

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**

**École Nationale Polytechnique**

**Département du Génie minier**



## **Projet de Fin d'Études**

En vu de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur d'État en Génie Minier

### **Thème**

---

**Critique et réorganisation des travaux  
d'exploitation de la mine à ciel ouvert de  
Bentonite de Hammam Bouhrara (Maghnia)**

---

Réalisé par :

**SEGHIR Hichem**

Dirigé par :

**Mr. A.BENAMGHAR**

*Promotion Juillet 2010*

# REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord «**ALLAH**» LE TOUT  
PUISSANT.

Je tiens, à témoigner ma sincère reconnaissance à

Monsieur **BENAMGHAR AHCÈNE**

Qui m'a encadré et dirigé ce travail avec rigueur et disponibilité

Il m'a inculqué une partie de ses qualités scientifiques grâce à

de nombreux conseils et avis sur les travaux que j'ai pu

entreprendre

Mes remerciements vont également à tous les enseignants du  
département de génie minier de l'ENPA.

Je tiens à remercier vivement les membres de jury pour  
l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce modeste  
travail.

# DEDICACE

**Je dédie ce travail à**

**Ma Mère, mon Père, mes sœurs,**

**Toute la famille SEGHIR**

**Tous mes amis,**

**Et tous les étudiants de Génie Minier  
de l'Ecole Nationale Polytechnique.**

## ملخص :

طين البنتونيت في منطقة مغنية- ولاية تلمسان- تعرف عملية الاستغلال منذ ما يقارب الخمسين عاما. عرف منجم روسال 1 في منطقة مغنية تدهورا كبيرا في الآونة الأخيرة بسبب عدم إتباع منهجية في العمل وعدم الالتزام بعلم وقواعد استغلال المناجم.

إن الهدف من هذا العمل هو التشخيص المفصل لكافة العمليات التقنية لاستغلال وإدارة المنجم، ثم اقتراح الحلول و التعديلات المناسبة لها و ذلك بإتباع ما هو معروف و معلوم في مجال هندسة المناجم. كلمات مفتاحية :

طين بنتونيت، استغلال المناجم، هندسة المناجم، روسال 1، مغنية.

## Résumé :

La bentonite de Maghnia (Tlemcen) est exploitée depuis environ cinquante ans dans le district minier de Hammam Bouhrara. La mine Roussel 1, qui fait partie de ce district, a connu, durant les dernières années une dégradation des conditions d'exploitation et une grande désorganisation. Cela est principalement du au non-respect des règles et des méthodes du génie minier. L'objet de ce travail consiste en la critique de l'état actuel des travaux miniers et la proposition de solutions et de méthodes adéquates en vue de la réorganisation complète de la mine de Roussel 1.

## Mots clefs :

Argile, Bentonite, Exploitation des mines, Génie minier, Roussel 1, Maghnia.

## Abstract:

The bentonite ore body of Hammam Bouhrara (Tlemcen) has been mined since the 1950's. The Roussel 1 open pit, which is part of this district, is actually facing many technical and organisation problems. This situation is mainly caused by the misusing of the rules and mining methods widely applied in the mineral industry. The aim of this work is to make a precise description and critics of the main operations carried out in Roussel 1 and propose suitable solutions and adequate methods for a powerful and complete reorganization of the open pit.

## Key words:

Bentonite clay, mining method, open pit, Roussel 1, Maghnia.

# Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES BENTONITES</b> .....	4
I.1. INTRODUCTION .....	4
I.2. LES ARGILES.....	4
I.3. LA BENTONITE.....	7
I.3.1. DÉFINITION .....	7
I.3.2. AUTRES MINERAUX DES BENTONITES.....	7
I.3.3. CLASSIFICATION DE LA BENTONITE .....	8
I.3.4. ABSORPTION D'ION .....	8
I.3.5. STRUCTURE DE LA MONTMORILLONITE.....	8
I.3.6. ASPECT MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUE .....	9
I.3.7. LES CONDITIONS DE FORMATION DE LA BENTONITE .....	10
I.3.8. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES BENTONITES .....	10
I.3.9. LES PRINCIPALES UTILISATIONS DE LA BENTONITE .....	14
<b>CHAPITRE II: GEOLOGIE DU GISEMENT</b> .....	18
II.1 INTRODUCTION ET HISTORIQUE .....	18
II.2 PRESENTATION .....	19
II.2.1 Présentation de l'entreprise ENOF .....	19
II.2.2 Présentation de la filiale BENTAL .....	20
II.3 Présentation de l'unité MAGHNIA .....	21
II.3.1 Situation géographique .....	21
II.3.2 Aperçu géologique .....	23
II.4 CADRE GEOLOGIQUE ET STRCTURAL.....	26
II.4.1 Cadre géologique régional .....	26
II.4.2 CADRE GÉOLOGIQUE DU SITE ROUSSEL 1 .....	27
II.4.3 CADRE STRUCTURAL.....	30
<b>CHAPITRE III: NOTIONS D'EXPLOITATION A CIEL OUVERT</b> .....	38
III.1 Choix de l'implantation d'une mine à C O .....	38
III.1.1 Critères géologiques .....	38
III.1.2 Critères techniques .....	38
III.1.3 Critères économiques .....	39
III.2 Les aspects technico-économiques dans une exploitation minière .....	40
III.2.1 Aspects techniques .....	40

III.2.2 Aspect économique.....	41
III.3 LE SECTEUR DES EXPLOITATIONS MINIERES .....	41
III.3.1 Types d'exploitations minières.....	41
III.3.2 Exploitation à ciel ouvert.....	41
III.3.3 Mode d'extraction à ciel ouvert.....	42
III.4 Le choix d'une méthode d'exploitation .....	42
III.4.1 Critère de choix de la méthode d'exploitation .....	42
III.4.2 Infrastructure d'exploitation a ciel ouvert .....	44
III.4.3 Détermination des paramètres de la piste principale .....	54
III.5 STABILITE DES TALUS .....	56
<b>CHAPITRE IV: Observations et critiques des travaux miniers à Roussel 1 .....</b>	<b>57</b>
IV.1 OBSERVATIONS GENERALES .....	57
IV.1.1 Etat générale des travaux.....	57
IV.1.2 Infrastructure (route, piste... ).....	57
IV.1.3 Personnel technique dans la carrière .....	58
IV.1.4 Documentation .....	58
IV.1.5 Plan de développement.....	58
IV.1.6 Matériels, engins... ..	58
IV.1.7 Stabilité des gradins et des épontes .....	59
IV.2 Travaux miniers d'exploitation.....	59
IV.2.1 Méthode d'extraction .....	59
IV.2.2 Dimensionnement des gradins.....	60
IV.3 Transport et stockage du minerai .....	62
<b>CHAPITRE V: Solution, corrections et réorganisations des travaux d'exploitation de Roussel 1 .....</b>	<b>64</b>
V.1 Détermination des limites des champs d'exploitation de la mine Roussel 1 .....	64
V.2 Résolution du problème d'exhaure.....	66
V.2.1 Tranchée de côté Sud-est de la mine .....	66
V.2.2 Bassin d'assemblage et décantation des eaux.....	70
V.2.3 Rigole extérieure d'aménagement autour de la mine .....	72
V.2.4 Rigole intérieure de plate forme .....	73
V.3 Orientation de l'exploitation du gisement Roussel 1 .....	73
V.3.1 L'avancement des travaux d'exploitation.....	73
V.3.2 Le Volume à exploiter .....	75
V.3.3 Déplacement de la pelle.....	75

V.3.4 Transport de tout-venant.....	76
V.4 PLANS D'EXPLOITATION .....	77
CONCLUSION GENERALE.....	85
BIBLIOGRAPHIE.....	87

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

---

La bentonite est une argile qui provient de l'altération des aluminosilicates. Elle est surtout recherchée pour ses propriétés rhéologiques (viscosité) et physico-chimiques (gonflement, adsorption). Elle trouve des utilisations diverses et variées, notamment en forage pétrolier et dans l'industrie métallurgique.

En Algérie, il existe principalement deux districts miniers riches en bentonite. Ce sont le district de Mostaganem dans l'Oranie et le district de Hammam Bouhrara à Maghnia, près des frontières marocaines.

Le gisement d'argile bentonitique de Hammam Bouhrara est situé à Maghnia (wilaya de Tlemcen). Le relief de la région est fortement accidenté avec un réseau hydrographique très développé. L'altitude de la région varie de 150m à 435m, le climat y est méditerranéen, caractérisé par un hiver doux et pluvieux et un été chaud et sec. Le gisement étudié dans ce projet (Roussel 1) se présente en un seul amas d'une puissance qui varie entre 50 et 60m en moyenne. Les réserves géologiques du gisement sont globalement estimées à près de 3 millions de tonnes. Le matériau extrait à ciel ouvert subit divers traitements puis il est conditionné.

Comme la plupart des minéraux bon marché, la bentonite est souvent extraite dans des mines à ciel ouvert.

L'exploitation minière est un art qui obéit à des règles et des techniques étudiées et prouvées. Elle exige une grande rigueur et une bonne maîtrise afin de garantir un produit fini de grande qualité avec un rendement optimal. Il est certain que plus on négligera ces règles et ces techniques d'exploitation minière plus on rencontrera des problèmes d'efficacité et de rentabilité dans tout projet minier.

L'exploitation de la bentonite de Maghnia remonte aux années 50. L'extraction de l'argile s'est faite sur plusieurs sites de la localité de Hammam Bouhrara suivant les règles de l'art minier, à l'aide des puits et des galeries. Cette exploitation a surtout ciblé les endroits riches en bentonites de meilleure qualité. Au cours du temps le mode d'exploitation a changé en exploitation à ciel ouvert.

Mais, durant les dernières années, suite au passage de l'économie planifiée à l'économie de marché, le secteur minier a connu, lui aussi, des changements drastiques (démantèlement des grandes entreprises, restructuration,

## INTRODUCTION GENERALE

---

privatisation...etc). Ces changements ont vu disparaître des entreprises et des unités entières. Elles ont également poussé d'autres à changer de politique et de méthode de travail. Il est certain que ces changements n'ont pas été sans conséquences sur le plan technique des entreprises minières en particulier. Ainsi, beaucoup d'unités minières se sont confrontées à des problèmes d'efficacité et de rentabilité.

Si on considère l'exemple de l'exploitation de la bentonite de Maghnia on remarque que ces dernières années le travail se fait d'une façon quasi anarchique. Lors de notre stage sur place nous avons globalement noté que les règles de l'exploitation minière ne sont simplement pas respectées. Par exemple, nous avons relevé l'inexistence d'un plan et d'un planning d'exploitation. Les rapports géologiques ont montré l'existence sur le site étudié (Roussel I) d'une variabilité locale de l'argile, une carte de qualité a été établie. Mais L'extraction se fait visuellement d'une façon désordonnée en "sautant" d'un point à l'autre dans la carrière en fonction de la demande de l'usine.

Cela risque non seulement d'appauvrir globalement la mine, en épuisant les parties riches, mais aussi de multiplier les risques de toutes sortes sur le site (glissement, désordre, congestion...). Nous avons également relevé le manque d'infrastructures d'accès et de développement du site (découverte, pistes, rigoles...) ce qui entrave sérieusement toute projection d'avenir de l'exploitation. Par exemple, durant la période pluvieuse, les eaux de pluie s'accumulent simplement en plusieurs endroits de la mine, particulièrement dans la partie sud-est où un bassin de plusieurs ares se forme durablement.

Il est certain que la mine de Roussel I a de grande potentialité en termes de réserves et de qualité de la bentonite produite, mais cela ne suffit pas si l'exploitation minière n'est pas bien exécutée. Cela risque même de mettre en péril toute l'activité minière de la région et rendre l'unité non rentable.

Dans ce projet de fin d'étude nous avons pour but de faire une critique détaillée des travaux miniers que nous avons constaté sur le site de Roussel 1 et de proposer une méthode d'exploitation selon les règles de l'art minier. Nous n'allons pas remettre en cause la forme du procédé à ciel ouvert actuellement en place mais surtout le fond de ce procédé. En d'autres termes nous discuterons :

## INTRODUCTION GENERALE

---

- de la nécessité d'une carte de qualité de l'argile sur site avant toute planification.
- de la résolution d'abord du problème pertinent d'accumulation des eaux pluviales dans la partie sud-est.
- du plan et de la planification de l'exploitation proprement dit,
- de la méthode d'extraction, de transfert et de transport du minerai.
- du dimensionnement des gradins.
- de l'aménagement de rigoles, conduits et d'infrastructure d'exhaure autour et dans la carrière.

Ce travail n'a pas pour but de trouver des solutions sur mesure mais de proposer des solutions étudiées qui peuvent améliorer le rendement et l'efficacité de l'exploitation actuelle. Notons enfin que nous avons cruellement manqué dans ce travail de documents et données (cartes, statistiques, sondages...) ce qui a sérieusement entravé son évolution.

**CHAPITRE I**

**GENERALITES SUR LES**

**BENTONITES**

### I.1. INTRODUCTION :

Avant d'entrer dans le détail de la géologie du gisement bentonitique de Maghnia, nous présentons dans ce chapitre, la bentonite et ses usages.

Un des objectifs de ce chapitre est de mieux comprendre la relation entre les propriétés industrielles souhaitées, la composition des dépôts in situ, et les comportements des divers types d'argiles.

### I.2. LES ARGILES :

Le terme argile trouve son origine dans le mot grec « Argilos » dont la racine Argos signifie blanc. Les constituants des argiles sont des minéraux, qui sont extrêmement petits. Pour en connaître la nature, la structure et la classification, il a fallu attendre les techniques raffinées qui se sont offertes aux minéralogistes au XX<sup>ème</sup> siècle. Les minéraux argileux sont en forme de feuillets ou de lattes microniques, d'où leur nom de phyllites. Ils appartiennent, comme les micas au groupe des Phyllosilicates. Chaque cristal est composé de quelques centaines de feuillets empilés, de taille nanométrique. C'est la structure du feuillet élémentaire qui caractérise l'espèce minérale. Chaque feuillet est composé de deux, trois ou quatre couches planes associées. Il existe deux sortes de couches, selon que les oxygènes ou hydroxyles sont associés en tétraèdres ou en octaèdres. Dans la couche tétraédrique, la cavité des tétraèdres est occupée par le cation silicium, qui peut être substitué par de l'aluminium.

Dans la couche octaédrique, la cavité octaédrique est occupée par des petits cations de ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ). Dans le cas où les charges positives et négatives ne s'équilibrent pas, il en résulte une charge du feuillet, et d'autres cations viennent se loger entre les feuillets pour équilibrer la structure. Ici résident les capacités d'échange des argiles et leur pouvoir adsorbant.

Les minéraux de la famille de la kaolinite : Kaolinite, Halloysite, Dickite et Nacrite sont des minéraux à deux couches. Une couche tétraédrique à cœur de silicium et une couche octaédrique à cœur d'aluminium. Leur formule chimique structurale est  $Si_2Al_2O_5(OH)_4$ , l'équidistance inter foliaire est de 7 Å.

Les Illites sont des argiles à trois couches, une couche octaédrique associée à deux couches tétraédriques dans lesquelles une partie du silicium est remplacée par de l'aluminium. Les cations aluminium de la couche octaédrique peuvent être

remplacés par les ions  $Mg^{2+}$  et  $Fe^{3+}$  et des cations de potassium assurent la neutralité de l'ensemble.

Les minéraux de la famille des Smectites ou la famille des Montmorillonites sont bâties sur le même modèle que les illites. La variation de composition du groupe des Smectites est liée à la présence de différents cations échangeables, faiblement retenus étant donné la faible charge cationique. Les Smectites comprenant des cations divalents  $Mg^{2+}$  ou  $Ca^{2+}$  contiennent 2 couches d'eau dans l'inter foliaire. L'équidistance inter foliaire est de 14-15Å. Par contre, les Smectites avec des cations monovalents comme le  $Na^+$  ne contiennent qu'une seule couche d'eau ( $d=12 \text{ \AA}$ ). La bentonite fait partie de cette famille (Montmorillonite sodique).

La figure I.1 présente la structure cristallographique de ces trois familles d'argile. Le Tableau I.1 donne une classification des argiles.

Les minéraux argileux sont parmi les plus importants, sinon les plus importants, des minéraux industriels. Des millions de tonnes sont utilisés annuellement dans une grande variété d'application.

Les progrès de la technique, tant en ce qui concerne le traitement des matières premières que l'élaboration de produits nouveaux, élargissent sans cesse le domaine de leurs applications.

Ces minéraux ne se rencontrent pas isolément, mais dans des roches composées d'un mélange de minéraux typiques des argiles et d'autres minéraux ou matériaux associés (quartz, oxydes de fer, calcite, débris végétaux).

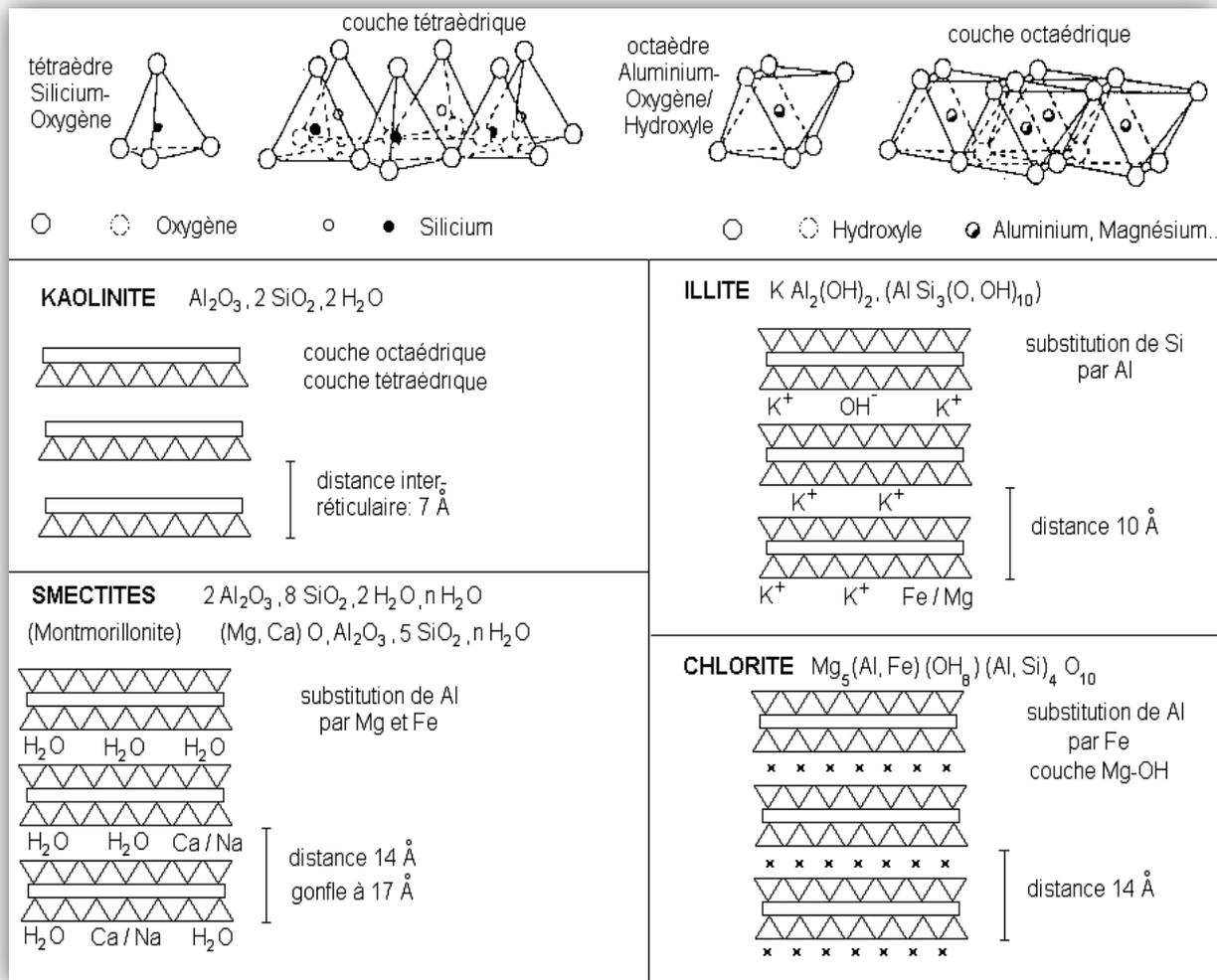


Figure I.1 : Structure cristallographique de minéraux argileux. [22]

principales familles		Espèces minérales				
		Composants dominants				
		Si et Al	Si, Al, Fe et Mg	Si, Al et Mg	Si et Mg	Si, et Fe
Minéraux à 2 couches		Kaolinite halloysite	Berthiérine (chamosite)	Amosite	Serpentine (antigorite) (chrysolite)	Greenalite cronstedtite
Minéraux à 3 couches	Illites et vermiculite	Illites vermiculite	Illites vermiculite	Vermiculite		Glaucosite (céladonite)
	Smectites	Montmorillonite	Beidellite	Saponite	hectorite Stevensite	Nontronite
	Chlorite	Chlorite	Chlorite (clinocllore)	Chlorite	Chlorite (pennine)	
	Pyrophyllite et Talc	Pyrophyllite			Talc	
Minéraux en lattes				Attapulгите	Sépiolite	

Tableau I.1 : Classification sommaire des minéraux argileux. [23]

### I.3. LA BENTONITE :

Le terme bentonite a été employé en premier par Knight en 1898 pour décrire une argile plastique fortement colloïdale et fortement gonflante de la région de Fort Benton au Wyoming, Etats-Unis d'Amérique. Ce terme a ensuite été étendu aux matériaux naturels dont la composition et les propriétés sont dominées par les Smectites. [12]

La bentonite est une argile dont le principal constituant est la Montmorillonite. Ce dernier nom fut proposé pour la première fois en 1847, pour désigner une argile plastique découverte à Montmorillon, en France.

#### I.3.1. DÉFINITION :

Les bentonites sont, par définition, des matériaux argileux essentiellement composés de Smectites (elles contiennent plus de 75% de Montmorillonite). Elles montrent des propriétés plastiques gonflantes, qui favorisent l'introduction des molécules d'eau à cause de la présence des cations volumineux entre les feuillets. Du point de vue génétique, les principaux gisements de bentonites sont généralement issus de la transformation en place de cendres volcaniques vitreuses, en milieu aqueux, ou bien proviennent de l'altération hydrothermale de roches volcaniques. Certaines couches d'argiles sédimentaires, suffisamment riches en Smectites, peuvent également constituer des gisements de bentonite.

Les critères de sélection sont les suivants :

- teneur en Smectite supérieur à 70 %,
- teneur en sable inférieure à 30 %,
- teneur en calcite inférieure 10 %.

#### I.3.2. AUTRES MINERAUX DES BENTONITES :

En dehors de la Montmorillonite, qui en constitue l'essentiel, les bentonites peuvent renfermer d'autres minéraux associés :

- Des minéraux argileux : Chlorite ou Sépiolite.
- Du quartz ou des résidus de silice amorphe.
- Des carbonates.
- Des sulfates (gypse).

### I.3.3. CLASSIFICATION DE LA BENTONITE :

Les bentonites peuvent être classées en 2 groupes selon qu'elles soient sodiques ou calciques :

1- Les bentonites sodiques (Na bentonite) sont énormément gonflables. L'indice de gonflement est proportionnel à la teneur en sodium. Elles conviennent alors le plus pour les boues de forage, elles peuvent même former des gels permanents.

D'après leur composition chimique, les bentonites de Maghnia sont intermédiaires : la teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  est trop faible pour une orientation vers une bentonite de forage de haute qualité par contre sa teneur en  $\text{MgO}$  est suffisamment élevée et celle du fer assez faible pour une orientation vers les terres décolorantes. L'utilisation dans les boues de forage est possible après activation au carbonate de soude.

2- Les bentonites calciques (Ca-bentonite) ont un indice de gonflement très faible qui les rend impropres à une utilisation comme boues de forage, par contre, elles présentent une capacité d'adsorption élevée qui permet de les valoriser pour la production de terres décolorantes. Elles peuvent partiellement remplacer Al et gonflent peu. Elles forment par contre avec l'eau une suspension thixotropique (c'est à dire qu'ils épaississent au repos prolongé et reprennent leur viscosité normale par simple agitation).

### I.3.4. ABSORPTION D'ION :

Les Montmorillonites ont la propriété d'absorber des quantités importantes d'oxygène, de sodium, calcium, ou composés organiques.

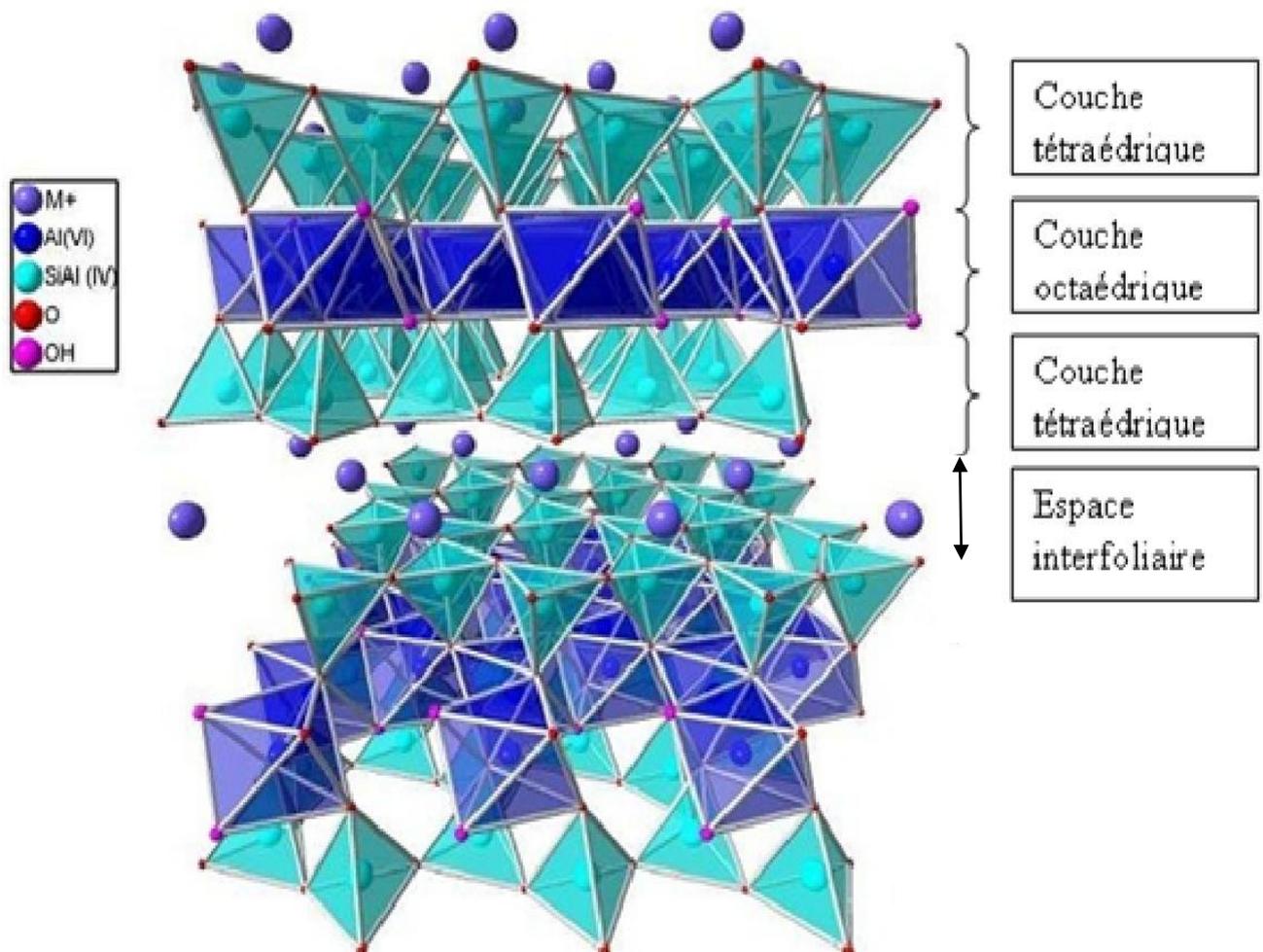
### I.3.5. STRUCTURE DE LA MONTMORILLONITE :

La Montmorillonite appartient au groupe des minéraux argileux à  $14 \text{ \AA}$ , caractérisé par un feuillet qui comporte une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques type  $\frac{1}{2}$  (Figure I.2).

