

6/90

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

1EX

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MINIER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

CHOIX DU MOYEN DE  
TRANSPORT A LA CARRIERE  
DE MEFTAH

# 3 PLANCHES

Proposé par :

A.AIT-YAHIAENE

Etudié par :

BENKHEROUF  
Abdelkrim

Dirigé par :

A.AIT-YAHIAENE

PROMOTION :

JUIN 1990

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MINIER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

# PROJET DE FIN D'ETUDES

### S U J E T

CHOIX DU MOYEN DE  
TRANSPORT A LA CARRIERE  
DE MEFTAHA

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

A. AIT-YAHIA TENE

BENKHEROUF  
Abdelkrim

A. AIT-YAHIA TENE

PROMOTION :

JUIN 1990

DEDICACES

JE DEDIE CE MODESTE MEMOIRE

- A MES PARENTS

- A MES FRERES ET SOEURS

- A MES AMIS

REMERCIEMENTS

---

Au bout de ce travail, je tiens à remercier profondément mon promoteur et chef de département, monsieur A. AIT YAHIETEN, pour son suivi continu et attentionné durant toutes les phases de préparation du projet. Je remercie de même l'ensemble des enseignants du départements pour leur aide et conseils et plus particulièrement monsieur ALEXANDRE BOTEV pour le suivi et l'assistance soutenus; et monsieur KHALED LOUMI pour ces conseils. Toute ma gratitude va aux membres du jury qui auront l'amabilité de juger ce modeste travail.

S O M M A I R E

---

I - INTRODUCTION

---

CHAPITRE I : CONDITION GEOLOGIQUE

---

I - 1 - généralités .....	1
I - 2 - géologie générale de la région de meftah .....	1
I - 3 - caractéristique du gisement .....	7

CHAPITRE II : CONDITIONS TECHNICO-MINIERES

---

II - 1 - ouverture du gisement .....	9
II - 2 - exploitation de la carrière .....	9

CHAPITRE III : TRANSPORT DANS LA CARRIERE

---

III - 1 - généralités .....	15
III - 2 - choix du moyen de transport .....	17
III - 3 - description du couloir a chute .....	18
III - 4 - choix de l'emplacement du couloir a chute .....	20

CHAPITRE IV : ETUDE ECONOMIQUE COMPARATIVE

---

IV - 1 - introduction .....	30
IV - 2 - évaluation des frais d'une tonne de minerai transportée par kilomètre .....	30
IV - 3 - estimation des frais de réalisation du couloir a chute	
IV - 4 - estimation des frais de rechargement du minerai ....	34
IV - 5 - évaluation des frais de transport et comparaison ...	35
IV - 5.1 - distance entre concasseur et le centre de gravité	
IV - 5.2 - évaluation des frais de transport .....	36
IV - 5.3 - comparaison .....	37

CONCLUSION

---

## INTRODUCTION

---

Le transport constitue sur le plan économique la plus grande partie du coût d'extraction (30 à 50%), sachant de ce fait que toute variation des dépenses de cette opération engendre des conséquences importantes sur le coût global d'exploitation, on propose l'étude économique de la variante de roulage (transport par camion) qui est actuellement utilisée à la carrière de Meftah, on analyse ensuite les différents paramètres pouvant influencer le coût du transport pour enfin, déterminer le facteur qui agit le plus sur ce dernier. Ce qui nous permettra, éventuellement d'agir en conséquence.

Vu les conditions de l'exploitation projetée de la partie supérieure du gisement, il apparaît que son exploitation par évacuation des matériaux par camions uniquement impose une distance de roulage importante ce qui a pour effet l'augmentation du coût de cette opération.

Donc afin de minimiser la distance de roulage on propose la réalisation d'un couloir à chute.

Afin d'apprécier la différence on présentera dans cette étude une comparaison économique des deux variantes.

## CHAPITRE I : CONDITIONS GEOLOGIQUES.

---

### 1-1 : - GENERALITES.

---

MEFTAH est située à une trentaine de kilomètres au sud-est d'ALGER, Au nord de MEFTAH s'étend la fertile plaine côtière de MITIDJA, à l'ouest la ville de BLIDA, à l'est la ville de KHEMIS\_EL\_KHENCHNA MEFTAH est une commune de la wilaya de BLIDA.

Le climat de la région de MEFTAH est typiquement méditerranéen.

La température moyenne annuelle est de 20°C, elle varie entre 7 et 10°C en hiver, et entre 25 à 35°C pendant l'été.

Les précipitations moyennes de l'année varient entre 600 et 800 mm,

### 1-2 : - GEOLOGIE GENERALE DE LA REGION DE MEFTAH.

---

La région de MEFTAH (BIBLIOGRAPHIE 3) possède une structure géologique complexe telle que suggérée par les nombreuses discordances et les structures de plissements.

L'argile CARTENNIEN du MIOCENE inférieur s'étend en discordance sur les grès et les conglomérats.

Le calcaire HELVETIEN du MIOCENE inférieur recouvre les formations de grès et de conglomérats d'une part et d'argile d'autre parts.

Il y a deux grandes régions de calcaire et plusieurs autres de moindre importance.

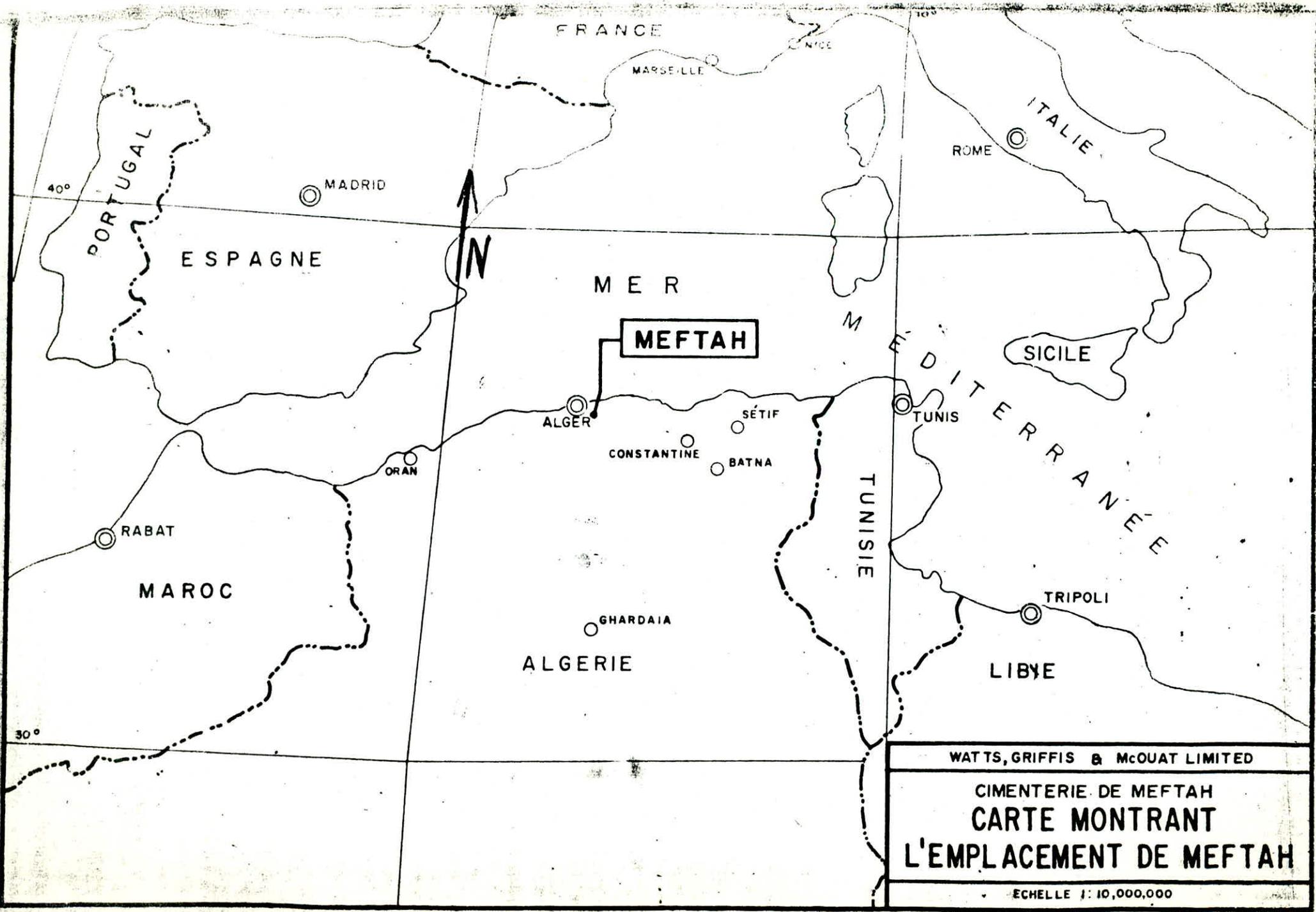
Dans les régions de calcaire, une transition s'opère généralement de la matière de haute qualité à une matière silicieuse de qualité très inférieure à la base de la formation du calcaire.

Trois catégories de calcaire ont été sélectionnées pour calculer les réserves de minerai suivant le contenu d'oxyde de calcium, elles sont :

- 3C -Calcaire contenant plus de 48% de CaO.
- 3B -Calcaire contenant entre 40 et 48% de CaO.
- 3A -Calcaire contenant moins de 40% de CaO.

Afin de mieux identifier les régions d'intérêt, elles ont été numérotées de Un (1) à Huit (8).

Parmi ces huit régions, on a deux (2) régions d'argile (4,5), et six régions calcaires, (1, 2, 3, 6, 7, 8).



WATTS, GRIFFIS & McQUAT LIMITED

CIMENTERIE DE MEFTAH  
**CARTE MONTRANT  
L'EMPLACEMENT DE MEFTAH**

ECHELLE 1:10,000,000

FIGURE 1

## REGION : 1 - CALCAIRE

---

L'épaisseur maximale de cette région, se trouve au centre avec une puissance de 80 m, elle diminue graduellement lorsqu'elle se dirige vers les extrémités.

Un certain nombre de failles existent dans cette région et le pendage générale serait vers le nord.

La région 1 est limitée de façon qu'elle soit économiquement exploitable.

Les résultats de l'analyse chimique effectuée sur les échantillons de calcaire de haute pureté (3C) on donne les limites suivantes pour les cinq principaux oxydes.

CaO minimum 48%  
MgO maximum 1%  
SiO<sub>2</sub> maximum 7%  
Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> maximum 2,5%  
Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub> maximum 1,5%

Les tonnages pour les trois qualités de calcaire sont :

Qualité	Tonnage (t).
-----	-----
3 C	30.997.000
3 B	1.444.000
3 A	3.464.000

## - REGION : 2 CALCAIRE.

---

Le calcaire de cette région à une épaisseur maximale de 10 mètres, il s'en suit qu'il n'est pas économiquement exploitable.

