comme nous l'avons vu. Il existe donc, forcément une certaine porosité.

b) - Les gisements stratiformes de plomb et de zinc

sont généralement à faible profondeur, et par conséquent dans une zone relativement humide.

c) - Les auteurs proposent dans de pareils cas, le schéma électrique suivant (voir schéma) :

- une conductibilité ionique seule dans certains capillaires

soit : R_i = résistance de l'électrolyte dans les pores = Z_i

- une conductibilité mixte : ionique et électronique.

soit $Z_{mixte} = R_i + 1 \text{ élément CR} + R_e$ (des particules métalliques).

On établit que :

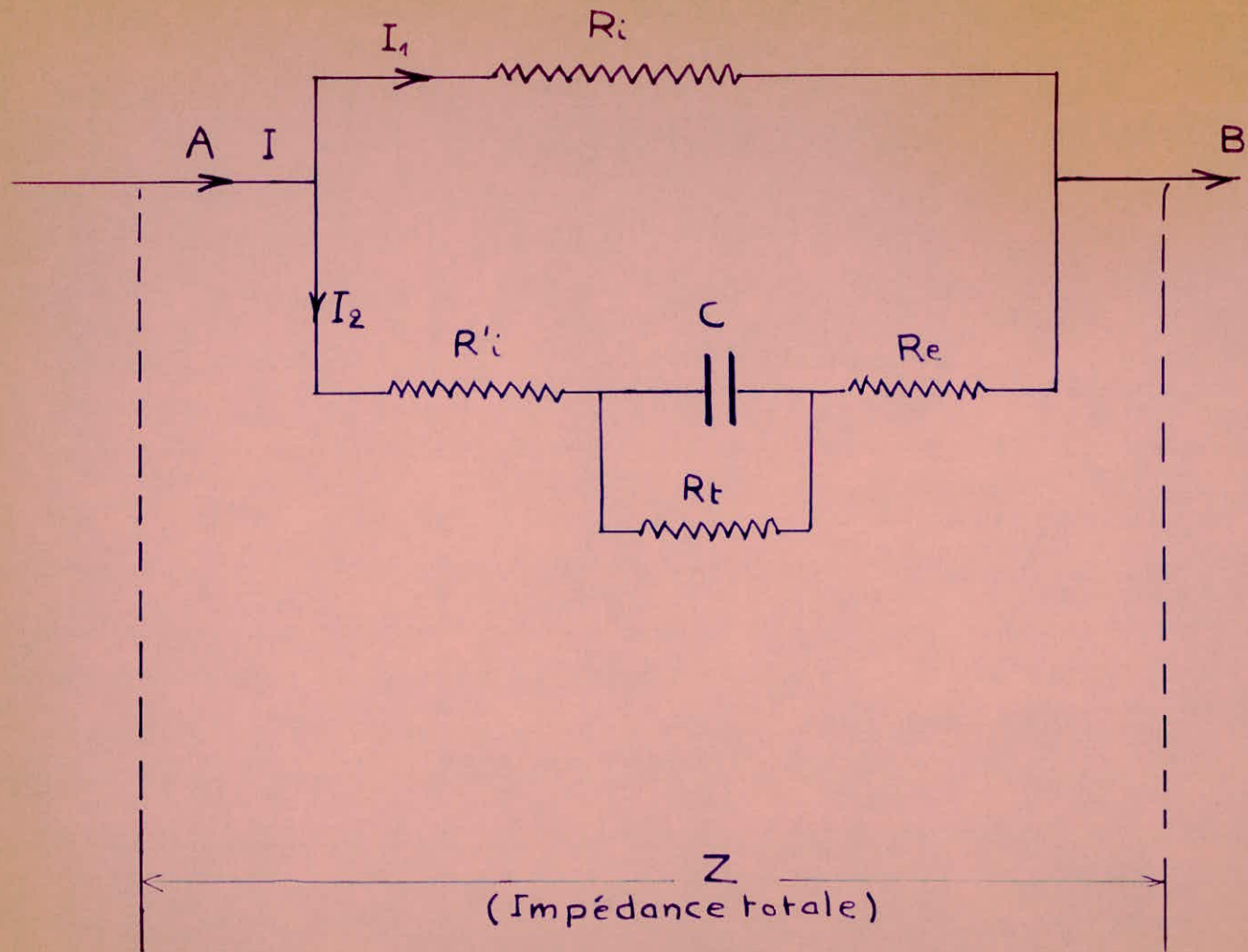
$$\frac{1}{Z_{total}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_i + R_e + \frac{1}{\frac{1}{R_i} + i\omega C}}$$

On voit que si R_i est faible, l'effet de C est masqué, c'est-à-dire la polarisation due aux éléments métalliques est masquée.

d) - Or, les gisements stratiformes de plomb et de zinc sont essentiellement dans les dolomies. Celles-ci ont des résistivités élevées.

D'autre part l'absence d'une gangue importante, rend leur eau d'imprégnation relativement pure, c'est-à-dire assez résistante.

R_i sera donc en général assez grand pour les gisements stratiformes de plomb et de zinc : la polarisation



induite due aux éléments métalliques en sera d'autant plus forte.

Paramètre de mesure le mieux adapté à la détection des gîtes stratiformes de plomb et zinc

a) - De ce qui précède, il apparaît que l'estimation des variations de Z :

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{Z'} \quad \text{avec} \quad Z' = \frac{1}{\frac{1}{R_e} + i\omega C} + (R_i + R_e)$$

est un paramètre de choix.

b) - Le "facteur métal", de la technique fréquentielle permet cette estimation :

$$MF = \frac{P(0) - P(f)}{P(0) P(f)} \cdot 2\pi \cdot 10^5 \approx \left[\frac{1}{Z(f)} - \frac{1}{Z(0)} \right]$$

et en général pour les gisements stratiformes de plomb et de zinc.

Comme R_i est appréciable, on a : $MF = \frac{1}{Z'(f)}$

On voit que ce facteur métal reflète les variations de résistivité de la zone étudiée. Il n'a donc de sens que si ces résistivités des terrains en présence ne varient pas beaucoup. C'est généralement le cas des dolomies. Quoiqu'il en soit on peut facilement le calculer à partir de l'effet fréquence. Il peut alors aider considérablement une anomalie de l'effet de fréquence.

c) - La technique fréquentielle serait donc préférable

(c'est la tendance actuelle en recherches minières).