Ces couches sont disposées de telles sortes que les atomes d'oxygènes des sommets de chaque tétraèdre de silicium et un des plans d'hydroxyles de la couche octaédrique se situent dans un même plan.

Les sommets des tétraèdres sont formés par quatre atomes d'oxygène reliés à l'atome de silicium central ainsi qu'aux atomes d'oxygène des octaèdres par liaisons covalentes. Les octaèdres ont par contre leurs sommets occupés par quatre atomes d'oxygènes et deux hydroxydes reliés à l'atome d'aluminium central par liaisons de coordinance.

Les hydroxyles de la couche octaédrique sont placés directement en dessous des cavités hexagonales du réseau d'oxygène de couche tétraédrique (**Figure I. 2**)



**Figure I.2** : Arrangement atomique de la Montmorillonite. [12]

### I.3.6. ASPECT MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUE : [13]

La bentonite est un matériau au toucher savonneux, faisant des copeaux sous l'ongle, généralement sans humidité.

A l'affleurement, elle forme rapidement par dessiccation d'importantes fissures de retrait. Un des traits caractéristique de ces affleurements est

l'absence de ravinement par le jeu des hydratations et dessiccation successives ; A la moindre pluie, ces grains gonflent et forment une mince couverture continue et parfaitement imperméable sur laquelle l'eau ruisselle.

Au microscope électronique, la Montmorillonite se présente sous forme d'agrégat de plaquettes très minces dont les bords peuvent montrer des enroulements, très exceptionnellement, on peut observer des particules présentant des formes définies avec des combinaisons d'arêtes rectilignes faisant entre elles des angles de 60 à 120°.

### 1.3.7. LES CONDITIONS DE FORMATION DE LA BENTONITE :

La Montmorillonite est rencontrée :

- Dans les milieux sédimentaires, riches en magnésium et à PH légèrement ou nettement alcalin, un excès en potassium dans ces milieux, laisserait apparaître les micas.
- Aux niveaux des sols (chernozines, rendzines).
- Comme produit d'altération :
  - ✓ Des roches éruptives acides (pegmatites....).
  - ✓ Des cendres volcaniques (fort benton, USA).
  - ✓ Des rhyolites (Maghnia, Algérie).
  - ✓ Des roches acides vitreuses (Smectite du Sud de l'Espagne).

L'altération hydrothermale peut conduire à la formation de la Montmorillonite, localisée sur les bords de gisement alors que la kaolinite se forme à l'intérieur. Elle est aussi le produit de la synthèse hydrothermale (en présence de Magnésium, ainsi qu'un pH relativement élevé).

### I.3.8. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES BENTONITES : [14]

#### I.3.8.a Gonflement :

En présence d'eau, la bentonite forme une suspension colloïdale provoquant un important gonflement qui est un des indices marquant un produit. Les bonnes bentonites commerciales gonflent 15 à 20 fois de leur volume initial. Certaines qualités peuvent atteindre un gonflement de 40 fois.

Cette propriété de gonflement est détruite par la chaleur. Elle est réversible et peut être activée par des additions de soude ou de phosphate solubles.

### I.3.8.b Capacité d'échange de base :

Pour la compensation des charges, des cations sont faiblement liés au réseau structural. Ils sont d'habitude alcalins ou alcalino-terreux. Susceptibles d'être échangés dans certaines conditions. L'épaisseur des couches d'eau entre les feuillets de la montmorillonite dépend du cation interchangeable : pour le  $\text{Na}^+$ , il y a une couche mono-moléculaire (distance inter-lamellaire =  $12.5\text{A}^\circ$ ), avec des ions  $\text{Ca}^{+2}$  il y a deux couches de molécules d'eau (distance =  $14.5$  à  $15\text{A}^\circ$ ). Les cations échangeables ont une influence notable sur les propriétés des bentonites.

### I.3.8.c Les paramètres rhéologiques : [15]

\* La viscosité plastique :

La viscosité plastique (VP) est mesurée au viscosimètre FANN, la différence entre la lecture L600 et la lecture L300, et elle est donnée par la formule suivante : Viscosité plastique (VP) = L600 - L300

Elle dépend de la teneur en solides de la boue. Une augmentation de la viscosité plastique ne pourra être combattue que par une élimination de solides (par centrifugation) ou, bien entendu, par dilution. Par ailleurs, la viscosité plastique va être liée à la taille des particules et au

ssi à leur forme.

\*Yield-value (ou Yield point):

La Yield value c'est la tension minimale en dessous de laquelle il n'y a pas écoulement. En pratique, les boues de forage appliquent le plus souvent le modèle

de Bingham : (Figure I.3) 
$$f = Y_v + V_p \times g$$

Où :  $Y_v$ =Yield value ;

$V_p$ = viscosité plastique.

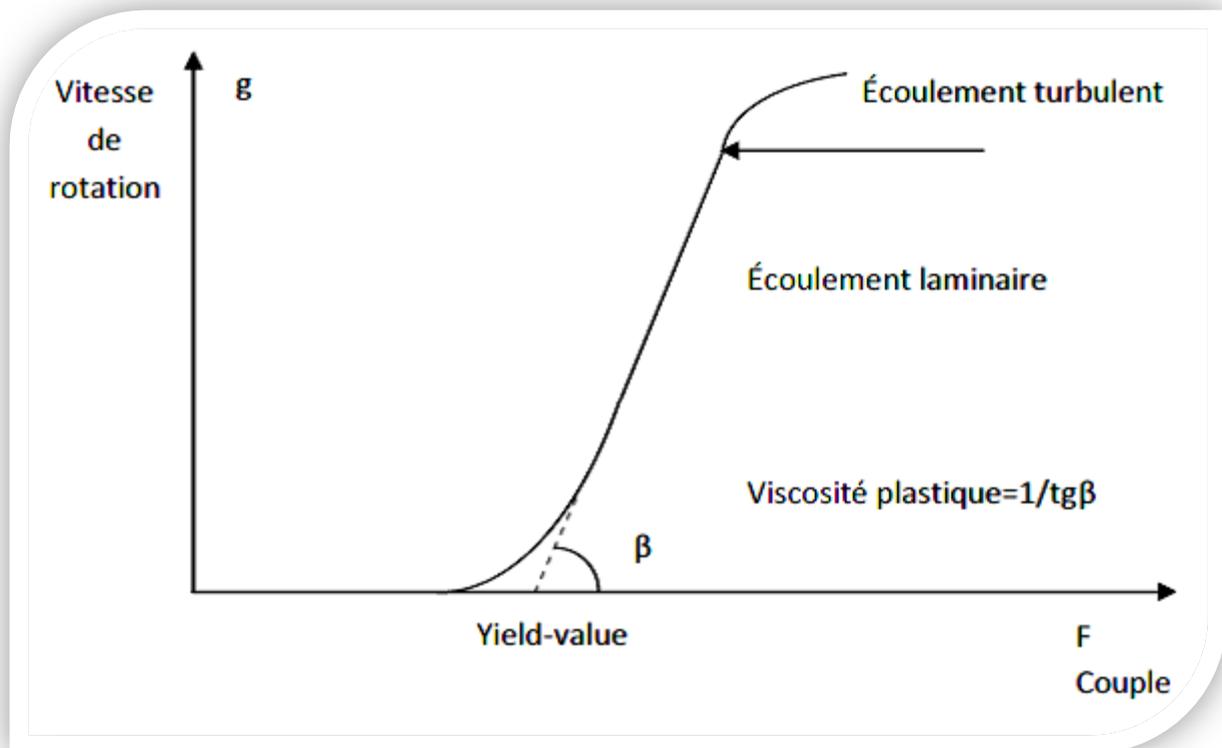


Figure I. 3 : modèle de Bingham

La Yield value est due surtout aux interactions physiques ou chimiques existant entre particules en suspension. Ces interactions vont dépendre aussi de la distance entre particules, donc de leur nombre et de la teneur en solides. La forme et la taille des particules vont aussi agir sur la Yield-value.

La Yield -Value est aussi donnée par la formule suivante :

$$Yield Value = L300 - Vp$$

\*La filtration ou « filtrat » :

Lorsque la boue se trouve au contact des parois plus ou moins perméables du trou de forage, la partie liquide filtre dans la formation en déposant sur les parois sa partie solide que l'on appelle "cake".

En effet, les hauts filtrats peuvent déliter les formations délicates (argiles, marnes) et favoriser les éboulements. De plus, le cake déposé peut être épais au point d'empêcher le passage du tricône lors des manœuvres de changement d'outils. Pour ces raisons, il est extrêmement important de connaître la filtration.

Le filtrat doit être :

- \_ Suffisamment élevé pour augmenter la vitesse d'avancement.
- \_ Suffisamment bas pour ne pas déliter ou faire gonfler les formations argileuses et marneuses et pour éviter les collages du matériel tubulaire en face des zones perméables (calcaires, dolomies, grès).
- \_ Il ne doit pas envahir les formations productives, occasionner des émulsions avec l'huile en place ou modifier la porosité et la perméabilité de ces formations, etc.

Fixer le filtrat que doit posséder une boue est un problème délicat qui nécessite une grande connaissance des problèmes et des objectifs de forage. Disons simplement que des filtrats de 20 à 25 cm<sup>3</sup> en 30 mn sont courants en forage.

\*La concentration en sable « résidu <75μ » :

On appelle "sable", en terminologie boue, les particules qui ne passent pas sur un tamis de 200 mesh Tyler, c'est-à-dire les particules dont le diamètre est supérieur à 0,075 mm. Des particules inférieures à 0,075 mm (75 microns) sont appelées "silt". La présence de sable dans une boue a un effet abrasif sur toutes les pièces en mouvement et en particulier sur les chemises et pistons des pompes ainsi que sur les outils. De plus, à concentration élevée le sable augmente la densité de la boue et peut sédimenter dans le trou pendant les arrêts de circulation risquant d'occasionner des coincements.

\*La viscosité apparente :

Ce paramètre présente le rendement d'une argile qui est le volume de boue à 15 centipoises de viscosité apparente que l'on peut obtenir avec une tonne de produit sec. La viscosité apparente est donnée par la formule suivante :

$$VA = \frac{L 600}{2}$$

#### I.3.8.d Plasticité :

Du fait de leur richesse en particules colloïdales, les bentonites sont très plastiques. L'étendue du domaine plastique (IP= indice de plasticité) des bentonites est élevé et varie de 700 à 500 suivant la nature de la bentonite.

Les bentonites sont capables de retenir sous forme « rigide » une grande quantité d'eau (IL= indice de liquidité) de façon à constituer un état plastique. Les montmorillonites sodiques ont des valeurs qui vont de 350% à plus de 700% tandis que les Montmorillonites calciques ont des valeurs de IL de 100 à 200 %.

Par broyage, la bentonite peut être réduite à une finesse dix fois plus élevée que celle du ciment.

#### **I.3.8.d Gels de bentonite :**

Si la quantité d'eau introduite dans une bentonite est faible, les particules l'immobilisent les une contre les autres et on obtient des gels de dureté variable avec la concentration et dont la consistance augmente plusieurs heures après la préparation.

#### **I.3.8.e Suspension de bentonite :**

Si la quantité d'eau d'apport est forte par rapport à la quantité de bentonite, la dispersion atteint progressivement un degré très élevé. C'est ainsi qu'à des concentrations de l'ordre de 5% dans l'eau pure, les bentonites peuvent donner des suspensions qui demeurent stables pendant plusieurs jours.

Le pH de ces suspensions est généralement au voisinage de 9, qui correspond à l'optimum de stabilité. Les acides provoquent la précipitation à une rapidité croissante avec la variation du pH.

#### **I.3.8.f La teinte de la bentonite :**

La teinte de la bentonite est souvent indicatrice de ses applications. La bentonite de couleur vert brunâtre est généralement de qualité pour les boues de forage, tandis que la bentonite blanchâtre est bonne pour les moules de fonderie.

### **I.3.9. LES PRINCIPALES UTILISATIONS DE LA BENTONITE : [12]**

#### **I.3.9.a Les boues de forage :**

La bentonite sodique est le constituant majeur de la boue de forage. Nous n'entrerons pas ici dans une description détaillée du rôle joué par la bentonite dans les boues de forage. Il suffit de comprendre que le quasi totalité des

forages pour le pétrole et le gaz se fait en milieu fluide. L'eau seule n'ayant pas la viscosité souhaitable, on y ajoute la bentonite. La boue de forage joue un rôle essentiel en refroidissant et lubrifiant l'outil de forage, en maintenant les parois et en véhiculant les résidus de roche vers la surface. La boue maintient aussi une pression hydrostatique sur les couches traversées, permet aussi de créer, sur les parois du trou, un revêtement étanche et lubrifie les tiges et l'outil de forage (Figure I.4). Cette application de la bentonite est évidemment reliée au nombre de trous forés et non à la productivité des puits. C'est ce qui explique la position dominante du marché mondiale. La quantité de bentonite par 1 000 pieds forés a varié de 4,05 à 4,72 tonnes. De façon sécuritaire, on peut donc estimer une utilisation de 4 tonnes de bentonite par mille pieds forés pour jauger du potentiel d'un marché.

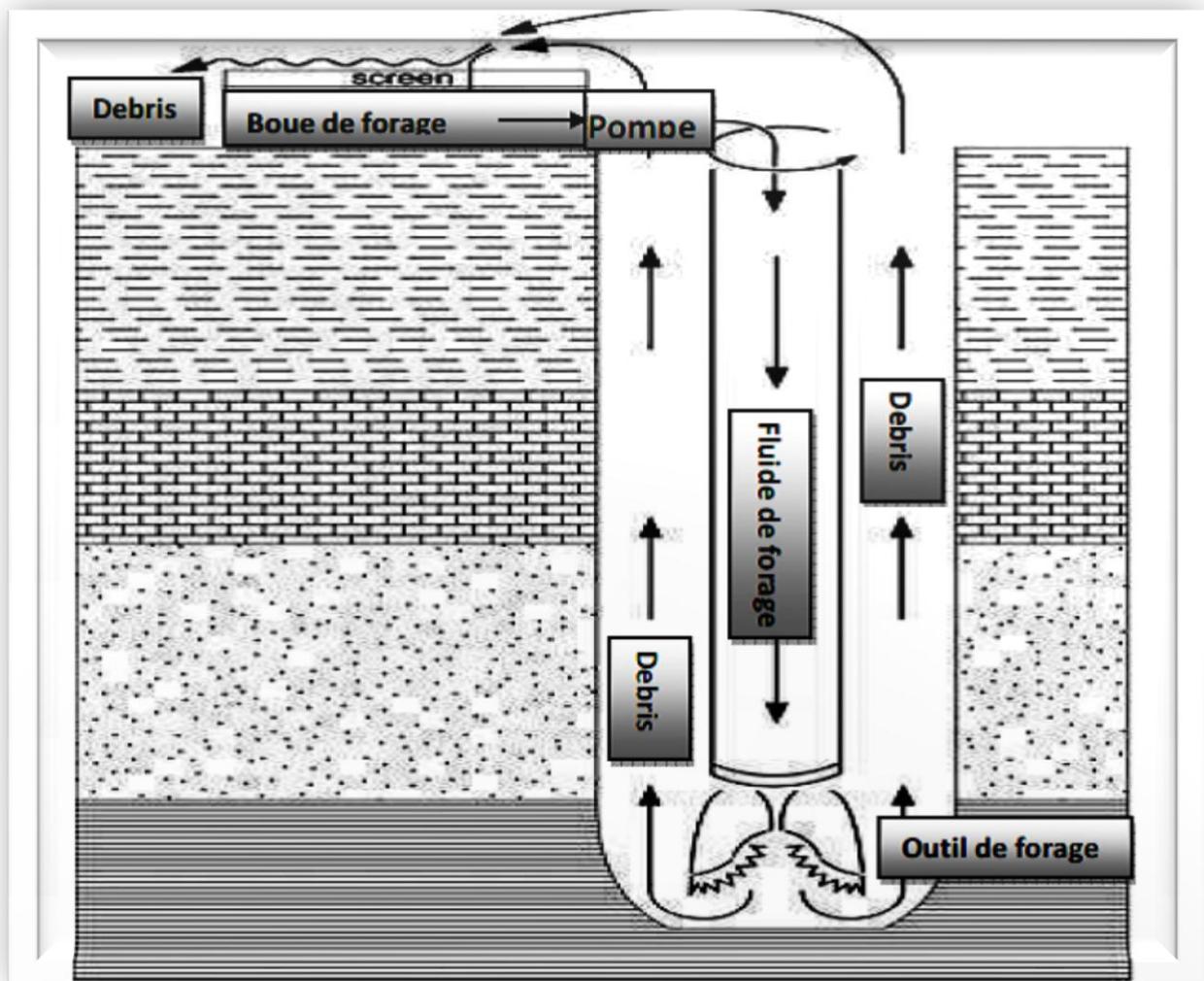


Figure I.4 : Schéma descriptif du rôle de la boue de forage bentonitique. [12]

### I.3.9.b La bentonite de fonderie :

La bentonite de fonderie sert à la préparation des moules en fonderie. Cette application est liée à l'arrivée des sables qualifiés de synthétiques sur le marché. Ce sont essentiellement des sables de silice auxquels on mélange une argile sodique dans une proportion de 4 à 6 %. Cette proportion peut varier considérablement et peut atteindre 10 à 15 % pour les moulages à pression.

L'argile utilisée peut être une bentonite naturelle du type Wyoming ou une bentonite de traitement (terres décolorantes ou bentonite non-gonflante de carbonate de sodium). La tendance des sables dits synthétiques à remplacer les sables naturels s'explique par leur uniformité et la fiabilité des résultats d'application. C'est un liant économique (récupérable en partie et montrant peu de perte au procédé de moulage). La tendance vers les moulages à haute pression ne peut qu'amplifier la demande de la bentonite.

### I.3.9.c Bouletage des minerais de fer :

Le bouletage des minerais de fer est le principal débouché pour la bentonite gonflante au Canada et aux Etats-Unis. Cette application prend également de l'importance dans le reste du monde. La quantité ajoutée au minerai varie de 4,5 kg à 8 kg la tonne, selon le type de concentré. Les statistiques publiées aux États-Unis et au Canada laisse supposer que plus de 20 livres de bentonite sont mêlées aux concentrés, ce qui est peu probable, car un surplus de bentonite amollirait la boulette produite. La bentonite naturelle (gonflante) est préférée par les compagnies minières à cause de ses qualités liantes supérieures et de son action de renforcement à haute température. Les compagnies visent évidemment à utiliser le moins de bentonite possible pour atteindre les propriétés désirables dans le bouletage. Essentiellement, les boulettes doivent être suffisamment solides pour résister au transport et à la manutention et posséder une bonne réductibilité. Des compagnies minières canadiennes ont communiqué que l'utilisation d'additifs (de quelque nature que ce soit) dans le procédé de bouletage, comporte certains désavantages. Ainsi la bentonite contamine les concentrés de minerai, diminuant le contenu en fer de 0,6 % et augmentant le contenu en silice de 0,5 % pour chaque unité de bentonite ajoutée. Ce faisant, la teneur du concentré au haut fourneau est réduite, nécessitant ainsi l'usage de quantités additionnelles de calcaire et de coke durant la réduction. Des produits concurrents, tels le clinker de ciment, la chaux, et en Australie des boues

naturelles, sont utilisés avec succès rapporte-t-on. Ces applications demeurent tout de même restreintes et ne mettent aucunement en danger la position de la bentonite comme principal liant de boulettage pour plusieurs années encore. L'industrie du fer oriente surtout ses recherches vers l'amélioration des qualités chimiques des boulettes, par exemple, en ajoutant de la chaux.

#### **I.3.9.d Génie civil :**

Pour la création de voile d'étanchéité d'excavations, l'injection de coulis de ciment (la présence de bentonite permettant le maintien en suspension du ciment).

#### **I.3.9.e Terres décolorantes :**

Les bentonites trouvent également des débouchés pour la décoloration des huiles et comme support de catalyse (bentonites activées à l'acide).

#### **I.3.9.f Autres utilisations :**

La bentonite est un nano-composite recherché comme charge minérale dans les insecticides et pesticides, les aliments de bétails, les engrais, les produits cosmétiques, les polymères, en pharmacie (comme pansement gastrique) etc.

## CHAPITRE II

# GEOLOGIE DU GISEMENT

**II.1 INTRODUCTION ET HISTORIQUE :**

Les argiles Bentonitiques sont connues dans la région de Hammam Bouhrara (Maghnia) de la wilaya de Tlemcen depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle.

**1970** : réserves supposées de Roussel, RM, Dar Embarek 405 000 t. [3]

Durant la période de décembre **1970** à avril **1971** les travaux de recherches et de prospection sur les argiles bentonitiques de la carrière Roussel 1 et Dar Embarek, ont été menés par SONAREM. [11]

En **1972**, SONAREM a entamé un projet de recherche et de prospection des bentonites du site Roussel, soldé par le calcul des réserves géologiques en catégorie C1 + C2 (C1 : réserves probables ; C2 : réserves possibles). [11]

**1976-1978** : les travaux de recherche et de prospection sur Roussel 2 et Dar Embarek 2. [3]

**1978** : les travaux de recherches et de prospection ont été exécutés sur le site Dar Embarek. [11]

**1979-1981** : SIDAM expertise et réévalue les réserves dans le cadre d'une étude de développement de l'industrie algérienne de bentonite, argiles activées et perlite expansée. [3]

**1991-1992** : évaluation des réserves de Dar Embarek 1 pour une utilisation en fonderie. [3]

En **1992** l'ORGM de Sidi Bel-Abbes a fait un rapport sur les travaux de prévision du gisement des argiles bentonitiques de Hammam Bouhrara (Site Dar Embarek). [11]

**1994** : SIDAM réévalue les réserves de Roussel 1 dans le cadre d'une étude de faisabilité préliminaire. [3]

Dans la même année : SIDAM "Experts conseils" a fait des cartes de distribution des paramètres chimiques et physiques des bentonites de la région de Maghnia. [11]

**2000-2001** : réalisation d'une carte qualité pour la partie en exploitation de la carrière Roussel 1. Cette carte est l'outil principal de la gestion des réserves qui

permet d'orienter les tout venants pour la terre décolorante ou pour la bentonite de forage. [3]

La carrière Roussel 1, représente l'unique chantier en exploitation à l'heure actuelle. Les argiles bentonitiques extraites sont destinées à la production des bentonites de forage et de la terre décolorante. Plusieurs campagnes ont été menées par des experts étrangers dans le but de rationaliser l'exploitation en se basant sur les informations et les données des travaux de prospection géologique.

L'ENOF, qui est l'entreprise issue de la restructuration de la société mère a suivi l'exploitation de la carrière pour assurer l'alimentation en matière première de l'usine de traitement.

Actuellement, par la filialisation de l'entreprise ENOF, l'unité Bental Maghnia qui produit des bentonites de forage, dispose de plusieurs sites d'exploitation : Roussel 1, Dar Embarek, RM (Rouge Maison) et Torba.

La carrière Dar Embarek, malgré ses réserves importantes, a été abandonnée au cours des années 80 pour des raisons de faible qualité du tout-venant.

Les travaux d'exploitation dans la carrière RM ont été arrêtés pour sa qualité médiocre, et la puissance importante de la découverte.

La carrière Roussel 1 actuellement en exploitation, renferme des réserves importantes, reste sous développée. Les travaux de recherches et de prospection effectués dans le passé ont adopté :

- 1- une maille de reconnaissance de 100 mètres.
- 2- les réserves sont connues en catégorie C1, C2.

## **II.2 PRESENTATION :**

### **II.2.1 Présentation de l'entreprise ENOF :**

Le groupe algérien ENOF (SPA) (Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles) exploite 18 mines et carrières répartis sur le territoire national. Il est organisé en 6 filiales depuis le 1er janvier 2001. Il produit une gamme variée de minerais non ferreux et des substances utiles non métalliques.

II.2.2 Présentation de la filiale BENTAL :

La Société des Bentonites d'Algérie, BENTAL, est une filiale du groupe ENOF Spa.

L'objet social de BENTAL est la recherche, le développement, la production, l'importation, l'exportation, et la distribution en l'état ou après transformation de tous produits miniers et substances minérales non métalliques.

Son activité consiste en la production et la commercialisation de la terre décolorante de tous produits bentonitiques.

L'ENOF a transféré à la société BENTAL le patrimoine et les activités des deux unités de Mostaganem et de Maghnia.