## - REGION : 3 CALCAIRE.

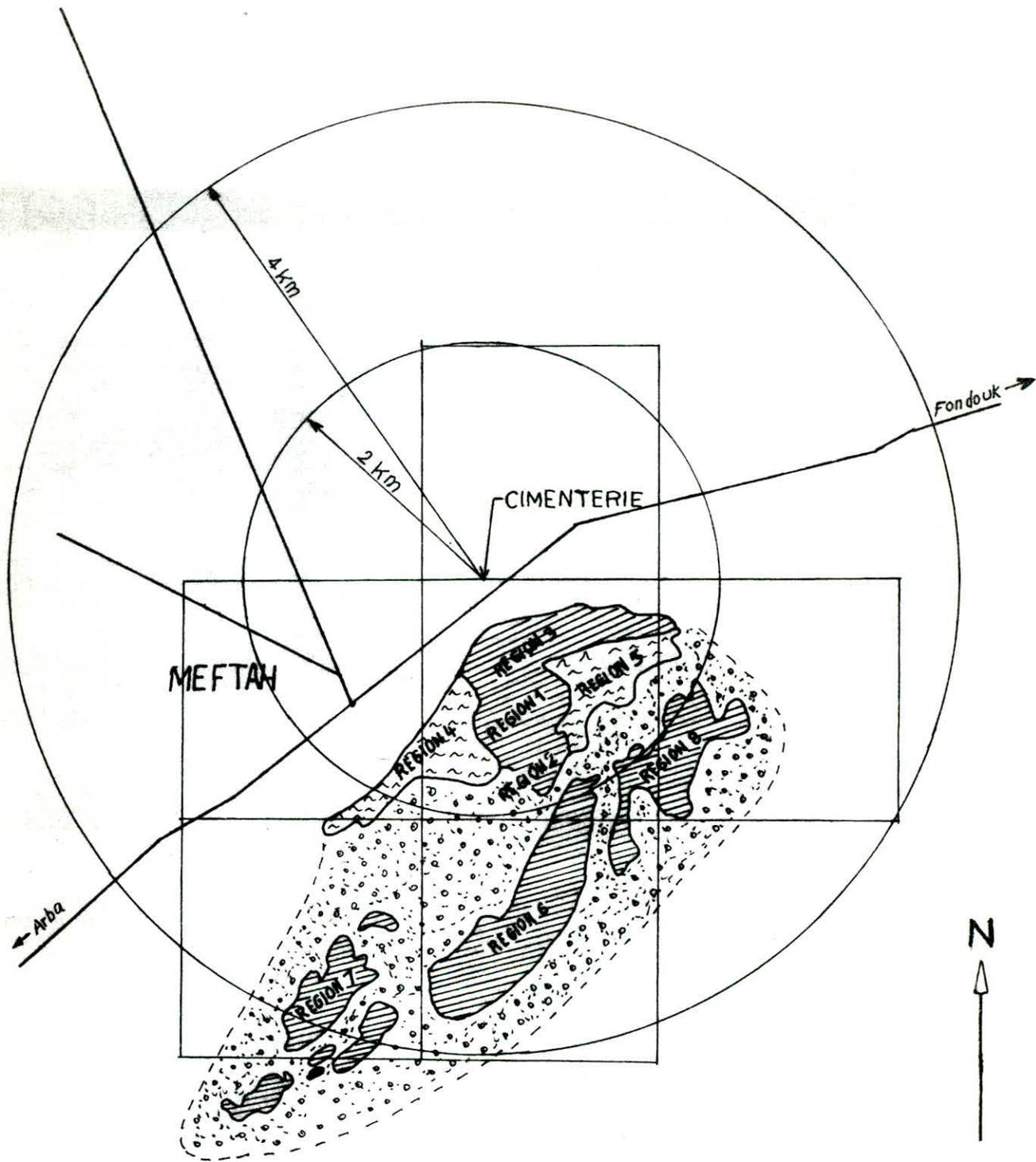
---

Le tonnage en calcaire exploitable de cette région est faible, il a été décidé de l'exploiter avec celui de la région 1.

## - REGION : 4 ARGILE.

---

La région 4 est située directement au sud de la ville de MEFTAH et renferme une carrière d'argile pour la cimenterie actuelle, cette carrière peut-être exploitée seulement pendant la saison sèche étant donné que la moindre humidité rend impossible tout déplacement en véhicule.



CARTE GEOLOGIQUE  
 ECHELLE 1:50 000

LEGENDE

-  Calcaire
-  Argile
-  Grès ou conglomérat

- REGION : 5 ARGILE.

Cette région est située au sud-est de la cimenterie elle n'est pratiquement constituée que d'argile.

Les forages réalisés dans cette région nous ont permis de connaître la composition chimique et le tonnage de l'argile.

	MINIMUM	MAXIMUM
CaO	6,0%	11,0%
MgO	1,0%	3,0%
SiO <sub>2</sub>	46,0%	53,0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,0%	16,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5%	7,5%

Réserves d'argile de la région 5 :

Volume : 11 031 250 M<sup>3</sup>

Tonnage: 25 362 000 tonnes - densité 2,3 t/M<sup>3</sup>  
26 475 000 " " 2,4 "  
27 578 000 " " 2,5 "

REGION 6 : CALCAIRE

Elle est située au sud-est de la ville de MEFTAH et elle se trouve à une altitude de 300 à 400 mètres au dessus de cette ville. Le calcaire de cette région est d'une pureté assez grande et il contient moins de matériaux classés en tant que calcaire impur par rapport à la région 1.

L'analyse chimique effectuée sur les échantillons de cette région a donné les résultats suivants :

CaO	Minimum	48,0%
MgO	Maximum	0,5%
SiO <sub>2</sub>	Maximum	6,0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Maximum	2,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Maximum	1,3%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Moyenne	0,2%
TiO <sub>2</sub>	Moyenne	0,2%

## TONNAGE DE LA REGION 6

---

Qualité	Tonnage (t).
3C	45 824 000
3B	499 000
3A	653 000

## REGION : 7 CALCAIRE

---

Cette région est située à l'ouest de la région 6, elle est divisée en nombreux blocs, ce qui nous laisse penser que cette région était autrefois reliée au calcaire de la région 6.

La région (7) ne représente pas une source importante en calcaire.

## REGION : 8 CALCAIRE

---

Cette région est située à environ 2 kilomètres au sud-est de la carrière actuelle.

Elle est affectée par une grande faille orientée NE-SW. Vers le nord, le calcaire a une épaisseur de 15 à 40m, vers le sud, cette épaisseur n'est pas importante.

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons de cette région ont données les résultats suivants :

CaO	Minimum	48%
MgO	Maximum	0,5%
SiO <sub>2</sub>	Maximum	8,0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Maximum	2,5%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Maximum	1,5%

## TONNAGE DE LA REGION 8 :

---

Qualité	tonnage
3 C	6 960 000
3 B	1 996 000
3 A	1 540 000

## CHOIX DU SITE DE LA CARRIERE

---

Des six régions de calcaire, trois d'entre elles renferment des dépôts de calcaire qui pourront être utilisés pour la production du ciment.

Les trois régions sont :

- Région 1 : 31 Millions de tonnes avec une teneur minimale de 48% CaO
- Région 6 : 46 Millions de tonnes avec une teneur minimale de 48% CaO
- Région 8 : 7 Millions de tonnes avec une teneur minimale de 48% CaO.

Actuellement la région 1 est exploitée du fait qu'elle est la plus proche de la cimenterie et que sa configuration s'adapte à une méthode d'exploitation simple.

### 1.3 - CARACTERISTIQUES DU GISEMENT

---

Le gisement de calcaire de MEFTAH a une forme LENTICULAIRE à surface rectangulaire reposant au flanc Ouest sur une formation d'argile à faible pente. La lentille a une surface plane de 775x425m une épaisseur maximale de 80 m, et un pendage faible vers le Nord.

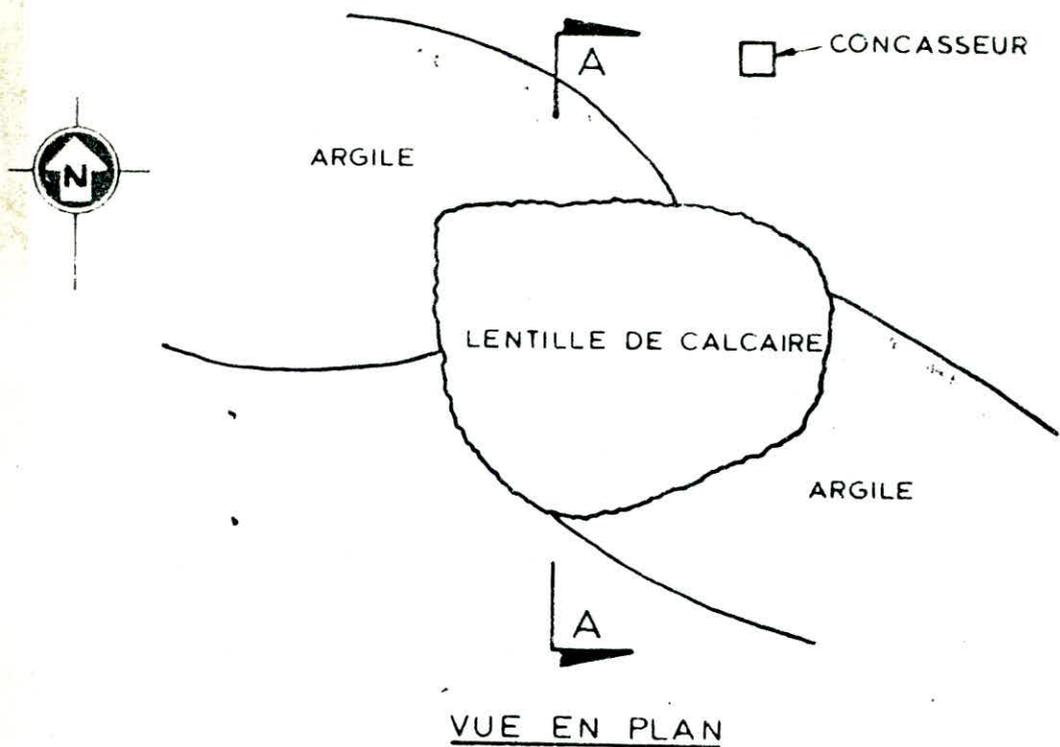
Le dépôt se divise minéralogiquement en trois couches parallèles, une couche épaisse à haute teneur en carbonate suivie de deux couches minces à teneur décroissante.

- On a une présence d'eau souterraine à la surface de contact argile - calcaire.

### TONNAGE ET TENEURS DES 3 COUCHES.

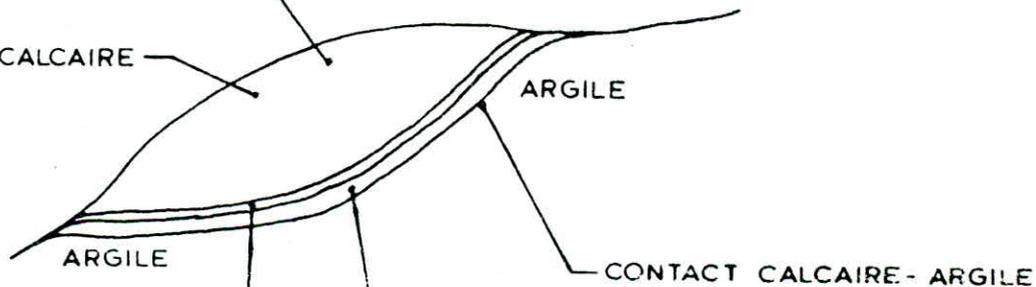
---

- Couche 1 - 31 Millions de tonnes avec une teneur minimale de 48% CaO
- Couche 2 - 1,5 Millions de tonnes avec une teneur minimale de 40% et Maximale de 48% de CaO.
- Couche 3 - 3,5 Millions de tonnes avec une teneur Maximale de 40% de CaO.



10 À 80 MÈTRES D'ÉPAISSEUR,  
31 MILLIONS DE TONNES À  
48 % CaO.

LENTILLE DE CALCAIRE



5 À 10 MÈTRES D'ÉPAISSEUR,  
1,5 MILLION DE TONNES À  
40-48 % CaO.

5 À 20 MÈTRES D'ÉPAISSEUR,  
3,5 MILLIONS DE TONNES À  
30-40 % CaO.

COUPE A-A

SCHÉMA-PLAN ET COUPE TYPE  
DE LA LENTILLE DE CALCAIRE

## CHAPITRE II ; CONDITIONS TECHNICO-MINIERES

---

### II -1 OUVERTURE DU GISEMENT

---

La carrière est exploitée actuellement de bas en haut sur 4 niveaux qui sont 152,171,180 et 200m. Leur ouverture a été réalisée par une demi tranchée extérieure.

En l'apparition de certains problèmes (étroitesse des plates formes de travail, risque d'augmentation de la hauteur du 4ème gradin).

La direction d'exploitation de l'entreprise a élaboré un nouveau projet (1989) qui prévoit :

L'ouverture des gradins supérieurs de la carrière des niveaux 275,260,245,230 et 215m par une route d'accès d'une longueur de 885 m dont 154 m en tranchée pour l'ouverture des niveaux 275, 260 m et 731 m pour accéder aux niveaux 245,230 et 215 m. La largeur de la route est de 10 m avec une pente moyenne de 8,85 %.

Pour l'écoulement des eaux atmosphériques, la route est aménagée de rigoles d'évacuation d'une profondeur de 50 cm et d'une largeur de 80 cm sur les deux côtés de la route.

Le revêtement se fera à l'aide de la pierre concassée avec une épaisseur de 20 cm.

Le volume de terrassement pour la construction de la route s'élève à 5,760 m<sup>3</sup>.

### II -2- EXPLOITATION DE LA CARRIERE :

---

L'exploitation à ciel ouvert comporte les opérations suivantes :

- \* Abattage
- \* Chargement
- \* Transport

#### \* ABATTAGE :

---

Une méthode combinée est utilisée actuellement à la carrière de NEFTAH, elle consiste à abattre la roche par des travaux de forage et de tir, ensuite à ripper la bande fissurée située derrière la rangée des trous de forage.

Cette bande fissurée est créée par l'impact de l'explosion.

Les fissures se propagent sur une largeur de 4 à 6 m et une profondeur d'environ (0,8) de la hauteur de gradin.

La partie inférieure non fissurée résistante au rippage est abattue par travaux de tir en utilisant un crawlair comme engin de forage.

Pour le rippage, on utilise un bulldozer Caterpillar D10N d'une puissance de 520 CV et une capacité de 6,5m<sup>3</sup>.