On mesurera facilement :

- les résistivités apparentes (pour les sondages électriques ou les profils) à $f = 0$ (courant continu)

$$\Rightarrow \rho(0) \Rightarrow \rho(a) \quad (a : \text{demi distance de la ligne d'émission}).$$

- l'effet de fréquence :

$$f_c = \frac{\rho(0) - \rho(f)}{\rho(f)} \% \quad \text{qui est directement donné par l'appareil}$$

- le facteur métal qu'on calcule :

$$\pi F = f_c \cdot \frac{k}{\rho(0)} \quad \text{avec } k = 2 \pi \cdot 10^5$$

Interprétation des résultats :

Comme R_i ne masque généralement pas l'effet de capacité de la double couche, on peut faire le calcul suivant :

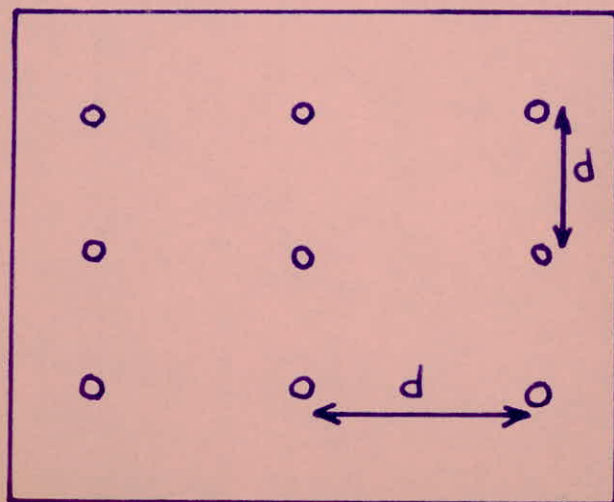
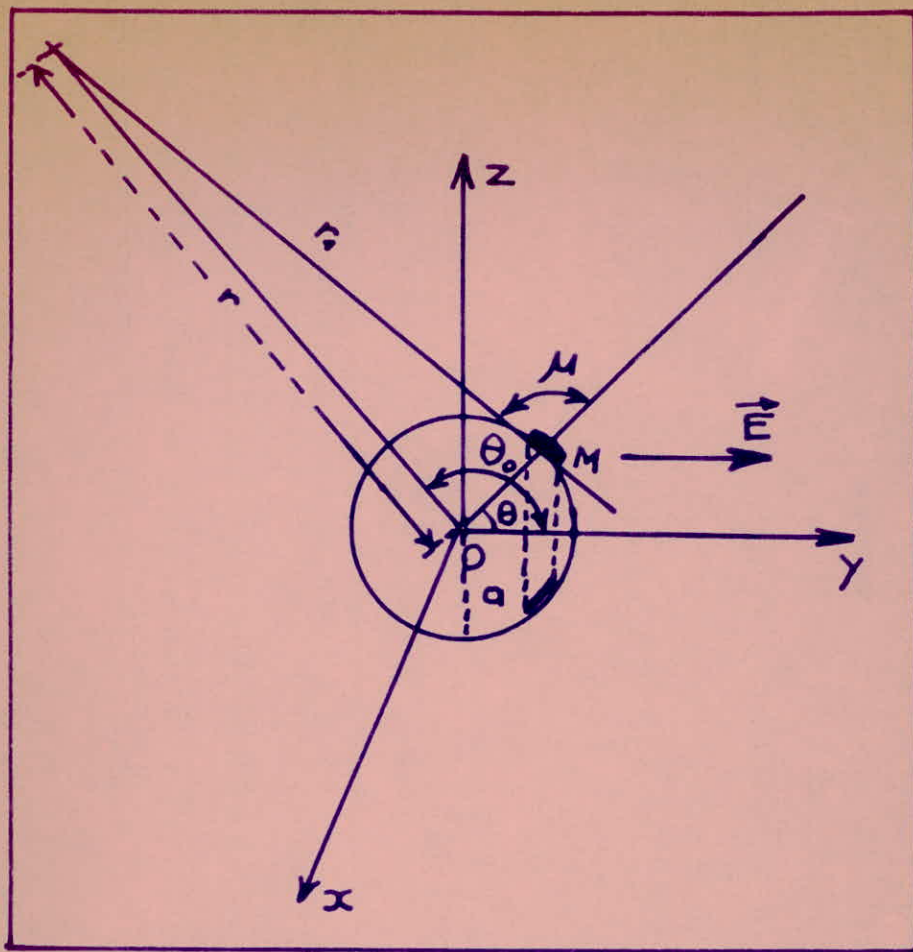
la décharge de la double couche d'un grain assimilé à une sphère, donne en un point de mesure P, un potentiel (Polarisation induite) identique à l'effet d'un dipole de moment m .

$$V = \frac{m \cos \theta_0}{r^2}$$

et pour un volume v :

$$V = \int_{(v)} \frac{m_n \cos \theta}{r^2} dv = m_n \frac{\cos \theta}{r^2} dv$$

(Cf; "prospection électrique par courant continu" de



On a un corps à répartition régulière des particules métalliques

(schéma théorique pour lequel on a intégré au volume (\mathcal{V}) le potentiel V d'une particule).

Monsieur LASFARGUES (pages 270 à 273).

Ce calcul fait en technique pulsée est valable en fréquentielle, puisque mathématiquement, les deux techniques sont valables.

où on a :

n = nombre de particules par unité de volumes

r = distance du grain au point P

$$m = \frac{4 k a^2}{3 D}$$

avec :

a = rayon du grain

D = constante dielectrique de la double couche

$$k = - \frac{36,52 t \delta E}{2 \sigma_1 + \sigma_2}$$

t = temps de passage du courant (jusqu'à saturation)

δ = distance des deux couches

E = champ électrique appliqué

σ_1 = conductibilité du milieu : dolomies
Zn σ

σ_2 = conductibilité métal : Pb σ

1°/ On en tire pour les gisements stratiformes de plomb et de zinc que :

$$\text{Comme : } \left\{ \begin{array}{l} E = \frac{1}{6} 10^{-3} \\ \sigma_2 = \left\{ \begin{array}{l} \sim 10^4 \text{ pour Pb } \sigma \\ \sim 10^{-5} \text{ pour Zn } \sigma \end{array} \right. \end{array} \right.$$

La polarisation induite enregistrée sera donc d'autant

plus forte qu'il y aura de galène.

Or nous avons vu que dans les dolomies, l'oc. blende abonde beaucoup plus que la galène.

Aussi, une anomalie de polarisation induite ne correspondra-t-elle qu'à la présence de la galène. Il semble qu'en dessous de 3% en galène on n'ait pas d'anomalie.

D'où une limitation de la polarisation induite pour les gisements stratiformes de plomb et de zinc toujours (car dans certaines zones on peut ne pas avoir de galène).

Remarque :

Si le minerai devient brusquement massif et homogène en certains points, on enregistrera alors une chute brusque de la polarisation induite.

2°/ Par ailleurs, l'expression de potentiel de polarisation induite :

$$V = \frac{m_1 \cos \theta}{r^2} \quad \text{montre que:}$$

Plus la distance entre la minéralisation et le point de mesure (surface) est grande, plus la polarisation induite due aux éléments métalliques est faible.

3°/ On démontre que la polarisation induite due à une minéralisation à fort pendage est plus intense que celle d'une minéralisation subhorizontale.

Les résultats seront donc meilleurs quand les couches de dolomies seront à fort pendage (exemple de Rocin en Espagne).