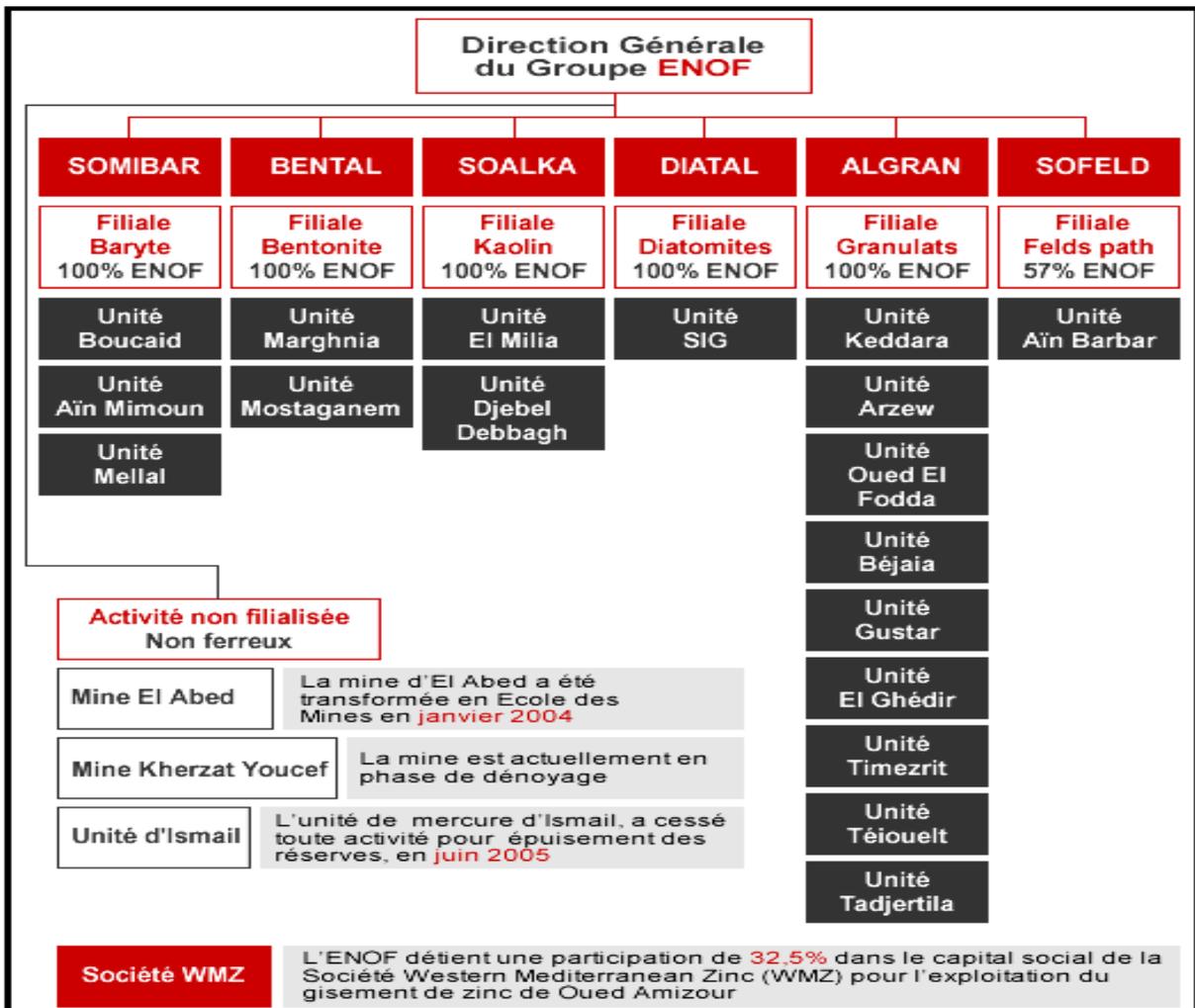


Figure II.1 : Organigramme du groupe ENOF.

**II.3 Présentation de l'unité MAGHNIA :****II.3.1 Situation géographique : [2]**

Cette unité est située à l'entrée est de la ville de Maghnia à 45Km de Tlemcen chef-lieu de la wilaya. Les gisements d'argiles bentonitiques brutes du district de Hammam Bouhrara sont situés à 15 Km à l'ENE de la ville de Maghnia, on y accède par une route qui traverse le village de Hammam Bouhrara, puis par des chemins de terre secondaires qui mènent aux différentes exploitations, situées entre 2 et 4 km au NO du village.

L'énergie, gaz et électricité, et l'eau sont disponibles. Le port d'Oran, deuxième ville du pays est à 160 Km au Nord Est, et celui de Ghazaouet, à 50 km au Nord.



Figure II.2 : Carte géographique de l'Algérie. [25]



Figure II.3 : carte de localisation des gisements de bentonite de Maghnia. [16]

Des lignes aériennes permettent de joindre à partir d'Oran et de Tlemcen, toutes les villes du pays et certaines en France et en Espagne. Maghnia est reliée au réseau ferroviaire national, lui-même relié aux réseaux marocain et tunisien. La frontière algéro-marocaine est très proche, 12 Km à l'Ouest.

En fait, plusieurs gisements sont connus et prospectés à l'intérieur du périmètre du titre minier détenu par la société.

Le district de Hammam Bouhrara, sur lequel BENTAL détient les droits d'exploitation en vertu de la loi minière N° 01/10, comprend 5 gisements :

Roussel (1et2), Dar Embarek, Torba et RM. Ils sont tous les 5 dans des conditions d'affleurement très favorables pour une exploitation à ciel ouvert.

L'exploitation actuelle de la bentonite est faite sur la carrière Roussel 1. Les argiles brutes sont traitées dans une usine qui se trouve en zone urbaine dans la ville de Maghnia, la production actuelle concerne :

- La bentonite de forage aux normes API, après dopage au carbonate de soude pour 13 000t/an.

### **II.3.2 Aperçu géologique : [3]**

Les argiles bentonitiques se développent autour d'un dôme hypovolcanique de rhyolite de direction NO-SE et mis en place au Miocène. Les volcanites affleurent parmi des terrains mio-pliocènes, et des alluvions quaternaires.

L'argile bentonitique provient de l'altération des rhyolites et des pyroclastites associées.

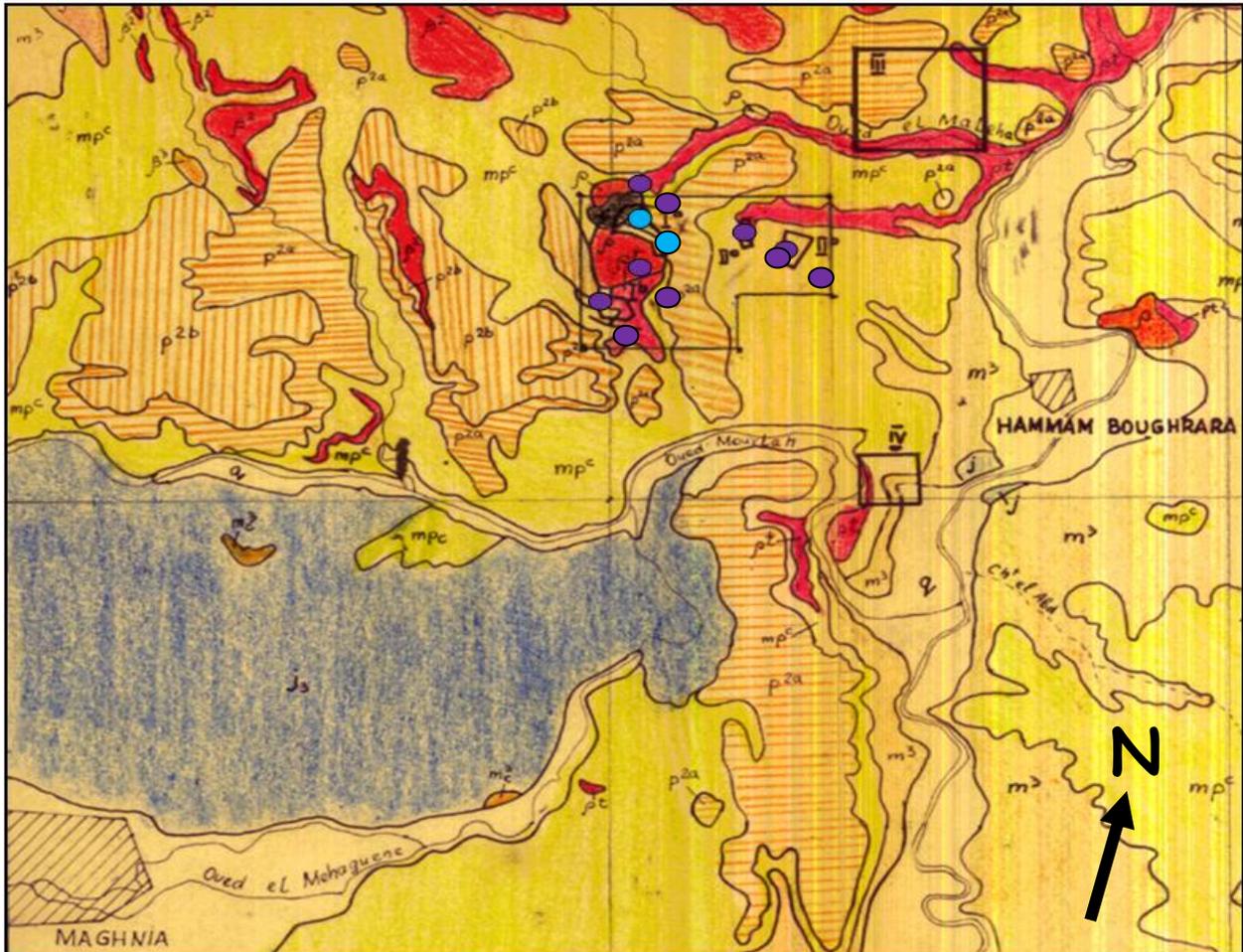
Actuellement l'exploitation se fait au niveau de la carrière Roussel 1, Le gisement d'argile bentonitique est formé de terrains volcano-sédimentaire du miocène supérieur.

Il se présente en couche d'une épaisseur qui varie entre 30 et 45 mètres et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du contact externe avec une direction de 130° NO-SE et un pendage entre 16° et 18°.

Cet ensemble est recoupé par des formations rhyolitiques et il est entièrement transformé, altéré en argiles bentonitiques.

Il existe plusieurs carrières (Roussel, DAR Embarek, TORBA.) qui sont exploitables, mais BENTAL exploite actuellement uniquement la carrière de Roussel, les autres constituent le potentiel de réserves (Figure II.4).

Le potentiel des carrières de Dar Embarek, Torba, est estimé à 2 millions de Tonnes.



- : Lieux d'exploitation (Roussel 1).
- : Lieux d'exploitation suspendue (Roussel 2, Dar Embarek 1et2, Rouge Maison et torba).
- : Basalte moyen du pliocène.
- : Tufs rhyolitiques argiles smectique, cinérite, du miocène terminal.
- : Rhyolites massives du miocène terminal.
- : Miopliocène continental niveaux alluvions assez fins généralement rubéfié.
- : Permo trias détritique.
- : Pliocène supérieur calcaire lacustres.
- : Pliocène supérieur conglomérats silicifiés
- : marne grés fin contenant de petits lits demarnes ainsi que des passages calcaireux dolomitiques
- : Miocène supérieur marin, marnes bleues a patine jaune contenant plusieurs niveaux détritiques.

Figure II.4 : Carte géologique-schématique de la région de gisement de Hammam Boughrara, échelle : 1/50000. [18]

**II.4 CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL : [8]****II.4.1 Cadre géologique régional :**

Dans la structure géologique, le miocène, le pliocène constituent les formations essentielles de la région et reposant en discordance sur les grès du jurassique supérieur.

**II.4.1.1 Le Miocène :**

Les formations du miocène affleurent le long de l'oued TAFNA. Elles reposent en discordance sur les formations jurassiques supérieures.

**II.4.1.2 Le Miocène inférieur :**

Débuté à sa base par des grès carbonatés massifs et des conglomérats, qui passe plus haut suivant la coupe à une puissante assise d'argiles carbonatées et des marnes avec des passés de grès de faible puissance. La partie supérieure de la coupe est constituée par des argiles carbonatées, sub-bentonitiques grises avec une teinte verdâtre.

**II.4.1.3 Le Miocène supérieur :**

Les formations du miocène supérieur se développent largement sur les carrières d'argiles bentonitiques de Hammam Boughrara. La base de la coupe est représentée par une assise de poudingues et de conglomérats et plus haut suivant la coupe des pyroclastites fin.

**II.4.1.4 Le Pliocène :**

Les formations du pliocène se développent largement sur la région des travaux et se composent des argiles, des grès, de matériaux argilo gréseux avec des lentilles de poudingues et conglomérats compacts. Ces formations reposent en discordance sur celles du miocène.

**II.4.1.5 Le Quaternaire :**

Il est représenté par des formations alluviales, dépôt à gros galets et blocs, provenant de l'ancienne terrasse de l'oued Tafna.

Les basaltes du quaternaire se rencontrent sous forme de petites nappes dans les carrières Dar Embarek, Roussel1 et Roussel2.

**II.4.1.6 Les roches magmatiques : [11]**

Les roches magmatiques de la région sont représentées par des rhyolites et des basaltes, Dans la région de Hammam Boughrara, les formations du miocène englobent des rhyolites qui forment deux petits massifs érodés en forme de coupole, l'un des massifs est associé au gisement de bentonite, l'autre situé à l'extrémité SE du village et fait l'objet d'études pour matière (quartz feldspathique).

-Les basaltes, dans la région du point de vue chronologique se divisent en formations miocènes et quaternaires.

-Les basaltes du quaternaire se retrouvent sous forme de petites nappes dans la région du gisement.

-Les basaltes du miocène se retrouvent sous forme de petits corps inter stratifiés sur la rive de l'oued Tafna.

**II.4.2 CADRE GÉOLOGIQUE DU SITE ROUSSEL 1 :**

Les formations du miocène supérieur, du pliocène et les formations quaternaires prennent part dans la structure du site.

**II.4.2.1 Miocène supérieur :**

Les argiles bentonitiques se placent le long du contact externe du massif extrudé et leur extension atteint 500m. La largeur des gîtes est de 100 à 120 m pour la partie Nord-ouest et de 60 à 70m pour la partie Sud Est du chantier Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du contact externe, l'épaisseur des bentonites diminue progressivement jusqu'à ce qu'elles disparaissent complètement. La couche de bentonite est de direction NO-SE, avec un faible pendage vers le NE (10° à 20°).

Suivant le contact externe du massif rhyolitique, s'est formé une bande étroite de perlite, perlites obsidiennes. La bande de perlite est entrecoupée par endroit

entre les coupes II-II' \_ III-III' (Figure II.4 et II.5), les perlites passent aux argiles bentonitiques, elles sont touchées par la bentonitisation.

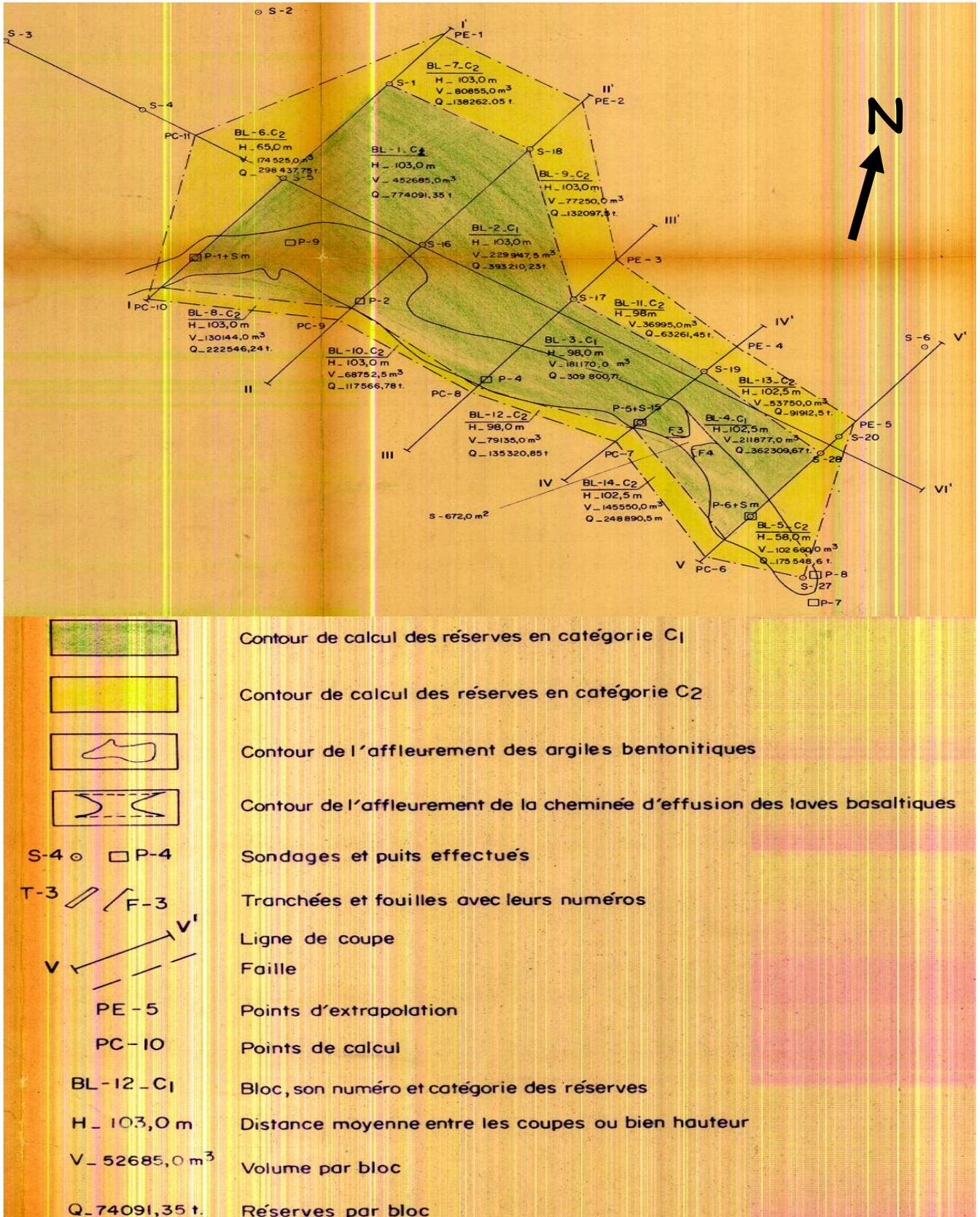


Figure II.5 : plan de calcul des réserves, année 1972, échelle :1/1000. [17]

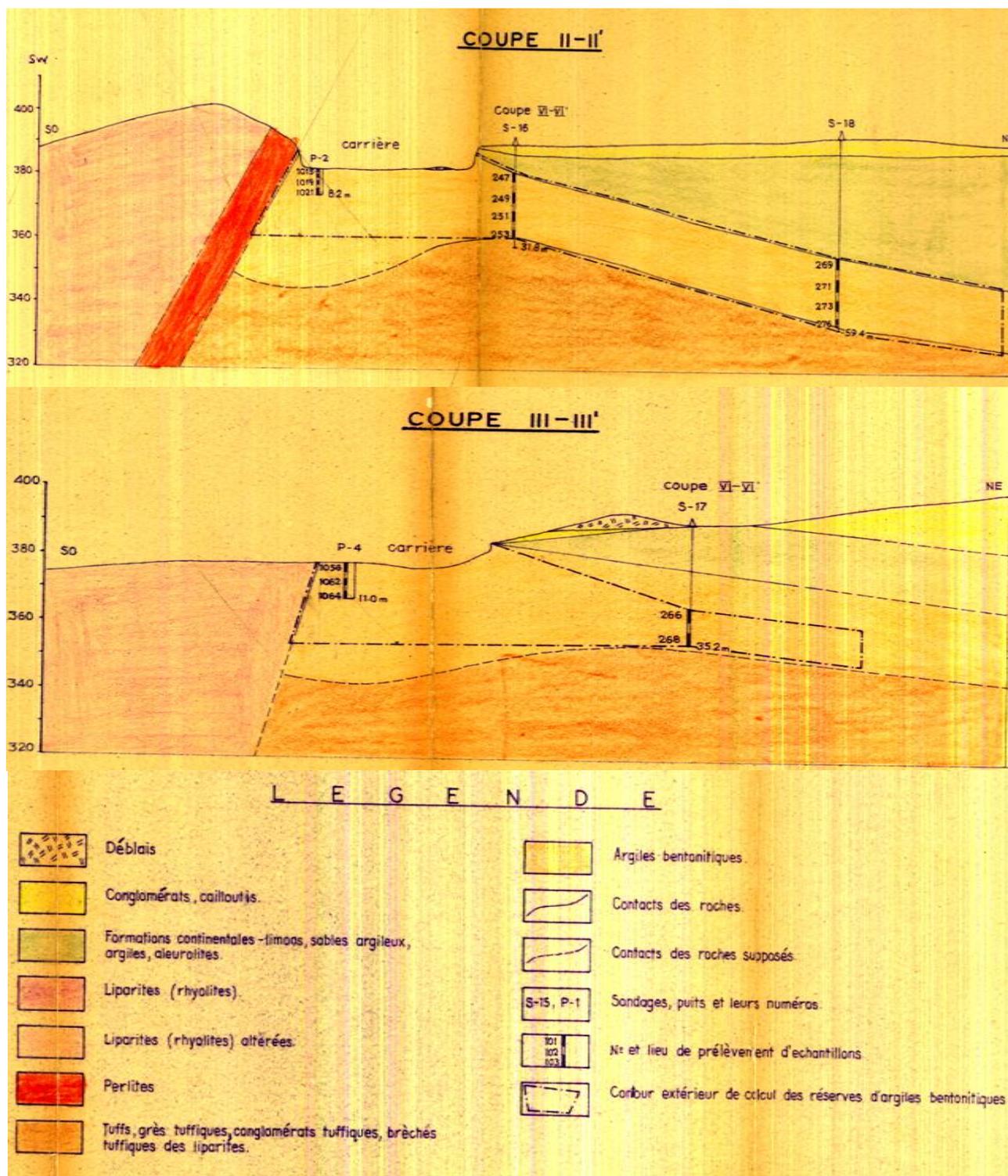


Figure II.6 : coupes géologiques, année 1972, échelle :1/1000. [17]

#### II.4.2.2 Le pliocène :

Il est représenté par une alternance des argiles, des silstones, grès et des argiles sableuses. La puissance varie de quelques mètres jusqu'à 50 - 60 m dans la partie Nord-Ouest, et atteint parfois 80-100 m dans la partie Sud-Est du chantier. Les terrains continentaux recouvrent en discordance les terrains pyroclastiques du miocène supérieur.

#### II.4.2.3 Le Quaternaire :

Il est représenté par des formations alluvionnaires qui englobent de puissants dépôts à gros galets et blocs. Leur épaisseur atteint 30 à 40 m. On trouve ainsi de petits dykes de basalte qui recoupent les formations du miocène et le pliocène.

#### II.4.2.4 Origine des gîtes :

La bentonite est le produit de l'altération interne de rhyolite, perlites, et des formations pyroclastiques. Le processus de transformation consiste dans l'évacuation de la silice, ce qui aboutit à l'enrichissement de la roche en alumine.

L'altération des roches mères résulte de l'action des solutions hydrothermales, de petites cheminées de basalte qui ont percé les rhyolites et les formations pyroclastiques ont pu servir de voies nourricières à ces solutions.

#### II.4.3 CADRE STRUCTURAL :

Les argiles bentonitiques résultent de la transformation des rhyolites, perlites et des tufs pyroclastiques, sous l'action d'un phénomène Hydrothermal, mise en place à la faveur des failles et des cassures. L'observation de la carte géologique montre une zone faillée principale F2. C'est une faille dominante de direction NO SE, décalée par des failles de direction ONO-ESE. La zone faillée F2 passe au milieu de la carrière entre P2 et S 16, P4 et S17, P5 et S19. (Figure II.4)

Le long de cette zone faillée F2, on note une bentonitisation complète sur les tufs pyroclastiques, les fragments de rhyolite sont complètement transformés en bentonite.

La zone faillée F1 qui marque le contact externe du dôme rhyolitique, est de direction NO-SE, décalée par des failles de direction ONO- ESE.

La bentonitisation serait totale le long de la zone faillée principale qui passe par le milieu de la carrière. La meilleure qualité de la bentonite se trouve en effet à cet endroit.

#### II.4.3.1 Impact sur l'exploitation :

Les paramètres géologiques qui régissent directement sur la qualité et la quantité de bentonite sont :

- Les failles.
- Nature de la roche mère à partir de laquelle se développent les argiles bentonitiques.
- La proximité de promontoires (collines) de rhyolites.
- Phénomène d'altération (bentonitisation) qui régit sur les tufs pyroclastiques dont il délimite de couche de gisement.

Il apparaît bien que l'exploitation doit s'effectuer au niveau central de la carrière.

Le long de la zone faillée principale F1, la bentonite répond aux qualités bentonite de forage, ainsi près de dôme de part et d'autre de la zone faillée F2, la bentonite répond aux qualités d'utilisation de la terre décolorante.

#### II.4.3.2 Description pétrographique et minéralogique des Roches : [8]

##### 1- Les rhyolites :

C'est une roche crypto cristalline à grain fin, grise et gris clair, teinté de vert et de rose, compacte et assez dure, qui renferme des microlithes et parfois des phénocristaux de quartz transparent bi pyramidaux et de feldspath.

La texture est fluidisée parfois rubanée. Suivant les plans de diaclases, les roches sont faiblement lessivées. Dans la partie Sud Est du chantier, le massif rhyolitique est affecté par un réseau de fractures de direction (NO-SE, NE-SO).

##### 2- Les perlites :

C'est une roche gris clair, dure, massive, avec des rares petites vacuoles dues au lessivage, et une pâte vitreuse où l'on observe des microlithes de feldspath et de quartz transparent de 1 à 1.5 mm de taille. Elle un éclat cireux et vitreux. L'encadrement perlitique a un caractère discontinu. On note le développement de la bentonitisation dans les fissures de cette bande de perlite.

### 3- Les argiles bentonitiques :

Les argiles bentonitiques se divisent selon son origine en trois types :

a-Argile bentonitique d'origine rhyolitique.

b-Argile bentonitique d'origine tuf pyroclastique fin.

c-Argile bentonitique d'origine tuf pyroclastique grossier.

#### **a-argile bentonitiques d'origine rhyolitique :**

La bentonite s'est formée à partir de la roche mère rhyolite, perlite, obsidienne. Elle est de couleur blanchâtre, rosâtre, parfois verdâtre, onctueuse au toucher, savonneuse et conservant la texture fluidale primaire. La teneur en sable est faible. Parmi ces bentonites on observe de petits lambeaux de perlites.

