

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

*ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE*  
*Département Génie Minier*

**Projet de fin d'étude**  
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat En  
Génie Minier

*Evaluation du calcul des réserves  
géologiques et exploitables couche  
par couche du gisement  
bentonitique de M'ZILA  
(Mostaganem)*

Proposé par : BENTAL (Filiale ENOF)

Dirigé par:

*Dr : S. CHABOU*

Présenté et étudié par:

*BACHENE Mohamed*

*Promotion 2008/2009*

## *Remerciements*

Je remercie premièrement le Dieu unique le tout puissant de m'avoir donné patience, santé et volonté tout au long de mes études.

Je tiens vivement à remercier ma promotrice **Madame S.CHABOU** pour m'avoir encadré et surtout pour m'avoir suivi avec beaucoup de rigueur durant la réalisation de ce travail.

Je la remercie chaleureusement pour sa constante disponibilité et pour ses judicieux conseils.

Je remercie également les membres du jury pour avoir accepté de juger et d'examiner ce travail.

Merci à monsieur Chérif Ouali le directeur général du BENTAL pour son aide et ses éclaircissements.

Je remercie aussi messieurs M. Simohamed et A. Benioudrane les ingénieurs géologues au sein de la société BENTAL pour leur disponibilité et leur serviabilité.

Mes vifs remerciements vont à tous les enseignants du département GENIE MINIER de L'ENSP d'abord pour leur gentillesse, leur générosité, ainsi que leur disponibilité, en dépit de leurs nombreuses occupations.

Que tous mes amis, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour le soutien moral dont ils ont fait preuve à mon égard.

Enfin je tiens à remercier toute personne ayant contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

## Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents, mes chers et tendres, nul remerciement ni sentiment de reconnaissance ne sied à la grandeur de votre âme. Les mots ne viennent hélas, pas aussi facilement pour que je puisse vous exprimer mon amour, et tout simplement le bonheur et la fierté que j'éprouve à être votre enfant.

A mon frère et mes sœurs, ma source de bonheur, d'équilibre, de réconfort et d'amour.

A toute ma famille.

A mes amis.

Mohamed

## ملخص:

أطيان البنتونيت متواجدة بكثرة في منطقة مزيلة بولاية مستغانم, لهذا أردنا تحسين درايتنا بهذا المنجم بفضل دراسة مفصلة لطبقات البنتونيت باستعمال الخرائط المتساوية السمك والخرائط المتساوية العمق لكل طبقة. هذه الخرائط المستخرجة بواسطة البرنامج (SURFER) سمحت لنا بتتبع تغيرات سمك وعمق الطبقات, وكذلك حساب الاحتياط الجيولوجي لكل طبقة بنتونيت. منجم مزيلة يخضع لقواعد جيولوجية تحدد من استغلال الطبقات الأكثر عمقا, لذا فإن الطبقات قسمت إلى أجزاء محددة يتراوح عمقها 20 مترا لتسهيل الاستغلال, حساب الاحتياط المستغل تم بواسطة نفس البرنامج باستعمال معطيات الأخاديد المحفورة في هذه الأجزاء

كلمات مفتاحيه : الاحتياط الجيولوجي, الاحتياط المستغل, بنتونيت, أطيان, مزيلة, SURFER

## Résumé

Les argiles bentonitiques sont abondantes dans la région de M'ZILA Wilaya de Mostaganem sous forme de couches. Pour cela on a essayé de mieux connaître le gisement par une étude détaillée des couches de bentonite en utilisant des cartes en isopaque et en isobathe de chaque couche.

Ces cartes réalisées à partir du logiciel (SURFER), nous permettent de suivre les variations des épaisseurs et des profondeurs des couches, et aussi de calculer les réserves géologiques de chaque couche de bentonite.

Le gisement de M'ZILA obéit à des règles géologiques et topographiques qui limitent la profondeur d'exploitation, pour cela, les couches de bentonite sont subdivisées en parcelles (tranchées), ces parcelles sont étroites et excèdent les 20m de profondeur, le calcul des réserves exploitables de ces parcelles se fait à l'aide du logiciel SURFER, en utilisant les données des rainures creusées dans ces parcelles.

**Mots clés** : réserves géologique, réserves exploitables, bentonite, argiles, M'ZILA, SURFER.

**Abstract :**

Bentonitic clays are numerous in the region of M'ZILA Wilaya of Mostaganem in the form of layers. We have tried to know better the deposit by a detailed study of bentonite layers by using isobathe and isopaque maps of every layer.

These maps realized from the software (SURFER), allow us to follow the variations of the thicknesses and the depths of layers, and also to calculate the geologic reserves of every bentonite layer.

The deposit of M'ZILA obeys to a geologic and topographic rules which limit the exploitation depth, for it, the bentonite layers are subdivided into plots of land, these plots of land are narrow and surplus the 20m of depth, the calculation of the exploitable reserves of these plots of land is made by the SURFER software, using the data of grooves dug in these plots of land.