4°/ Les roches argileuses donnent lieu aussi à des phénomènes de polarisation induite assez importante due à des phénomènes

de potentiel de membrane.

Cela introduit une ambiguïté dans l'interprétation. Quoiqu'il en soit la polarisation induite due à une minéralisation est toujours plus intense que celle due à des grains d'argile, si les teneurs ne sont pas trop faibles.

La présence de graphite donne également lieu à des phénomènes de polarisation induite.

Limitations de la polarisation induite dans le cas de gisements stratiformes.

1°/ Profondeur : nous avons vu que la profondeur limitait l'utilisation de la polarisation induite. Les expériences montrent qu'elle est inopérente à plus de 200 mètres de profondeur.

Or, en dehors du gisement de Boubeker (300 à 350 mètres), nous avons vu que les gisements stratiformes de plomb et de zinc sont à faible profondeur.

On peut donc en conclure, que la profondeur ne constitue pas en général une limitation à l'utilisation de la polarisation induite pour les gisements stratiformes de plomb et de zinc.

2°/ Effets de polarisation induite dus à l'argile

a) - couche contenant de l'argile (humide) au dessus d'un gisement: elle donne lieu à une polarisation induite qui masque les effets du gisement et introduit ainsi des ambiguïtés d'interprétation. La géochimie permet en principe de tran-

elle peut constituer un "bruit de fond" gênant. Ce bruit, ne peut-être que très faible dans le cas qui nous intéresse sauf exceptions.

3°/ Présence de graphite

4°/ Existence d'un recouvrement conducteur.

Un recouvrement conducteur de 50 metres et à moins de 20 ohms. m forme un écran.

PRIX DES PROSPECTIONS DE POLARISATION INDULTE (données de J. BERTIN)

1°/ Fourniture d'un service restreint comprenant uniquement un opérateur et un appareillage avec ses accessoires.

La prix mensuel d'une mission de ce genre varie entre 20 000 DA et 25 000 D.A.

2°/ Fourniture d'un service complet, c'est-à-dire comprenant en plus :

- les véhicules tous terrains
- les manoeuvres (4 à 6 suivant les études)
- la nourriture et le logement de l'opérateur
- l'échelon topographique avec l'ouverture préalable des layons si nécessaire
- l'interprétation des cartes et des mesures.

L'interprétation des documents et les aléas topographiques, exigent une équipe de trois personnes.

Le pris mensuel est compris entre 45 000 et 55 000 D.A.

La tendance actuelle est de séparer le service mesures du service interprétation qui peut être estimé seul à environ 5 000 D.A. par mois de mission terrain.

TABLEAU COMPARATIF DES RENDEMENTS ET PRIX DE QUELQUES METHODES

GÉOPHYSIQUES :

- Polarisation induite - résistivités - électromagnétiques

-d'après les données de J. BERTIN -

On prend comme unité de temps le mois, qui représente 22 à 23 jours de travail.

On définit le rendement r comme le nombre de stations effectuées dans un mois.

Methodes	Polarisation Induite	Resistivites	Electromagnétisme
Prix mensuels	p	0,7 p	0,8 p
Rendement	r	2 r	4 r

Un fois choisi, le nombre optimum de stations pour résoudre un problème donné, ce tableau permet de calculer approximativement la durée puis le prix de prospection géophysique en utilisant les valeurs de p et de r indiquées précédemment (voir "Prix d'une prospection par polarisation induite").

La polarisation induite apparaît dans ce tableau comme la méthode la plus couteuse, mais il ne faut pas oublier que la plupart des appareillages de polarisation induite fournissent en même temps les valeurs de la résistivité pour le même prix et le même rendement.

G E O C H I M I E

Rappel des principes :

On sait que :

- la composition chimique moyenne de la lithosphère (15 à 20 km) s'exprime par les nombres de Clarke. La part du plomb y est de 0,002 %. Celle du zinc de 0,004 %.

- une roche renferme des teneurs dites normales d'un métal donné. Ces teneurs varient suivant la nature de la roche considérée. Pour les sols on a en général 25 à 75 ppm pour le plomb et 50 à 100 ppm pour le zinc.

- la présence d'un gisement métallique détermine localement un accroissement notable dans la teneur du métal considéré.

La prospection géochimique a pour base la détection d'anomalies chimiques, dans une variété de matériaux accessibles et naturels, tels que les roches, les sols, la végétation et les dépôts alluvionnaires.

L'accroissement des teneurs près d'un gisement est du à la migration et à la redéposition des éléments, à partir de leur lieu de dépôt initial, c'est-à-dire à leur dispersion. On distingue deux sortes de dispersions :

- les dispersions primaires liées aux conditions de formation du gisement (auriole de contact, ou fuites par failles)

- les dispersions secondaires dues à une redistribution des éléments (lessivage de roches contenant des teneurs infimes de métal, ou redistribution à partir d'un gisement).

Cette variété des dispersions, nous montre la difficulté

d'interprétation d'une anomalie dans une prospection de reconnaissance. Aussi se contentera-t-on de noter la présence (ou l'absence) de ppm (ou de teneur) anomalies de plomb et de zinc.

Cependant, si dans une région où les géologues ont mis en évidence des dolomies on obtient des teneurs anormales on à intérêt à resserrer les profils afin de préciser cette anomalie. Notons à cet effet que :

- le plomb et le zinc dans les dolomies se dispersent de part et d'autre d'un gisement/^{sur}seulement une dizaine de mètres (dispersion primaire) et ce en raison de la basicité des dolomies.

- à $ph = 7,5$ le zinc est peu mobile (peu soluble) et sa dispersion ne dépasse pas quelques mètres (à $ph = 6,2$, sa mobilité est multipliée par 30). Le plomb est moins mobile. Par conséquent l'interprétation d'une anomalie géochimique doit toujours tenir compte de la nature (et du ph) du sol où elle a été décelée.

Prélèvements : la tendance actuelle en reconnaissance est l'étude géochimique du réseau hydrographique : on fait les prélèvements dans les alluvions.

Au cours des levés de rivières, les équipes géologiques prélèvent régulièrement des alluvions, à des distances de 100 à 120 m. Les points de prélèvement, sont matérialisés par des piquets.

Alluvions : dans les alluvions, en l'absence de tout gisement, plomb et zinc (cuivre aussi...) ont des teneurs normales de quelques ppm. Ces teneurs augmentent au fur et à mesure qu'on s'approche du gisement (quand il existe). Les dispersions ont généralement quelques centaines de mètres.

Analyses : elles sont faites sur place.

Les échantillons sont :

- séchés : par tout moyen approprié
- tamisés : sur une toile de nylon à 80 mesh (0,175mm)

On dose en même temps que le plomb, le cuivre.

Le zinc est dosé seul car il est plus mobile. (anomalie plus aplatie). Les seules techniques utilisables pour l'analyse sont :

- la colorimétrie
- les spot tests
- la spectrographie
- la polarographie
- la chromatographie

Il est important d'effectuer les analyses dans de bonnes conditions de propreté.