Cette variété de bentonite est la meilleure qualité, viscosité sup. à 20 C.P., refus inf. à 18%, PDN sup. 85%.

On la rencontre le long du contact externe du massif rhyolitique.

#### **b-argile bentonitique d'origine tufs pyroclastiques fins :**

La bentonite s'est formée à partir des tufs pyroclastiques gréseux. Le matériel détritique est mal classé et consolidé par un ciment tufier. On rencontre des éléments anguleux dont la taille varie entre plusieurs millimètres et 5cm, les fragments de roche et le ciment ont une composition rhyolitique, le toucher est rugueux, en terme de sable élevé supérieur à 22%.

Avec la profondeur, la roche devient onctueuse. La teneur en sable est faible ce qui indique que la bentonitisation est plus intense en profondeur.

On la rencontre au milieu de la carrière entre la zone faillée F1 et F2.

Cette variété de bentonite répond aux qualités d'utilisation de terre décolorante PDN supérieur à 80, refus inférieur à 22.

#### **c-Argile bentonitique d'origine tuf pyroclastique grossier :**

La bentonite s'est formée à partir des tufs pyroclastiques grossiers, des blocs centimétriques emballés dans les argiles bentonitiques blanc-grisâtres. Les fragments de rhyolite sont complètement transformés en bentonite le long de la zone faillée.

C'est une roche blanchâtre à grisâtre, onctueuse, savonneuse. La teneur en sable est faible, viscosité supérieure à 15cp, cette variété de bentonite répond aux qualités d'utilisation de bentonite de forage.

Au fur et mesure qu'on s'éloigne de la zone faillée qui passe par le milieu de la carrière vers le nord-est, la bentonitisation est incomplète et cela est due à la présence de blocs de rhyolite, des filons de gypse.

#### **II.4.3.3 Réserves du gisement bentonitique de Roussel 1 :**

Les réserves géologiques globales des carrières sont de 3 140 000 tonnes. Les réserves exploitables étaient de 1 060 000 tonnes à la fin de l'année 2000. (Voir **Tableau II.1**)

**Tableau II.1** : Réserves des gisements d'argiles bentonitiques de Hammam Boughrara. [1]

Gisements	Paramètres	C1 : Probables	C2 : Possibles	Total
Dar Embarek I	Réserve en 10 <sup>3</sup> Tonnes	1860	2860	4720
	Viscosité cp	12.9	11.4	12
	PDV-lin	76	76	76
	PDHT-VAC	78	77	77
	Indice de gonflement			10.5 - 19.2
	Résistance à la compression à sec			2.16 - 2.68
	Résistance à la compression à vert			7.67 - 7.9
	Résistance au cisaillement			2.52
	Teneur sable%			23.8
	Fraction argileuse			76
Dar Embarek II	Réserve en 10 <sup>3</sup> tonnes		663	663
	Viscosité cp			25.2
	Teneur sable%			20.5
	Teneur en colloïde			52.6
	Indice bentonitique			18.4
	Pouvoir absorption			231
Roussel I (en Exploitation)	Réserve en 10 <sup>3</sup> tonnes	1635	1510	3140
	Réserve exploitables 10 <sup>3</sup> tonnes	674	386	1060
	Viscosité cp			14.4
	PDV-lin			79
	PDHT-VAC			79
Roussel II	Réserves en 10 <sup>3</sup> tonnes	1640	740	2380
	Viscosité cp	26.4	26.6	26.5
	Teneur sable %	18.9	17.8	18.5
	Teneur en colloïde	38.4	41.4	39.2
	Indice bentonitique	15.1	15.8	15.5
	Pouvoir absorption	172	197	185
Total des réserves géologiques du district			11 M Tonnes	

**Tableau II.2** : Composition chimique des argiles bentonitiques de Maghnia comparées à d'autres bentonites. [1]

%	Sud USA	Wyoming	<b>Maghnia</b>	Mostaganem
SiO <sub>2</sub>	59.00	64.30	<b>58.89</b>	65.50
TiO <sub>2</sub>	Nd	Nd	<b>0.28</b>	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.40	19.80	<b>17.37</b>	13.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.10	4.04	<b>3.32</b>	2.91
FeO	1.26	2.60	<b>Nd</b>	0.70
MnO	Nd	Nd	<b>0.07</b>	0.03
MgO	2.86	2.03	<b>3.37</b>	2.27
CaO	3.88	0.73	<b>1.06</b>	1.86
Na <sub>2</sub> O	0.41	2.81	<b>1.32</b>	2.22
K <sub>2</sub> O	0.78	0.44	<b>1.30</b>	0.97
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.91	1.14	<b>4.46</b>	3.27
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	5.40*	2.11*	<b>8.26</b>	6.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nd	Nd	<b>0.05</b>	0.06
SO <sub>3</sub>	Nd	Nd	<b>0.68</b>	0.02
Total	100.00	100.00	<b>100.43</b>	99.99

Nd : non déterminée

D'après leur composition chimique, les bentonites de Maghnia sont intermédiaires : La teneur en Na<sub>2</sub>O est trop faible pour une orientation vers une bentonite de forage de haute qualité par contre sa teneur en MgO est suffisamment élevée et celle du fer assez faible pour une orientation vers les terres décolorantes. L'utilisation dans les boues de forages est possible après activation au carbonate à la soude. [10]

Ce positionnement intermédiaire dans les caractéristiques de la composition chimique des bentonites de Maghnia fait que la production de qualité élevée en terre décolorante ou bentonite de forage est difficile voire exclue en raison des coûts de traitement prohibitifs qui ne permettront pas la compétitivité. Il est possible toute fois et après un traitement moins onéreux d'obtenir des produits à orienter vers des applications de 2 ou 3 qualités.

**Tableau II.3** : Critères requis des argiles bentonitiques brutes pour différentes applications industrielles : [5]

qualité	spécifications	Applications industrielles	Les bases de traitement
1 <sup>ère</sup> qualité	Na <sub>2</sub> O > 2%	Pelletisation minerais Fe	Pelletisation : Séchage 10% humidité
	Indice de gonflement > 20	Boues de forage 1 <sup>ère</sup> qualité pour forage profond	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 20	Fonderie 1 <sup>ère</sup> qualité (moules)	Forage, fonderie et génie civil : séchage < 5% humidité Broyage 85-90% < 74μ
	SiO <sub>2</sub> 55-65%		
	CaO < 2%	Génie civil injection	
2 <sup>ème</sup> qualité	Na <sub>2</sub> O	Boues de forage 2 <sup>ème</sup> qualité (Forage Minier et hydraulique)	Séchage < 5% humidité max Broyage 85-90% < 74μ
	Indice de gonflement > 20		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fonderie 2 <sup>ème</sup> qualité	
	SiO <sub>2</sub> 55-65%	Génie civil injection	
	CaO	Charge industrielle	
3 <sup>ème</sup> qualité	Indice de gonflement >	Traitement des eaux	Séchage < 10% humidités max Broyage 85-90% < 74μ
	Propriétés chimiques ne répondant pas aux qualités précédentes	Charge industrielle	
		Génie civil injection	

**II.4.3.4 : Conditions hydrographiques : [9]**

Le rapport [26] signale que La carrière Roussel 1 ne dispose pas de canaux d'exhaure, il se forme pendant la période des pluies des marnes d'eau au fond de la carrière qui durent assez longtemps, cette situation entrave considérablement les travaux d'exploitation.

Le rapport [19] a recommandé de déchausser le parement SE, et de creuser deux canaux d'évacuation d'eau, au milieu de la carrière, l'autre près de sondage S 27.

**CHAPITRE III**  
**NOTIONS D'EXPLOITATION**  
**A CIEL OUVERT**

Au cours des temps géologiques, des gisements de minerais de différentes natures se sont constitués. Depuis l'antiquité, les hommes se sont mis à exploiter ces matériaux en employant différents procédés d'exploitation. [21]

L'exploitation minière est une opération technologique qui consiste à extraire une substance utile du sol et du sous-sols et même en mer en quantité industrielle dans un objectif de commercialisation. [6]

On appelle mine à ciel ouvert (C O) l'ensemble des ouvrages réalisés pour l'exploitation des gisements minéraux à ciel ouvert. L'extraction se fait à l'air libre, soit à flanc de colline, soit dans une fosse qui va en s'approfondissant et en s'élargissant. [21]

### **III.1 Choix de l'implantation d'une mine à C O :**

L'implantation d'une carrière obéit à plusieurs critères :

#### **III.1.1 Critères géologiques :**

Les caractéristiques géologiques d'un gisement et des terrains encaissants sont prépondérantes dans le choix des méthodes et du matériel d'exploitation :

- La structure du massif ;
- La profondeur, la puissance et le pendage du gisement ;
- L'importance et la qualité des réserves ;
- Tectonique locale et régionale (failles, plis...)
- Hydrogéologie locale et régionale

#### **III.1.2 Critères techniques :**

Cela concerne principalement :

- ✓ Le choix du personnel d'exploitation ;
- ✓ Le choix du matériel d'exploitation ;
- ✓ Le mode d'attaque du gisement ;
- ✓ Les stades successifs de l'exploitation ;

- ✓ L'aménagement des pistes et infrastructures d'exhaure de la mine ;
- ✓ L'emplacement de l'aire de stockage du minerai et des terrils ;

### III.1.3 Critères économiques :

Telles quelles seront les considérations économiques, elles doivent s'appuyer sur les conditions naturelles données et sur les moyens techniques choisis.

Parmi les aspects qui doivent être analysés sont :

#### a) La limite d'exploitabilité :

C'est la profondeur maximale d'une exploitation à C O, qui garantit une stabilité des parois générales de la fosse minière.

C'est la raison pour laquelle on découpe le gisement et sa couverture en gradins caractérisés par une hauteur, une largeur et un angle de talus pouvant assurer une grande stabilité aux parois de la carrière à une profondeur la plus grande possible.

Afin de réduire le volume total de la découverte on doit minimiser le rapport :

$$x = \frac{T (\text{volume stérile})}{M (\text{volume minerai})}$$

Il y a intérêt à ce que la pente moyenne des parois de la fosse soit aussi forte que possible. Mais l'emploi d'engins puissants conduits à des banquettes plus larges. D'autre part, la foration et les tirs ne permettent pas d'augmenter la hauteur des gradins dans les mêmes proportions que les largeurs des banquettes.

#### b) La limite économique :

C'est la profondeur maximale à laquelle le prix de revient total du m<sup>3</sup> (ou de la tonne) de minerai dans l'exploitation à ciel ouvert (y compris la découverte) est égal au prix de revient du m<sup>3</sup> (ou de la tonne) de minerai dans l'exploitation souterraine du même gisement.

La valeur du minerai est le critère économique des travaux à C O. La quantité de stériles nécessaire à déplacer, en m<sup>3</sup>, pour extraire 1 tonne de minerai est appelée coefficient ou rapport de découverte x. Soit :

$c$  : prix de revient du m<sup>3</sup> de stérile déplacé (prix de revient de la découverte).

$T$  : volume total de stériles à exploiter.

$M$  : tonnage total de minerai à exploiter.

Soit encore : Rapport de découverte :

$$x = \frac{T}{M}$$

La limite économique de l'exploitation à ciel ouvert résulte de l'égalité :

$$a = b + \frac{cT}{M}$$

Où :  $a = b + cx$

D'où :  $x = \frac{(a - b)}{c}$

Cette relation exprime une condition nécessaire mais pas suffisante et un choix définitif doit se baser sur l'examen du mode d'exploitation, des moyens mis en œuvre, des conditions naturelles et de l'organisation des travaux.

Les critères discutés ci-dessus et d'autres (environnementaux, sociaux, ...) interviennent directement dans le choix de l'implantation, de la méthode et du matériel d'exploitation d'une mine à C O.

### III.2 Les aspects technico-économiques dans une exploitation minière : [6]

#### III.2.1 Aspects techniques :

Il s'agit de l'ensemble des paramètres qui entrent dans la technologie d'extraction du minerai :

- L'importance du recouvrement au-dessus du matériau à exploiter en vue du calcul du coût de revient de la découverte.
- les conditions d'extraction des matériaux et du recouvrement (stérile, intercalaire, forme du gisement (à sec ou en eau).
- disponibilité de l'eau, énergie (électrique principalement).
- difficulté particulière d'élaboration des matériaux (traitement minéralurgique).

### III.2.2 Aspect économique :

Le coût d'extraction d'une manière générale est élaboré à partir des éléments liés à l'exploitation des gisements :

- ✓ La localisation qui conditionne les coûts de transport.
- ✓ Les conditions d'accès et les possibilités d'évacuation des matériaux.
- ✓ Le coût des terrains ou du forage (redevance à l'extraction), droit de concession.

### III.3 LE SECTEUR DES EXPLOITATIONS MINIÈRES : [6]

#### III.3.1 Types d'exploitations minières :

Selon la profondeur du gisement et du prix de revient d'extraction du minerai ce secteur se subdivise en 2 types : exploitation à ciel ouvert et exploitation souterraine.

Pour le secteur de l'exploitation à ciel ouvert les paramètres décisifs sont :

- Faible profondeur ou gisement affleurant.
- Prix de revient d'une exploitation à ciel ouvert inférieur au prix de revient d'une exploitation souterraine.
- Gisement s'étalant sur une grande surface.
- Sécurité et rendement accrus par rapport au souterrain.

Pour le secteur de l'exploitation souterraine les paramètres décisifs sont :

- Epaisseur du recouvrement important.
- Gisement est très souvent penté.
- Prix de revient du minerai à l'extraction inférieur au prix de revient du minerai à ciel ouvert.

La mine doit avoir un projet économiquement viable.

#### III.3.2 Exploitation à ciel ouvert :

Le secteur des exploitations à ciel ouvert englobe toutes les formes d'extraction des matériaux utiles à partir du gisement se trouvant à faible profondeur

Pour ce type de gisement le choix d'une exploitation à ciel ouvert est vite arrêté car il est beaucoup plus facile à mettre en place une telle technologie à moindre

frais. Le gisement est mis à nu par enlèvement des roches de recouvrement (terrain de recouvrement ou mort terrain) pour permettre l'accès au gisement.

### III.3.3 Mode d'extraction à ciel ouvert :

Selon les propriétés physiques des matériaux bruts (dureté, densité, consolidation...) et les contraintes imposées par la nature du site, il existe différents modes d'extraction :

- **Extraction à sec** : substance dure ou tendre.

Si le matériau est trop dur pour pouvoir être excavé directement, il doit d'abord être abattu à l'explosif. Il est ensuite chargé mécaniquement et transporté vers les ateliers de préparation mécanique (traitement). Pour les roches tendres, elles sont directement chargées dans les engins de transport.

- **Extraction à l'eau** :

Ce sont généralement des gisements alluvionnaires, extraits par dragage où les matériaux non consolidés sont récupérés par voie mécanique ou hydraulique puis transportés vers les postes de préparation mécanique.

## III.4 Le choix d'une méthode d'exploitation : [6]

### III.4.1 Critère de choix de la méthode d'exploitation :

Le choix de la méthode adéquate est difficile car il repose sur plusieurs paramètres avant tout projet d'exploitation d'ouverture d'une mine ou d'une carrière.

Une étude géologique et géotechnique doit être faite à fin de faire accepter l'ouvrage par la nature sans compromettre sa sécurité. La reconnaissance est loin d'être parfaite.

Il est important de noter que la méthode d'exploitation retenue soit bien adaptée au contexte du moment puisque elle conditionne la récupération du gisement donc de réserves exploitables :

#### A- La forme géométrique des corps minéralisés :

Elle est rarement bien connue au départ. Elle décide en premier lieu du type de méthode et largement des infrastructures qui seront nécessaires.

**B- La mécanique des roches :**

Elle permet dans la plupart des cas de dimensionner les ouvrages et de ce fait restreint l'éventail des méthodes possible.

**C- Disponibilité du matériel :**

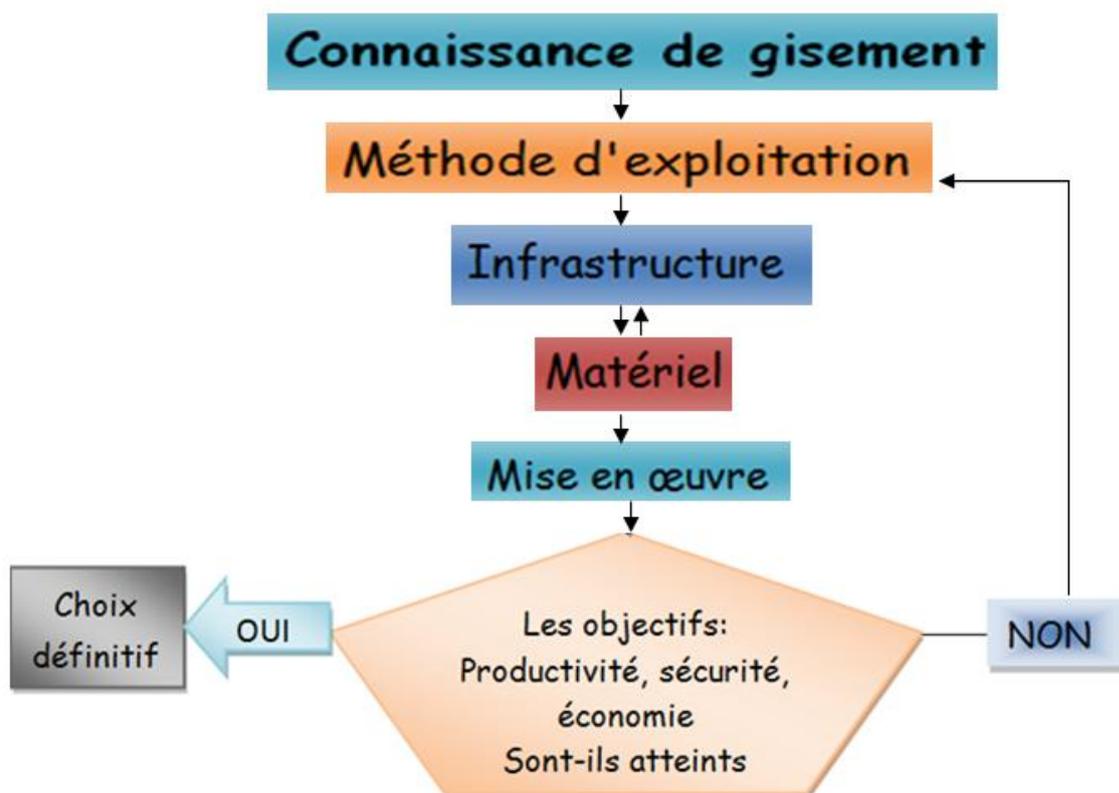
Elle est nécessaire pour réaliser les différentes opérations d'abattage (mécanisation ou explosif).

**D- Débloçage et soutènement :**

Consistant à abattre le minerai et son évacuation ainsi que d'assurer le maintien de toit stable ce qui peut encore limiter le choix.

**E- L'environnement de l'exploitation :**

Il peut faire rejeter des méthodes seraient techniques possibles.



**Figure III.1** : Organigramme du choix d'une méthode d'exploitation. [6]

**Tableau III.1** : mode d'extraction des gisements d'affleurement et principales matières premières extraites.

Gisement de matériaux consolidé	Gisement de matériaux non consolidé		
Extraction à sec	Extraction	Dragage	
-Matériaux de construction. -Calcaire. -Gypse. -Feldspath. -Pierres précieuses, rubis, saphier. -Diamant. -Schiste isotumineux. -Charbon. -Minerai d'Uranium. -Minerai métallique (Cu, Fe, Ag, Si).	-Sable. -Gravier. -Argile. -Phosphate. -Kaolin. -Lignite. -Cassitérite. -Diamant, Cu. -Minéraux lourds (illuministe, rutile, zircon). -Minerai riche en -Terre rare.	à l'intérieur des terres	Sur le plateau continental
		-Sable. -Gravier. -Diamant, Or. -Minéraux lourds. -Cassitérite.	-Diamant. -Cassitérite. -Minéraux lourds (illuministe, Rutile, zircon, monazite).

### III.4.2 Infrastructure d'exploitation à ciel ouvert :

#### a) Ossature d'une exploitation à ciel ouvert :

Elle est constituée de deux grands ensembles d'ouvrage :

- Carreau de la mine (bâtiments, ateliers, usines, traitement, village minier, infrastructure routière).
- Ouvrages miniers à ciel ouvert : piste principale, gradins (minerai, terril).

#### b) Les étapes d'une exploitation à ciel ouvert :

Le processus technologique de l'exploitation à ciel ouvert passe par plusieurs étapes qui sont :

- ❖ **Délimitation sur le terrain de la surface du gisement (sur la surface du champ minier ou de la concession) :**

Bornage de la carrière ou de la mine à ciel ouvert dans le périmètre de la concession (travaux d'arpentage et implantation des limites).

- ❖ **Assèchement** du champ de la carrière à ciel ouvert et prise de mesure contre la venue d'eau (détournement des cours d'eau loin de la future mine ou carrière à ciel ouvert).
- ❖ **Ouverture de la mine.**
- ❖ **Travaux d'extraction** (enlèvement de la substance utile).
- ❖ **Aménagement des sites à stérile et réaménagement de site après l'exploitation.**

c) Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert :

Pour exploiter un gisement à ciel ouvert on le partage en tranches horizontales suivant le caractère d'homogénéité du stérile et de matériaux utiles.

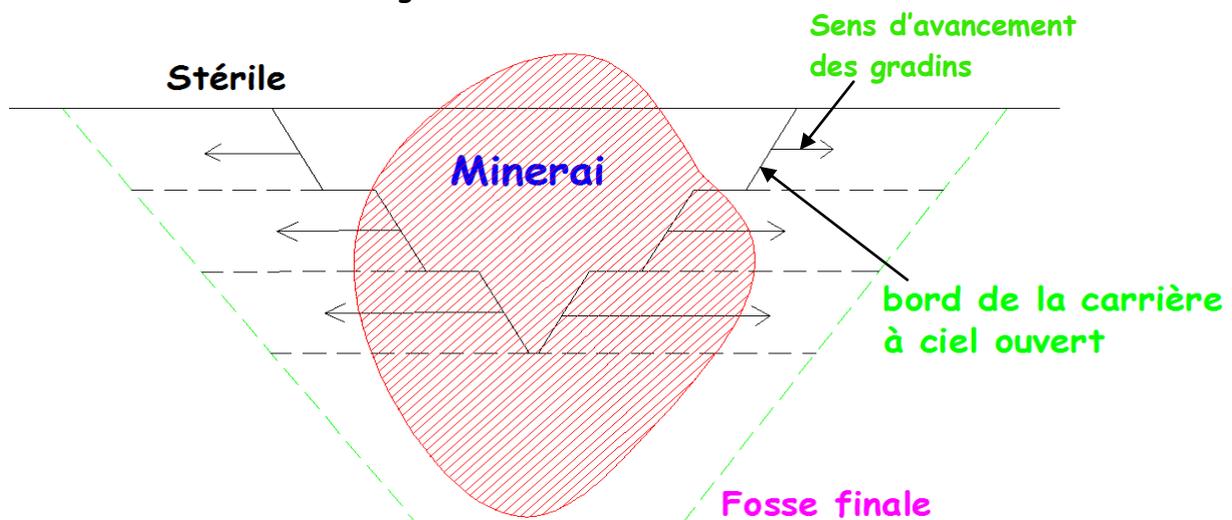


Figure III.1 : Exploitation par gradins (méthode de la fosse).

Au cours de l'exploitation les tranchées horizontales prennent la forme des gradins. Les gradins sont exploités par zone délimitées sur toute la largeur du gradin qu'on appelle : **enlevure**.

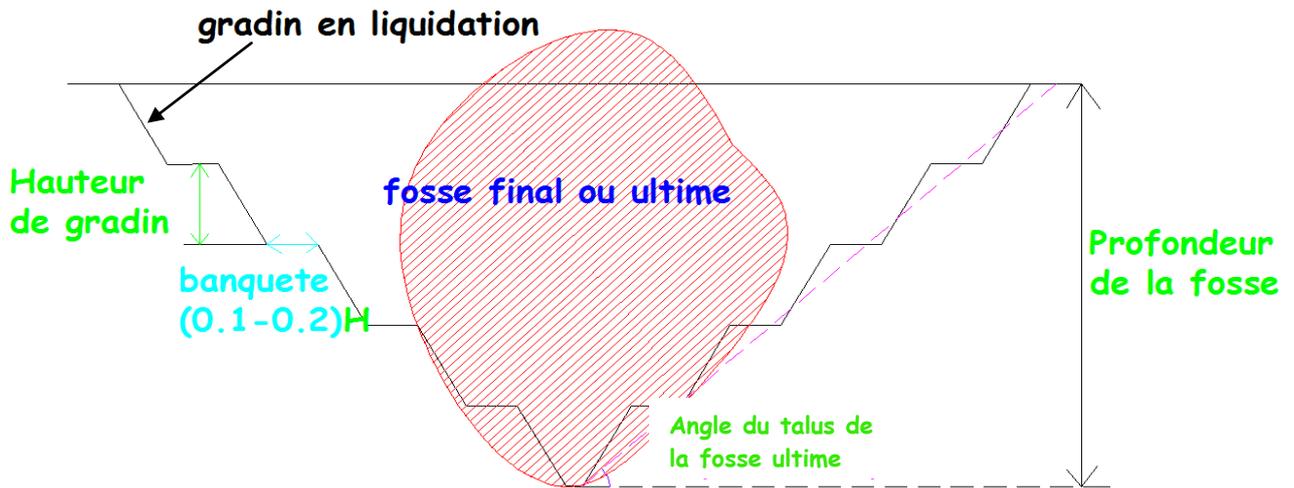


Figure III.2 : Schéma de la carrière en fin de l'exploitation.