#### \* FORAGE DE TROUS ;

Le forage des trous dans le massif s'effectue à l'aide d'outils spéciaux ayant différents types d'actions (cisaillement, percussion, abrasion, etc...) selon le type d'outil, on distingue :

- \* Forage à molette
- \* Forage par percussion à l'air comprimé
- \* Forage à vis
- \* Forage par percussion à câble
- \* Forage thermique

Le choix du matériel de forage dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont les suivants :

Nature du terrain, diamètre, profondeur et inclinaison du trou. Pour le forage des trous de mine à la carrière de Meftah on utilise :

Une sondeuse hydraulique rotative (à molette) de marque INGERSOLL RAND DM 4 pour les forages dans les gradins de 19 et 20 m de hauteur avec un diamètre de 160 mm.

4 Chariots (CRAWLAIR) de forage à percussion qui sont caractérisés par leurs petites masses et leurs grandes mobilités. Sont utilisés pour les forages dans les gradins de 19 à 15 m ainsi que pour les travaux de débitage secondaire.

Les travaux de forage des trous de mines sont réalisés en moyenne une fois par semaine.

Les vitesses moyennes de forage de la sondeuse est de 24 m/H.  
" " " " Des chariots est de 17 m/h.

D'après le plan utilisé à la carrière de Meftah, nous donnons les principaux paramètres :

Pour le forage de diamètre 160 mm la maille est de 5,5x5,5m  
Pour " " " 90 mm " " 3 x 3 m.  
Pour les deux cas le plan de tir comporte une série de 20 trous sur une seule rangée, ces trous sont forés verticalement avec un sous forage de 1m.

## EXPLOSIF

Les explosifs utilisés à la carrière sont :

NARMANIT 1: .Densité normale 0,95 kg/dm<sup>3</sup>  
----- .Vitesse de détonation 4300 m/s  
                  .Résistance à l'eau faible  
                  .Diamètre de la cartouche 65 mm  
                  .Poid de la cartouche 2300 g

ANFONIL .Densité normale 0,90 kg/dm<sup>3</sup>  
----- .Vitesse de détonation 2500 m/s  
                  .Résistance à l'eau faible  
                  .Emballé en sac de 50 kg

## CORDEAU DETONNANT

Le cordeau détonnant est constitué d'un explosif à brisance renforcée et un revêtement extérieur étanche insensible aux chocs, aux frottements, et aux courants électriques. Il est en bobine de 125 m de couleur rouge et d'un diamètre de 6 mm avec une vitesse de détonation d'environ 7000 m/s

## MECHE LENTE

La mèche lente est constituée d'une poudre entourée par une gaine en coton et d'un revêtement extérieur

Le diamètre de la mèche est de 6 mm, sa couleur est noire elle est en rouleau de 10 m, sa vitesse d'inflammation est de 1 cm/s

## CHARGEMENT DES TROUS ET TIR

Dans la carrière de MEFTAÏH, on utilise la méthode de charge discontinue la charge totale du trou est divisée en deux parties égales qui sont séparées par un bourrage intermédiaire la charge totale du trou est constitué de 50 % de NARMANIT et 50 % d'ANFONIL.

Pour le chargement de trou on procède de la manière suivante:

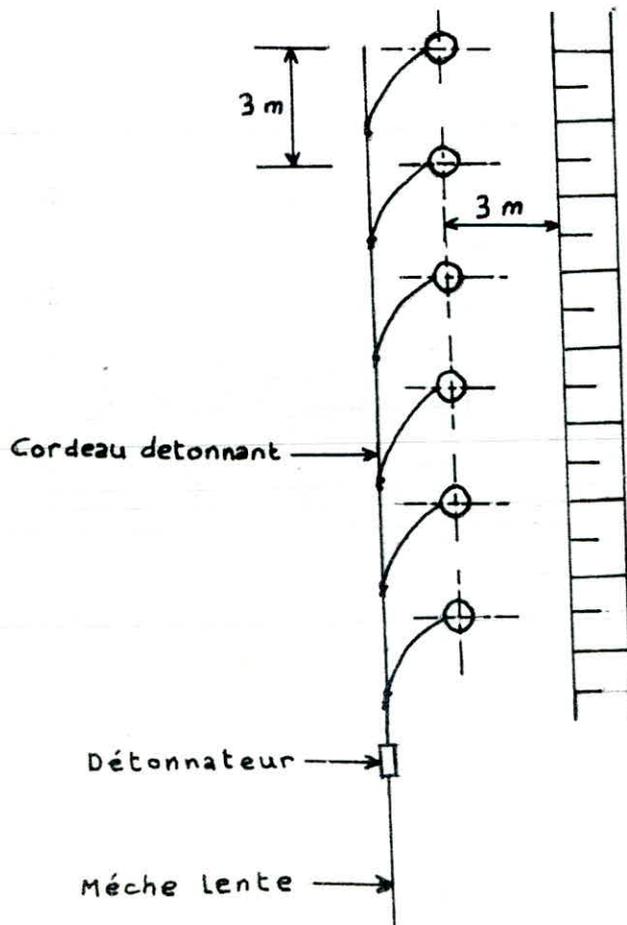
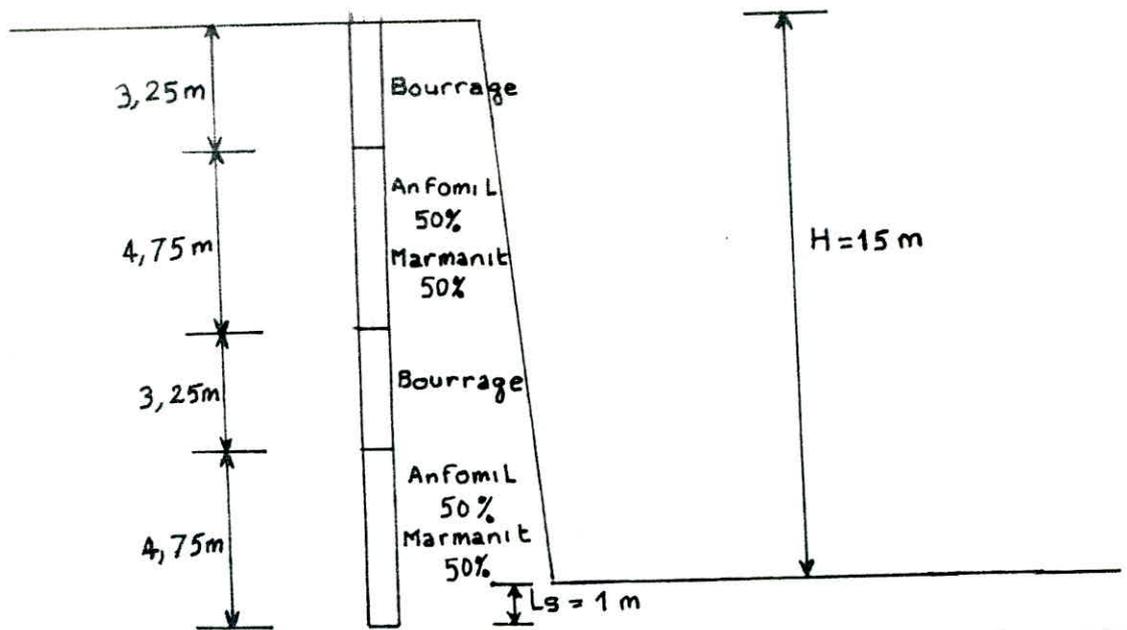
\* L'extrémité du cordeau détonnant est nouée sur la première cartouche. Celle-ci est enfoncée au fond du trou. D'autres cartouches sont placées au dessus. De l'ANFONIL en vrac est versé dans le trou, ensuite en bourre.

Ceci constitue la charge inférieure du trou, les mêmes opérations sont répétées pour la charge supérieure. On relie tous les cordons, ainsi disposés à un cordeau principal à l'extrémité duquel sera placé le détonnateur pyrotechnique.

La détonation est transmise aux charges d'explosif par l'intermédiaire d'un cordeau détonnant amorcé par le détonnateur pyrotechnique.

A titre d'exemple, on peut présenter le plan de tir pratique actuellement à MEFTAÏH pour les gradins de 15 m (Voir plan).

PLAN DE TIR ET SCHEMA DE LA CHARGE



Charge par trou: 54 KG  
 Longueur de la charge: 9,5 m  
 Longueur de bourrage 6,5 m  
 Distance entre les trous  $a = 3\text{ m}$   
 $\varnothing$  Trou : 90mm

## CHARGEMENT

---

### GENERALITE

---

Dans les carrières contemporaines, les chargeuses remplacent souvent les excavateurs entre autre pelles mécaniques. Cela est devenu possible grâce aux avantages considérables. Des chargeuses en comparaison avec les excavateurs. On peut mettre en relief les avantages suivants:

-La chargeuse avec la même capacité du godet pese de 6 a 8 fois moins que l'excavateur,

-Grande vitesse de déplacement, elle dépasse de 30 à 90 fois celle de l'excavateur,

-Grande manœuvrabilité permettant de faire le chargement dans les conditions difficiles (défavorables et inaccessibles pour les excavateurs),

-Rendement des chargeuses ne dépend pas de la hauteur de chantier, ce qui crée des conditions favorables pour l'exploitation des gradins de petites hauteur.

-Possibilité de desservir par une seule chargeuse plusieurs carrières distantes de 6 km l'une de l'autre,

Les chargeuses se classent en deux types:

- a)- Les chargeuses sur pneus,
- b)- Les chargeuses sur chenilles,

a)- Les principaux avantages des chargeuses sur pneus = Vitesse élevée qui permet d'obtenir une production élevée - Possibilité de circuler sur surface revêtues, - Souplesse d'utilisation,

b)- Les chargeuses sur chenilles ont les avantages suivant: - Une très bonne adhérence au sol d'où l'aptitude a monter et descendre en terrains variés, - Possibilité de tournée pratiquement sur place, - L'effort de traction est très important et confère une force de pénétration également très importante,

Pour le chargement du calcaire abattu, la carrière de MEFTAH Dispose de deux chargeuses sur pneus ( a raison d'une chargeuse par poste ) de marque INTER HAVERS DRESSER 570, ayant une puissance de 415 cv et un godet de capacité 6,5 m<sup>3</sup>

## MODE DE CHARGEMENT

---

Le mode de chargement se traduit par les différentes manoeuvres qu'effectue la chargeuse:

a MEFTAH le chargement se fait de la manière suivante: - Le camion vient en marche avant et s'arrête sur la plate forme. - La chargeuse en remplissant son godet s'éloigne du chantier en marche arrière en faisant un virage de 90° - Le camion en marche arrière se place perpendiculairement au front de taille. - La chargeuse se déplace le long de la ligne droite vers le camion et décharge le godet. - Ensuite en marche arrière elle retourne avec un virage de 90° ( en face du lieu de creusement ). - Après en marche avant s'approche du chantier pour remplir le godet.

## M A T E R I E L E X I S T A N T A L A C A R R I E R E

DESIGNATION	MARQUE	NOMBRE	CAPACITE	PUISSANCE
SONDEUSE	INGERSOL-RAND	1	160mm	280 CV
CRAWLAIR	INGERSOL-RAND	2	65mm	5,7 CV
CRAWLAIR	ATLAS-COPCO	1	70mm	5,7 CV
CRAWLAIR	COMPAIR-HOMAN	1	110mm	5,7 CV
COMPRESSEUR	ATLAS-COPCO	2	2m <sup>3</sup> /mn	266 CV
COMPRESSEUR	COMPAIR-HOMAN	2	30m <sup>3</sup> /mn	390 CV
CHARGEUSES	INTER-HAVERS	2	6,5 m <sup>3</sup>	415 CV
	DRESSER 570			
BULL-DOZERS	CATERPILLAR	2	20 m <sup>3</sup>	520 CV
	D10H			
DUMPER	CATERPILLAR	8	32 t	450 CV
	769C			

- CONCASSEUR : La carrière dispose d'un concasseur a machoires de type D U O 6 BS DRAGON avec un rendement de 450 t/h et un degre de concassage  $i = 18$  . Le concasseur travail avec deux moteurs électrique d'une puissance de 400 Kw chacun, l'énergie consommé est de 2 Kw h/t. Le concassage se fait avec un cycle ouvert, l'ouverture du concasseur est constituée par des éléments de grilles interchangeables.

## CHAPITRE III : TRANSPORT DANS LA CARRIERE

---

### III-1 : GENERALITES.

---

Un des processus principaux dans les mines à ciel ouvert est le transport des minéraux utiles et des roches stériles, dont le pourcentage du prix de revient total d'exploitation atteint 30 à 70% .

Le mode d'ouverture, le choix des équipements miniers, ainsi que le mode de mise à terril sont dans une large mesure liés aux moyens de transport.

Le but principal du transport de carrière est le déplacement de la masse minière des chantiers au point de déchargement qui sont les terrils pour les roches stériles et les stocks ou les trémies de réception des usines de traitement pour les minéraux utiles.

La quantité de charge ( en tonnes ou en m<sup>3</sup> ) transportée par unité de temps ( heure, poste, jour, mois, année ) s'appelle rendement de la carrière.