La prospection est dirigée par un géologue qui dispose de plusieurs prospecteurs dont un opère en qualité de "chimiste".

Remarque sur un nouveau procédé pour mettre en évidence la cérusite

Il s'agit de l'application d'un mélange de solutions diluées d'iodure de potassium et d'acide acétique.

Répandu sur une roche, apparemment stérile, minéralisée en fait en cérusite, cette liqueur détermine la formation d'une coloration jaune due à l'iodure de plomb.

La plupart des affleurements minéralisés dans des arkoses de la Haute Moulaya au Maroc, avaient été indiscernables sans l'utilisation de cette méthode.

Caractéristiques principales des méthodes de dosages utilisés par le B.R.G.M.

Eléments Recherchés	Nature de la méthode	Réactifs utilisés	Sols- Roches			Eaux
			limites de sensibilité ppm	Reproductibilité	cadence possible en moyenne	limites de sensibilité ng/l
Plomb	colorimétrie	dithizone	10	± 7 %	40	$1,10^{-3}$
Zinc	"	"	10	± 12 %	40	$1,10^{-3}$
Cuivre	"	ou cuprine	10	± 8 %	40	$4,10^{-3}$

1°/ Dosage du plomb dans les sols avec la dithizone

Principe : cette méthode est basée sur la formation de dithizonate de plomb à ph 9 à 9,5 en présence de cyanure de potassium pour éliminer les interférences dues au zinc. L'appréciation des teneurs s'effectue par comparaison des teintes obtenues avec celles d'une gamme d'étalons.

2°/ Dosage du zinc dans les sols par la dithizone

Principe : cette méthode est basée sur la formation de dithizonate de zinc à ph = 5,5 en présence d'hyposulfite de sodium pour éliminer les interférences dues au cuivre et au plomb. L'appréciation des teneurs s'effectue par comparaison des teintes avec celles d'une gamme d'étalon.

3°/ Dosage semi quantitatif du plomb et du zinc

selon les eaux :

principe : ces méthodes sont basées sur la formation de dithi-

zonates colorés en présence de plomb et de zinc. La réactivité et la sélectivité dépendent du ph. On travaille sur une prise aliquote d'eau parfaitement limpide obtenue après décantation ou filtration sur filtre rapide sans cendre.

ETABLISSEMENT DE COURBES "PREVISIONNELLES"

Pour l'utilisation des données sédimentologiques dans l'étude et la recherche des gisements stratiformes.

Pour étudier les minéralisations stratiformes (notamment cuprifères) en fonction du milieu encaissant, il est nécessaire :

1) d'étudier l'évolution sédimentologique et physico-chimique d'un bassin sédimentaire, d'une série ou d'un ensemble de séries dans le temps, et dans la mesure du possible dans l'espace.

2) de représenter cette évolution

3) de comparer l'évolution de différents bassins et dans ce but, d'adapter des modes de représentation communs représentatifs de cette évolution.

I) - La représentation des phénomènes

On n'utilisera que des éléments basés, sur les observations directes ou sur des descriptions bibliographiques précises et objectives.

Les phénomènes à représenter sont :

- l'évolution lithologique des séries
- les variations de cycles de sédimentation
- les variations schématiques du potentiel d'oxydo-réduction, indiquées grossièrement par les variations de couleurs:

- l'évolution paléoclimatique et de milieu de sédimentation dans la mesure où cette évolution est possible à déterminer

- accessoirement, on représentera les phénomènes d'altération et de néoformation et notamment les conditions

de formation des minéraux authigènes.

1°/ La représentation des phénomènes lithologiques et sédimentologiques et leur évolution : plusieurs modes de représentation existent.

a) - les diagrammes circulaires de Pettijohn : ils ne semblent pas suffisamment précis pour l'étude qui nous intéresse.

b) les courbes lithologiques d'Augustin Lombard
Elles représentent des phénomènes bruts et non seulement leur interprétation. Elles traduisent l'évolution sédimentologique d'un bassin dans le temps.

Etablissement de ces courbes :

Dans la série à étudier, on établit la liste des faciès : conglomérants, grès, calcaires, marnes, dolomies ...

On numérote les faciès, depuis les clastiques, les plus grossiers jusqu'aux clastiques les plus fins, et depuis les clastiques jusqu'aux chimiques, ce qui correspond dans la plupart des cas à une transgression. On obtient ainsi une série standard locale : exemple :

- 1 - conglomérants
- 2 - Grès grossiers
- 3 - grès moyens
- 4 - grès fins
- 5 - grès argileux
- 6 - grès marneux
- 7 - argilites
- 8 - marnes
- 9 - calcaires ...

Lorsque la succession est régulière, c'est-à-dire lorsque les faciès se succèdent dans le temps des chiffres inférieurs, vers les chiffres supérieurs, la séquence est dite positive. (correspond généralement à une transgression).

Dans le cas contraire, la séquence est dite négative.

Lorsque le même faciès se répète dans des bancs successifs, ou lorsque une formation donnée présente une certaine épaisseur, avec des faciès identiques, la séquence est dite en "I".

Limites d'utilisation de telles courbes

a) le degré de métamorphisme des séries constitue un obstacle.

b) Les courbes ont été établies pour des séries marines, mais on peut dans une large mesure admettre que les bassins continentaux se conduisent de la même façon, la différence essentielle étant le degré de salinité des eaux. Ceci influe sur la nature des minéralisations.

c) l'échelle à adopter joue un rôle déterminant. Les plus représentatives semblent comprises entre 1/20 000 ème et 1/5 000 ème.

2°/ - Les courbes de cycle de sédimentation

Elles traduisent un certain aspect de l'évolution sédimentologique, c'est à dire les phases de remaniement des sédiments.

- les sédiments de premier cycle : ce sont les sédiments dérivés des roches du socle, et notamment des roches cristalline.

- les sédiments du second cycle : ils dérivent

de roches sédimentaires.

La courbe des variations des cycles et juxtaposées à courbe lithologique.

3°/ Les courbes de variations physico-chimiques

En l'absence de mesures précises, on adopte une solution grossière mais satisfaisante pour le problème que nous étudions, pour déterminer le potentiel d'oxydo-réduction : on établit des courbes de variation de couleur des sédiments, complétées au besoin par des courbes de variation des minéraux indicateurs de chimisme du milieu de sédimentation.

On va des faciès les plus rouges (oxydants) aux plus noires (les plus réducteurs en principe) en passant par les jaunes, blancs gris et verts.

Les minéraux férifères sont d'assez bons indicateurs du milieu : d'un milieu oxydant à un milieu réducteur, on passe de l'oligiste à la sidérose puis à la pyrite, les minéralisations en cuivre, plomb, zinc devant se trouver devant les parties positives des courbes.

4°/ Autres éléments à utiliser éventuellement :

- les variations paléoclimatiques et de milieu : climat:
 - froid - peu de gisements
 - chaud - cuivre, plomb zinc en milieu marin
 - uranium vanadium en milieu continental
- la présence ou l'absence de matières organiques.