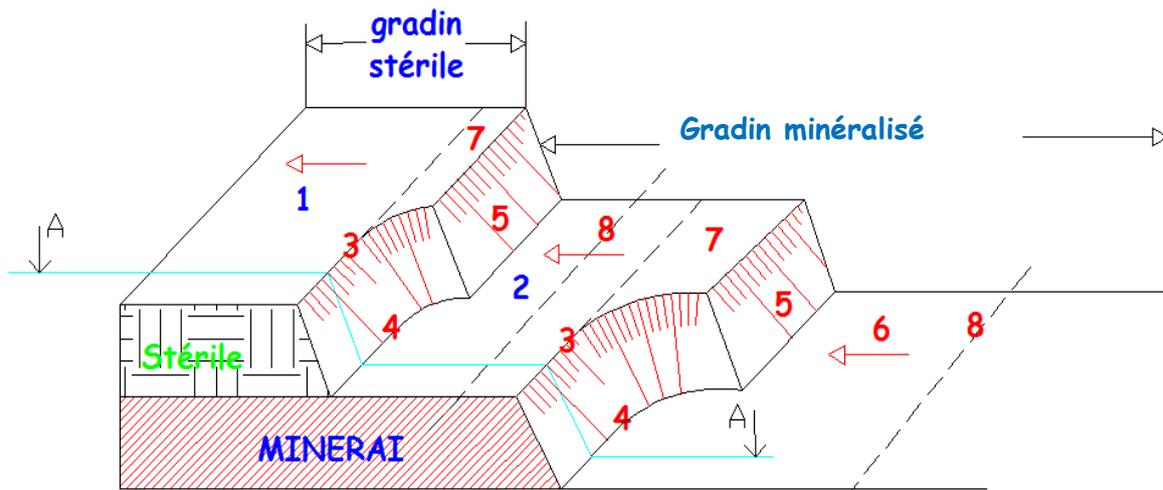


Figure III.3 : Formes des gradins au cours de l'avancement de l'exploitation.

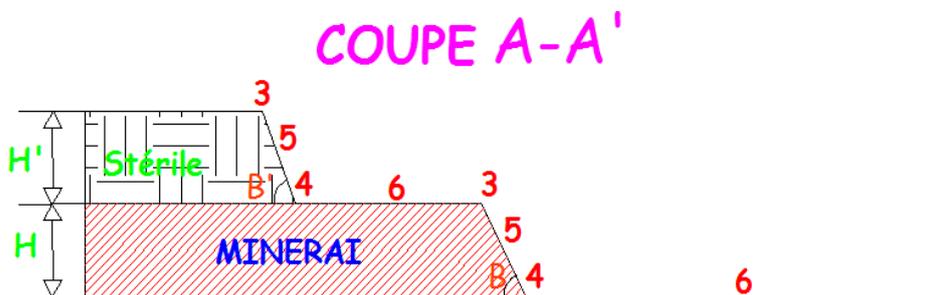


Figure III.4 : Coupes à travers les gradins.

- 1 : Gradin de stérile.
- 2 : Gradin de minéralisation.
- 3 : Arête supérieure.
- 4 : Arête inférieure.
- 5 : Talus.

6 : Plate forme.

7 : Tranche d'enlèvement.

8 : Axe de la tranchée ou piste d'accès au gradin.

$\beta'$  : angle de talus du stérile (Tableau III.2).

$\beta$  : angle de talus du minerai.

$H'$  : hauteur de stérile.

$H$  : hauteur de minerai.

**Tableau III.2** : Angle de talus du gradin du bord inexploitable. [24]

Caractéristique des roches	Coefficient de la durée selon protodiakonov	Angle de talus du gradin	Angle de talus du bord inexploitable pour une profondeur finale de la carrière correspondant			
Extrêmement dure	15-20	75-85	60-68	57-65	53-60	48-54
Dure	8-14	65-75	50-60	48-57	45-53	42-48
Dureté moyenne	3-7	55-65	43-50	41-48	39-45	36-43
Tendre	1-2	40-55	30-43	28-41	26-39	-
Meuble végétale	0.6-0.8	24-40	21-30	20-28	-	-

L'angle de talus du bord inexploitable dépend aussi des particularités constructives de ce bord. Il peut être calculé par la formule suivante : [24]

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H_c}{\sum bs + \sum bt + \sum hg \operatorname{ctg} \alpha}$$

Où :  $H_c$  : profondeur finale de la carrière (m).

$bs$  : largeur de la berme de sécurité (m). (Figure III.4)

$bt$  : largeur de la berme de transport (m).

$hg$  : hauteur du gradin (m). (Tableau III.3)

$\alpha$  : Angle de talus du gradin (°). (Tableau III.2)

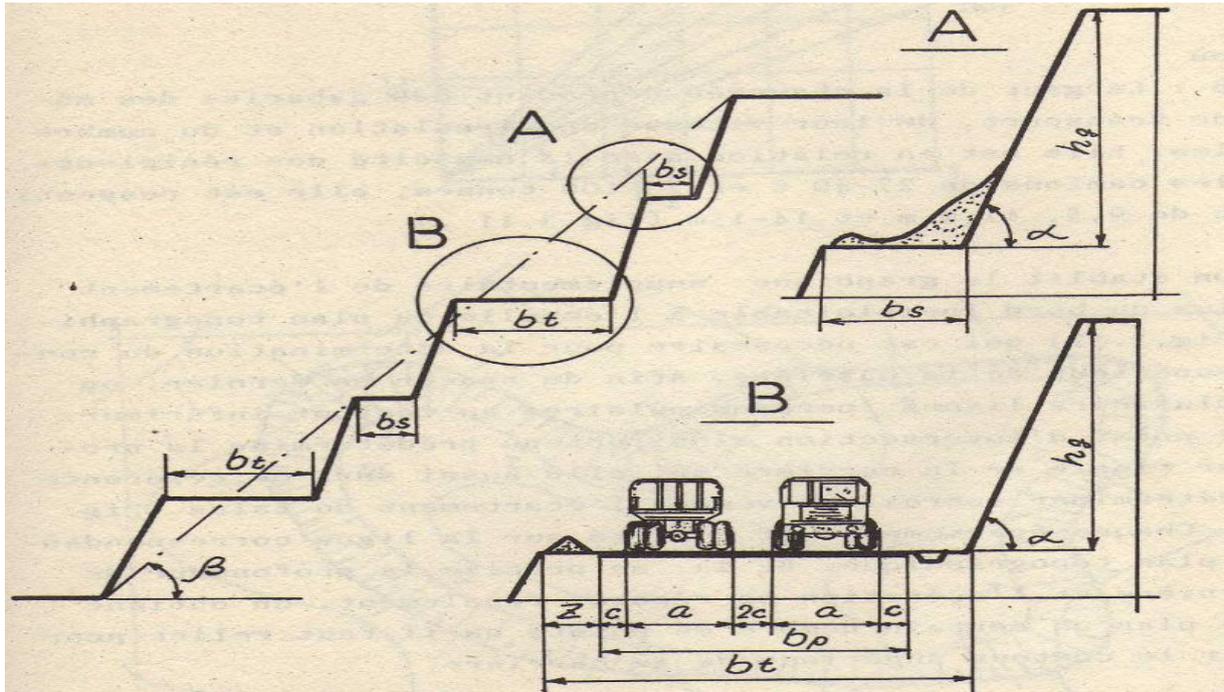


Figure III.4 : Détermination de l'angle du talus du bord inexploitable. [24]

A : paramètre des bermes de sécurité.

B : paramètre des bermes de transport.

Tableau III.3 : Hauteur maximale du gradin pour différents types de pelles mécaniques. [24]

Capacité du godet de la pelle mécanique	Hauteur maximale du gradin (m)	
	Dans les roches tendres	Dans les roches dures
2m <sup>3</sup>	8.5	12.5
3.2m <sup>3</sup>	10.0	14.5
5m <sup>3</sup>	11.0	16.5
8m <sup>3</sup>	12.5	19.0
12m <sup>3</sup>	15.6	23.5
20m <sup>3</sup>	18.0	27.0

c.1 Travaux d'ouverture :

Les travaux d'ouverture d'une exploitation à ciel ouvert comprennent les processus de dégagement et de déplacement des roches stériles et de recouvrement par la construction de piste ou rampe principale.

La construction de la tranchée au rampe principale d'accès au niveau supérieur se fait lors l'ouverture du gisement, celle-ci démarre de la station de concassage primaire jusqu'au niveau de préparation de premier gradin.

On exécute son dessin sur le plan topographique du site puis en réalise son profil en long, en mentionnant ses paramètres ou ses caractéristique (longueur, largeur, pente, rayon de courbure), on calcule le volume de déblais enlevé et de remblai, grâce à l'exécution des profils en travers.

### c.2 Travaux préparatoires :

Les travaux de développement préparatoires signifient tout les travaux qu'il y a lieu d'entreprendre (réaliser), dans le cadre de la préparation de gradins pour l'abattage on l'appelle : **le gradin en préparation**,

On y accède par une tranchée d'accès, à la côte de démarrage de la construction de la plateforme du travail, on prépare la construction d'un gradin qui évoluera au fur et à mesure de l'avancement des travaux ; jusqu'à atteindre la côte finale pour laquelle ce gradin atteindra la hauteur fixée dans le projet d'exploitation, à ce niveau le gradin est dit : **le gradin en production**.

### c.3 Travaux de l'exploitation (d'extraction proprement dite) :

Les gradins qui reculent au cours de l'exploitation à ciel ouvert sont appelés gradins en production ou en extraction, les autres gradins, appelés **banquettes** qui limitent les plateformes étroites de largeur conventionnelle :  $(0.1 \text{ à } 0.2) \times H$  sont destinées à augmenter la stabilité de leur talus. Les grands gradins sont dits en fin d'exploitation ou gradins en liquidation.

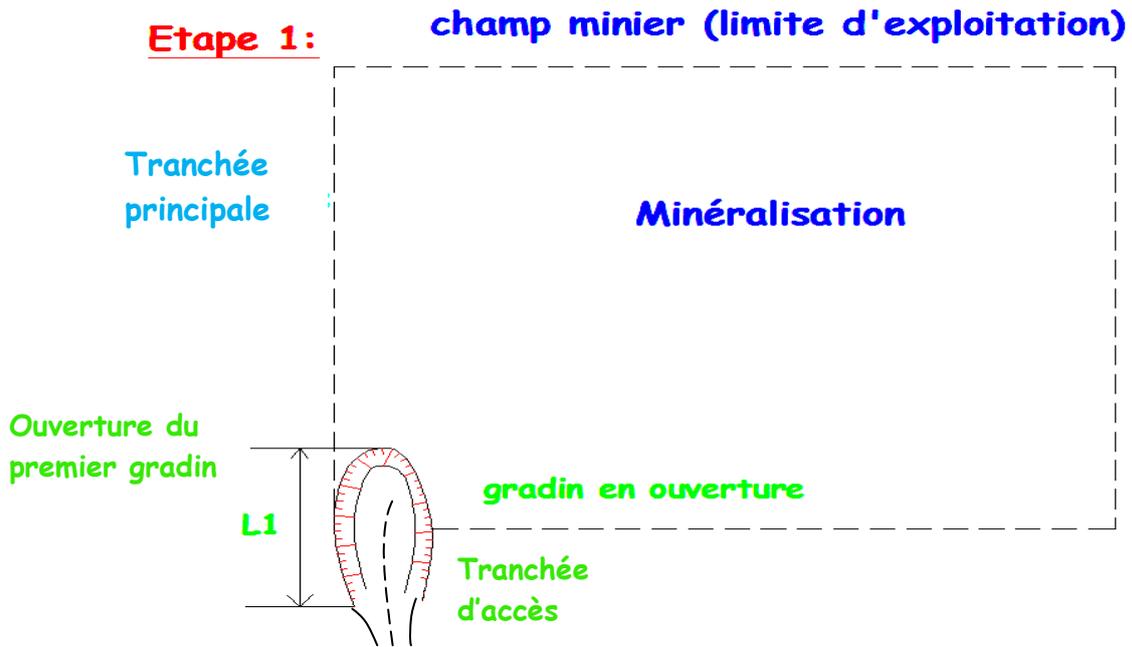


Figure III.4 : Ouverture du premier gradin.

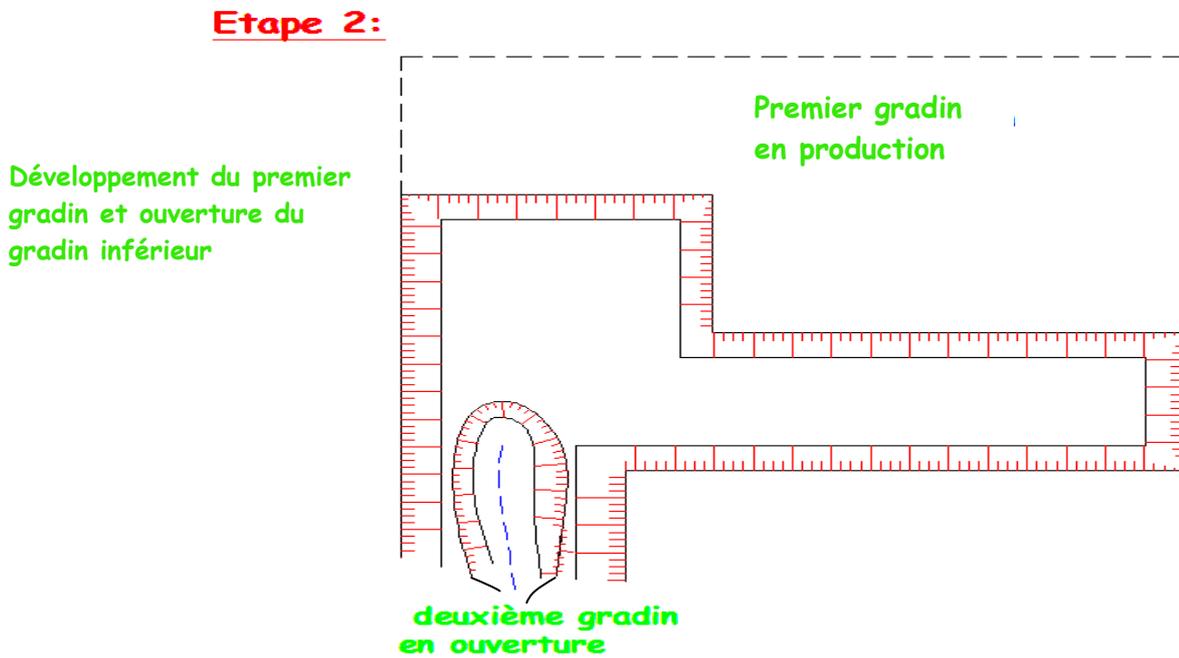


Figure III.5 : Développement du premier gradin et ouverture du deuxième gradin.

**Etape 3:**

Avancement du premier gradin vers les limites du champ minier et développement de gradin inférieur

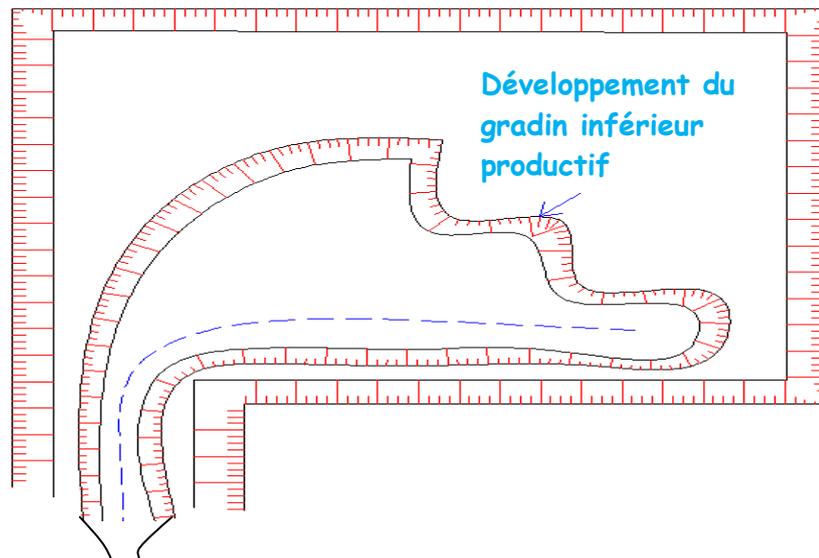


Figure III.6 : Développement du deuxième gradin.

#### c.4 Les travaux d'extraction dans une exploitation à ciel ouvert :

La condition principale pour le choix du mode d'extraction à ciel ouvert des minéraux utiles est les meilleurs indices technico-économiques.

L'extraction englobe les travaux d'abattage, de chargement et de transports de la substance utile de son lieu d'extraction (gradin) jusqu'au lieu de préparation mécanique (concassage, stockage).

#### d) Technologie des travaux miniers à ciel ouvert :

Dans le processus de production minier d'une exploitation à ciel ouvert, on distingue deux grands types de travaux, il y a **les travaux principaux** et **les travaux auxiliaires**.

##### ▪ Les travaux principaux :

- ✓ Préparation de la roche à l'abattage.
- ✓ Les travaux d'extraction (abattage, chargement, transport).
- ✓ Stockage du minerai.

- **Les travaux auxiliaires :**

Ce sont les travaux de service qui viennent en aide aux travaux principaux comme l'approvisionnement de l'énergie, l'entretien, fourniture des pièces de rechange, il y a également l'aplanissement de la plateforme de travail. Le choix de la méthode de préparation à l'abattage dépend du type de roche (propriétés physiques et mécaniques ; paramètres techniques des engins et des équipements de minerais).

- d.1 **Préparation mécanique :**

Il s'agit de destruction de la roche en place jusqu'à l'obtention des morceaux de dimension acceptable et admissible pour le travail efficace des engins de déchargement et de transport :

- **Roche tendre :**

Pour les roches tendres, elles n'ont pas besoin d'une préparation, elles sont extraites directement par des engins qu'on appelle : **excavateurs** (ce sont des machines destinées à la prise de la roche dans le massif vierge par son godet jusqu'au lieu de déversement, il y a deux types d'excavateurs : à godet unique ("pelle" mécanique ou hydraulique, "chargeuse", "scraper") et à godet multiple (roue pelle, excavation à chaîne à godets).

La prise de déplacement fonctionne de manière cyclique suivant le mode de fixation qui se fait à la flèche et le type des organes de travail, On distingue :

Qui sont rigide à la flèche comme la pelle bulle, pelle retro, rabot.

Groupe d'excavation dans lequel la fixation des godets à la flèche est souple (câble en acier), dragline, excavateur à benne preneuse.

Rendement de l'excavateur :

Théorique :

$$R = \frac{3600 \times C}{T_c} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Le rendement effectif de la machine (horaire) :

$$R = \frac{3600 \times C \times k_1}{T_c \times k_2} \text{ (m}^3\text{/h)}.$$

Où :  $K_1$  : le coefficient de remplissage du godet.  
 $K_2$  : coefficient de foisonnement de la roche.

$k_1/k_2 = K$  : coefficient d'excavateur.

$k_1 = V_g/E$ . Où :  $V_g$  : volume de godet rempli par la roche.

$E$  : capacité du godet [m<sup>3</sup>].

Coefficient d'utilisation de l'excavateur dans le temps :

0,55-0,90 quand la roche est chargée dans les engins de transport.

0,80-0,90 quand la roche se trouve dans le terril.

En réalité le rendement est toujours plus élevée car le godet ne se remplit pas totalement, il reste des vides entre les différentes roches et la durée effective du cycle est plus grande.

Dans les roches meubles le rendement est plus élevé que dans les roches compactes.

Quand on calcule le rendement dans un poste, il suffit de multiplier le rendement horaire par le nombre d'heure effectué dans un poste :

$$R_{\text{poste}} = N_h \times R_h.$$

➤ **Abattage des roches dures :**

La fragmentation des roches dures dans une exploitation à ciel ouvert fait par deux méthodes :

Méthodes 1 :

Principalement pour la préparation des roches dures, elle a une grande influence sur les indices techno-économiques des processus technologique postérieur c'est un

problème qui toujours d'actualité, les travaux des forages et de tir en carrière à ciel ouvert doivent assurer :

- ❖ Le degré nécessaire et régularité, fragmentation des roches
- ❖ Etat normal de pied de gradin c'est-à-dire surface plat sans rebord.
- ❖ Formation du tas de la masse minière explosée avec forme et dimension nécessaire.
- ❖ Volume nécessaire de la même manière pour le travail régulière des engins de chargement.
- ❖ Action sismique minimal pour les installations au jour et les habitations avoisinante.
- ❖ Dépense minimal et grande sécurité de travail.

Méthode 2 :

Il est utilisé pour le décapage dans de bloc de forme bien défini dans un matériau non fissuré tel que le marbre ou la calcaire, ce découpage est réalisé avec scie à fil diamanté.

#### III.4.3 Détermination des paramètres de la piste principale :

a) traçage de la piste principale :

Il est planifié en tenant compte de la topographie du gisement, des dimensions techniques des engins (largeur de la benne) de transport, de la production et de la durée de vie de la carrière ou mine à ciel ouvert.

b) Caractéristiques de la piste :

La piste principale démarre de la station de concassage où le relief est pratiquement plat, jusqu'au point supérieur de premier niveau à ouvrir, si cette piste présente un virage ou plusieurs celui-ci doit avoir un rayon de courbure "R" supérieur au rayon de braquage du camion.

##### ➤ Pente :

La pente de la piste est un facteur important pour l'opération transport, à fin d'assurer de bonnes conditions de travail et de sécurité.

En ligne droite : cette pente ne doit pas dépasser 10%.

Dans un virage : cette pente ne doit pas dépasser 6%.

Cette pente est en général pratiquement surmontable pour les camions destinés au roulage, surtout si nous prenons en considération que ces derniers vont circuler à vide (en montée) et chargé (en descente) si l'exploitation est du haut vers le bas.

➤ **Largeur :**

La largeur de la piste d'accès dépend des paramètres techniques de camion circulant à une voie ou à double voies.

La largeur d'une voie : 
$$L = (a + 2c) + r$$

La largeur de deux voies : 
$$L = 2(a + c) + x + r$$

Où :  $r$  : largeur de la rigole d'évacuation d'eau (généralement :  $r = 0.5\text{m}$  et une profondeur de  $0.4\text{m}$ ).

$a$  : largeur de la benne de camion.

$c$  : largeur de la bande de sécurité entre le camion et le bord de la piste tel que :

$$c = 0.5 + 0.005v = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{v}{100} \right)$$

Où :  $v$  : vitesse moyenne de déplacement des camions à vide (km/h).

$x$  : bande de sécurité entre camion-camion.

La largeur minimale de la piste est donc déterminée par l'expression avec la largeur de la benne du camion.

Dans le cas de virage cette distance doit être augmentée à cause du croisement de véhicule.

$$\left. \begin{aligned} W &= 2(U + Fa + Fb + Z) + C \\ C &= Z = 0.5(U + Fa + Fb) \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow W = 3.5(U + Fa + Fb)$$

Où :  $U$  : largeur de véhicule (centre à centre des pneus).

$Fa$  : largeur de surplomb avant.

Fb : largeur de surplomb arrière.

C : dégagement latéral total.

Z : largeur supplémentaire due à la difficulté de conduite en virage.

### III.5 STABILITE DES TALUS : [6]

Certaines formes, des mines à ciel ouvert en fin d'exploitation sont susceptibles de présenter des instabilités : chute de bloc, glissement de terrain, des éboulements à cause de la présence des escarpements naturels.

Les causes probables des accidents sont liées à la géométrie fortement redressée prise par le plan d'exploitation, pour tout projet à ciel ouvert un calcul de stabilité de pente pendant l'exploitation est recommandé pour éviter tout risque de rupture en définissant l'angle de talus du gradin ainsi que celui de la pente intégratrice de la fosse finale.

## CHAPITRE IV

### Observations et critiques des travaux miniers à Roussel 1

Nous présentons dans ce chapitre les principales observations et constatations que nous avons observées sur le site de la mine de Roussel 1 lors de notre stage pratique de février 2010.

Ces observations et critiques se limitent aux opérations d'exploitation minière et les travaux d'infrastructure. Cela afin de pouvoir déceler les principaux dysfonctionnements de l'exploitation actuelle et proposer des solutions ou des corrections selon les règles de l'art minier.

#### **IV.1 OBSERVATIONS GENERALES :**

##### **IV.1.1 Etat général des travaux :**

La mine de Roussel 1 se présente sous forme d'une fosse en cuvette de l'ordre de 40m de profondeur. nous l'avons signalé auparavant dans l'introduction générale, l'exploitation de la mine ne respecte pas les règles de l'exploitation minière à savoir :

- L'exploitation a ciblé les points riches en bentonite de meilleure qualité
- Le non respect du découpage en gradin
- Stockage désordonné et dispersé du minerai dans l'aire des travaux
- Création de plusieurs crevasses et dépressions accumulant les eaux de pluies
- Existence de deux pistes d'accès au gisement sans justificatif convaincant
- Les pistes comportent une voie unique qui ne permet pas le croisement de camions
- Travaux en général mal organisés
- Inexistence de rigoles et caniveaux pour évacuer ou empêcher les eaux de pluies d'accéder aux travaux
- Inexistence d'infrastructures de sécurité et de signalisation sur les pistes et les bords de la fosse.

##### **IV.1.2 Infrastructure (route, piste...) :**

Le gisement d'argile bentonitique Roussel 1 de Hammam Boughrara est relié par une route de wilaya asphaltée du côté nord.

La première piste est située du côté sud-est de la carrière, elle est dirigée directement vers le fond de la mine, cette piste s'expose à l'influence des

intempéries ce qui nécessite un entretien périodique une fois par an, puisque elle devient impraticable.

La deuxième piste, située du côté nord-ouest, est plus longue par rapport à la première piste, de 200 m approximativement. Cette piste n'est utilisée qu'en période pluviale ou bien pour faciliter l'accès des camions à certaines parties des gradins. Cette piste est un investissement inutile à notre avis car il aurait suffi de bien aménager la première piste de façon à la rendre accessible même en cas de pluies.

#### **IV.1.3 Personnel technique dans la carrière :**

Durant le stage pratique à l'unité Maghnia nous avons observé que l'unité ne dispose pas de techniciens (mineurs) dans la carrière Roussel 1 pour planifier, exploiter et contrôler les travaux en général. L'extraction se faisant par de simples chauffeurs d'engins parfois orientés par des géologues. C'est probablement là l'un des facteurs importants qui ont causé toutes les perturbations que nous avons décelées sur site.

#### **IV.1.4 Documentation :**

Nous avons relevé un manque alarmant de documentation au niveau de l'unité (cartes, rapports, analyses d'échantillons...). D'un autre côté nous avons remarqué l'existence de contradiction dans le peu d'informations et de données que nous avons pu réunir.

#### **IV.1.5 Plan de développement :**

Sur le site de la mine de Roussel 1 nous n'avons constaté aucun plan de développement à court ou moyen terme. La gestion et l'exploitation se font tout simplement au jour le jour en fonction de la demande de l'usine. Cela constitue en effet une grande lacune dans la politique d'exploitation d'une entreprise minière. Un plan de développement est plus que nécessaire à Roussel 1, il permettrait à la mine de se projeter dans le futur et de planifier son activité d'exploitation et de traitement.