**Keywords :** geologique reserves, exploitable reserves, bentonite, clays, M'ZILA, SURFER.

# Table des matières

## Introduction générale

I - introduction générale.....	1
Chapitre I (Les argiles bentonitiques et leurs usages)	
A. Introduction.....	5
B. Argiles.....	5
B.1 structure des minéraux argileux .....	6
C. La bentonite.....	9
C.1. Historique.....	9
C.2. Définition.....	10
C.3. autres minéraux des bentonites.....	10
C.4. les variétés de la bentonite.....	10
C.5. Structure de la montmorillonite.....	11
C.6. Structure des bentonite.....	12
C.7. Aspect macroscopique et microscopique.....	13
C.8. Les conditions de formation de la bentonite.....	13
C.9. propriétés physico-chimiques des bentonites.....	14
C.10 les principaux utilisations de la bentonite.....	16
Chapitre II (Géologie du gisement)	
A. géologie régionale.....	22
A.1. Introduction.....	22
A.2. Stratigraphie.....	24
B. géologie locale.....	27
B1. Localisation géographique.....	27
B.2 aperçu géologique du site.....	28
B.3. Caractéristique morphologique du gisement.....	28
B.4. caractéristique des couches.....	29
B.5. Caractéristique chimiques de la bentonite de Mostaganem.....	34
B.6. Spécification de la bentonite de Mostaganem selon les usages de la bentonite.....	36
Chapitre III (Étude détaillée des couches de bentonite)	
1. introduction.....	39
2. description de la méthode du travail.....	39
3. les sondages réalisés dans la région.....	40
4. "surfer" le logiciel d'interpolation.....	40
5. les cartes en isopaque.....	41
carte en isopaque de la couche (X).....	42
carte en isopaque de la couche (IX).....	43
carte en isopaque de la couche (VIII).....	44
carte en isopaque de la couche (VII).....	45

carte en isopaque de la couche (V).....	46
carte en isopaque de la couche (IV).....	47
carte en isopaque de la couche (III).....	48
carte en isopaque de la couche (XII).....	49
6. les cartes en isobathe.....	50
carte en isobathe de la couche (X).....	50
carte en isobathe de la couche (IX).....	51
carte en isobathe de la couche (VIII).....	52
carte en isobathe de la couche (VII).....	53
7. calcule des réserves géologique.....	54
7.1 les réserves éliminés.....	55
7. conclusion.....	56

## Chapitre IV (Exploitation du gisement)

1. introduction.....	58
2. description des travaux.....	59
décapage.....	59
abattage.....	61
accès et les ouvertures au gisement.....	62
chargement et transport.....	63
3. taux de salissage.....	65
4. taux de découverte.....	65
5. le stérile.....	65
6. les carrières exploitées actuellement.....	65
7. conclusion.....	67

## Chapitre V (Calcul des réserves du gisement de M'ZILA)

1. introduction.....	70
2. les travaux de SONAREM.....	71
3. les travaux de SIDAM.....	71
4. les paramètres utilisés dans le calcul des réserves.....	72
5. calcul des réserves par le logiciel "SURFER".....	73
6. calcul des réserves de la catégorie B.....	74
7. calcul des réserves de la catégorie C1.....	91
8. calcul des réserves de la catégorie C2.....	92

## Conclusion et recommandations

Conclusion générale.....	101
Recommandations.....	102
Bibliographie .....	103

## Annexes

## Listes des figures

### Introduction générale

Figure 1 : carte de distribution des gisements de bentonite dans l'ouest d'Algérie.....	2
-----------------------------------------------------------------------------------------	---

### Chapitre I

Figure I.1 : Structure d'argile (feuille) .....	6
Figure I.2 : Structure de kaolinite.....	7
Figure I.3 : Structure de Smectite et d'Illite .....	8
Figure I.4 : Structure de montmorillonite.....	12
Figure I.5 : Schéma descriptif du rôle de la boue de forage bentonitique.....	18
Figure I.6 : les utilisations de la bentonite.....	20

### Chapitre II

Figure II.1 : Carte géologique de la bordure occidentale du massif du DAHRA .....	23
Figure II.2 : Colonne stratigraphique du bassin du Chélif dans la région de Mostaganem	26
Figure II.3 : Localisation géographique du gisement de M'ZILA.....	27
Figure II.4 : Colonne stratigraphique du gisement de M'ZILA .....	28

### Chapitre III

Figure III.1 : Carte de localisation des sondages dans le gisement de M'ZILA .....	41
Figure III.1 : Carte en isopaque de la couche (X) .....	42
Figure III.2 : Carte en isopaque de la couche (IX) .....	43
Figure III.3 : Carte en isopaque de la couche (VIII) .....	44
Figure III.4 : Carte en isopaque de la couche (VII) .....	45
Figure III.5 : Carte en isopaque de la couche (V) .....	46
Figure III.6 : Carte en isopaque de la couche (IV) .....	47
Figure III.7 : Carte en isopaque de la couche (III) .....	48
Figure III.8 : Carte en isopaque de la couche (XII) .....	49
Figure III.9 : Carte en isobathe de la couche (X) .....	50
Figure III.10 : Carte en isobathe de la couche (IX) .....	51
Figure III.11 : Carte en isobathe de la couche (VIII) .....	52
Figure III.12 : Carte en isobathe de la couche (VII) .....	53