II) - Utilisation de ces données en géologie minière

Cette étude n'implique aucune considération génétique. On étudie la situation des minéralisations stratiformes (notamment cuprifères) en fonction des variations verticales dans

les séries et horizontales dans un ou plusieurs niveaux donnés.

1°/ Localisation verticale des minéralisations stratiformes et mise en évidence d'une méthode de prospection pour le plomb et le zinc :

Il n'existe pas encore d'études assez avancées. Cependant certains gisements du plomb et du zinc, se trouvent dans des séquences pour le cuivre.

Ainsi à Missouri Sud-Est, les grès de Lanotte forment une séquence en "I". Les formations de Bonneterre et Davis forment une séquence plus ou moins oscillante.

Signalons que pour les minéralisations cuprifères stratiformes, il semble se dégager (d'après Nicolini et P. Lombard) "une règle de répartition" dans les séries sédimentaires :

- le maximum de concentration en cuivre se trouve dans la première séquence oscillante à tendance positive surmontant une longue séquence en "I" dans les courbes d'A. Lombard
- le cuivre se trouve dans les zones de partage des sédiments du premier cycle à des sédiments de second cycle
- le cuivre est localisé dans des sédiments gris, verts, noirs, plus rarement dans les sédiments blancs ou jaunes, à l'exception des sédiments rouges (réduction).

En prospection, on établira donc :

* une coupe stratigraphique de la ou des séries observées

* les coupes prévisionnelles :

- . une courbe lithologique
- . une courbe de variations de cycles
- . une courbe de variations de couleurs

Dans chaque courbe on détermine la zone la plus favorable, à la présence d'une minéralisation.

On détermine ensuite les zones les plus favorables pour l'ensemble des courbes.

L'étude des séquences nécessite même l'examen du socle.

2°/ Localisation horizontale des minéralisations stratiformes

Dans les niveaux considérés comme favorables, on admet deux types principaux de contrôles :

- a) un contrôle tectonique : pas de problème particulier
- b) un contrôle paléogéographique

- topographie du socle

- les paléoreliefs du socle fixent fréquemment la minéralisation dans la couverture

- il peut exister une certaine relation entre la minéralisation et la direction des paléocourants.

III) - Conclusion :

Si les courbes prévisionnelles ne résolvent pas tous les problèmes, elles peuvent néanmoins orienter la recherche et notamment, la sélection de zones favorables, en l'absence d'indices minéralisés.

Il nous semble, que seule la position litho - stratigraphique des minéralisations peut ainsi être prévue ; leur position horizontale rest inaccessible.

L'ETUDE DES CIMENTS DES ROCHES DÉTRITIQUES, OUTIL DE
PROSPECTION DES GISEMENTS STRATIFORMES ENFOUIS (TRIAS
ARDECHOIS)

Aperçu géologique de la région et des minéralisations

Les minéralisations reconnues, prospectées et déjà largement exploitées apparaissent dans la formation grés-conglomératique d'environ 40 m de puissance (Buntsandstein ?) qui se trouve à la base des formations mésozoïques.

Il s'agit essentiellement de grès arkosiques à fins, cimentés par de la silice et des sulfures (galène argentifère, blende) sous forme de "nuage" ou lentilles à bord diffus grossièrement concordants avec la stratification.

- à l'échelle régionale (échelle de reconnaissance) les minéralisations occurrences minéralogiques ou simples anomalies géochimiques, répondent à une loi de localisation paléogéographique, mise en évidence (Cf. Largentière).

- différenciation latérale des ciments : du Nord-Ouest vers le Sud-Est (du continent vers le bassin sédimentaire, subsistent, d'après les données paléogéographiques), on constate une variation latérale de la cimentation des roches détritiques susceptibles de contenir la minéralisation sulfurée. On observe :

* le passage d'un ciment à dominante argileuse, à un ciment siliceux qui progressivement cède le pas à des carbonates et des sulfites.

* Les sulfures occupent une place constante dans ce schéma. Le phénomène peut être représenté sous forme géographique.

Méthodes de travail :

1°/ Définition des paramètres les plus représentatifs de la cimentation :

- a) - Evaluation semi-quantitative des proportions de minéraux qui cimentent les grains
- b) - mesure des paramètres chimiques par lames minces.

Ces deux méthodes permettent la mise en évidence et la quantification des différenciations latérales des ciments.

Bien que les paramètres fondamentaux ressortent plus mal de cette analyse chimique par lames minces que de l'évaluation des teneurs en élément chimique, celle-ci est retenue en pratique car elle est beaucoup plus développée depuis plusieurs années.

Afin de rendre la méthode plus pratique et plus rapide, on choisit après quelques essais 3 à 4 paramètres à mesurer.

Pour le Tricastin ardéchois, il a été retenu :

Les teneurs relatives du ciment en argile, silice et sulfates plus carbonates (c'est-à-dire en première approximation une représentation des trois tendances moyennes de la chaîne locale des ciments).

2°/ - Le choix des lames minces :

Il s'agit d'une étude comparative, pour obtenir, non pas tous les types pétrographiques, mais une représentation globale du phénomène de cimentation.

Un prélèvement systématique a été adopté

pour cette phase "expérimentale" de la recherche.

3°/ - L'étude des lames minces :

On établit des lames minces de référence, définissant des associations quantitatives types. A partir de ces lames minces de référence, on évalue les pourcentages respectifs des minéraux du ciment.

4°/ - La représentation des résultats :

a) - première représentation :

On utilise des diagrammes permettant la représentation graphique de chaque lame mince étudiée, sous forme d'un point défini à partir des paramètres sélectionnés. Ainsi dans le cas du Trias archédois :

- on aura pour chaque sondage un diagramme triangulaire

- les paramètres seront ceux que nous avons cité précédemment et concrétiseront les sommets du triangle (voir schéma).

b) - deuxième représentation :

Pour faciliter la comparaison des ensembles de points que représente chaque sondage étudié, le seul point moyen du diagramme précédent est conservé et permet, moyennant quelques précautions d'abord du problème de prospection (voir schéma).