#### **IV.1.6 Matériels, engins... :**

Nous avons observé que l'unité ne dispose pas d'un matériel bien adapté aux travaux miniers. En effet le transport se fait par camions ordinaires non équipés pour les pistes de carrières particulièrement quand il pleut sur les pistes d'accès.

C'est la raison pour laquelle la mine n'est plus accessible en périodes pluvieuses. Par contre, la pelleteuse est sur chenilles ce qui lui permet de travailler quelles que soient les conditions météo.

#### IV.1.7 Stabilité des gradins et des épontes :

Nous avons observé sur le site de la mine de nombreux dangers d'instabilité des gradins et des épontes. Cela est dû, d'une part, au non respect des angles des talus (figure IV.1) et, d'autre part, à l'inexistence d'infrastructures d'exhaure (rigoles, caniveaux) ce qui provoque une circulation des eaux de pluies partout et favorise les glissements et les effondrements.



Figure IV.1 : instabilité des gradins et des épontes (photo février 2010).

#### IV.2 Travaux miniers d'exploitation :

##### IV.2.1 Méthode d'extraction :

L'extraction de la bentonite se fait simplement par excavation à l'aide d'une pelleteuse hydraulique retro puisque le minerai est tendre. Mais le problème le plus sérieux que nous avons constaté c'est l'extraction sélective et ponctuelle pratiquée par cette pelle. Cela est dû à la différence de la qualité de la bentonite d'un endroit

à l'autre sur le site. Cette exploitation sélective déforme les gradins et les contours intérieurs de la carrière et crée des fosses et des dépressions qui accumulent les eaux pluviales (**Figure IV.3**).

Cette exploitation sélective n'est pas étudiée. Elle cause non seulement des problèmes d'épuisement rapide des stocks mais aussi des problèmes d'instabilité des gradins comme nous l'avons déjà signalé.

#### **IV.2.2 Dimensionnement des gradins :**

L'exploitation de la carrière Roussel 1 à ciel ouvert est faite par gradins de hauteur atteignant parfois 10 m ou plus, avec un angle de talus d'environ 40° à 60°. Ces angles ne sont pas toujours respectés ce qui est la cause de nombreux problèmes d'instabilités comme nous l'avons expliqué ci-dessus.

Nous avons noté que pendant les périodes pluviales, les travaux sur cette carrière sont suspendus à cause de l'accumulation des eaux et des boues, et dans certains cas sur toute la plate forme de la mine.

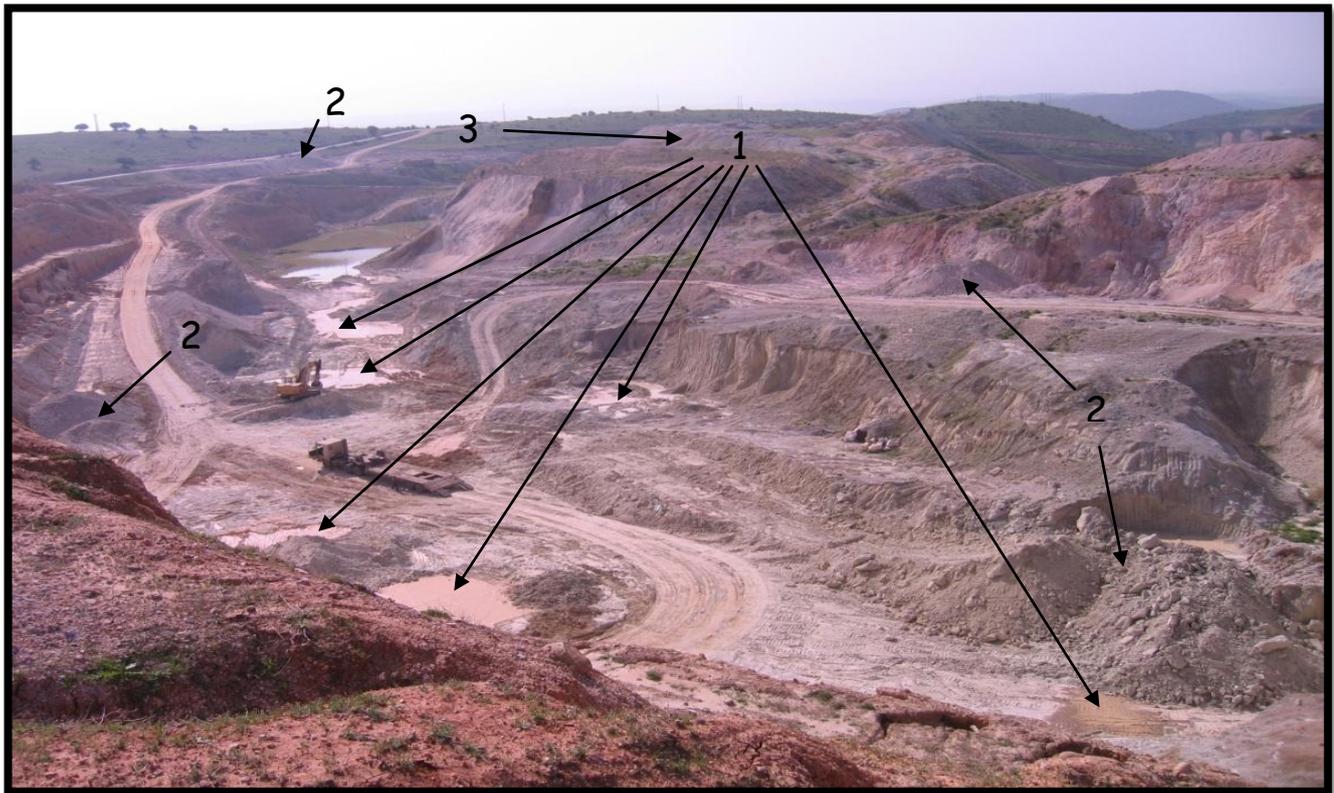
Il est à noter que la partie sud-est, en aval de la carrière, retient la quantité la plus importante des eaux et des boues pour de longues durées sans êtres évacuées (**Figure IV.2**).



**Figure IV.2** : Accumulation des eaux dans la plateforme et à l'extrémité sud est (photo février 2010).

En effet, il est clair que si on ne trouve de solution définitive à ce problème, en mettant en œuvre quelques solutions techniques, les travaux sur la carrière risquent simplement d'être arrêtés.

Remarquons que ce problème est principalement dû au manque flagrant d'infrastructures d'exhaure autour et dans la mine.



**Figure IV.3** : Vue du côté nord-ouest de Roussel 1 (photo février 2010).

- 1 : accumulation des eaux.
- 2 : stockage de minerai.
- 3 : stérile dégagé.

Nous avons globalement noté l'inexistence d'un plan qui gère le déroulement des travaux sur cette carrière. L'exploitation n'est pas conforme à la carte de qualité.

#### **IV.3 Transport et stockage du minerai :**

Le problème d'organisation du chantier se pose sérieusement sur cette carrière, le transport de la bentonite n'est assuré que par deux camions inadaptés (ont des pneus normaux) aux pistes de la mine. Et vu la distance de la carrière à l'usine et la durée du trajet, la pelle attend l'arrivée de l'un des deux camions, il arrive même qu'elle coupe le moteur.

On sait bien que le transport et le stockage des minerais sont régis par des normes et des règles, mais ces dernières ne sont pas respectées sur la carrière.

Par ailleurs, le stockage désordonné des déblais dans la plateforme de la carrière engendre une gêne de la circulation des engins (**Figure IV.3**).

Normalement, le stérile doit être chargé dans les camions qui le déversent sur les terrils aménagés à cet effet, ce qui n'est pas le cas sur la carrière.



**Figure IV.4** : Terrils (photo février 2010).

## CHAPITRE V :

Solutions, corrections et  
réorganisation des travaux  
d'exploitation de Roussel 1

Dans ce chapitre nous avons proposé les solutions et les corrections aux problèmes observés dans la mine Roussel 1.

### V.1 Détermination des limites des champs d'exploitation de la mine Roussel 1 :

Le gisement d'argiles bentonitiques est limité au nord-ouest par le cimetière, au sud-ouest par le massif rhyolitique, et au nord-est par la nouvelle route vers Machhoor.

La carte ci-après présente un éclaircissement sur le développement de la carrière Roussel 1.

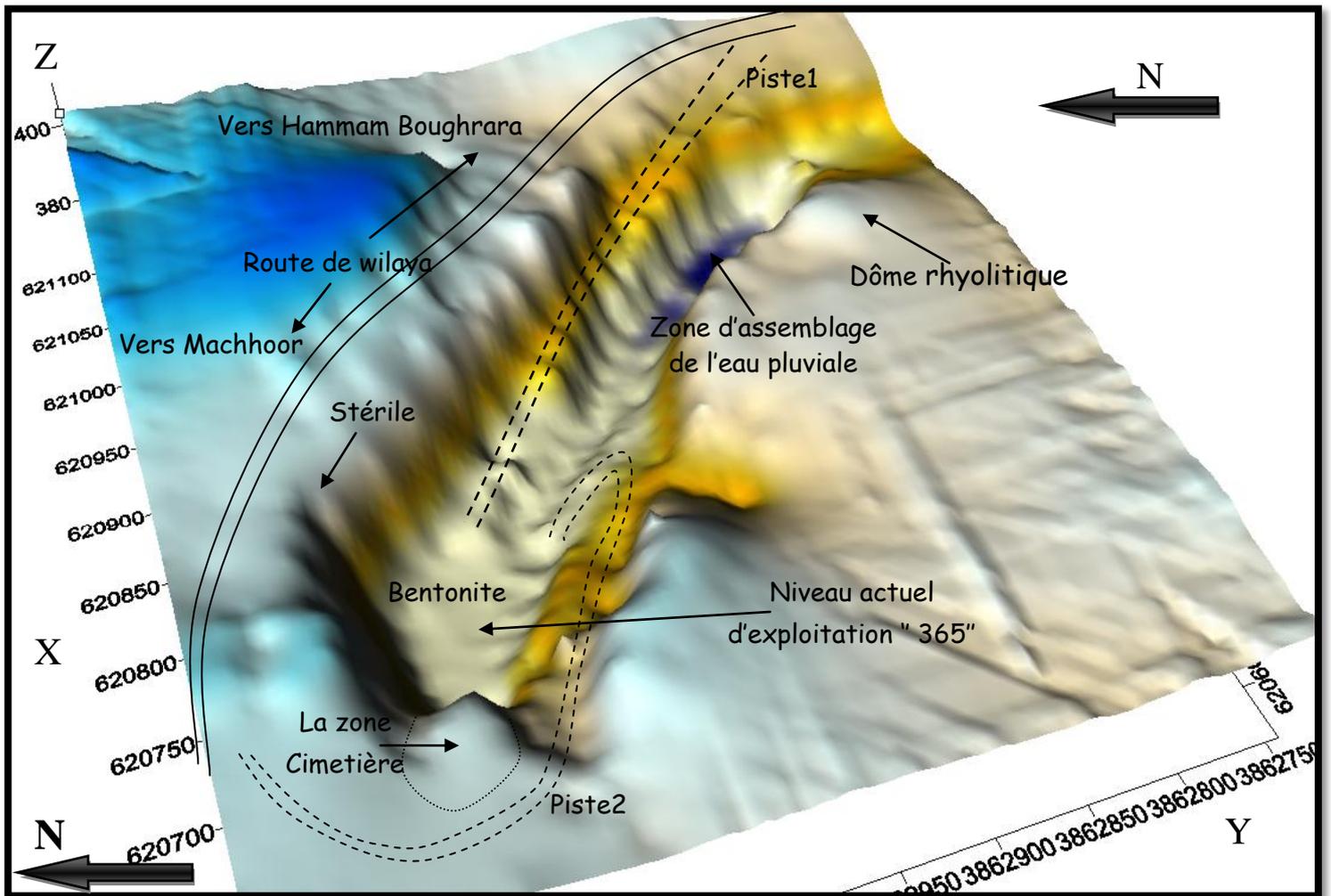


Figure V.1 : Etat actuelle de l'exploitation du gisement bentonitique de Roussel 1, (Surfer 8, année 2010).

➤ **Volume de travail :**

Le rendement annuel projeté de la carrière Roussel 1 est conditionné par le volume traité de bentonite par l'usine.

➤ **Transport tout- venant :**

La quantité journalière transportée par 03camions (Camion VOLVO 18T camion HYUNDAI 15 T et camion SONACOME 10T) est de :

Le rendement journalier du camion VOLVO :  $18T \times 6 \text{ Rot} \times 0,9 = 97 \text{ T/j}$ .

Le rendement journalier du camion HYUNDAI :  $15T \times 6 \text{ Rot} \times 0,8 = 72 \text{ T/j}$ .

Le rendement journalier du camion SONACOME :  $10 \text{ T} \times 6\text{Rot} \times 0,7 = 42 \text{ T/j}$ .

Rot : nombre de rotations par jour (nombre de chargement).

La quantité totale journalière : 211 T/j.

La production totale annuelle :  $211 \times 252 = 53172 \text{ T/an}$ .

**Tableau V.1 : Détermination des paramètres du chargement et transport.**

Moyens utilisés	Etat	Nombre	Temps de cycle	Nombre de postes	Durée de poste	% Disponibilité	Capacité installée	Capacité réelle	Capacité annuelle
Pelle ENMTP 9411	Moyen (Nouveau moteur)	01	40 S	01	7H/j	80 %	46m <sup>3</sup> /h	300 m <sup>3</sup> /J	75600m <sup>3</sup>
Camion Hyundai15 T	Bon	01	1H	01	7H/j	80%	80T/j	72T/j	18144T
Camion Volvo 18T	Neuf	01	1H	01	7H/j	90%	108T/j	97 T/j	24444 T
CamionSonacome15 T	Moyen	01	1H	01	7H/j	70 %	63 T/j	42 T/j	10584 T

**Remarque :** La capacité réelle du matériel est calculée selon son état.

➤ **Régime de travail :**

La pelle ENMTP 9411(1995) : est de capacité 2m<sup>3</sup> et en état moyen. Désignée pour le chargement du tout venant et de stérile.

Le rendement horaire "Rh" :

$$Rh = \frac{Ta \times Vg \times Ku \times Kv}{Tcy \times Kf} .$$

Ta : 3600 secondes.

Vg : capacité su godet de la pelle.

Ku : coefficient d'utilisation=0,8.

Kv : coefficient de remplissage=0,7.

Tcy : durée d'un cycle=40s.

Kf : coefficient de foisonnement=1,2.

$$Rh = \frac{3600 \times 2 \times 0.8 \times 0.7}{40 \times 1.2} = 84m^3 / h .$$

La densité de la bentonite est :  $\rho = \frac{M}{V} = 2$

La densité :  $\rho = \frac{M}{V \cdot 1,2} = \frac{\rho}{1,2} = \frac{2}{1,2} = 1,66$

Donc la production horaire de la pelle =84x1.66=139.44 T/h.

Nombre de godet pour charger chasue camion :

$$Ng = \frac{Cc \times K_f}{V_x \times K_r \times \rho}$$

Hyundai 15T : Ng=5 godet.

Volvo 18T : Ng=6 godet.

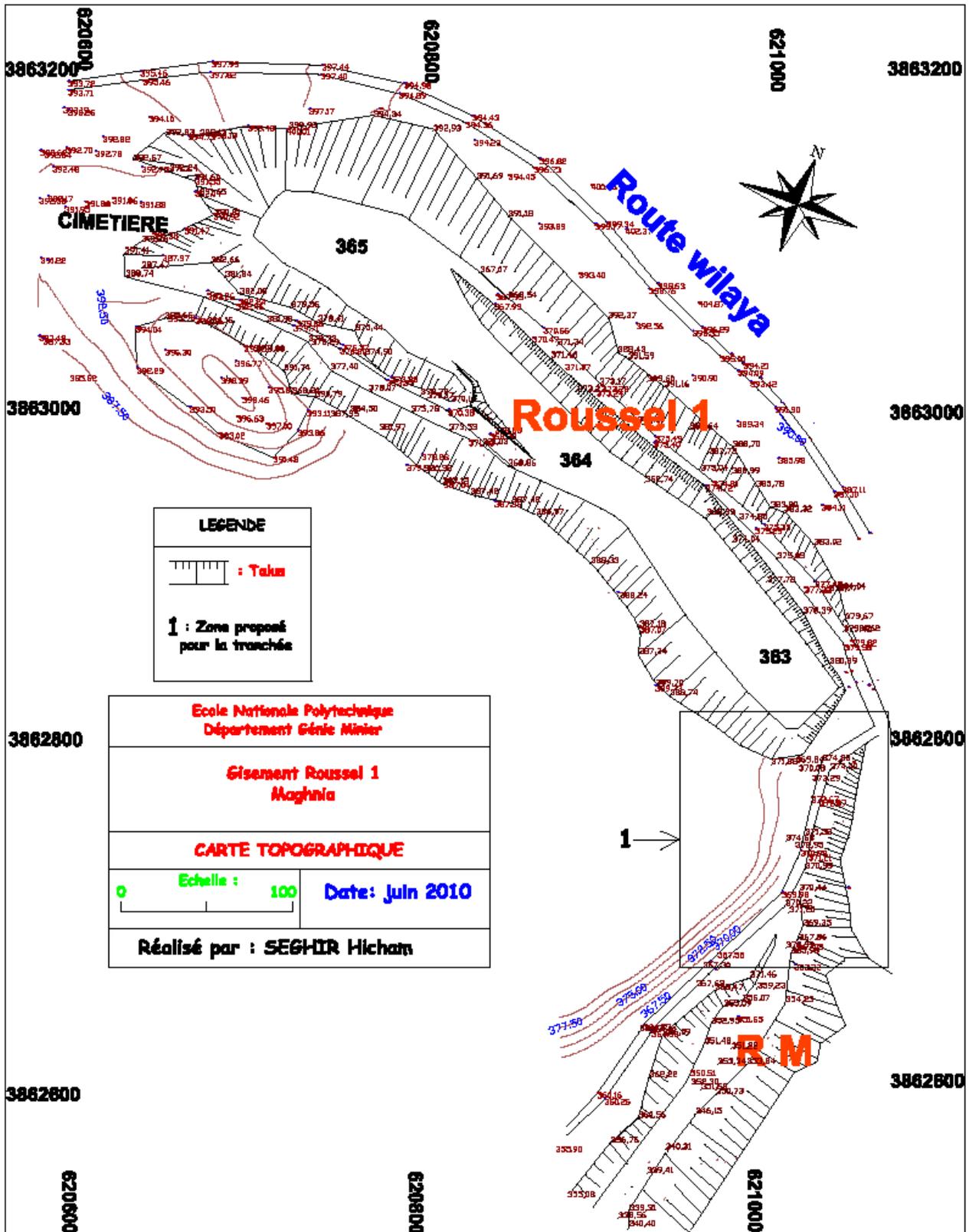
Sonacome 15T : Ng=4godet.

## V.2 Résolution du problème d'exhaure :

### V.2.1 Tranchée de côté Sud-est de la mine :

Actuellement la carrière est sous forme de cuvette et à cause de l'imperméabilité des argiles bentonitiques, il se forme pendant la période des pluies des pièces d'eau au fond de carrière, et qui durent assez longtemps. Cette situation entrave considérablement l'exploitation. Cela implique que avant de lancer le nouveau plan d'exploitation, il faut trouver une solution convenable pour le problème des eaux du côté Sud-est de la carrière par l'évacuation ou le dégagement de ces eaux à l'extérieur du chantier à l'aide de deux options (ou deux méthodes d'exhaure) à comparer avant de choisir l'une des deux, ces deux méthodes sont : soit par pompage, soit par creusement d'une tranchée.

**Figure V.2: Carte topographique du gisement Roussel 1**





**Figure V.3** : Photo satellite de la zone d'assemblage des eaux dans la carrière Roussel 1.

Le tableau suivant représente une simple comparaison estimative entre deux options pour l'évacuation des eaux du côté sud-est (**Figure V.3**) de la carrière Roussel 1.

Tableau V.2 : Tableau de comparaison entre 2 méthodes d'exhaures (pompage et tranchée).

Opérations/consommations	Pompage		Creusement	
	Appréciation	Notation	Appréciation	Notation
Coût d'achat/creusement	moyen	5/10	limité	6/10
Coût d'entretien	Permanent	2/10	Très faible	9/10
Coût d'amortissement	moyen	4/10	Nul	9/10
Coût d'énergie	Permanent	2/10	Nul	9/10
Montage et Exécution	Facile	9/10	Difficile	1/10
Résultat d'exhaure	moyen	5/10	Parfait	10/10
La note globale	27/60		44/60	

**Remarque** : pour le tableau ci-dessus une bonne note c'est-à-dire moindre coût ou travail facile ou efficace et inversement.

D'après ce tableau nous avons déduit que la meilleur solution c'est la méthode de creusement mais l'option de pompage n'est pas négligeable, elle reste toujours prise en considération.

❖ **Calcul du volume de déblais à enlever pour creuser la tranchée :**

D'après la carte topographique, nous avons fait une coupe sur la zone où il faut creuser la tranchée pour calculer la surface de relief et on laisse une pente de 2 à 3% entre le point en haut (A) et le point en bas (A') pour le ruissellement des eaux, on multiplie par la largeur que l'on considère égale 3m.

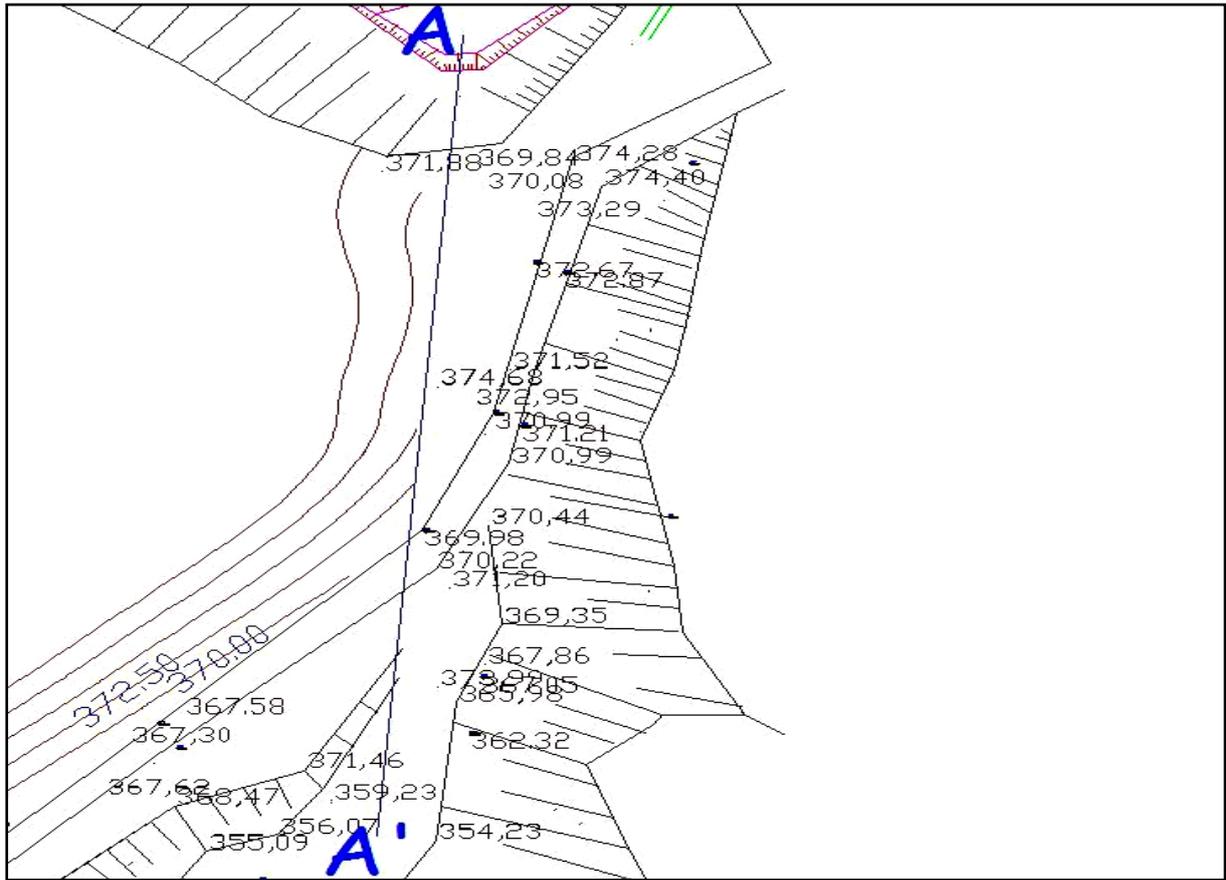


Figure V.4 : Zone proposé pour la tranchée. (Voir la figure V.2)

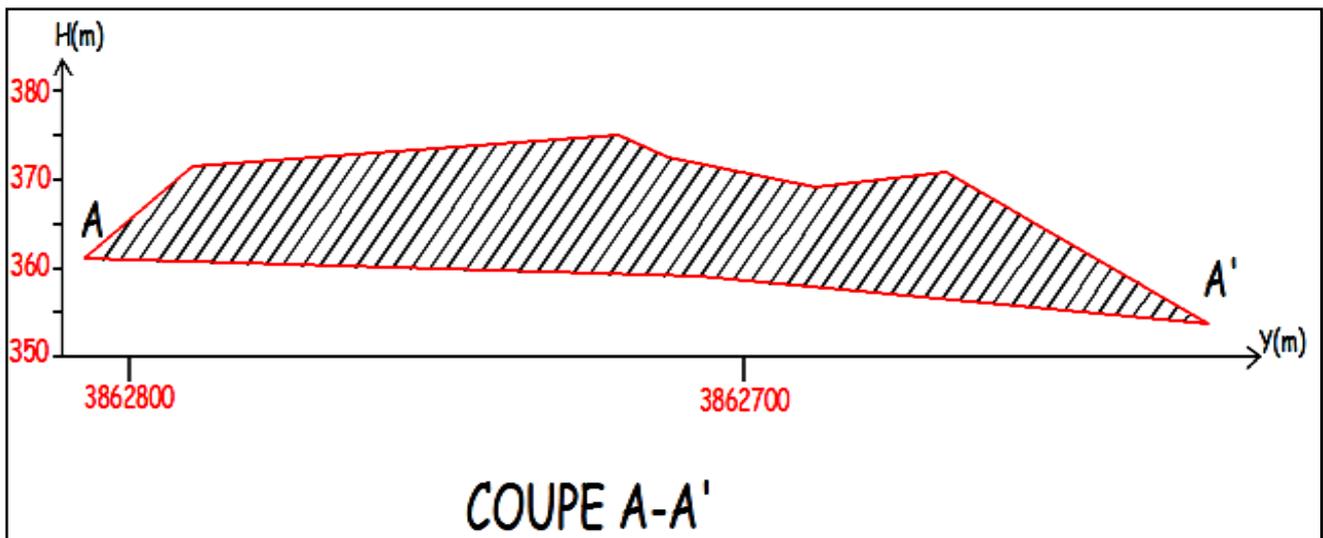


Figure V.5 : la surface entre le point en haut et le point en bas de la tranchée.