### Chapitre IV

Figure IV.1 : Section typique d'une exploitation de bentonite .....	59
Figure IV.2 : Schéma de l'action du ripper sur le sol.....	61
Figure IV.3 : Les pistes d'accès .....	64
Figure IV.4 : les réserves exploitées actuellement.....	67

## Chapitre V

Figure V.1 : Carte en isopaque de la parcelle F (couche XIV).....	76
Figure V.2 : Carte en isopaque de la parcelle E (couche XIV).....	77
Figure V.3 : Carte en isopaque de la parcelle D (couche XIV).....	78
Figure V.4 : Carte en isopaque de la parcelle C (couche XIV).....	79
Figure V.5 : Carte en isopaque de la parcelle A2 (couche XI).....	80
Figure V.6 : Carte en isopaque de la parcelle A (couche VII).....	81
Figure V.7 : Carte en isopaque de la parcelle AEK (couche IV).....	82
Figure V.8 : Carte en isopaque de la parcelle B (couche III).....	83
Figure V.9 : les parcelles préparées à l'exploitation dans le gisement de M'ZILA.....	95

# Listes des tableaux

## Chapitre I

tableau I.1 : Classification des argiles .....	8
------------------------------------------------	---

## Chapitre II

Tableau II.1 : Caractéristiques géométriques, rhéologique et physico-mécaniques des couches .....	31
Tableau II.2 : description de l'importance des couche du gisement de M'ZILA.....	32
Tableau II.3 : Comparaison entre la composition chimique moyenne de la bentonite de Mostaganem et des bentonites d'autres régions .....	35
Tableau II.4 : Critères SONAREM (1972) .....	37
Tableau II.5 : Critères SIDAM (1979) .....	37

## Chapitre III

Tableau III.1 : calcul des réserves à partir des cartes en isopaque.....	54
--------------------------------------------------------------------------	----

## Chapitre IV

tableau IV.1 : caractéristique d'un bulldozer CATERPILLAR D75.....	60
tableau IV.2 : la longueur moyenne de chaque piste d'accès .....	63

## Chapitre V

Tableau V.1 : les résultats des travaux réalisés dans le gisement de M'ZILA.....	75
Tableau V.2 : caractéristique géométriques des parcelles de catégorie(B).....	85
Tableau V.3 : comparaison de notre calcul de réserves avec le calcul de L'ENOF.....	96

# Introduction générale

## **Introduction:**

Les argiles sont très répandues dans la nature : les roches sédimentaires contiennent 50% de minéraux argileux, les schistes 50 à 80% et les roches éruptives donnent, par décomposition, des argiles.

En tant que matière première brute l'argile est un mélange de minéraux argileux et d'impuretés cristallines sous forme de débris rocheux de composition infiniment diverse.

L'intérêt accordé ces dernières années à l'étude des argiles par de nombreux laboratoires dans le monde se justifie par leur abondance dans la nature, l'importance des surfaces qu'elles développent, la présence des charges électriques sur cette surface et surtout l'échangeabilité des cations interfoliaires, sont les principaux éléments de l'hydratation, du gonflement, de la plasticité et de la thixotropie...

Les bentonites sont en fait des argiles, dont la particularité principale réside dans leur haute teneur en Montmorillonite (leur composant « tri-couches » aux propriétés d'adsorption, gélification et thixotropes inégalables) Elles présentent des propriétés d'hydratation et d'imperméabilité grâce à la présence de cations interfoliaires hydratables ce qui explique leur qualificatif d'argiles gonflantes.

La bentonite est connue en Algérie et exploitée dans l'ouest du pays depuis la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle. De nombreux gisements d'argiles gonflantes de type montmorillonite sont présents, notamment dans les wilayas de l'ouest (Ain Temouchent, Oran, Mostaganem, Mascara) et de l'Est (Sétif, Skikda) et constituent autant de ressources potentielles à valoriser.

Leur importance économique est considérable puisqu'elles sont employées dans différentes fabrications.