Le produit de la quantité des charges déplacées par la distance du transport détermine le travail de transport de la carrière.

Ce dernier définit le nombre de moyen de transport et les frais de déplacement de la masse minière. Dans les carrières, les voies de transport peuvent être stationnaires et provisoires. Les voies stationnaires sont placées sur les bord inexploitable de la carrière. Ces voies sont destinées pour une exploitation à long terme.

Les voies provisoires sont placées sur les gradins de la carrière ou sur les terrils. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux miniers, on les déplace dans de nouvelles positions.

- La pente des voies des carrières se détermine par les types de transport et leur caractéristiques.

- La pente maximale dans la carrière ou les vitesses de transport choisies sont maximales s'appelle PENTE DIRECTRICE.

- La manoeuvrabilité des moyens de transport se caractérise par les rayons minimaux de courbure.

\* LES PRINCIPALES PARTICULARITES DU TRANSPORT DE CARRIERE SONT LES SUIVANTES,

- Le déplacement des charges dans une seule direction de distance relativement courtes ( de 3 à 8 Km et dans certains cas jusqu'à 15 : 20 Km ),
- Grand volume des charges transportées, grande intensité de la circulation, pentes importantes de montée et de descente.
- Augmentation de la distance du transport au fur et à mesure de l'avancement des travaux miniers,
- Ripage périodique des voies de transport.
- Espaces réduits pour le transport.
- Charge dynamiques importantes sur les moyens de transport à cause de la chute des grands morceaux de roches lors du chargement et du déchargement,
- Dépendance rigide des autres processus des travaux miniers avec le transport étant donné que c'est un maillon.

\* LES PRINCIPALES EXIGENCES QUE DOIT ASSURER LE TRANSPORT DANS LA LA CARRIERE:

Le type de transport choisi doit assurer:

- Distance minimales du transport des minéraux utiles et des stériles des fronts de taille aux points de déchargement.
- Paramètres des moyens de transport doivent correspondre à ceux des engins d'extraction et de chargement ainsi qu'aux propriétés des roches transférées.
- Sécurité de travail et rendement maximal.
- Meilleur sens de progression des travaux miniers.

\* ENGIN DE TRANSPORT.

On distingue : 1) - Les engins de transfert.  
2) - Les engins de transport.

1) Les engins de transfert sont exploités pour le déplacement des roches tendre et meubles dans l'espace vide de la carrière. Ils sont repondus dans les carrières de charbon. On utilise deux principaux types d'engins de transfert.

- Sauterelles .
- Ponts de transfert.

2 Les engins de transport sont utilisés dans les conditions naturelles très variées. Les principaux types de transport de carrières sont:

- Locomotives et wagons.
- Camions.
- Convoyeurs.

Dans certains cas on utilise les combinaisons des transports suivants:

- Camions et transport par chemins de fer.
- Camions et convoyeurs.
- Camions et skip.
- Camions et transport aériens.
- Camions et transport par gravité etc....

#### CHOIX DU MOYEN DE TRANSPORT

---

Le choix du moyen de transport dépend:

- Des propriétés des minéraux utiles et des roches stériles.
- Des conditions géologiques du gisement.
- Des dimensions de la carrière et de sa profondeur.
- De la distance du transport.
- Du rendement de la carrière.

#### CONDITION DE LA CARRIERE DE HEFTAH.

- Relief montagneux avec une pente moyenne de 15% - Propriété du minerai:

Granulométrie : dimension maximale 80cm. Dureté  $f = 4 : 5$  d'après la classification de PROTODIAKONOV.

- Rendement annuel moyen de la carrière 800 000 t/an
- Distance moyenne de transport 650m
- Méthode d'exploitation souple ( elle consiste dans l'exploitation simultanée des gradins existants ) en tenant compte des conditions citées. Le projet d'exploitation de la carrière prévoit l'utilisation du transport par camions, ce mode est très rationnel pour l'exploitation actuelle. L'ouverture des niveaux supérieures du gisement par une route d'accès a provoquer l'augmentation du trajet de transport et la masse minière est déplacée de l'amont vers l'aval toujours par camion. Cette analyse de la situation nous a conduit à proposer la réalisation d'un couloir à chute pour l'exploitation des niveaux supérieurs. Ce couloir permettra de réduire la distance du transport qui entraîne la diminution du nombre de camions et leur frais ( pièces de rechange, consommable, ,ect ) et par conséquent la réduction du prix de revient de la tonne de minerai.

### III - 3 - DESCRIPTION DU COULOIR A CHUTE

---

Le couloir à chute est un moyen de transport utilisé dans l'exploitation des carrières, ce couloir est constitué d'un plan incliné qui permet de faire déplacer par gravité la masse minière d'un niveau supérieur vers un niveau inférieur.

- Suivant l'aménagement des couloirs on distingue:

- Des couloirs avec trémie de réception - Des couloirs avec plate forme de réception

Il est rationnel d'utiliser les premiers dans les régions à climat doux, car le minerais situé dans la partie inférieur, fermée, du couloir ne risque pas de geler ce qui ne pose pas de problème de colmatage.

Les couloirs à chute avec plate forme de réception sont applicables dans n'importe quelle conditions climatique, leur construction, est très simple mais ils exigent une réexcavation supplémentaire du minerais.

Le couloir à chute est caractérisé par trois (03) paramètres principaux:

- a - L'angle d'inclinaison.
- b - La section transversale.
- c - La hauteur.

Dans les conditions concrètes du gisement de NEFTAH nous proposons de réaliser un couloir à chute avec plate forme de réception dont les caractéristiques sont les suivantes :

#### a : INCLINAISON DU COULOIR

L'inclinaison du couloir a été déterminée par des essais effectués au laboratoire (ENP) sur un couloir en béton analogue au couloir projeté et dont les dimensions sont les suivantes:

- Longueur : 2,5m
- Largeur : 10cm
- Hauteur : 5cm



## SECTION TRANSVERSALE

---

La section transversale du couloir dépend essentiellement des dimensions maximales des blocs transportés.

La section du couloir est généralement prise de forme trapézoïdale afin d'éviter les problèmes de colmatage, ce problème étant généralement créé par l'angle formé entre les parois latérales et le fond du couloir la largeur du fond doit dépasser de plus de 3 fois au minimum la dimension maximale du bloc transporté qui est de 0,8 m (dimension admise pour le concasseur).

Ayant pris en considération les paramètres cités, nous proposons les dimensions suivantes pour la section transversale (voir plan ... ) :

- Forme du couloir trapézoïdale
- Petite base : 2,5 m
- Grande base : 3 m
- Hauteur : 1,5 m

## III - 4- CHOIX DE L'EMPLACEMENT DU COULOIR A CHUTE

---

L'emplacement du couloir à chute doit être tel que la distance de transport de minerai soit la plus courte possible pour cela le couloir doit être placé le plus près possible de la ligne droite reliant le centre de gravité de la masse minière et le concasseur (lieu de déchargement)

Le centre de gravité du gisement est un point qui peut être déterminé par une construction géométrique.

Ce point représente l'intersection du plan de symétrie horizontale et l'axe de symétrie vertical de la partie du gisement projetée pour l'exploitation qui est située au dessus du niveau 200m

## DETERMINATION DU CENTRE DE GRAVITE DU GISEMENT

---

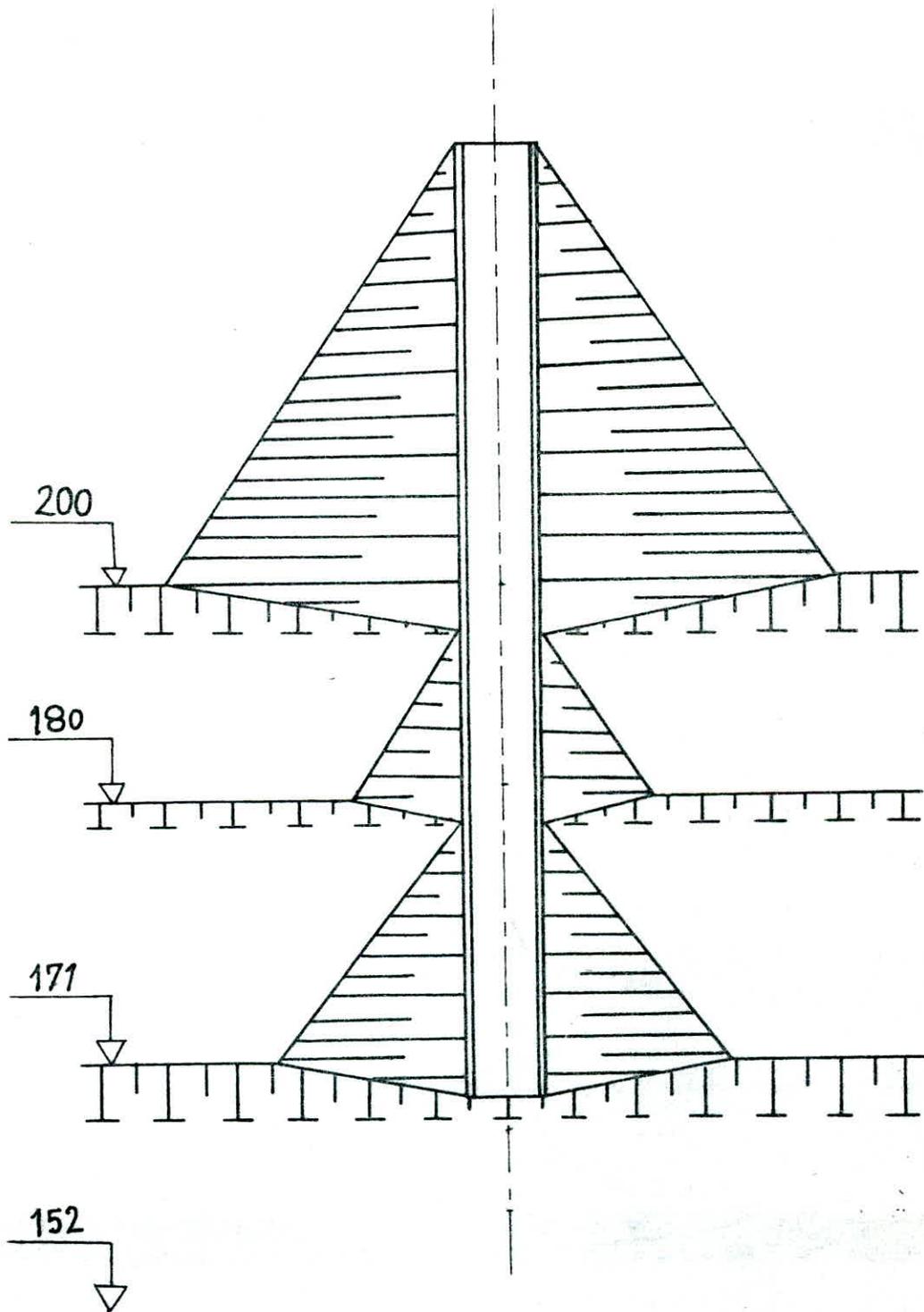
### A - Détermination du plan de symétrie