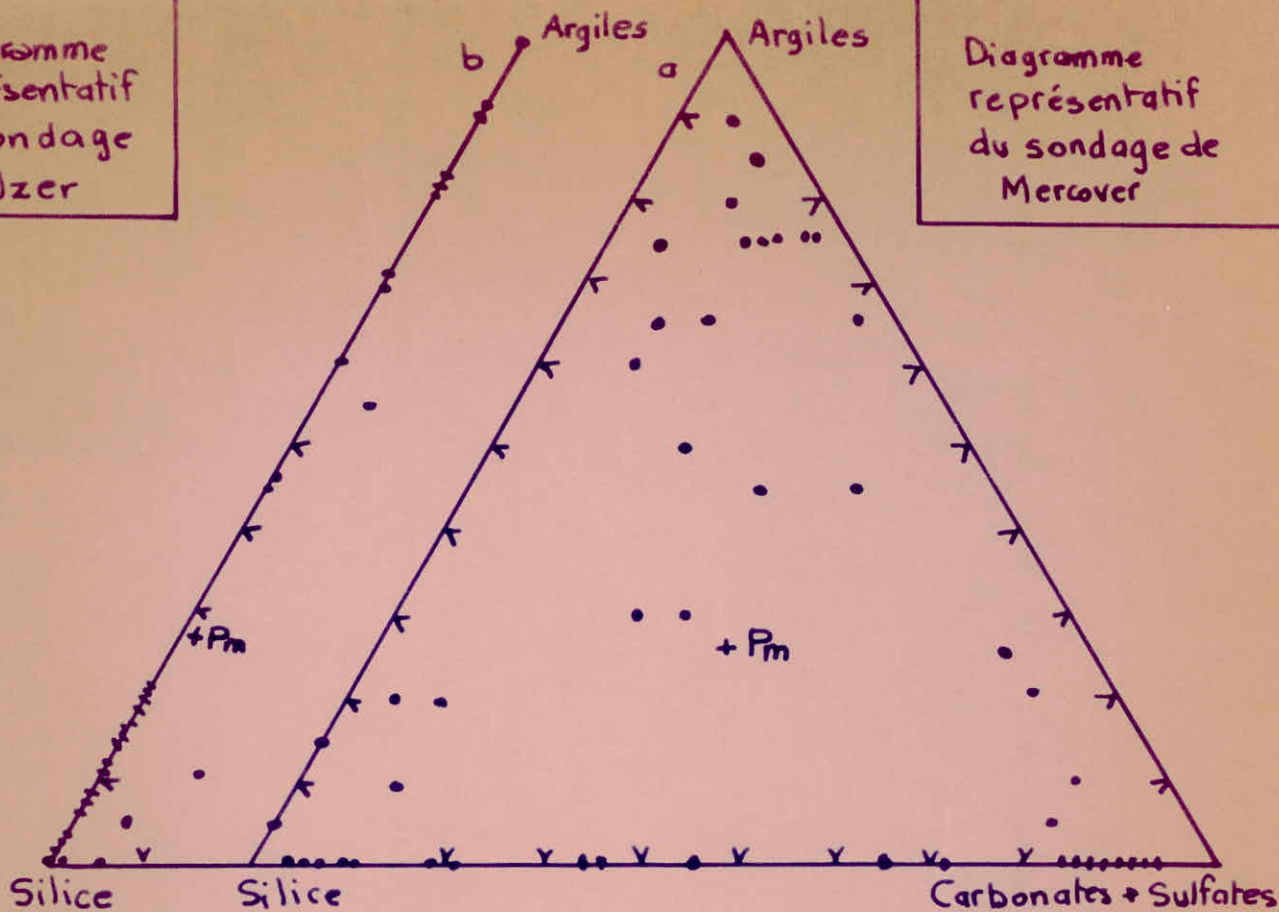
c) - Restrictions :

- quel est le nombre de lames minces pour définir avec assez de précision ce point moyen.

On répond à cette question en resserrant les mailles progressivement à partir d'une certaine densité le point moyen

Diagramme représentatif du sondage d'Uzer

Diagramme représentatif du sondage de Mercover

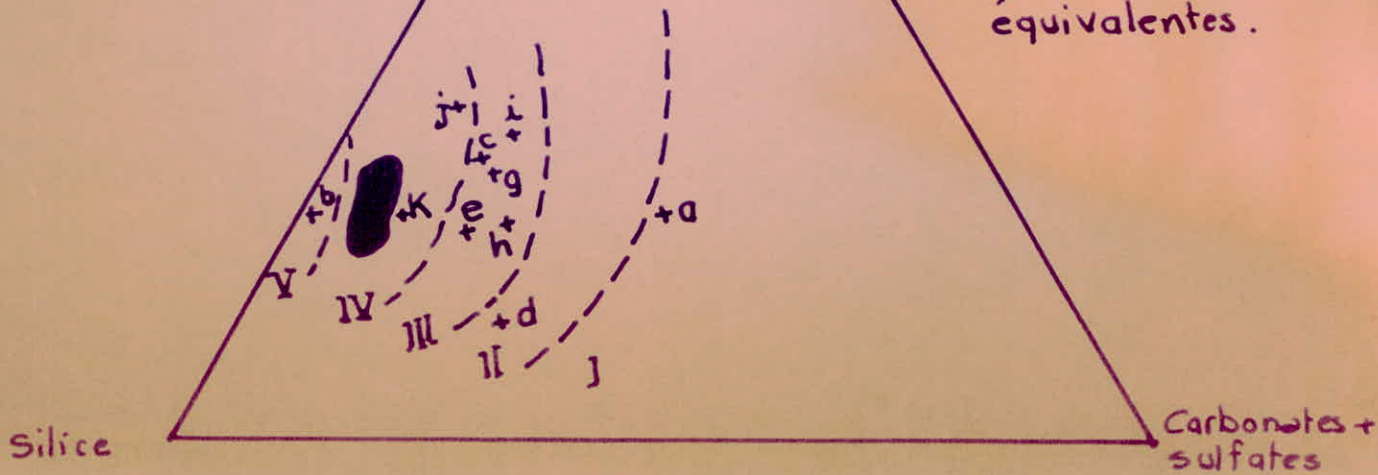


On note aisément la différence entre les deux sondages: il s'agit de 2 sondages extrêmes

Diagramme représentatif des points moyens des différents sondages étudiés.

Argiles

L'espace des diagramme a été arbitrairement divisé en cinq zones (I à V), qui traduisent les domaines d'associations équivalentes.



obtenu ne fluctue plus.

On définit ainsi la maille idéale (deux mètres de Trias ardéchois).

- quel risque rencontre-t-on en substituant une moyenne à cette distribution ? Il semble qu'en pratique, ce problème ne se pose pas.

La mise en oeuvre de la méthode : interprétation :

1°/ - On peut établir, grace aux résultats précédents des cartes de même association de ciment, qui permettraient de s'orienter à coup sûr vers la frange de cimentation la plus favorable à la présence de concentration.

2°/ - On fait figurer sur le diagramme triangulaire le domaine de cimentation idéale et on compare la position relative du point moyen et de dette zone.