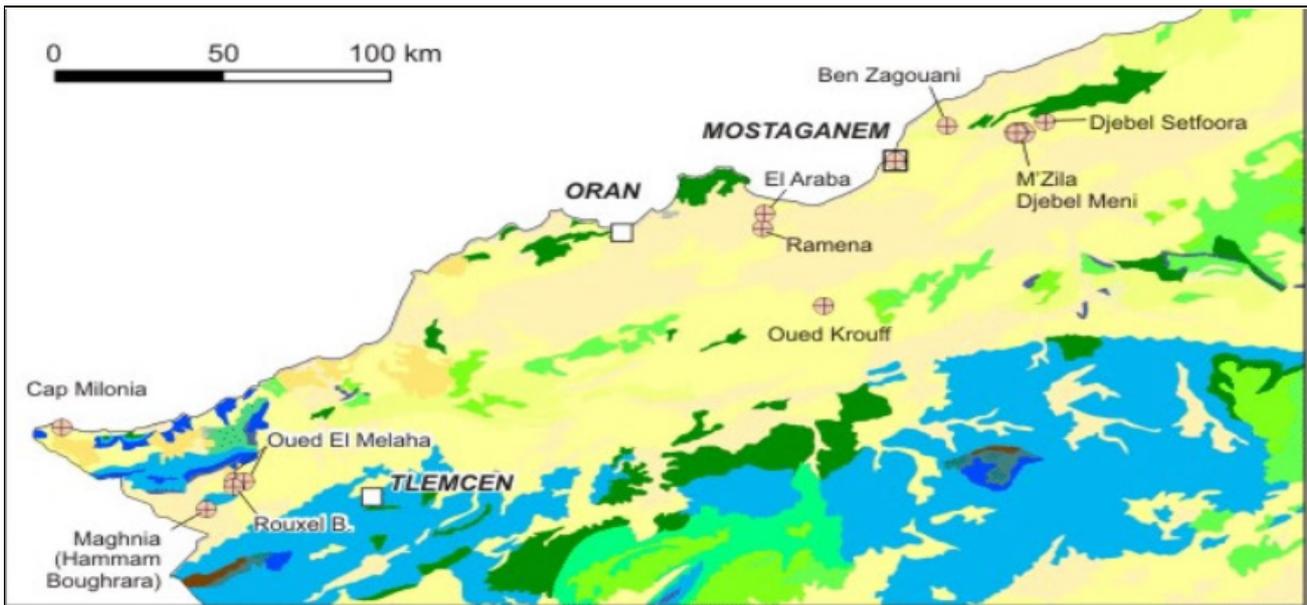


Figure 1 : Carte de distribution des gisements de bentonite dans l'Ouest de l'Algérie

Notre champ d'étude est le gisement de M'ZILA à l'Est de la Wilaya de Mostaganem dont les réserves géologiques s'élèvent à plusieurs milliers de tonnes. Ce gisement est exploité par la société BENTAL (filiale de l'ENOF).

L'objet de ce mémoire est l'évaluation du calcul des réserves géologique et exploitable couche par couche du gisement benthonique de M'ZILA.

La prospection de nouvelles réserves devient pour beaucoup d'exploitations une clé stratégique de développement. Pour minimiser la probabilité de perte, il faut investir sur les bonnes cibles. Pour trouver ces cibles on ne peut s'appuyer que sur des informations géologiques, rhéologiques ou chimiques. Les indices géologiques sont les plus importants et les plus utilisés pour la prospection des réserves de bentonite.

On réalise dans cette étude des cartes en isopaques et en isobathes des couches de bentonite pour voir les variations des épaisseurs et des profondeurs des différentes couches de ce gisement, et parallèlement on calcule les réserves géologiques à partir des cartes en isopaque.

Une grande partie de ce travail est basée sur les données de sondages (logs habillés) de la région.

Le calcul de réserves dans le gisement de M'ZILA se fait par la subdivision des couches (14 couches de bentonite) en un nombre des tranchées ou parcelles de longueur, largeur et de profondeur déterminées. Les tranchées permettent de voir la minéralisation sur toute son épaisseur afin d'évaluer les réserves tranchée par tranchée et de mieux contrôler l'exploitation.

Le calcul de cet ensemble des tranchées se fait à l'aide du logiciel SURFER par la réalisation des cartes en isopaque de chaque tranchée. Pour les autres ensembles des parcelles le calcul se fait par l'utilisation des données géométriques tirées à partir de la carte de l'ENOF

Ce mémoire est composé de cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la bentonite, de ses applications et des paramètres importants pour chaque cas d'application industrielle.

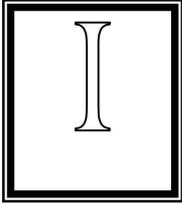
Le deuxième chapitre présente la géologie régionale et locale de ce gisement d'argiles

Dans le troisième chapitre, une étude détaillée des couches de bentonite permet de quantifier les réserves géologiques de ce gisement et de suivre leur continuité.

Le quatrième chapitre décrit la méthode d'exploitation utilisée dans le gisement et les engins utilisés.

Le dernier chapitre est consacré au calcul des réserves couche par couche dans le gisement de M'ZILA.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale et quelques recommandations.



# Les Argiles bentonitiques et leurs usages

## I. LES ARGILES BENTONITIQUES ET LEURS USAGES

### A. INTRODUCTION

Avant d'entrer dans le détail de la géologie du gisement benthonique de M'ZILA, on présente 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.

### B. LES ARGILES [7]

Le terme Argile désigne la terre de potier (en latin) et trouve son origine dans le mot Grec « **Argilos** » dont la racine Argos signifie blanc.