---

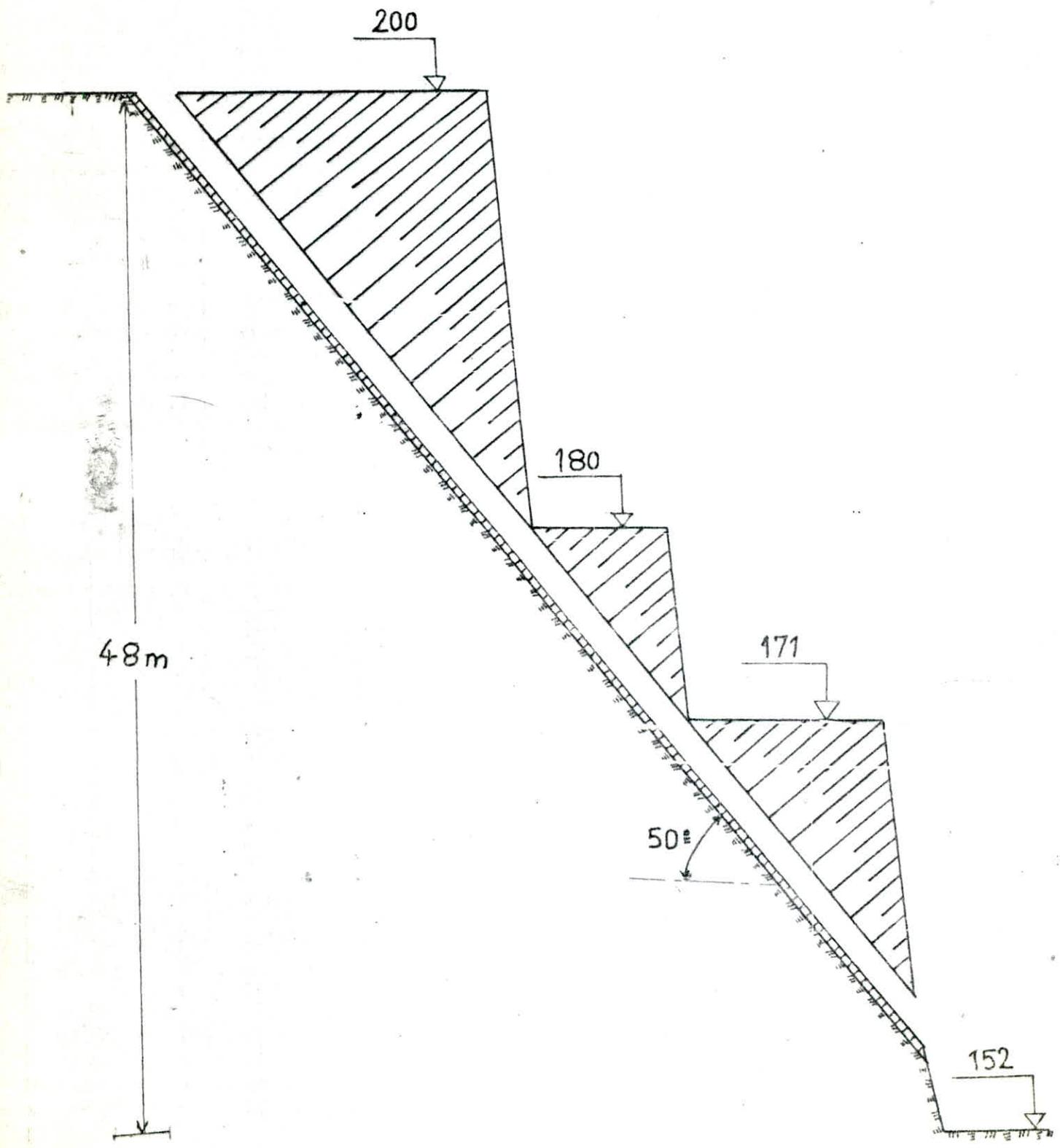
Le plan symétrie est déterminé à partir du tracé du graphe représentant la répartition des réserves en fonction de l'altitude.

Le niveau de ce plan est obtenu par la projection de valeur moitié des réserves sur le graphe (voir graphe ci-joint)

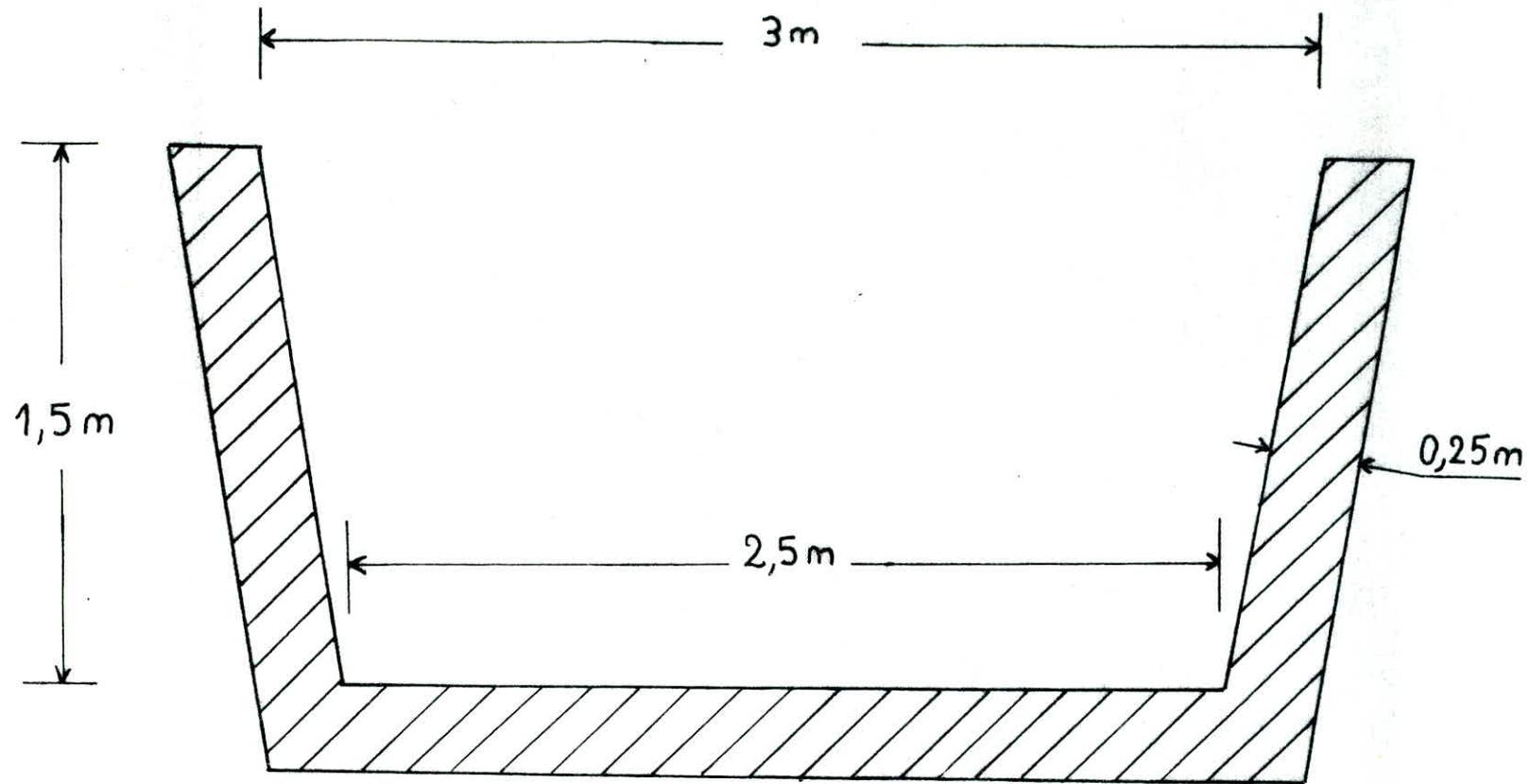
PLAN  $e = 1:250$



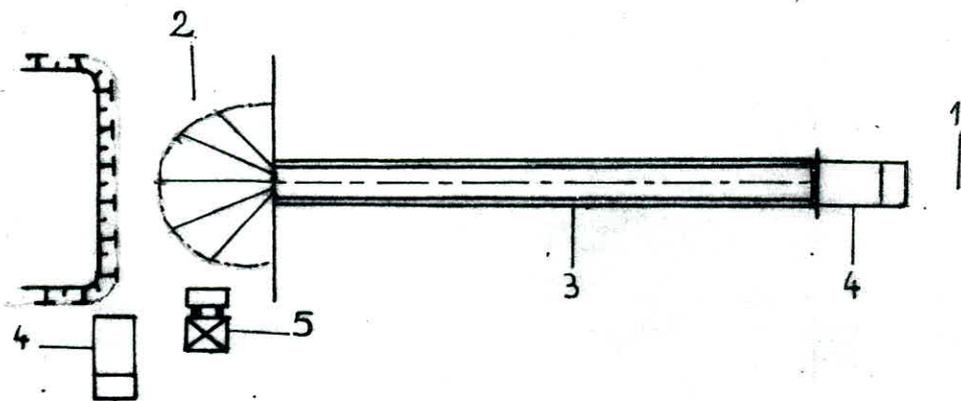
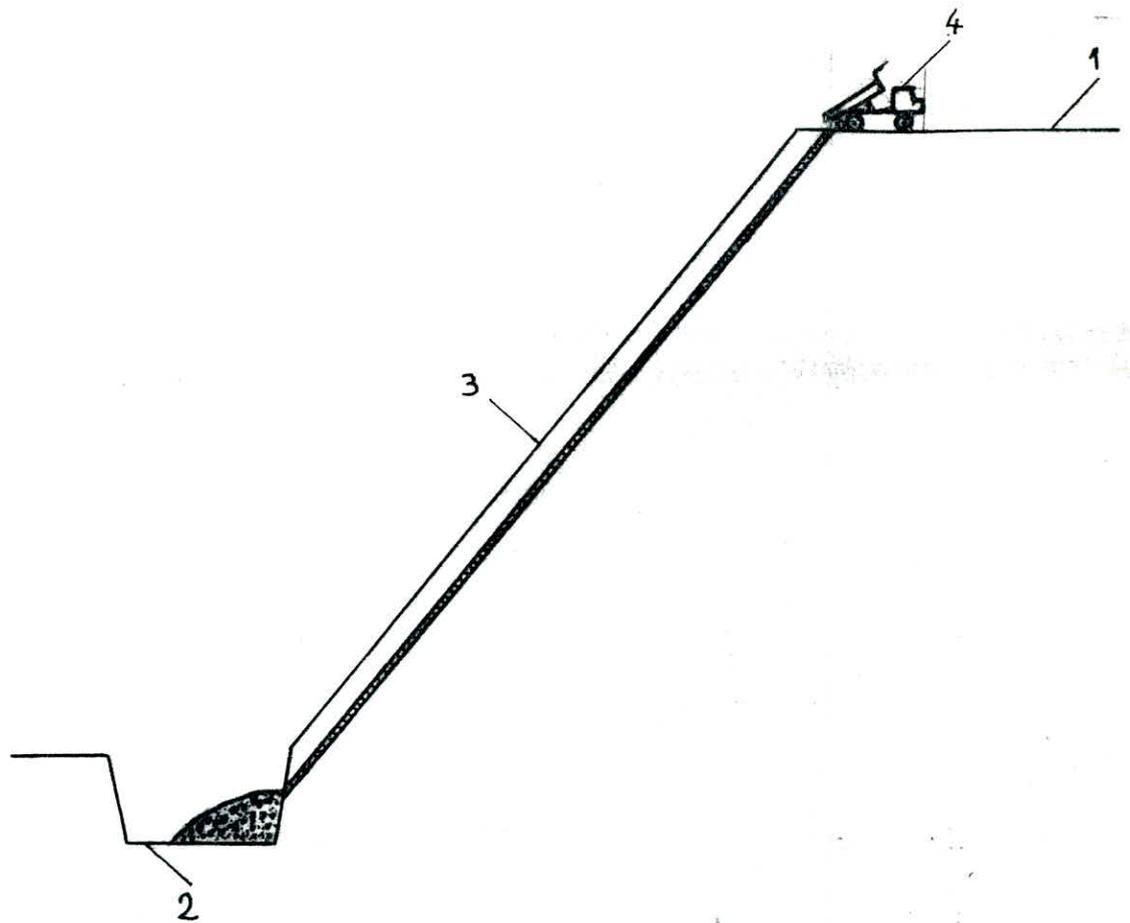
# COUPE LONGITUDINALE DU COULOIR $e = 1:250$



SECTION TRANSVERSALE DU COULOIR  $e=1:20$



# DESCRIPTION DU DIVERSEMENT ET DU RECHARGEMENT



1 - PLATE FORME SUPERIEURE DE DECHARGEMENT

2 - PLATE FORME INFERIEURE DE RECEPTION

3 - COULOIR

4 - CAMION

5 - CHARGEUSE

Les réserves du gisement ont été déterminées par la méthode des coupes horizontale pour cela on a divisé le gisement en couches de 20m et on a évalué les réserves pour chaque une par la formule suivante :

$$R = S \cdot h \cdot \rho$$

R = Réserve de la couche

S = Surface moyenne de la couche

h = Epaisseur de couche h = 20m

$\rho$  = Densité du minerai = 2,5 t/m<sup>3</sup>

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci-dessous:

COUCHE	SURFACE	ECHELLE	EPaisseur	VOLUME	TONNAGE	TONNAGE
	mm <sup>2</sup>	1	Dh = 20m	m <sup>3</sup>	t	CUMULE
		e=-----				t
		2500				
280:260	1.550	"	20	193.750	484.375	484.375
260:240	16.000	"	20	750.000	1.875.000	2.359.375
240:220	10.100	"	20	1.262.500	3.156.250	5.515.625
220:200	14.600	"	20	1.825.000	4.562.500	10.078.125

Les résultats obtenus nous ont permis de tracer le graphe de répartition des réserves en fonction de l'altitude .