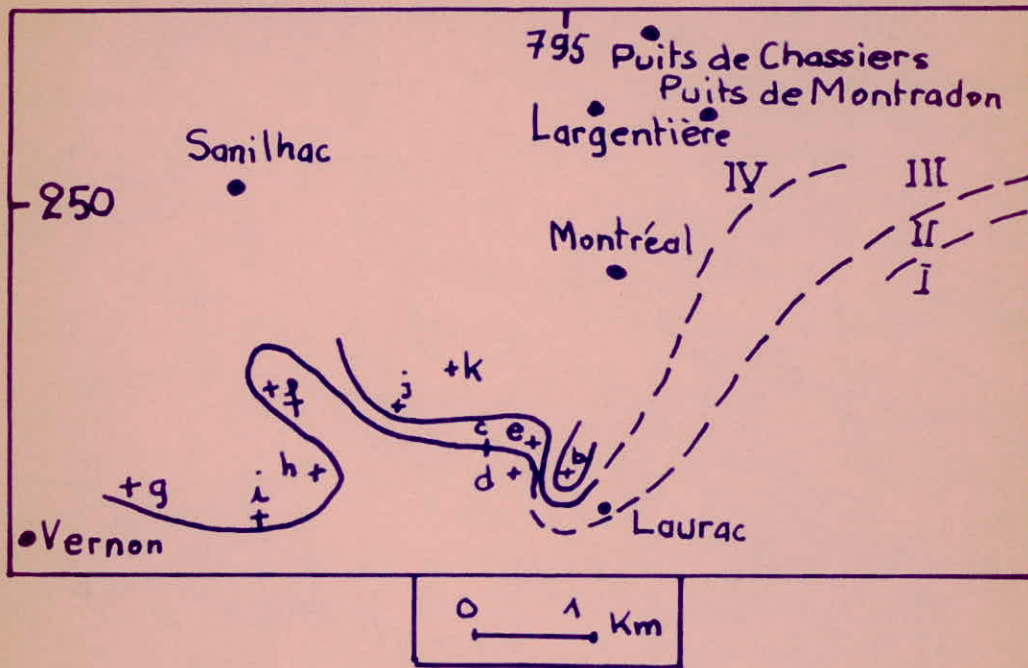
Les limites du domaine de cimentation idéale peuvent être déterminées directement par la prise en considération des points moyens de sondages minéralisés (soit par le report sur un diagramme de 45° couples "association de ciment teneurs en plomb (en zinc) suivi du tracé des domaines d'isoteneurs).

Conclusion :

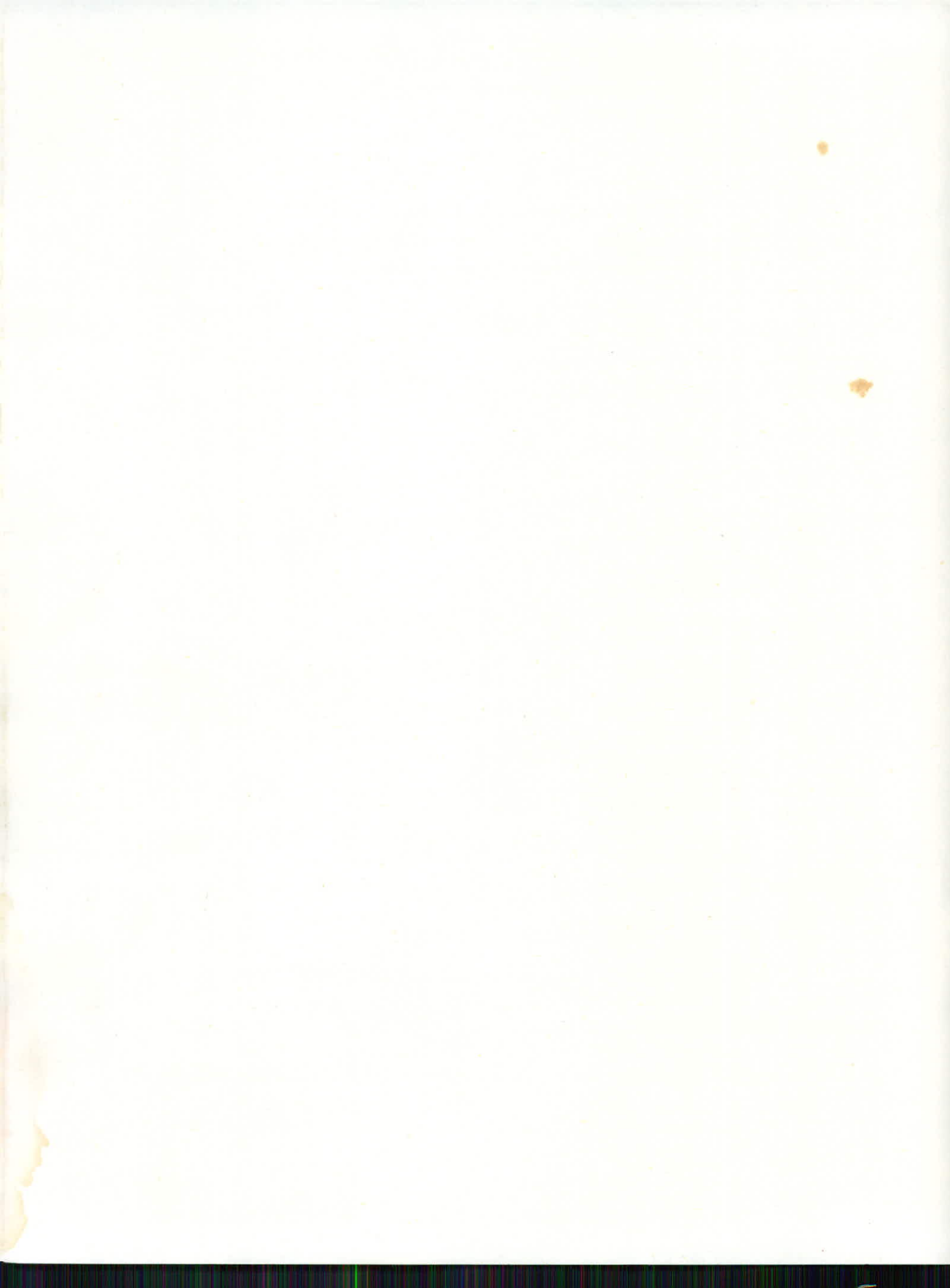
Il ne faut pas viser par cette méthode la détection directe des minéralisations.

Les possibilités de cette méthode ont été démontré dans le Trias Ardéchois, en permettant au premier sondage local de rencontrer une minéralisation franchement exploitable.

Au stade la reconnaissance, cette méthode permet d'exploiter à peu de frais, les coûteux documents que sont les carottes de sondages.



Exemple de carte des domaines de cimentation équivalente dans la zone de Lenticaille.