Nous avons calculé la surface à l'aide du programme **AUTO CAD** qui est égale :

$$S = 1998,798m^2$$

Donc le volume des déblais est égale à :

$$V = S \times 3 = 1998,798 \times 3 = 5996,4m^3$$

Le volume foisonné :

$$V_{foisonné} = V \times K_f = 5996,4 \times 1,2 = 7195,68m^3$$

$$\text{D'où : } V_{foisonné} = 14391,36 T$$

$K_f$  : le coefficient de foisonnement=1,2.

❖ **Calcul du nombre de voyages pour évacuer les déblais :**

$$\text{On a : } V_{camion} = 15 T$$

$$N_v = \frac{V_{foisonné}}{V_{camion}} = \frac{14391,36}{15} = 959.5 \text{ voyage}$$

❖ **Le nombre de jour pour dégager les déblais  $N_j$  :**

On considère le nombre de voyage par jours égale :  $N_v = 20 v / j$

$$N_j = \frac{N}{N_v} = \frac{959.5}{20} = 48 \text{ jours} = 1 \text{ mois et } 18 \text{ jours}$$

### V.2.2 Bassin d'assemblage et décantation des eaux en aval de la plate forme :

Ce bassin doit se situer sur le côté sud-est. Le bassin est relié avec la tranchée précédente, on garde une pente dans le bassin de l'entrée jusqu'au fond, la profondeur (ou la dénivelée) du fond du bassin par rapport au plancher d'exploitation est de 1.5m et même pour la tranchée par rapport au fond du bassin (**Figure V.6**).

On exécute la tranchée et le bassin en parallèle avec l'avancement des travaux d'exploitation par niveau

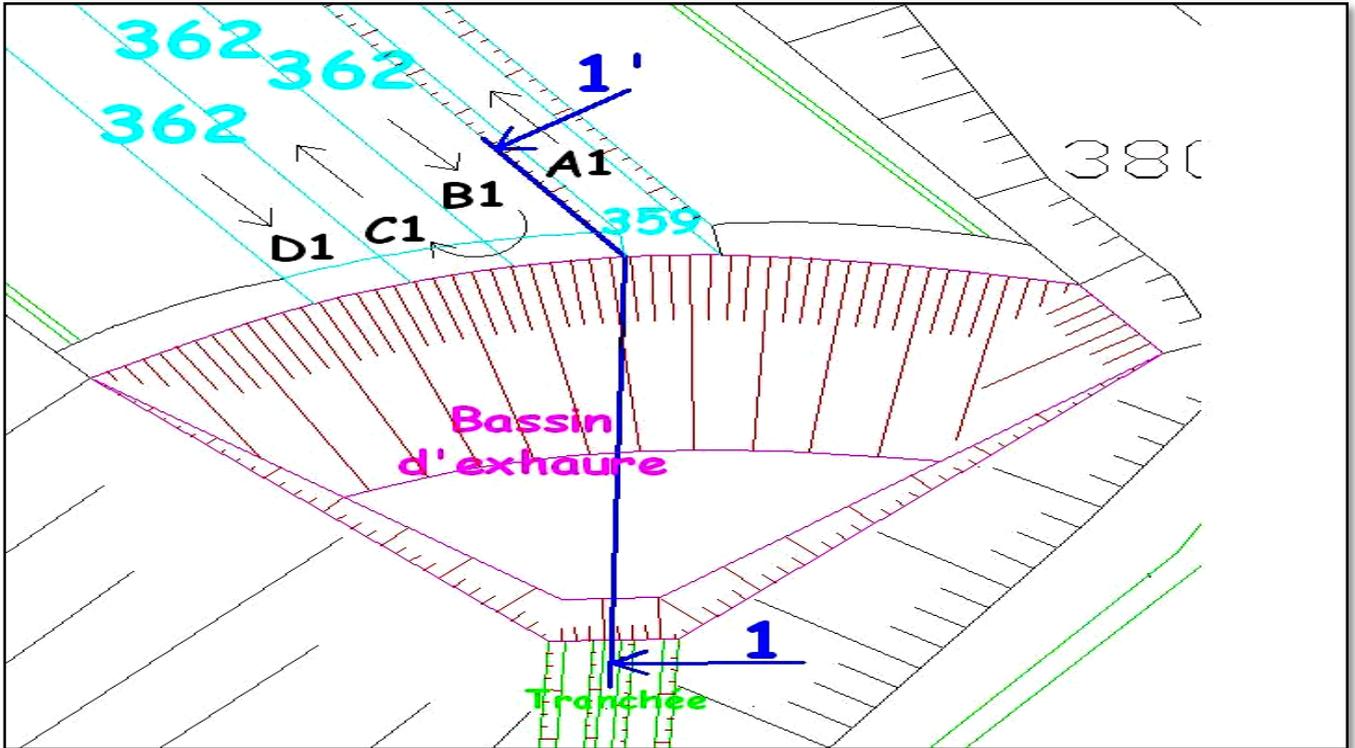


Figure V.6 : Vue en plan de la tranchée, le bassin et les planchers d'exploitation. (AUTO CAD 2008)

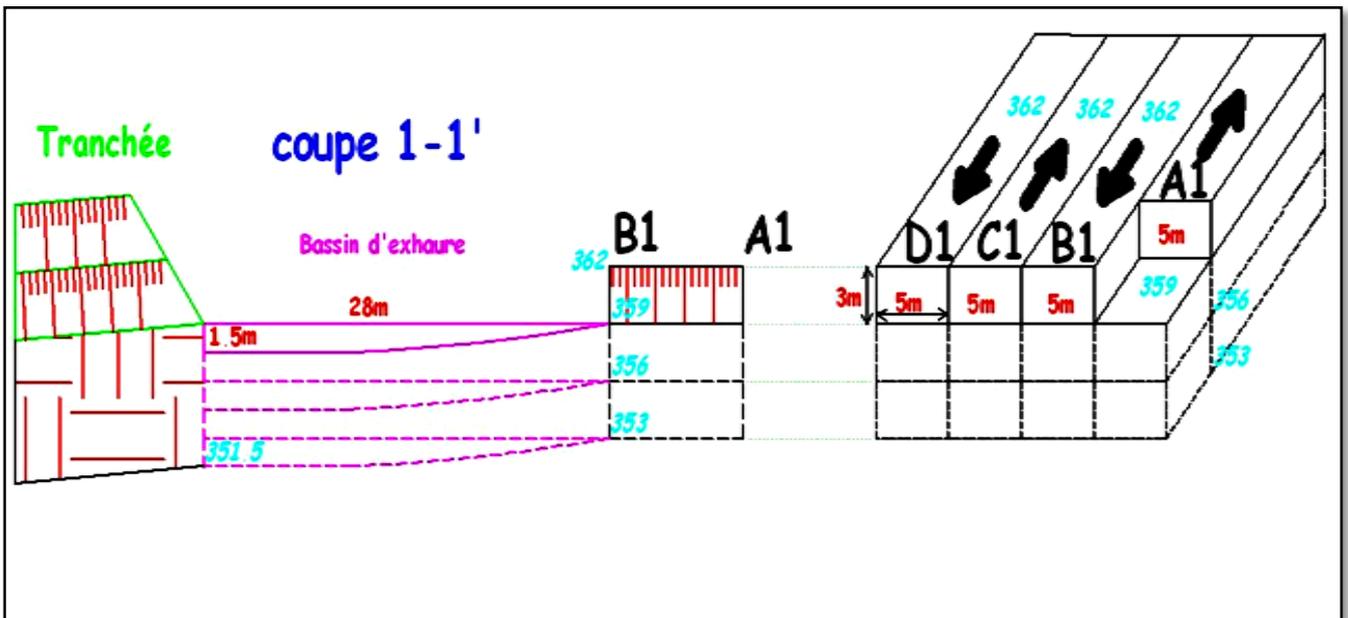


Figure V.7 : la coupe 1-1' (Figure V.6) avec les trois premiers niveaux et les phases d'exploitation en 3D. (AUTO CAD 2008)

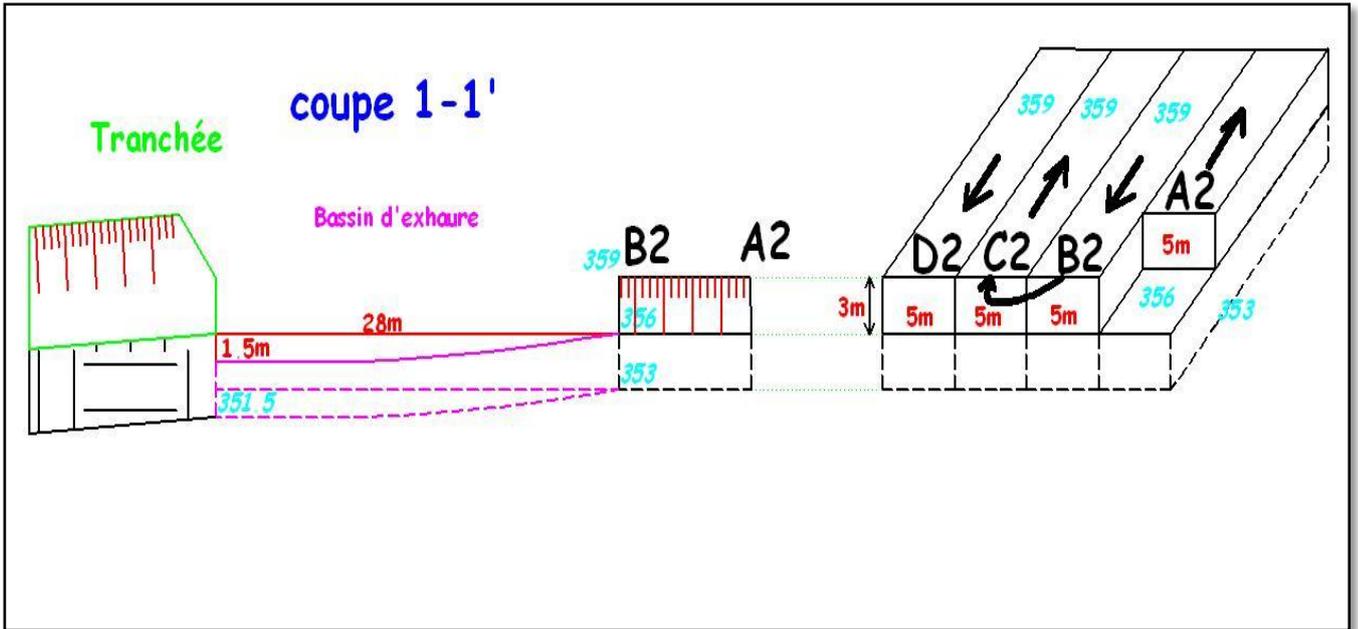


Figure V.8 : Coupe 1-1' après l'exploitation de premier niveau des quatre phases (A1, B1, C1, D1).

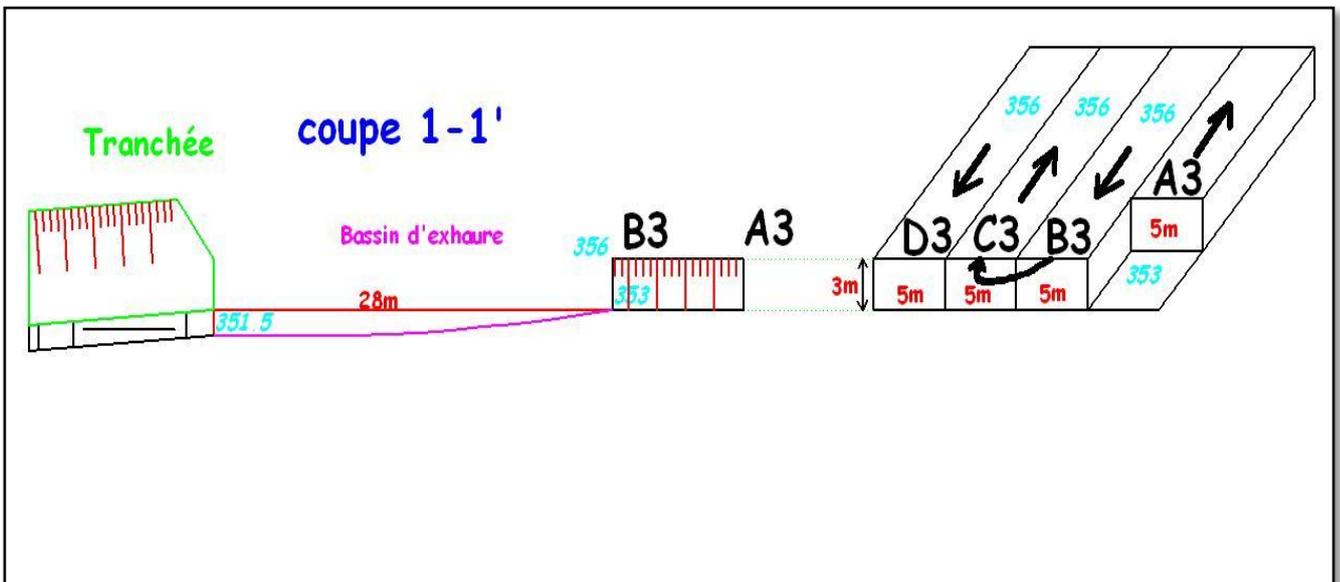


Figure V.9 : Coupe 1-1' après l'exploitation du deuxième niveau des quatre phases (A2, B2, C2, D2).

### V.2.3 Rigole extérieure d'aménagement autour de la mine :

Tout le long de la route de Machhoor nous proposons de faire une rigole l'aménagement d'un rigole autour de la carrière pour empêcher les venues d'eau de pluie à l'intérieur de la carrière, on prolonge cette rigole avec une pente et une

distance par rapport à la banquette bien déterminé jusqu'à la première tranchée et on connecte avec elle. La rigole à une largeur de 1m et une profondeur de 50cm.

#### **V.2.4 Rigole intérieure de plate forme :**

Nous avons proposé une deuxième rigole de même dimension que la première rigole mais cette fois ci à l'intérieur de la carrière pour empêcher des venus eaux du premier gradin en haut vers la plate forme en bas. Ces eaux ruissellent dans le sens contraire de la méthode de l'exploitation (qui sera proposé plus loin), on laisse entre la rigole et le gradin en bas une distance de 1m, cette rigole est prolongée sur les côtés jusqu'au bassin.

#### **V.3 Orientation de l'exploitation du gisement Roussel 1 :**

L'exploitation du gisement de Roussel 1 se fera par des niveaux entre 3m et 3.5 m et ceci par rapport à l'ordre de l'exploitation qui a été prédéfini (**Figure V.7**), en tenant compte de l'orientation de l'utilisation de la bentonite et de la possibilité d'accès. La priorité d'exploitation se mène dans les zones les plus riches en termes de bentonite de forage.

##### **V.3.1 L'avancement des travaux d'exploitation :**

D'après la carte qualité (**Figure V.10**) que nous avons et la production actuelle de l'usine (actuellement il produit seulement la bentonite de forage donc l'usine considère la 2<sup>ème</sup> qualité comme le stérile c'est-à-dire l'exploitation se fait dans la zone rouge)

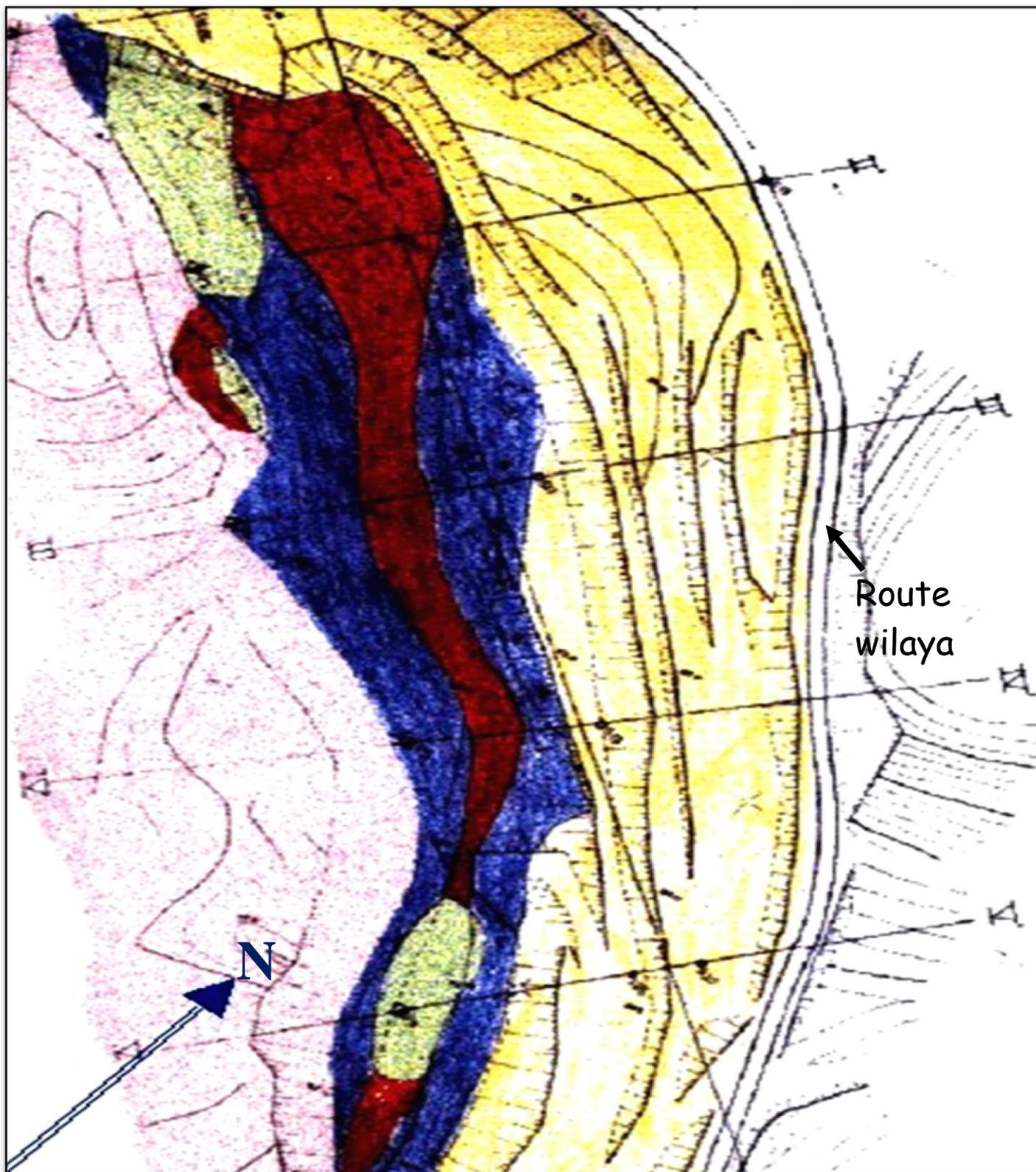


Figure V.10 : Carte qualité du gisement de Roussel I. [16]

-  : Bentonite pour la boue de forage (1<sup>ère</sup> qualité).
-  : Bentonite pour la terre décolorante (2<sup>ème</sup> qualité).



### V.3.2 Le Volume à exploiter :

Le volume à exploiter pour les trois niveaux est calculé (par **AUTO CAD**) :

$$V = 102709,6m^3$$

Et donc un tonnage de :  $Tn = 171182,66 \text{ tonnes}$

Ce volume est exploité dans une durée de :

$$T = \frac{V}{Qj} = \frac{171182,66}{211} = 811,3 \text{ jours}$$

Qj : Production journalière.

On a le nombre des jours de travail par ans est égale à : 252 jours

C'est-à-dire : 
$$T = \frac{811,3}{252} = 3,22 \text{ ans}$$

Avant de commencer l'extraction de la bentonite premièrement on creuse la tranchée pour évacuer l'eau, puis on réorganise le bassin par le nettoyage, en enlevant les sédiments restant sur la surface du fond du bassin et après on régularise sa forme comme indiqué sur les figures V.6 et V.7.

Deuxièmement il faut aplanir la surface d'exploitation par le bulldozer et on laisse une dénivelée de 2m entre le nord-ouest et le sud-est de la mine, cette pente a pour but le bon ruissèlement des eaux pluviales vers le bassin d'exhaure (Figure V.11).

### V.3.3 Déplacement de la pelle :

On commence l'exploitation de la bentonite (de 1<sup>ère</sup> qualité) à partir de la limite du bassin du côté sud-est de la mine.

Nous proposons le sens de déplacement de la pelle pour chaque niveau, en suivant les flèches posées sur les quatre phases indiquées dans les figures V.6 et V.7.

Le déplacement de la pelle se fait comme sur la figure V.12 suivante :

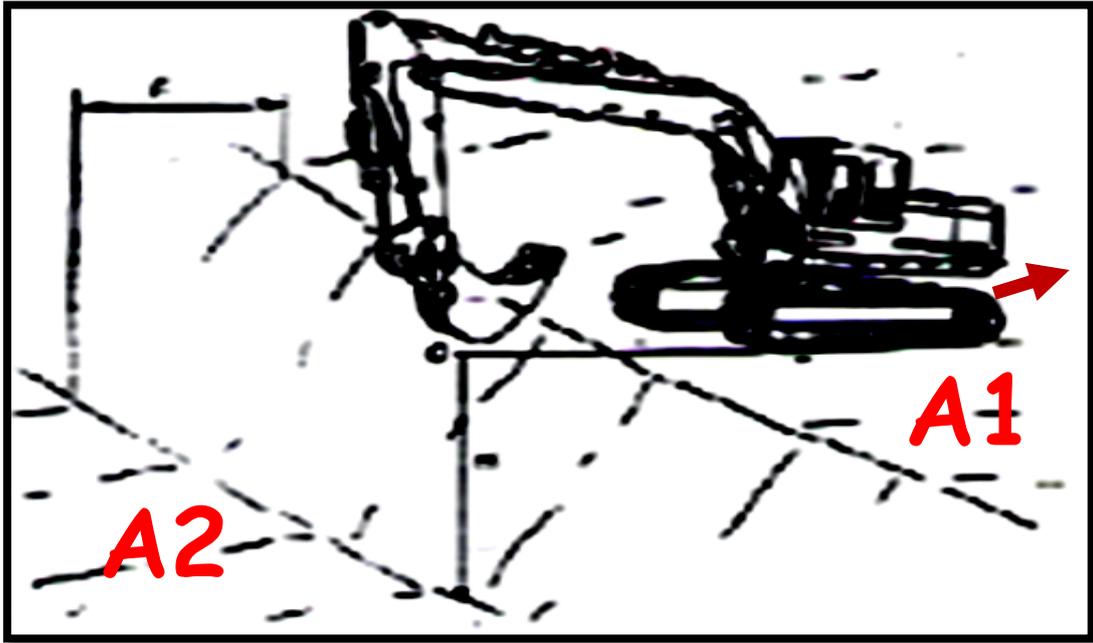


Figure V.12 : Mouvements de la pelle au cours de l'exploitation de la première phase. [21]

A1 : premier niveau de la phase 1 d'exploitation.

A2 : deuxième niveau de la phase 1 d'exploitation.

➔ : Sens de déplacement de la pelle.

#### V.3.4 Transport de tout-venant :

Au début, le camion de transport vient sur le côté de la pelle (droite ou gauche) au même niveau, donc la pelle fait un quart de tour pour charger le minerai dans le camion.

Après l'exploitation de la première phase (A1) du premier niveau, le camion vient sur le deuxième niveau comme illustré sur la figure V.13 suivante :



**Figure V.13** : Système de chargement du minerai après l'exploitation de la première phase. [16]

 : Sens de déplacement de la pelle.

#### **V.4 PLANS D'EXPLOITATION : [AUTO CAD (Covadis9.1) 2008]**

Après avoir exécuté les propositions et les travaux définis ci-dessus, on procède aux travaux suivants :

##### **Plan N 01 (364-361) (Figure V.14) :**

- Exploitation de deux phases A1 et B1.
- Gradin de 3 à 3.5 m de hauteur.
- Prolongement de la piste 1 au niveau 361m.

##### **Plan N 02 (364-361) (Figure V.15) :**

- Exploitation de la phase C1.
- Gradin de 3 à 3.5m d'hauteur.
- Découverte sur les côtes des niveaux 362 et 363.

##### **Plan N 03 (364-361) (Figure V.16) :**

- Exploitation de la phase D1.
- Gradin de 3 à 3.5m de hauteur.

- Découverte sur les côtes des niveaux 362 et 363.
- Prolongement de la piste 2 au niveau 361.

**Plan N 04 (361-358) (Figure V.17) :**

- Exploitation des phases A2, B2, C2 et D2.
- Gradin de 3 à 3.5m de hauteur.
- Découverte sur les côtes de niveau 359.
- Prolongement des deux pistes au niveau 358.

**Plan N 05 (358-355) (Figure V.18) :**

- Exploitation des phases A3, B3, C3 et D3.
- Gradin de 3 à 3.5m de hauteur.
- Découverte sur les côtes de niveau 356.
- Prolongement des deux pistes au niveau 355.

**Plan N 06 (355-345) (Figure V.19) :**

- Exploitation des trois niveaux.
- Gradin de 3 à 3.5m de hauteur pour chaque niveau.
- Découverte sur les côtes pour chaque niveau.
- Prolongement des deux pistes pour chaque niveau.