Le niveau du plan de symétrie du gisement correspond au niveau 222,5m (voir graphe)

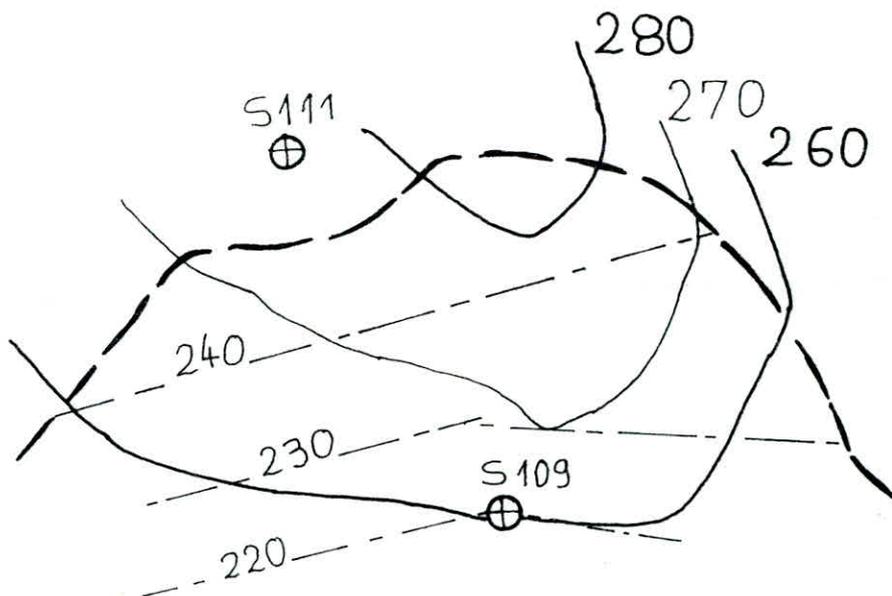
#### B - DETERMINATION DE L'AXE DE SYMETRIE

L'axe de symétrie a été déterminé par la méthode des polygones. Cette méthode consiste à diviser le gisement en polygones, délimités par les médiatrices des segments séparant les sondages; (cela en supposant une variation linéaire de la puissance du gisement entre les sondages); et à déterminer l'axe de symétrie de chaque polygone, et enfin l'axe de symétrie du gisement correspond à la résultante des axes de symétrie de l'ensemble des polygones.

Les résultats obtenus lors de l'estimation des réserves pour chaque polygone sont donnés dans le tableau suivant :