Les argiles sont des roches silicatées en feuillets (phyllosilicates), riches en alumine et plus ou moins hydratées.

Elles forment seules ou en association avec d'autres roches, plus de 50 % des roches sédimentaires.

Elles se présentent comme des particules extrêmement fines (de l'ordre de 2 micromètres de diamètre), ayant dans l'eau ou la solution des sols des propriétés colloïdales (dispersion, floculation, adsorption), de fortes affinités avec l'eau (absorption) ce qui leur confère une bonne plasticité, des propriétés importantes de compaction par expulsion d'eau.

Les argiles confèrent aux sols dans lesquels elles sont présentes, des propriétés particulières qui sont dues à leur très petite taille, à leur structure en feuillets et à la charge négative qu'elles portent (colloïdes électronégatifs).

La diffraction des rayons X a été l'outil indispensable pour déterminer la structure des argiles

### B.1. structure des minéraux argileux [5] :

L'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, Ce sont des phyllosilicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres  $Al(OH)_6$  et de couches de tétraèdres  $SiO_4$  reliées par les atomes O et OH mis en commun.

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 ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ).

Au 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.

D'après la structure du feuillet, on distingue principalement les argiles 1/1 (1 couche tétraédrique+1 couche octaédrique) et les argiles 2/1 (2 tétra. pour 1 octaédrique).

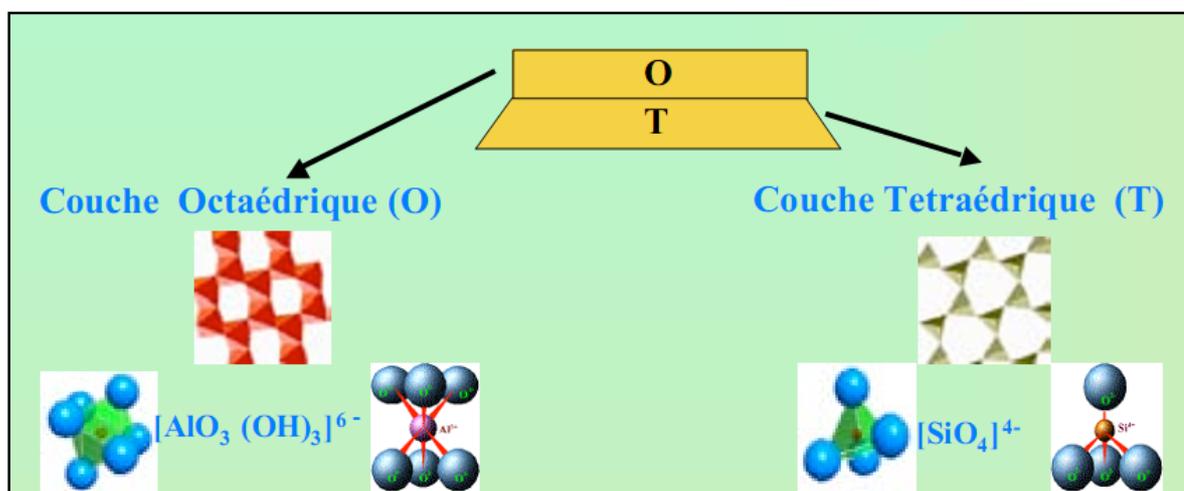


Figure I.1 : Structure des argiles (feuillet), [8]

a) La Kaolinite (1/1, d=7 Å):

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. La formule chimique structurale est  $[Al_4Si_4O_{10}](OH)_8$ . L'équidistance interfolier est de 7 Å.

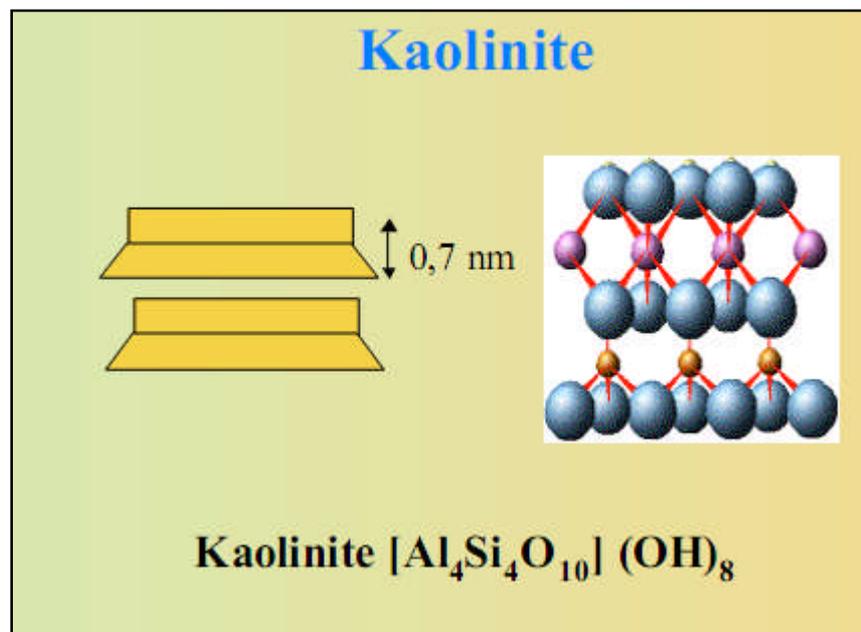


Figure I.2 : structure des kaolinites, [8]

b) les Illites (2/1, d=10Å):