B I B L I O G R A P H I E

- BATEMAN : Economic Mineral Deposit
- EMMONS : Principles of Economic géology
- ESTERLE : Cours de géologie dispensé à l'E.N.P.A.
- LASFARGUES (P.) : - Prospection électrique par courants continus
- Cours de géophysique dispensé à l'E.N.P.A.
- cours de géochimie
- LINDGREEN : Traite de métallogénie
- RAGUIN : Géologie des gites minéraux
- RHOULIER (P.) : "Les gisements métallifères"
-
- AMSTUTZ (J.C.) : L'origine des gites minéraux concordants dans les roches sédimentaires (C.M.O.M. 1962)
- BERTIN (J.) : La polarisation provoquée
(Revue de l'Industrie des Mines - Mars 1969)
- BLONDEL (F.) : La géologie et les mines des vieilles plateformes
(Pub. Bur. Etud. Geol. Min. PARIS 1936
Les lois statistiques de la répartition géographique des productions minérales
(Revue industriel minéral Janvier 1956)
- BRANT (Arth. A.) : Origin of dolomites in sedimentary sequences
(mines dep. 1966 n° 2)
- BRODERICK (T.M.) : Exploration for ore deposits
(Ec. Geol. Aug. 1949)
- DARDENNE (M.) : Etude expérimentale de la distribution du zinc dans les carbonates de calcium
- ENTENBERG (A.) : Méthodologie de la recherche de gisements stratiformes cachés de plomb et de zinc dans le Maroc Oriental
(Service géologique de RABAT 1963)
- FOMLETT (G.M.) : Tri-State Lead Zinc Deposit ("Ore deposits in layered rocks - Structural features")
- DERRY-DUNCAN (R.) : Geological Mapping
(C.M.M.B. n° 440)
- GEORGEL : Polarisation induite et recherche minière (Bull. B.R.G.M. 1965 n° 5)
- GRILLOT (H.) : Méthodes d'analyses quantitatives appliquées aux roches et aux prélèvements de la prospection géochimique (Mémoires B.R.G.M. 1964)
- HAWKS (H.E.) : Principles of Géochimical Prospecting
(Ec. Géol. 1960 Nov.)

- JAEGGER : "Sur les méthodes géophysiques Aéroportées".
B.R.G.M.
- JINGHWA - HSU (K.) : The pre évaluation of the possible profitability of
exploration prospecting
(Min. Dép. 1968 Mars)
- KOULOMZIN (et DAGENAIS) Statistical determination of the chances of success
in mineral exploration in CANADA (Ca. Min. Jour 1959)
- LOUGHNON (J.) : Méthodologie de la recherche des gisements de plomb et de zinc
stratiformes au seuil de POITOU (Bull. B.R.G.M.)
- NICOLINI (P.) : "Etablissement de courbes prévisionnelles"
(Symp sur le cuivre - Copenhague 1960)
- PARFANOF (A.) : Aperçu sur les méthodes d'études des concentrées alluvionnaires
(B.R.G.M. 1967)
- POPOV : Répartition des gîtes de plomb et de zinc en Algérie (Rapport)
- SAMAMA : - Etude du ciment des roches détritiques dans le trias Archédois
- Contrôle et modèle génétique de gisement de Largentière.
- SARCIA (Mme) : Critologie prévisionnelle et géochronologie des principales
minéralisations (B.R.G.M. 1967 n° 2)
- S.O.N.A.R.E.M. : Documentation de la base de la recherche
- TOLWINSKI : Méthodes de travail appliquées dans les Karpates et résultats
obtenus.
C.R. Cong. Int. Min. et Géol. Appl. VII se. PARIS 1936).

T ABLE DES M ATIERES

PAGES

INTRODUCTION

1

PREMIERE PARTIE

Etude des gisements stratiformes de
Plomb et de Zinc.

Mise en évidence des contrôles de
ces minéralisations.

CHAPITRE I : Les gisements de Plomb
et de Zinc dans le monde.

Importance des gisements stratiformes.

- Principaux type de gisements de Plomb et de Zinc 2
- Répartition mondiale du Plomb et du Zinc 6
- Importance des gisements stratiformes et de
leur recherche 8

CHAPITRE II : Description de quelques
gisements stratiformes.

Mise en évidence des contrôles de la minéralisation

- Gisement de Tri-States aux U.S.A. 10

Contrôles de la minéralisation	12
- <u>Gisement de Missouri Sud-Est (U.S.A.)</u>	13
Contrôles de la minéralisation	15
- <u>Gisement des Cevennes : Les Malines (France)</u>	16
Contrôles de la minéralisation	18
- <u>Gisement de Reocin (Espagne)</u>	19
Contrôles de la minéralisation	20
- <u>Gisement de Touissit. Boubekeur (Maroc)</u>	20
Contrôles de la minéralisation	27
- <u>Minéralisation du Bassin du Niari au Moyen Congo</u>	29
Contrôles de la minéralisation	32

CHAPITRE III

Approche du problème génétique	
.. Hypothèse épigénétique	33
.. Point de vue de la recherche	35
.. Hypothèse syngénétique	36
.. Point de vue de la recherche	37
- Conclusion sur la genèse des gisements stratiformes	38

CHAPITRE IV

Caractères généraux des gîtes stratiformes	
Guides pour la recherche.	
- Caractères Communs	39
- Guides pour la recherche d'autres gisements	43

DEUXIEME PARTIE

METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

LES CHANCES DE SUCCES D'UNE EXPLORATION	45
SUR LA RECHERCHE DE NOUVEAUX GISEMENTS	46
<u>CHAPITRE I</u>	
La reconnaissance générale	48
<u>CHAPITRE II</u>	
Recherche des structures et accidents au 1/10.000 dans les régions sélectionnées précédemment	52
<u>CHAPITRE III</u>	
Etude détaillée pour la détection des mi- néralisations au 1/2.000	55
<u>CHAPITRE IV</u>	
Les sondages mécaniques étude au 1/500ème	58
<u>CHAPITRE V</u>	
Conclusion	60
<u>CHAPITRE VI</u>	
Recherche du ou des prolongements d'un gisement	62

/// TROISIEME PARTIE

L'ALGERIE

INTRODUCTION

LES HAUTS PLATEAUX

<u>I - La Province Oranaise</u>	63
Géologie	63
Gisements stratiformes de la région d'El-Abed	64
Moles de Saïda et Tagremaret	68

II - La Province d'Alger et les Hautes Plaines

Constantinois

Géologie	71
Gisements stratiformes de Plomb et de Zinc	
- Généralités sur la région minéralisée	71
- Aïn Kahla	72
- Kherzet Youcef	74
- Djebel Oustar	77
- Méthodologie de la recherche	78

ATLAS SAHARIEN

- Géologie	79
- Gisements communs	
Ichmoul	80
Hamman N°Baïls	81

LE GISEMENT DE L'OUARSENIS

CONCLUSIONS POUR LA RECHERCHE

en Algérie de gisements stratiformes de Plomb et de Zinc	87
Méthodologie de recherche	89

QUATRIEME PARTIE

(I-) ANNEXES

Annexe relative à la première partie :

- Schémas de Ferrière et d'Humons	97
- Deux exemples particuliers	99
La Haute Moulaya	100
Gisement de Largentière	
- Quelques notes sur les minéralisations de Plomb et de Zinc	102

A Annexe relative à la deuxième partie :

- La prospection par photogéologie	107
- La magnétométrie aéroportée	109
- Les sondages électriques	113
- La gravimétrie	121
- La sismique réfraction	124
- La prospection électromagnétique	128
- La polarisation induite	131
- La géochimie	147
- Etablissement de courbes prévisionnelles	152
- L'étude des ciments des roches	158