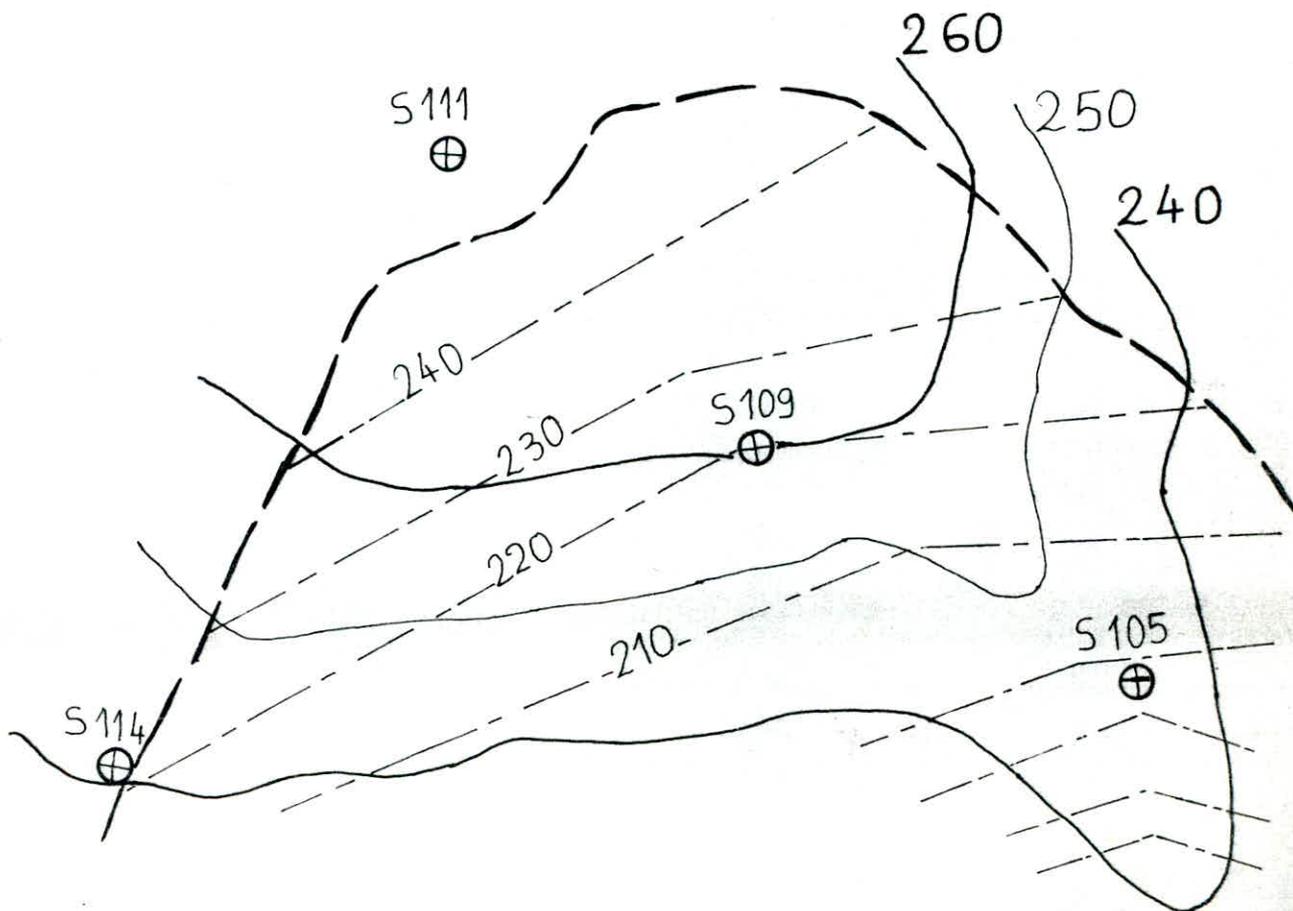
COUCHE : 280 - 260

e = 1:2500



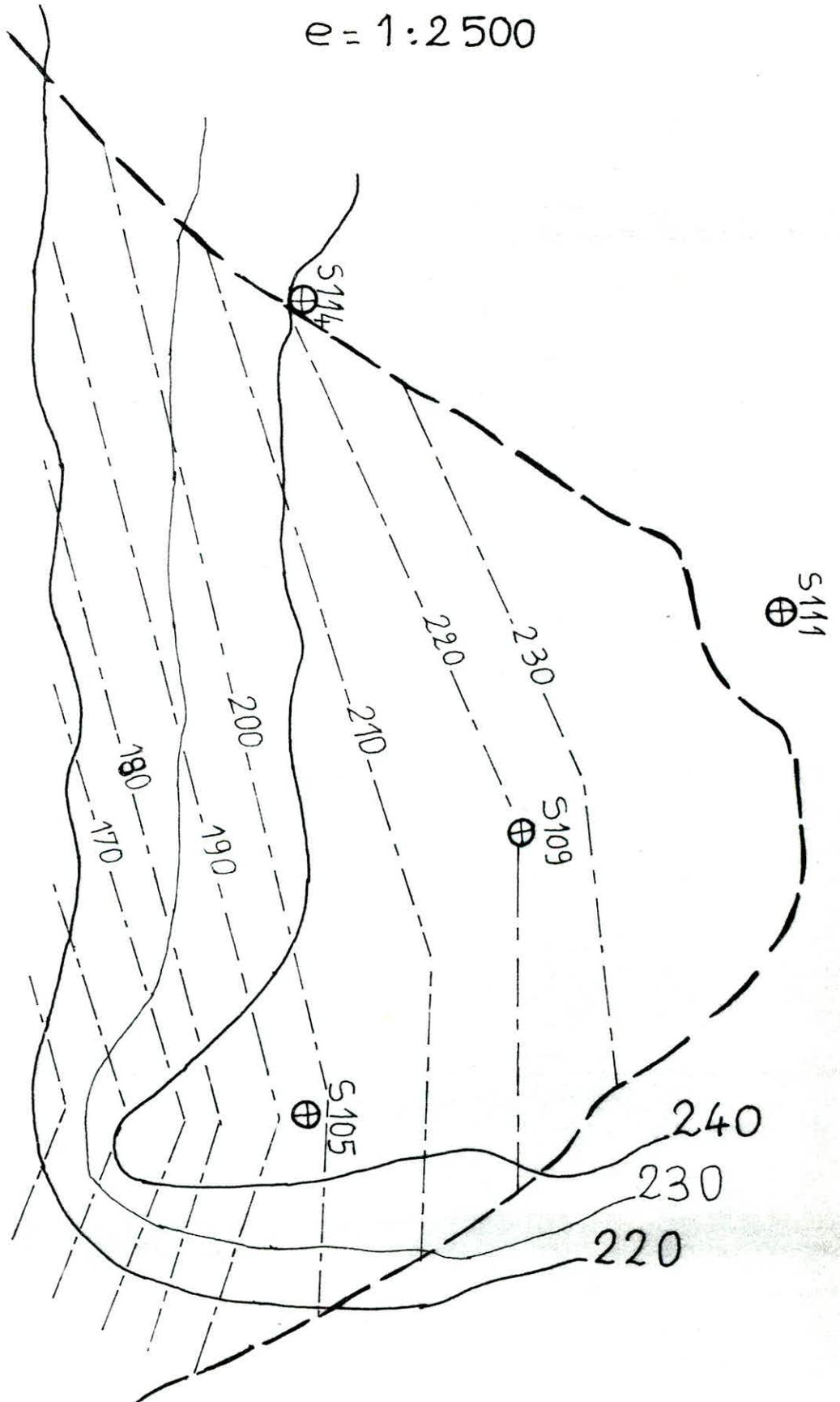
COUCHE : 260 - 240

e = 1:2500



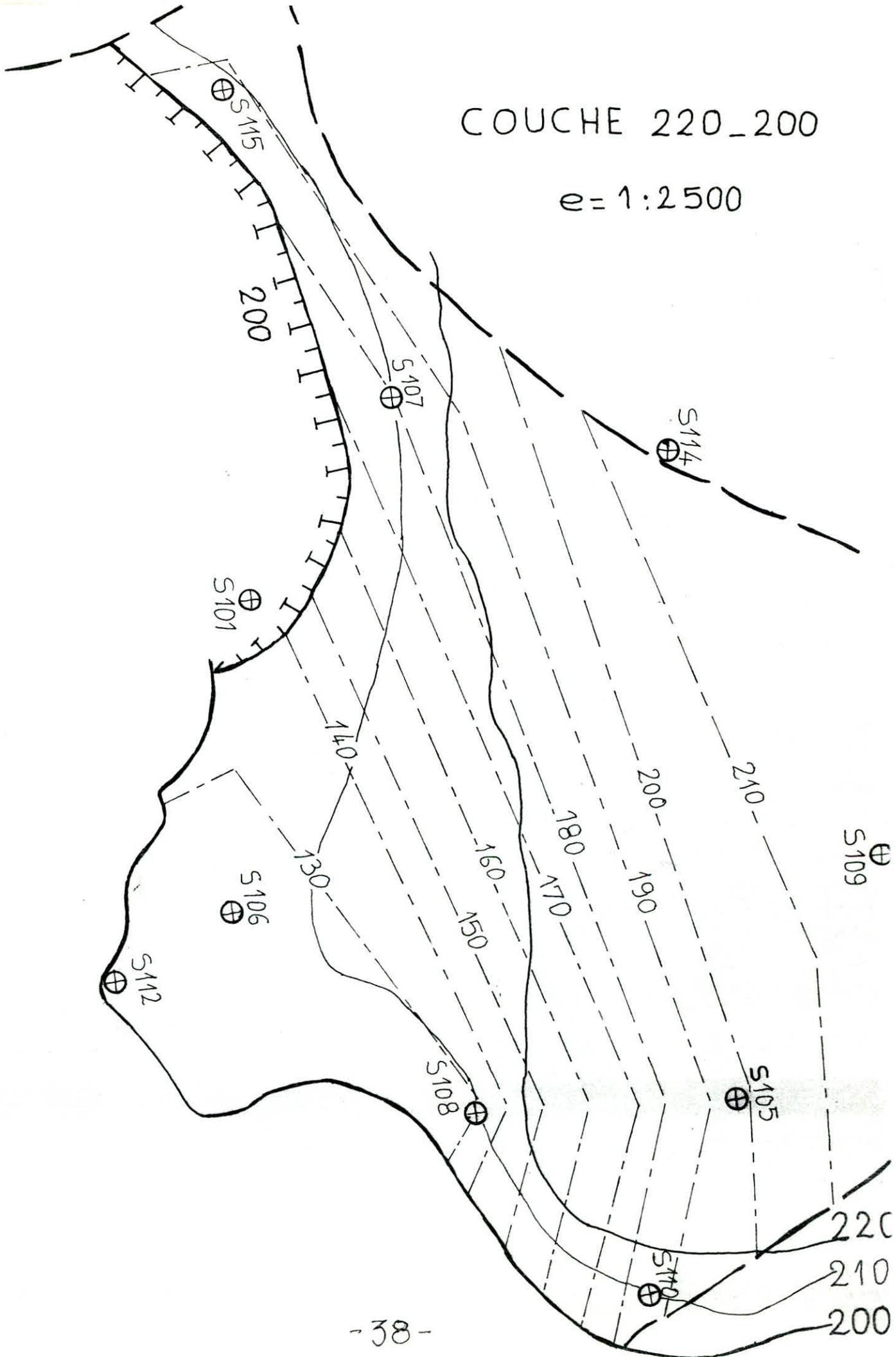
COUCHE : 240 - 220

e = 1:2500

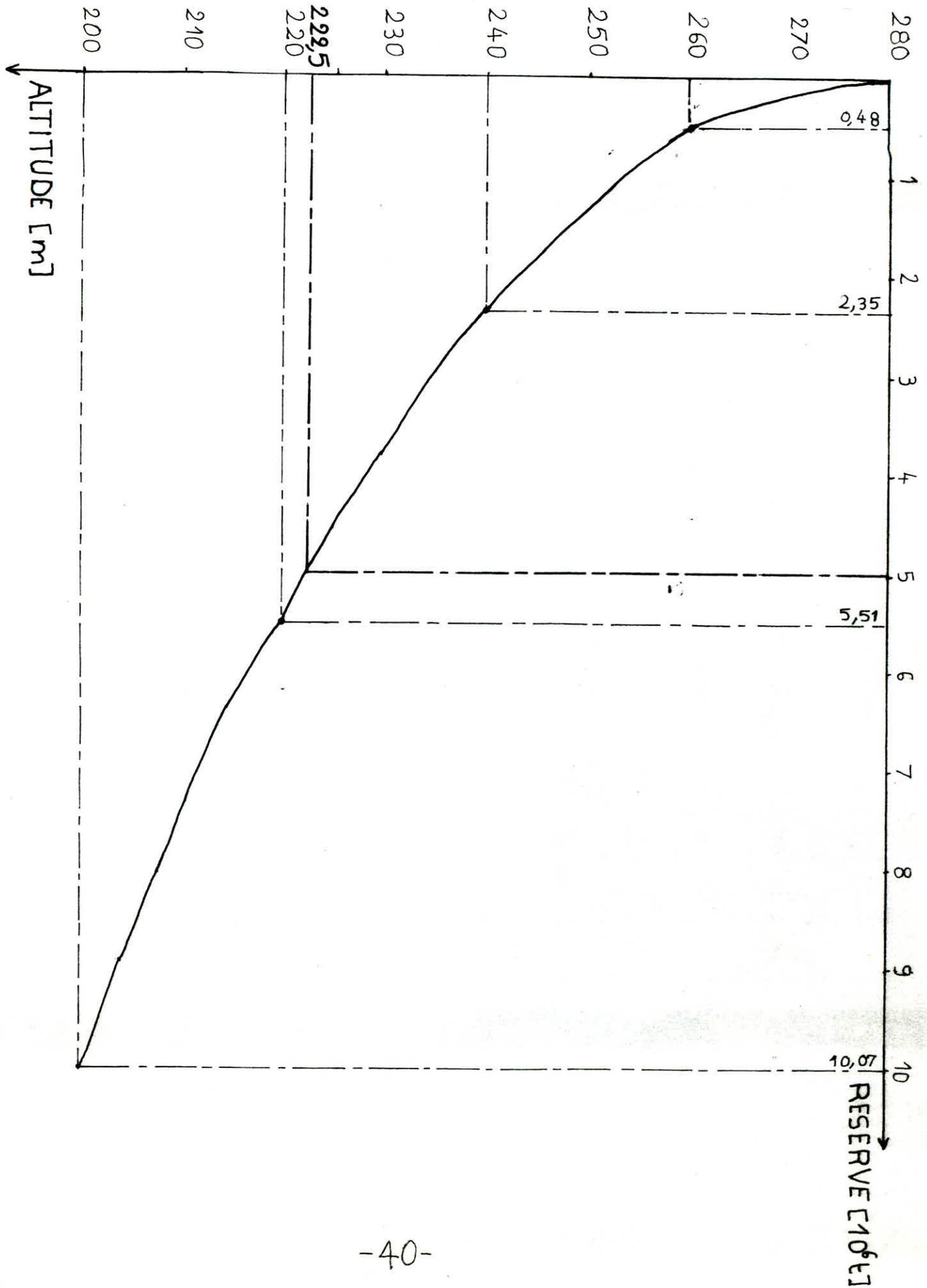


COUCHE 220\_200

e = 1:2500



# REPARTITION DES RESERVES EN FONCTION DE L'ALTITUDE



N° POLYGO	surface legale n°	echelle e=1/2500	surface en m2	altit du toit	altit du mur	altit limit	epaiss en m	reserve du poly	cumulé en m3
115	11 310	"	3 187,5	208	190	200	8	65 500	65 500
107	13 882	"	24262,5	223	191	200	23	558037,5	623537
109	18 224	"	151 400	257,5	221	200	36,5	1876100	2499 637
103	12 520	"	115 750	213	160	200	13	204 750	2704 387
105	13 404	"	121 275	245	200	200	45	1957 375	3661 762
106	13 252	"	120 350	206,5	129	200	6,5	132112,5	3793 874
108	13 016	"	118 850	205	150	200	5	194 250	3888 124
110	11 097	"	6856,25	219	180	200	19	130 268	4018 392
112	1424	"	12 650	201,5	142	200	1,5	13 975	14022 367
113	1301	"	11 881	201	135	200	1	11 881	14024 248

! TOTAL EN TONNES !10060620!

## CONCLUSION

---

Le centre de gravité correspond à l'intersection de l'axe l'axe de symetrie et du plan de symetrie de la partie amont du gisement de niveau supérieur à 200m et represente sur le plan (voir plan)

- Les réserves en minerais exploitables (teneur en CaO supérieur à 48%) de la partie amont du gisement sont estimées à 10 millions de tonnes.

- Nous tenons à préciser que les monts terrains de recouvrement sont négligeables et les inscignes du mur du gisement tracés sur le plan de la carrière representent le niveau inférieur limite de la couche exploitable

## CHAPITRE IV ETUDE ECONOMIQUE COMPARATIVE

### IV. 1-INTRODUCTION

Afin d'argumenter notre choix pour le couloir à chute, nous allons présenter dans ce qui suit une étude économique comparative entre la variante de transport actuellement utilisée, et celle que nous proposons.

Les données de base concernant les dépenses, les salaires ect.,... nous ont été communiquées au niveau de la carrière.

### IV. 2-EVALUTATION DES FRAIS D'UNE TONNE DE MINERAI TRANSPORTEE PAR KILOMETRE,

- Production annuelle 800.000t/an
- Distance moyenne de transport : 650m.

$$1\text{-AMORTISSEMENT ANNUEL} \quad A = \frac{NC \times VP \times a}{100}$$

NC : Nombre de camion ; NC = 8  
VP : Valeur primaire d'un camion VP = 1.700.000 DA  
a : Taux d'amortissement 10%  
AN :  $A = \frac{8 \times 1.700.000 \times 10}{100} = 1.360.000 \text{ DA /AN}$

### 2- SALAIRE ANNUEL DE MAIN D'OEUVRE

#### A ; TRANSPORT

Salaire mensuel d'un conducteur Sc = 3.070 DA /mois  
Salaire mensuel du chef de maîtrise Sm = 4.720 DA /mois  
Salaire mensuel pour les conducteurs et chefs de maîtrises:  
 $S = (Nc \cdot Sc + Nm \cdot Sm) \cdot Np$   
Nc : Nombre de conducteur par poste Nc = 4/postes  
Nm : Nombre de chefs de maîtrises par poste Nm = 1/poste  
Np : Nombre de poste de travail par jour Np = 2  
AN :  $S = (4 \times 3070 + 1 \times 4720) \cdot 2 = 34.000 \text{ DA /mois}$

Les charges connexes sont estimées à 15% du salaire, donc le salaire annuel des conducteurs et des chefs de maîtrises est :  
 $34.000 \cdot (1 + 15/100) \cdot 12 = 469.200 \text{ Da/an}$

#### B ; MAINTENANCE:

Salaire mensuel d'un mécanicien Sm = 2.950 DA /mois  
Salaire mensuel du chef de maîtrise Sc = 3.730 DA/mois  
Salaire mensuel pour la main d'oeuvre de maintenance  
 $S = (Nm \cdot Sm + Nc \cdot Sc) \cdot Np$   
Np : Nombre de poste de travail par jour Np = 1  
Nm : Nombre de mécanicien Nm=5  
Nc : Nombre de chef de maîtrise Nc=1  
AN :  $S = (5 \times 2.950 + 1 \times 3.730) \cdot 1 = 18.480 \text{ DA/mois}$

Les charges connexes sont estimées à 15% du salaire  
Le salaire annuel de maintenance est égal à ;  
 $18.480 (1+15/100) \cdot 12 = 255.024 \text{ DA / an}$

Le salaire annuel de main d'oeuvre pour le transport  
et maintenance est égal à ;  
 $469.200 + 255.024 = 724.224 \text{ DA/an}$

### 3 - PIECES DE RECHANGE

-----

Elle sont estimées à 20.000 DA/mois pour l'ensemble des  
camions (nombre de mois ouvrables par an : 11)  
Dépense annuelle :  $20.000 \cdot 11 = 220.000 \text{ DA /mois}$

### 4 - PNEUMATIQUE

-----

L'ensemble des pneus d'un camion est renouvelé une fois  
par an prix unitaire d'un pneu : 7.500 DA  
Nombre de pneu pour chaque camion : 6  
Nombre de camion : 8  
La dépense annuelle en pneumatique :  
 $8 \cdot 6 \cdot 7500 = 360.000 \text{ DA /an}$

### 5 - FRAIS DU CARBURANT

-----

La consommation moyenne en gasoil d'un camion par poste  
et de : 250 litres ,  
La consommation journalière en gasoil est ;  
 $C_j = (N_c \cdot 250) \cdot N_p$   
 $N_c$  : Nombre de camion travaillant par poste : 4  
 $N_p$  : Nombre de poste de travail par jour : 2  
AN ;  $C_j = (4 \cdot 250) \cdot 2 = 2.000 \text{ l/jour}$   
La dépense annuelle en gasoil est ;  $DA = C_j \cdot N_j \cdot P_u$   
 $P_u$  : Prix unitaire d'un litre de gasoile : 0,95 DA  
 $N_j$  : Nombre de jours ouvrables par an : 260 jours  
AN ;  $DA = 2.000 \cdot 260 \cdot 0.95 = 494.000 \text{ DA/an}$

### 6 - FRAIS DU LUBRIFIANT

-----

Une vidange par mois pour chaque camion  $V = 100 \text{ l}$   
Prix unitaire : 14 DA/l  
Nombre de mois ouvrables par an : 11  
Nombre de camions : 8  
La dépense annuelle en lubrifiant est  
 $D_l = 100 \cdot 14 \cdot 11 \cdot 8 = 123.200 \text{ DA /an}$

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci - dessous .

ELEMENT DU PRIX DE REVIENT	DEPENSES EN DA PAR AN
AMORTISSEMENT .....	1.360.000
MAIN D'OEUVRES.....	724.224
PIECES DE RECHANGE.....	220.000
PNEUMATIQUE.....	360.000
CARBURANT.....	494.000
LUBRIFIANT.....	123.200
TOTAL	3.281.424

\* Frais à la tonne transportée par kilomètre .

Dépenses annuelle

P= -----  
 Production annuelle X distance moyenne de transport

3.281.424

P= ----- = 6.31 DA/T.Km  
 800.000.0,65

#### IV - 3- ESTIMATION DES FRAIS DE REALISATION DU COULOIR A CHUTE.

\* VOLUME DU BETON

V = S.L, S : Section en béton  
 L : Longueur du couloir L = 60m

S = Sex - Sint Sex : Section extérieure du couloir  
 Sint: Section intérieure du couloir

Sex =  $\frac{3,5 + 2,9}{2} \cdot 1,75 = 5,60 \text{ m}^2$  (voir coupe transversale)

Sint =  $\frac{3 + 2,9}{2} \cdot 1,50 = 4,125 \text{ m}^2$

S = 5,60 - 4,125 = 1,475 m<sup>2</sup>  
 AN : V = 1,475.60 = 88,5m<sup>3</sup> v = 100m<sup>3</sup>

\* CONSTITUANTS D'UN METRE CUBE DE BETON

- 300 Kg de ciment
- 300 Kg de ferrailage
- 600 Kg de gravier
- 1200 Kg de sable
- 200 litres d'eau

\* PRIX UNITAIRE DES MATERIAUX

- 100 Kg de ciment coutent 55 DA
- 100 Kg de ferrailage coute 500 DA
- 1 m<sup>3</sup> de gravier coute : 100 DA
- 1 m<sup>3</sup> de sable coute : 100 DA



\* AMORTISSEMENT ANNUEL D'UNE CHARGEUSE

$$Ac = Pu * \frac{\lambda}{100} \quad \lambda = \text{Taux d'amortissement } 10\%$$

$$PU = \text{Prix unitaire des chargeuses}$$

$$Pu = 1\,464\,000 \text{ DA}$$

$$Ac = \frac{1\,464\,000 * 10}{100} = 146\,400 \text{ DA}$$

\* DEPENSES ANNUELLE POUR LE RECHARGEMENT DU MINERAL

$$Ct = (Dc + Ac) * Nc \quad ; \text{Nombre de chargeuse : } 2$$

$$Ct = (240178 + 146400) * 2 = 773156 \text{ Da/an}$$

\* NOMBRE D'ANNEE POUR EXPLOITER LA PARTIE DU GISEMENT PROJETEE

$$N = \frac{\text{Réserves en (t)}}{\text{production annuelle (t)}} = \frac{10\,000\,000}{800\,000} = 12.5 \text{ années}$$

\* DEPENSE TOTALE POUR LE RECHARGEMENT DE LA PARTIE PROJETEE

$$DR = Ct * N = 773156 * 12.5 = 9\,664\,450 \text{ DA}$$

$$DR = 9\,665\,000 \text{ DA}$$

IV - 5 - EVALUATION DE FRAIS DE TRANSPORT ET COMPARAISON.