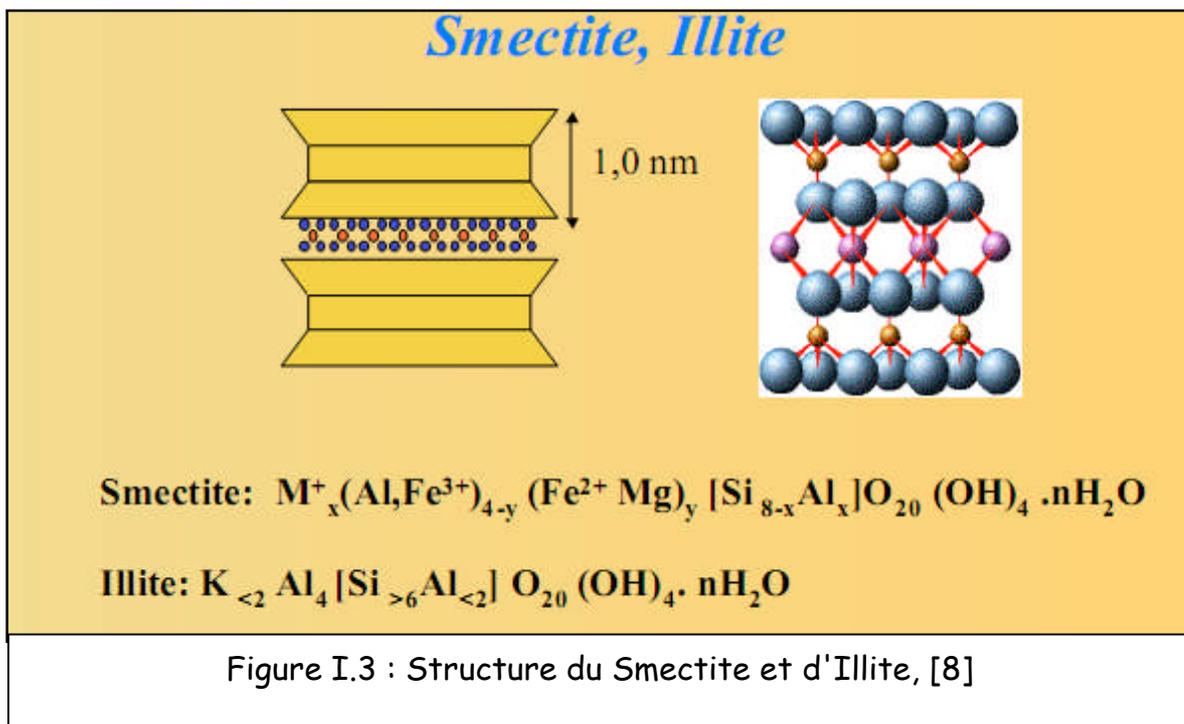
Les illites sont des argiles à trois couches, une couche octaédrique associée à deux couches tétraédriques dans lesquelles une partie du silicium est remplacée par de l'aluminium. Les ions aluminium de la couche octaédrique peuvent être remplacés par les ions Magnésium et Fer et des ions de potassium assurent la neutralité de l'ensemble

c) les smectites (2/1, d= 14 Å°).

Les minéraux de la famille des smectites ou la famille des montmorillonites sont bâtis 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 magnésium ou potassium contiennent 2 couches d'eau dans l'interfoliaire. L'équidistance interfoliaire est de 14-15Å. Par contre, les smectites avec des cations monovalents comme le Sodium ne contiennent qu'une seule couche d'eau (d=12 Å).

La bentonite fait partie de cette famille (montmorillonite sodique).



suivant le mode s'assemblage des couches tétraédriques et octaédriques on a la classification des argiles suivante :

**Tableau I.1 : classification des argiles [17]**

1.1 ou T-O		1.2 ou T-O-T				2.2 ou T-O-T-O
7Å	10Å	9.4Å	10Å	10.4Å -12Å	14Å -15Å	15Å
Stable	variable	stable	stable	stable	variable	stable
Kaolinite	Halloysie	Talc pyrophyllite	Illite	Argile fibreuse : attapulgite sépiolite	Smictite vermiculite	Chlorite

La variabilité d'espèces naturelles synthétiques et/ou modifiées de par l'aptitude des argiles à subir des transformations par différentes voies:

adsorption, échange ionique, pontage, et/ou par attaque acide ou basique, fait que les argiles interviennent à des degrés d'implication diverses dans un nombre illimité d'applications.