Figure IV.14: Plan d'exploitation, Niveau 364\_361

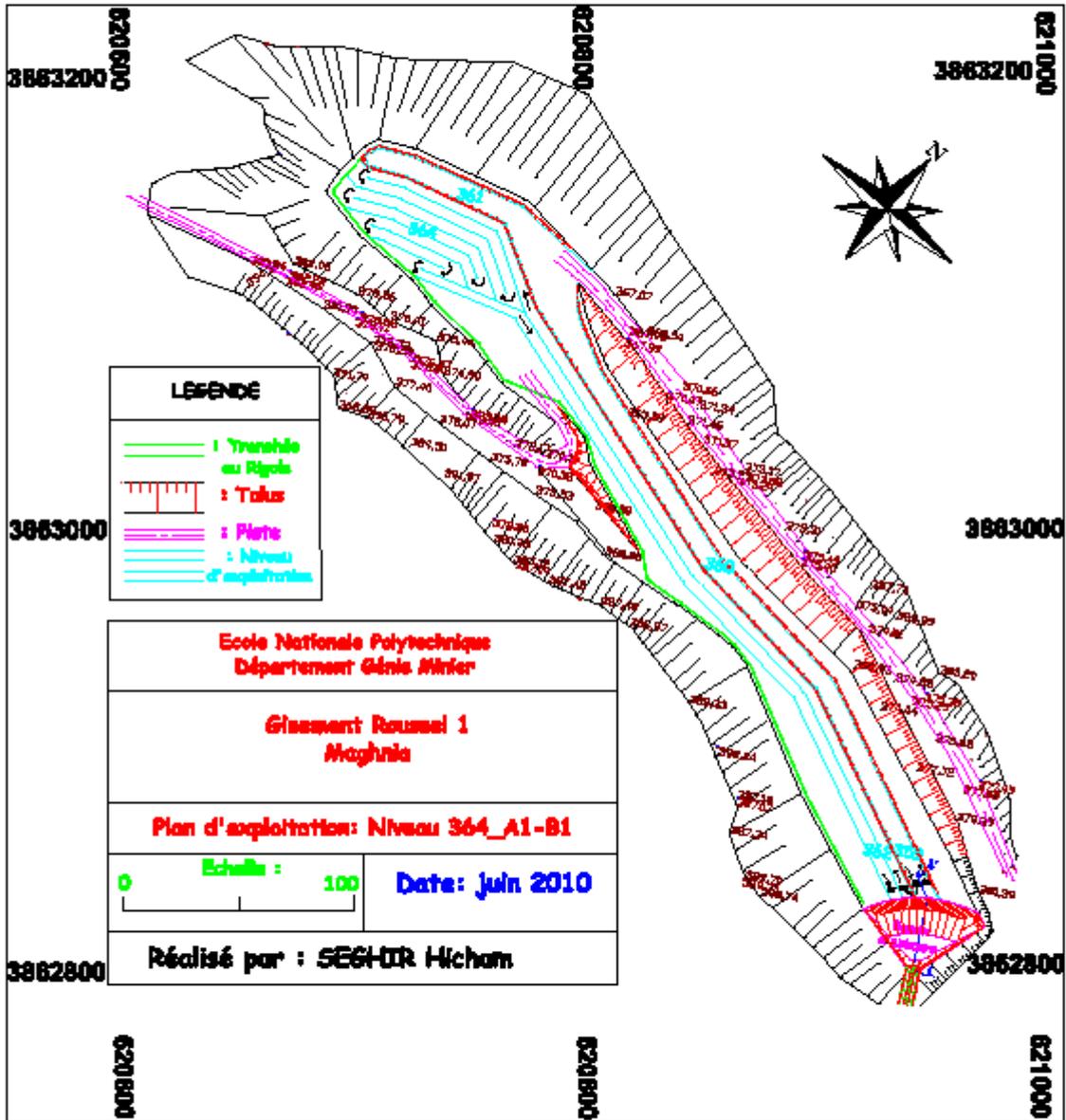




Figure IV.16: Plan d'exploitation, Niveau 364\_361

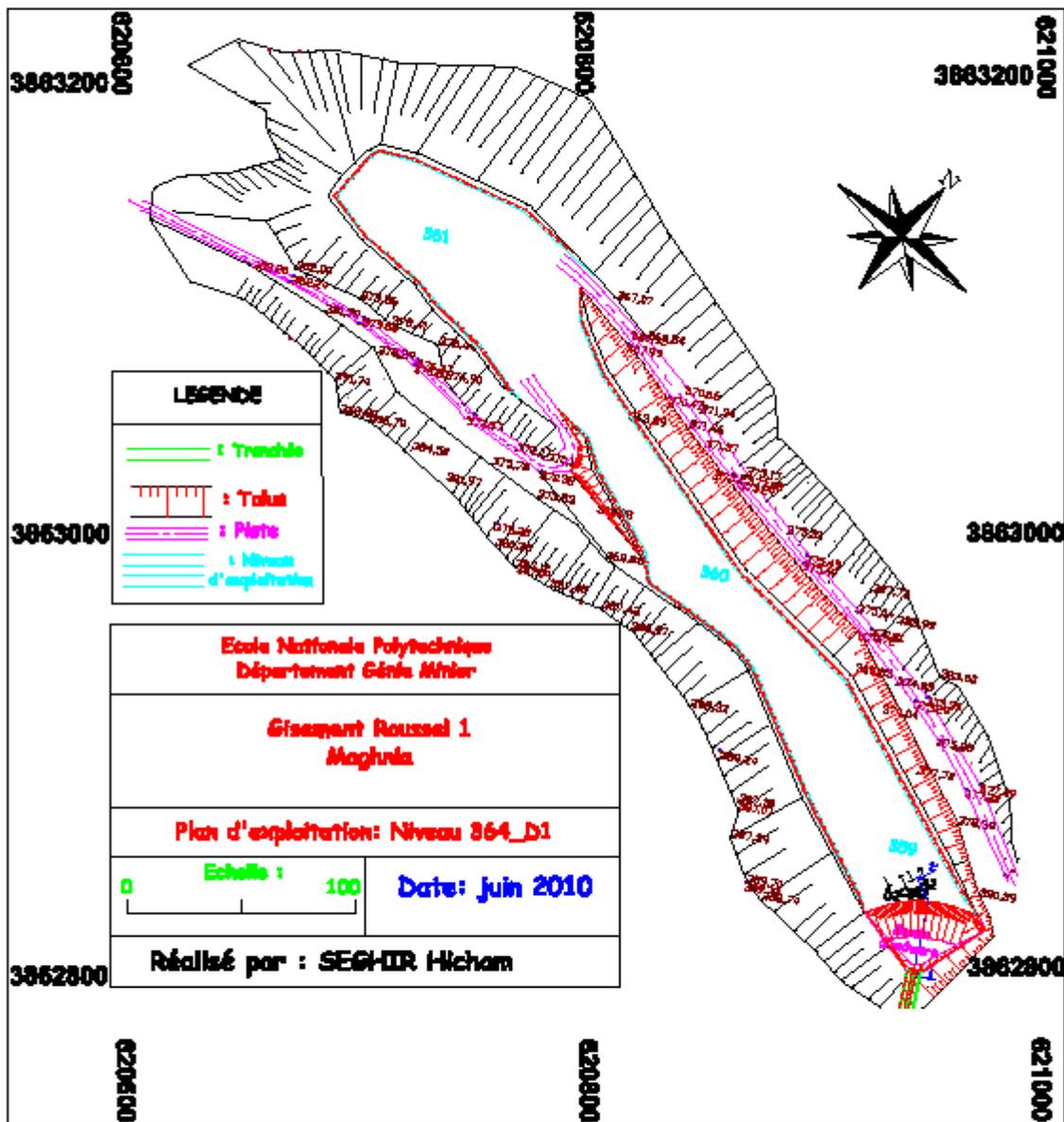


Figure IV.17: Plan d'exploitation, Niveau 361\_358

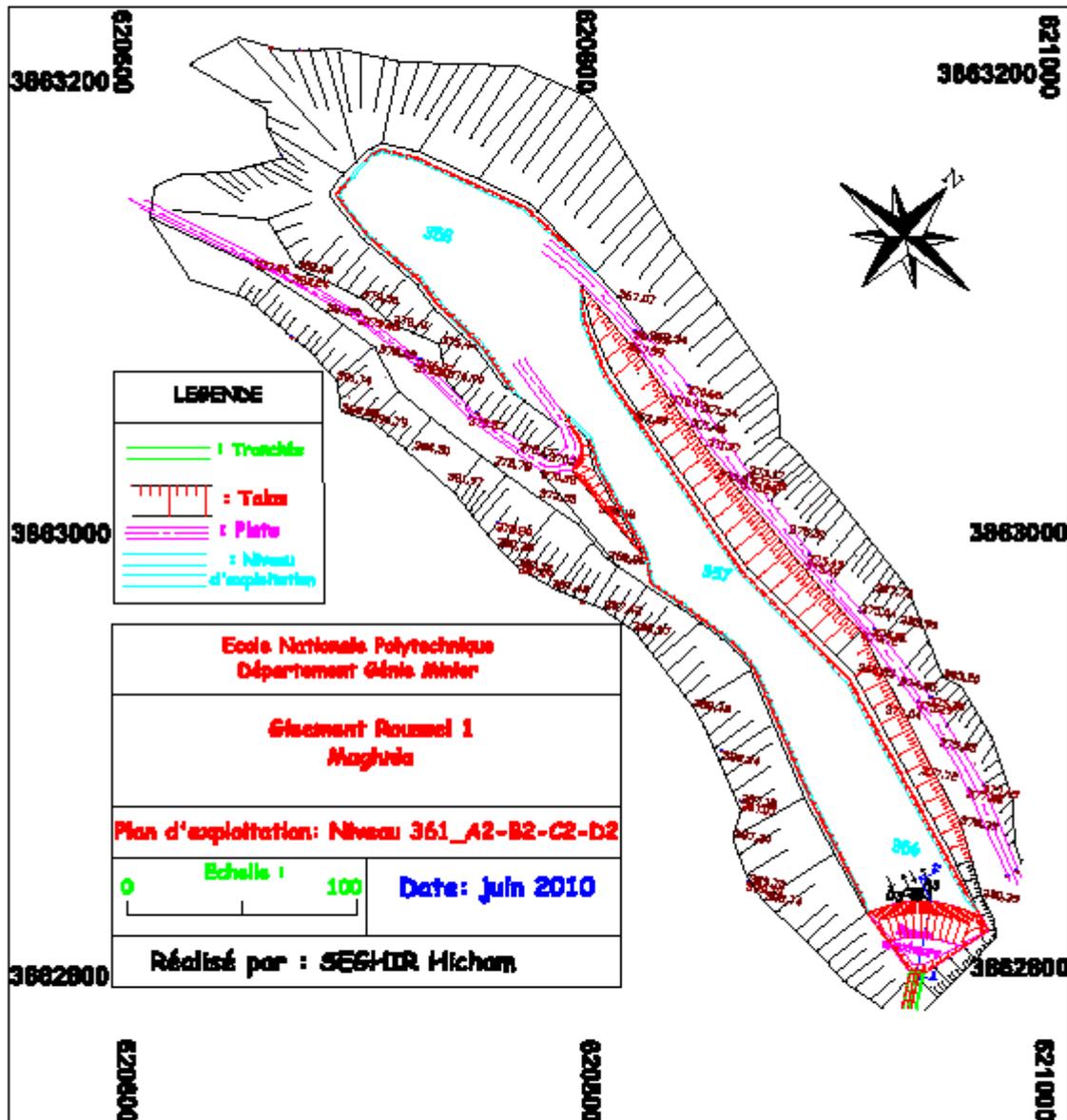


Figure IV.18: Plan d'exploitation, Niveau 358-355.

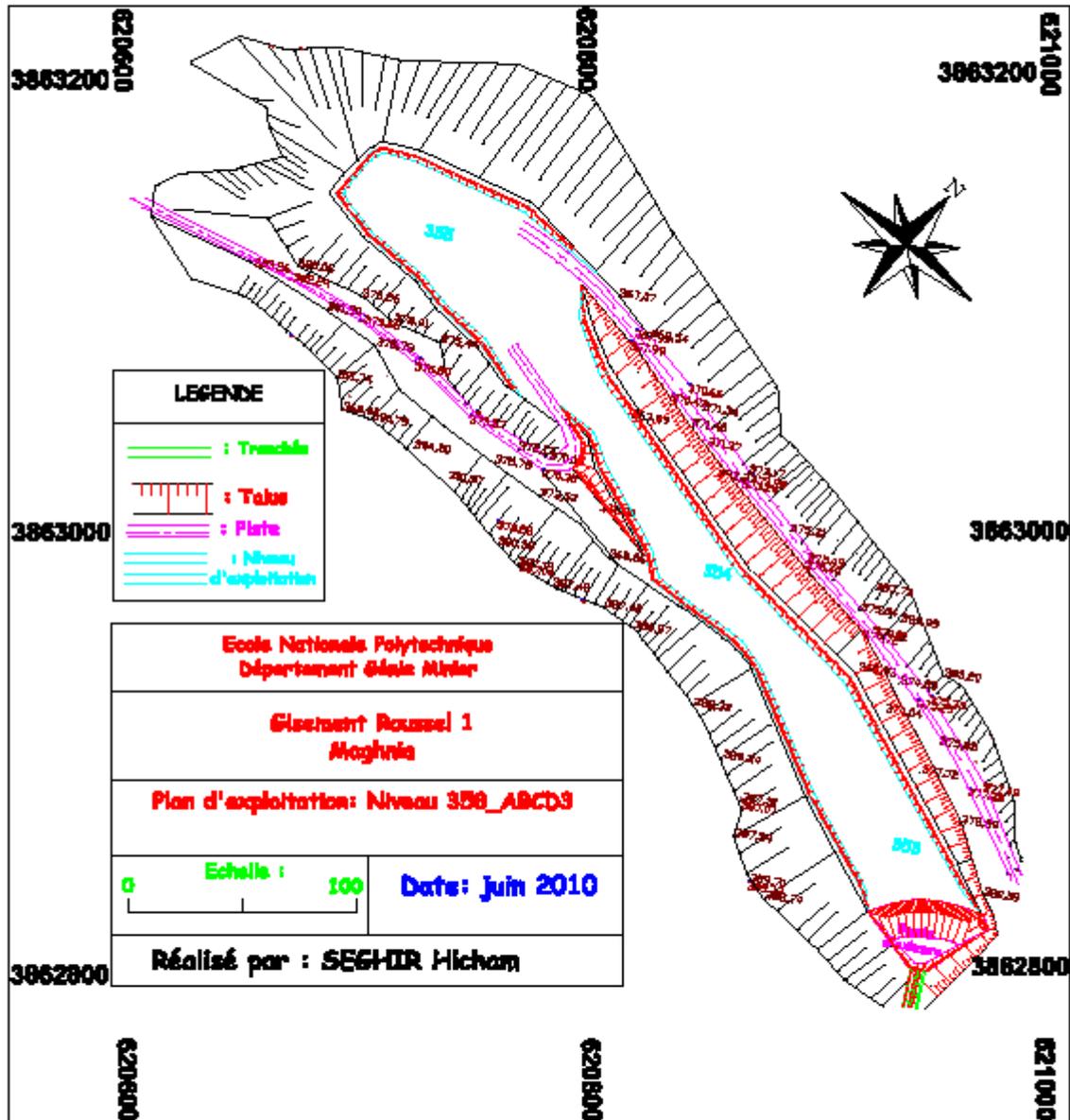
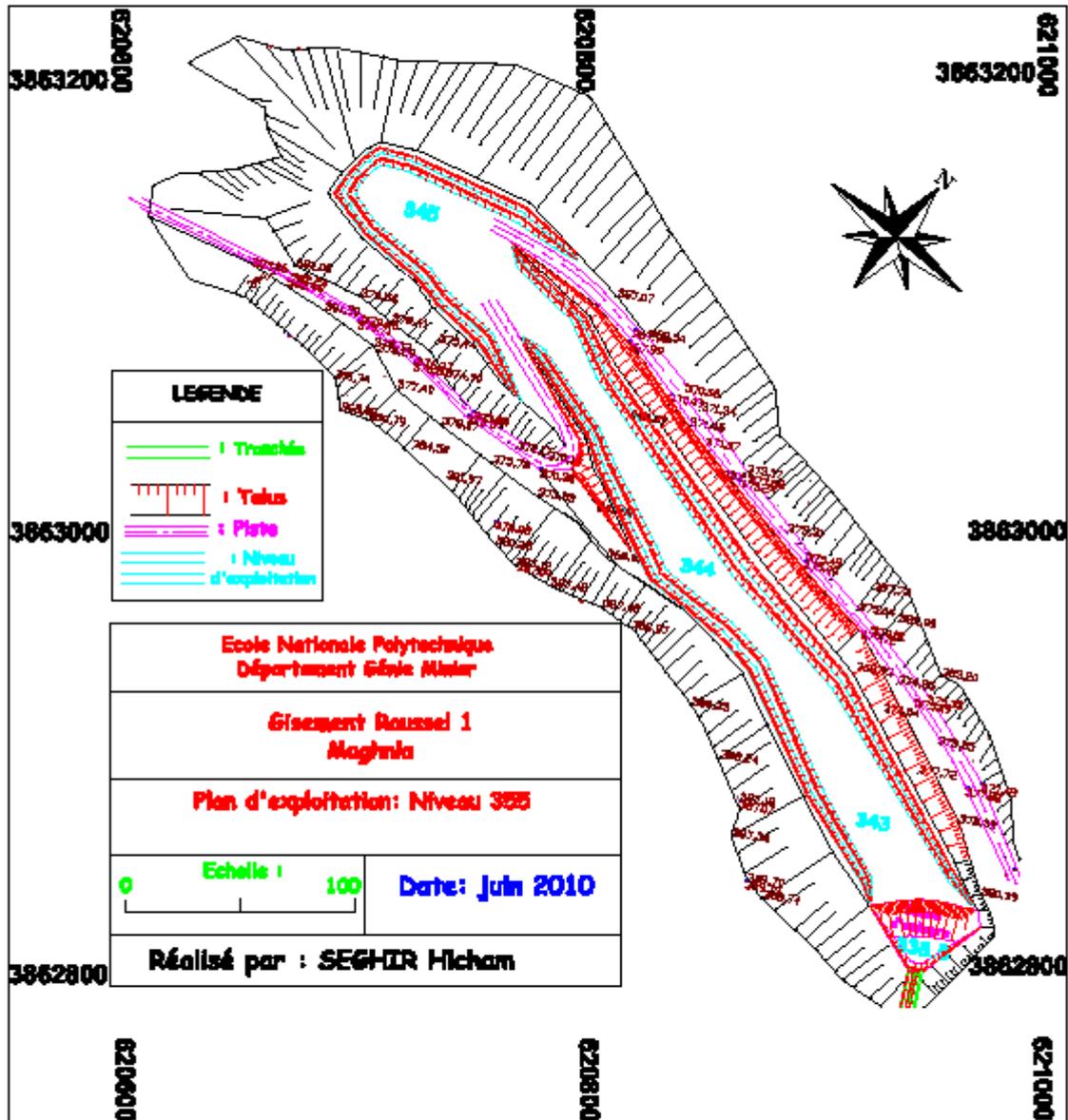


Figure IV.19: Plan d'exploitation, Niveau 355-345.



# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

---

L'exploitation minière est un art qui a ses propres règles et ses propres méthodes. On parle souvent du génie minier.

Des travaux miniers d'échelle industrielle qui ne respectent pas ces règles et qui n'appliquent pas ces méthodes sont voués à la non rentabilité et à l'échec économique.

L'exploitation minière de la bentonite de Hammam Boughrara, en général, ne se fait pas selon les règles du génie minier.

Sur le site de la mine à ciel ouvert de Roussel 1, nous avons relevé des irrégularités et des manquements innombrables. Ces anomalies et irrégularités nous les avons largement discutées et commentées dans le chapitre IV de ce mémoire.

Nous avons notamment relevé :

- Le problème du personnel non qualifié pour les taches minières.
- L'inexistence de documents et de cartes.
- L'inadaptation ou l'inexistence d'infrastructure (pistes d'accès, rigoles...).
- L'inexistence de plans de découpage de planification et d'exécution des travaux d'exploitation.
- Le problème grave d'extraction ciblant les endroits riches en bentonite de qualité supérieure au dépend des endroits de faible qualité.
- Le problème grave d'accumulation des eaux pluviales dans la mine mettant en péril la conduite et la poursuite des travaux d'exploitation et de développement.

Pour tous ces problèmes nous avons soigneusement proposé des solutions et des corrections en respect de ce qui est aujourd'hui connu et appliqué dans le génie minier.

Nous nous sommes particulièrement intéressés dans l'étude d'une solution durable au problème d'exhaure qui est à notre avis la clé pour toute poursuite de l'exploitation sur le site de Roussel 1. Cette solution consiste en le creusement d'une tranchée d'évacuation par simple gravité du coté sud-est. Cela permettra d'assécher le niveau d'exploitation actuel et d'entamer le niveau inférieur en toute sécurité. Pour ce dernier niveau nous avons établis un bon plan de découpage et d'exploitation dans de meilleures conditions conformément à la carte qualité du minerai en place.

Pour tous ces travaux nous n'aurons besoin que de la piste d'accès Est. Pour cela nous avons proposé de bien aménager cette piste de façon qu'elle soit praticable quelles que soient les conditions climatiques.

En outre, l'exploitation que nous avons proposée sera globalement concentrée sur la partie centrale de la mine actuelle où se trouve la bentonite de première qualité. Le reste étant de seconde qualité, qui n'est plus traitée par l'usine.

## CONCLUSION GENERALE

---

Les travaux se feront en va-et-vient entre les deux extrémités de la mine. Ils commenceront de l'extrémité sud-est, où sera aménagée la tranchée d'exhaure, vers l'extrémité nord-ouest.

L'extraction se fera par gradins de 10m exécutés par étapes successives de 3m environ. Cette méthode proposée est la mieux adaptée à l'extraction par la pelleteuse actuelle qui n'aura plus à faire des déplacements fréquents comme auparavant. Durant les travaux on veillera particulièrement à respecter une légère pente (2 ou 3°) vers l'extrémité sud-est afin de permettre à l'eau de pluie de ruisseler par gravité.

Pour ce faire nous avons recommandé de creuser des rigoles et des caniveaux, autour de la mine et à l'intérieur des gradins autour de la plateforme principale pour assécher le plus possible les travaux d'extraction en cas de pluie.

Recommandations :

En termes de perspective et de recommandation, il serait souhaitable de recueillir les données technico-économiques d'exploitation afin de pouvoir calculer avec précision la profondeur maximale que peut atteindre cette mine de bentonite.

-La mine voisine de bentonite RM étant située à quelques centaines de mètres de Roussel 1, il serait profitable de jumeler ces deux carrières pour réduire les frais d'exploitation et rendre ainsi le minerai plus compétitif sur le marché.

-Nous recommandons aussi de mettre à jour la carte qualité de la bentonite avec une meilleure reconnaissance afin de permettre un meilleur calcul des réserves et un plan d'exploitation adapté.

-Enfin, un plan d'exploitation minière, quelque soient sa qualité et sa perfection, ne servira à rien s'il n'est pas mis en application par des techniciens mineurs capables de le comprendre et d'y apporter les modifications nécessaires sur le terrain en cas de besoin. C'est pour cela que nous pensons que le facteur humain est avant tout la clé aux problèmes que rencontre actuellement la mine de bentonite de Roussel 1.

## BIBLIOGRAPHIE :

- [1]. [www.enof-mines.com/downloads/bouhrara.pdf](http://www.enof-mines.com/downloads/bouhrara.pdf) ; (consulté mars 2010) inédit.
- [2]. **A.ZADJAOUI** ; "Rapport annuel, 2007-2008-2009", ANGCM.
- [3]. **BENTAL**, Rapport "PRESENTATION DE BENTAL MAGHNIA", inédit.
- [4]. **BENTAL** n Rapport sur les travaux de recherche et prospection effectués en 1978 sur le gisement d'argile Bentonitique de Hammam Bouhrara, A. Torossian.
- [5]. **BENTAL**, "bentonite de Maghnia", inédit.
- [6]. **OMRACI Kamel** ; 2008-2009, Cours d'exploitation minière (4ème année Génie minier ENPA).
- [7]. [www.enof-mines.com/downloads/Maghnia.pdf](http://www.enof-mines.com/downloads/Maghnia.pdf) ; 2010, inédit.
- [8]. **S. SAIDANI et A. KHEBCHI**, 2003 ; Rapport "dossier de synthèse et recommandation pour le développement des autres gisements des bentonites de Maghnia", **BENTAL**.
- [9]. **BENTAL**, 2007. Rapport "LES BENTONITES DE HAMMAM BOUGHRARA".
- [10]. **BENTAL**, Rapport "Géologie et qualité de la bentonite de Maghnia".
- [11]. **S. SAIDANI**, 2005 , Rapport sur "PROJET CARTE QUALITE SUR LES BENTONITES DE MAGHNIA (CARRIERE ROUSSEL 1)", **BENTAL**.
- [12]. **HAYDN H.MURRAY**, "APPLIED CLAY MINERALOGY ", 2007, U.S.A: ELSEVIER.
- [13]. **SIDAM**, 1994, "Rapport de développement M'ZILA", inédit.
- [14]. **S.DEHIM**, 2004, " Etude gîtologique des argiles bentonitiques ". PFE, USTHB.
- [15]. **C.GARCIA**, 1981, "Boue de forage", institut français du pétrole. technip.

- [16]. **BENTAL** ; 2009 ; Diapo PPT "Présentation de BENTAL Spa" ; société des bentonites d'Algérie (unité de Maghnia), inédit.
- [17]. **SONAREM** ; 1972 ; Rapport de gisement d'argile bentonitique de Hammam Boughrara "coupes géologiques".
- [18]. **ORGM** ; 1992 division Ouest sba ; "Rapport sur les travaux de révision-prévision du gisement des argiles bentonitiques de Hammam Boughrara".
- [19]. **BENTAL** Maghnia ; Rapport "plan d'exploitation 2009", inédit.
- [20]. **SAIDANI ET KHEBCHI**, 2003 ; Rapport "Projet de développement de la carrière Roussel 1", **BENTAL**.
- [21]. <http://www.scribd.com/doc/30979512/Exploitation>, inédit.
- [22]. <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.html>.
- [23]. **M.KONESHLOO** ; 2007 ; "Caractérisation, estimation et valorisation des argiles kaolinitiques du bassin des charentes" ; Thèse doctorat de l'école des mines de Paris.
- [25]. [http://www.voyagesphotosmanu.com/pages/carte\\_geographique\\_algerie\\_pag.html](http://www.voyagesphotosmanu.com/pages/carte_geographique_algerie_pag.html)
- [24]. **DJ.MERABET** ; 07-1989 ; " PRINCIPES DE L'ELABORATION DU PROJET DES MINES A CIEL OUVERT (1 ère partie) " ; OPU.
- [26]. **BENTAL** ; Octobre 2001 ; Rapport "Evaluation des réserves géologiques et exploitables de la carrière Roussel 1" ; Inédit.