IV - 5.1 - DISTANCE ENTRE CONCASSEUR ET LE CENTRE DE GRAVITE  
(voir plan et profil)

A- VARIANTE EXISTANTE

<u>Distance horizontale</u>	<u>Pente</u>	<u>Distance réelle</u>
TRONCON - A.....125,5 m	0%	125,5 m
TRONCON - B.....719,5 m	3%	722,8 m
TRONCON - C.....560 m	0%	560 m
	TOTAL	1408,3 m

B- VARIANTE PROPOSEE

---

Distance horizontale	Pente	Distance réelle
TRONCON - A.....217,5 m	0%	217,5 m
TRONCON - B.....277,5 m	0%	278,5 m
	TOTAL	496 m

IV -5.2 - EVALUATION DE FRAIS DE TRANSPORT

---

\*A -VARIANTE EXISTANTE

---

Fa = R.P.De

R : Réserves en minerais exploitables:  
10 000 000 tonnes

P : frais à la tonne transportée par kilomètre:  
6,31 DA/T.Km

De: distance entre le concasseur et le centre de gravité 1,4 Km

AN: Fa = 10 000 000 X 6,31 X 1,4 = 88 340 000 DA

\*B -VARIANTE PROPOSEE

---

Fb = R.P.Dp + Dc + Dr

Dp : distance entre le concasseur et le centre de gravité : 0,5Km

Dc : dépenses totales pour le réaliser le couloir : 353 000 Da

Dr : Dépenses totale pour le rechargement :  
9 665 000 DA

AN : Fb = 10 000 000 X 6,31 X 0,5+353 000 + 9 665 000 DA

Fb = 41 568 000 DA

IV - 5.3 - COMPARAISON

---

-Economie faite par le projet :

E = Fa - Fb = 88 340 000 - 41 568 000 = 46 772 000 DA

- Taux de réduction du prix de revient de transport :

$$Tr = \frac{Fa - Fb}{Fa} = \frac{46\,772\,000}{88\,340\,000} = 0,529$$

Tr = 52,9%

---

## CONCLUSION

---

L'étude réalisée a montré incontestablement que le couloir à chute dans les conditions d'exploitation de la carrière de MEFTAH, constitue une solution efficace permettant selon les estimations effectuées de réaliser un gain d'environ 50% du coût du transport.

Notre choix a été porté sur la réalisation d'un couloir à chute avec plate forme de réception, vu la facilité de mise en oeuvre qu'il offre.

Nous avons jugé cette solution suffisante vu le gain réalisé cependant ce dernier peut-être augmenté en réalisant un couloir à chute avec trémie de réception.

En effet, la réexcavation du minerai est supprimée, car dans ce cas le chargement s'effectue directement dans les bennes des camions.

Mais la réalisation d'un tel type de couloir pose des problèmes liés au colmatage, possible dans la trémie de réception et aux dispositifs de chargement, ce qui cause une discontinuité dans la chaîne de transport.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- 1 - V.KOVALONKO N. AMBRARTSOUMIAN K.M LAHME OPU 1986  
Exploitation des carrières
- 2 - N CHIBKA OPU 1980  
Exploitation des gisement métallifères
- 3 - WATTS , GRIFFIS AND MC QUAT LIMITED 1970  
Géologie de la région de meftah et sondage
- 4 - Rapport de L' E.R.C.C - MEFTAH 1989
- 5 - A. GABAY - J ZEMP 1971  
Les engions mécaniques de chantier.

P. G 006 / 90

# EMPLACEMENT DU COULOIR A CHUTE ET PRESENTATION DE LA METHODE DES POLYGONES

ANNEXE (1)

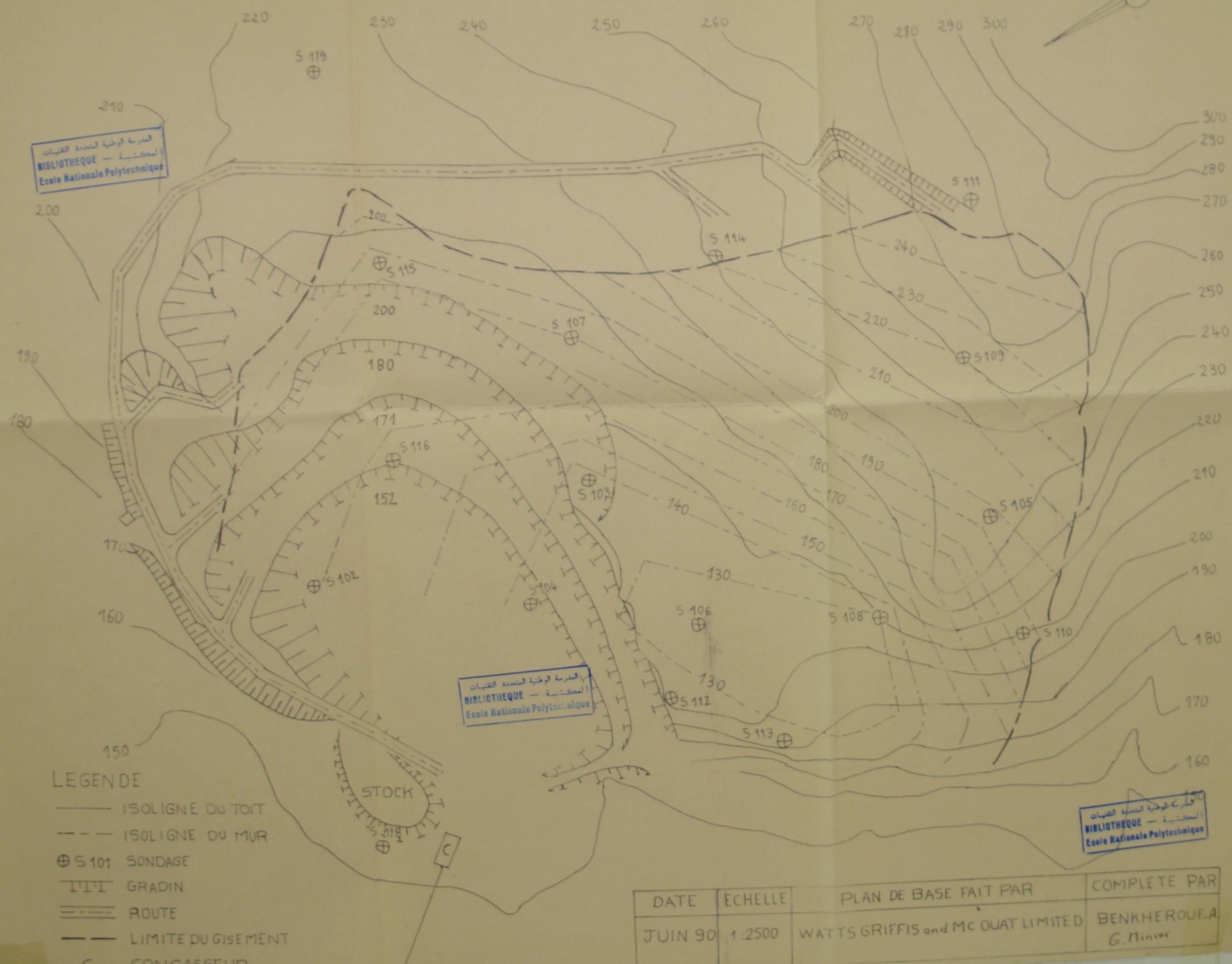
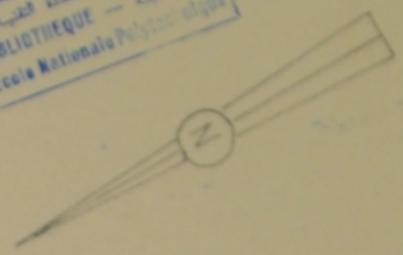


DATE	EHELLE	PLAN DE BASE FAIT PAR	COMPLETE PAR
JUN 90	1:2500	WATTS GRIFFIS and MC QUAT LIMITED	BENKHEROUF A. G. Miner

P.G 006 / 90  
 ANNEXE (2)

# PLAN DE LA CARRIERE DE MEFTAH

المدرسة الوطنية للتكنولوجيا  
 المكتبة - BIBLIOTHEQUE  
 Ecole Nationale Polytechnique



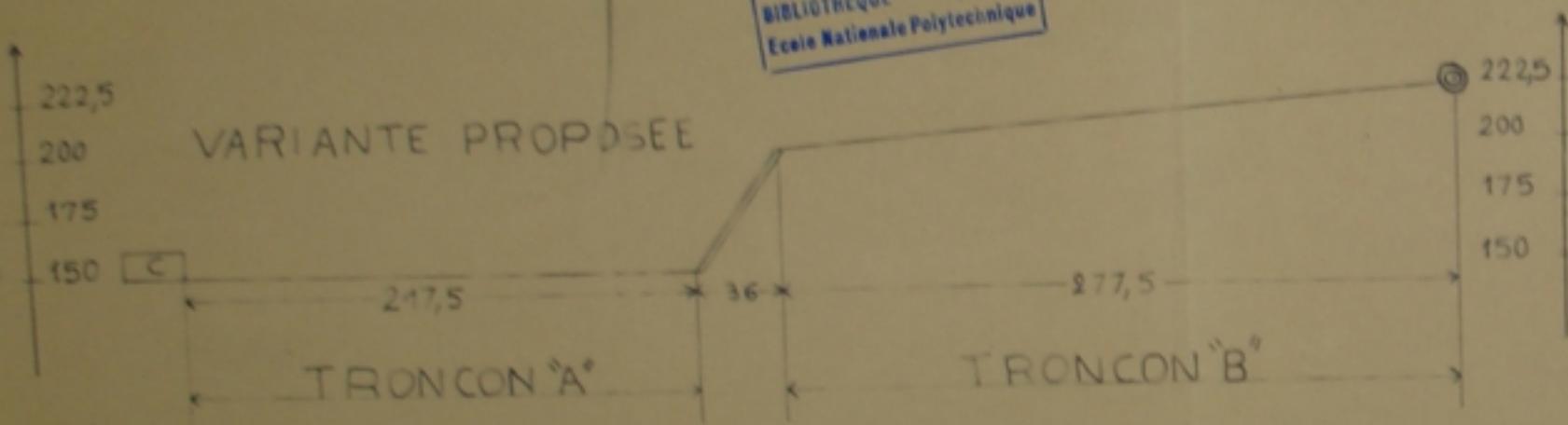
- LEGENDE
- ISOLIGNE DU TOIT
  - - - ISOLIGNE DU MUR
  - ⊕ S 101 SONDAGE
  - ▨ GRADIN
  - == ROUTE
  - - - LIMITE DU GISEMENT
  - C CONCASSEUR

DATE	ECHELLE	PLAN DE BASE FAIT PAR	COMPLETE PAR
JUIN 90	1:2500	WATTS GRIFFIS and MC QUAT LIMITED	BENKHEROUFA G. Miner

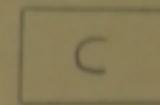
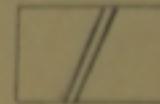
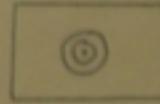
P. G 006 / 90  
ANNEXE

DISTANCE ENTRE LE CONCASSEUR ET LE CENTRE DE GRAVITE  
SELON LES DEUX VARIANTES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المطبخية - المكتبة  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique



e = 1: 2500

-  CONCASSEUR
-  COULOIR A CHUTE
-  CENTRE DE GRAVITE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المطبخية - المكتبة  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

M<sup>r</sup> BENKHEROUF - A.  
G. Minier