Des millions de tonnes d'argiles sont utilisées annuellement dans une grande variété d'applications.

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.

## **C. LA BENTONITE**

### **C.1. Historique [17]**

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des bentonites

Le terme bentonite a été proposé en 1898 par Knight pour désigner une argile au toucher savonneux appartenant à la formation "Benton shale" et affleurant dans la région de Rock River (Wyoming) aux Etats Unis d'Amérique, où la première exploitation de bentonite aurait été ouverte. Cette formation tire son nom de Fort-Benton situé à 650 km environ au Nord de Rock River.

Ce terme a ensuite été étendu aux matériaux naturels dont la composition et les propriétés sont dominées par les smectites.

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.

## C.2. Définition [20]

La bentonite est une argile généralement impure en aluminium du phyllosilicate consistant la plupart du temps en montmorillonite. Il y a quelques types de bentonites et leurs noms dépendent des éléments dominants, tels que K, Na, Ca, et Al...

Les bentonites sont des argiles qui présentent les propriétés d'hydratation les plus développées d'où leur qualificatif d'argiles gonflantes.

Ces argiles du groupe des smectites possèdent des propriétés uniques de gonflement et d'imperméabilité grâce à la présence de cations interfoliaires hydratables.

## C.3. Autres minéraux 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).

## C.4. Les variétés de la bentonite

Il existe deux types de bentonites :

- la bentonite sodique ou à base de sodium qui augmente de volume lorsqu'elle est humide et qui peut absorber plusieurs fois sa masse en eau.

Les Montmorillonites peu magnésiennes et dont la base échangeable est sodique (Na-bentonite) gonflent énormément à l'eau et peuvent même former des gels permanents

- Les bentonites calciques (Ca-bentonite) où le Fer peut partiellement remplacer Aluminium et gonflent peu. Elles forment par contre avec l'eau une suspension thixotropique.

### C.5. Structure de la montmorillonite [6] :

L'établissement des structures a fait l'objet de nombreuses études. La plus connue est celle de Hofmann, Endel et Wilm.

La montmorillonite appartient au groupe des minéraux argileux à 14 Å, caractérisé par un feuillet qui comporte une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques type 1/2.

La Montmorillonite est composée d'unités constituées de deux couches de silicium tétraédrique et d'une couche centrale d'aluminium octaédrique.

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'oxygènes des octaèdres par liaisons covalentes. Les octaèdres ont par contre leurs sommets occupés par quatre atomes d'oxygène et deux hydroxyles 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 des réseaux d'oxygène des couches tétraédriques

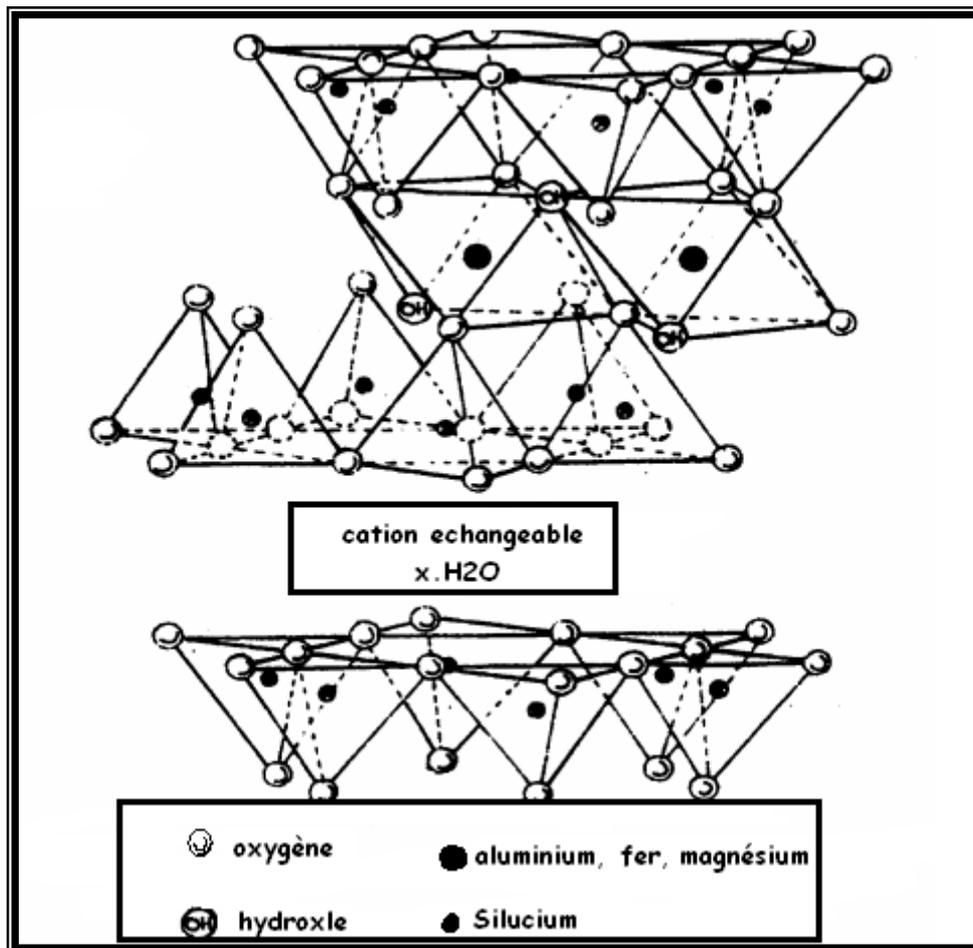


Figure I. 4 : Structure de montmorillonite

### C.6. Structure des bentonites

Les feuillets de la bentonite présentent une charge électrique négative dont l'origine et l'intensité expliquent leurs propriétés d'hydratation et de gonflement.

Le fait que cette charge est compensée par des cations de sodium [Na<sup>+</sup>], calcium [Ca<sup>++</sup>] ou potassium [K<sup>+</sup>] garantit l'électro-neutralité des feuillets.

Les cations présents dans les feuillets attirent les atomes d'oxygène de l'eau, les forces de Van Der Waals (attraction électrostatique entre les feuillets) n'étant pas suffisante pour s'opposer à la pénétration de l'eau dans les espaces interfoliaires.

L'intercalation des molécules d'eau dans les espaces interfoliaires conduit à un écartement des feuillets, qui peuvent glisser les uns par rapport aux autres (gonflement).

L'expansion de l'espace interfoliaire induite par hydratation des cations compensateurs des bentonites explique l'aptitude des bentonites à échanger leurs cations compensateurs en présence d'une solution ionique. Ce mécanisme permet par exemple d'obtenir une bentonite sodique à partir d'une bentonite calcique.

Une suspension de bentonite est donc formée d'un réseau tridimensionnel connecté et poreux de particules argileuses déformables dans lequel les contacts entre les particules sont quasiment face à face.

### **C.7. Aspect macroscopique et microscopique [1] :**

La bentonite est un matériau au toucher savonneux, faisant des copeaux sous l'ongle, généralement non plastique à cause de son humidité.

A l'affleurement, elle forme rapidement par dessiccation d'importantes fissures de retrait. Un des traits caractéristiques de ces affleurements est l'absence de ravinement que l'on y observe par le jeu des hydratations et dessiccations successives. Il se crée un talus constitué de petits grains d'argile. 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'agrégats 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°.

### **C.8. Condition de formation de la bentonite**

Il est difficile de préciser les conditions de formation de la bentonite. Il semblerait que les minéraux à groupe non centro-symétrique seraient de néoformation et que les centro-symétriques seraient de dégradation.

La Montmorillonite est rencontrée :

- Dans les milieux sédimentaires, riches en magnésium et à PH légèrement ou nettement alcalins, un excès en potassium dans ces milieux, laisserait apparaître les micas.
- Au niveaux des sols.
- Comme produit d'altération :
  - i. Des roches eruptives acides (pegmatites....).
  - ii. Des cendres volcaniques (fort benton, USA).
  - iii. Des rhyolites (Maghnia, Algérie).
  - iv. 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).

### **C.9. propriétés physico-chimiques des bentonites [5] :**

#### **C.9.a Gonflement**

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

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

#### **C.9.b Capacité d'échange de base**

Par 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 =  $12.5\text{Å}$ ); avec des ions  $\text{Ca}^{+2}$  il y a deux couches de molécules d'eau (distance =  $14.5$  à  $15\text{Å}$ ). Les cations échangeables ont une influence notable sur les propriétés des bentonites.

#### C.9.c 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.

#### C.9.d Gels de bentonite

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

Ces gels manifestent le phénomène de thixotropie, c'est à dire qu'ils épaississent au repos prolongé et reprennent leur viscosité normale par simple agitation.

#### C.9.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.

#### C.9.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.

### C.10. Les principales utilisations de la bentonite [20]

#### C.10.a les boues de forage

La bentonite sodique est le constituant majeur de la boue de forage. Il suffit de comprendre que la 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.

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 mondial. De fait la publication "Word Oil" rapportait que 89 % du total de pieds forés en exploration pour le pétrole et le gaz l'avait été en Amérique du Nord qui produisait la même année 24 % seulement de la production mondiale.

Bien que la consommation de bentonite varie dépendant du type de formation traversé et qu'il soit difficile de poser des absolus sur des patrons de consommation, certaines statistiques ont été établies qui permettent des rapprochements utiles entre la quantité de bentonite utilisée et le nombre de pieds forés.

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.

Et grâce aux propriétés rhéologiques, une tonne de bentonite sodique permet de produire plus de 16 m<sup>3</sup> de boue, pour le forage en milieu non salé.

Les propriétés de viscosité de ces boues permettent de remonter les « débris ou cuttings » en surface. Cette boue permet aussi de créer, sur les parois du trou, un revêtement étanche et lubrifie les tiges et l'outil de forage.

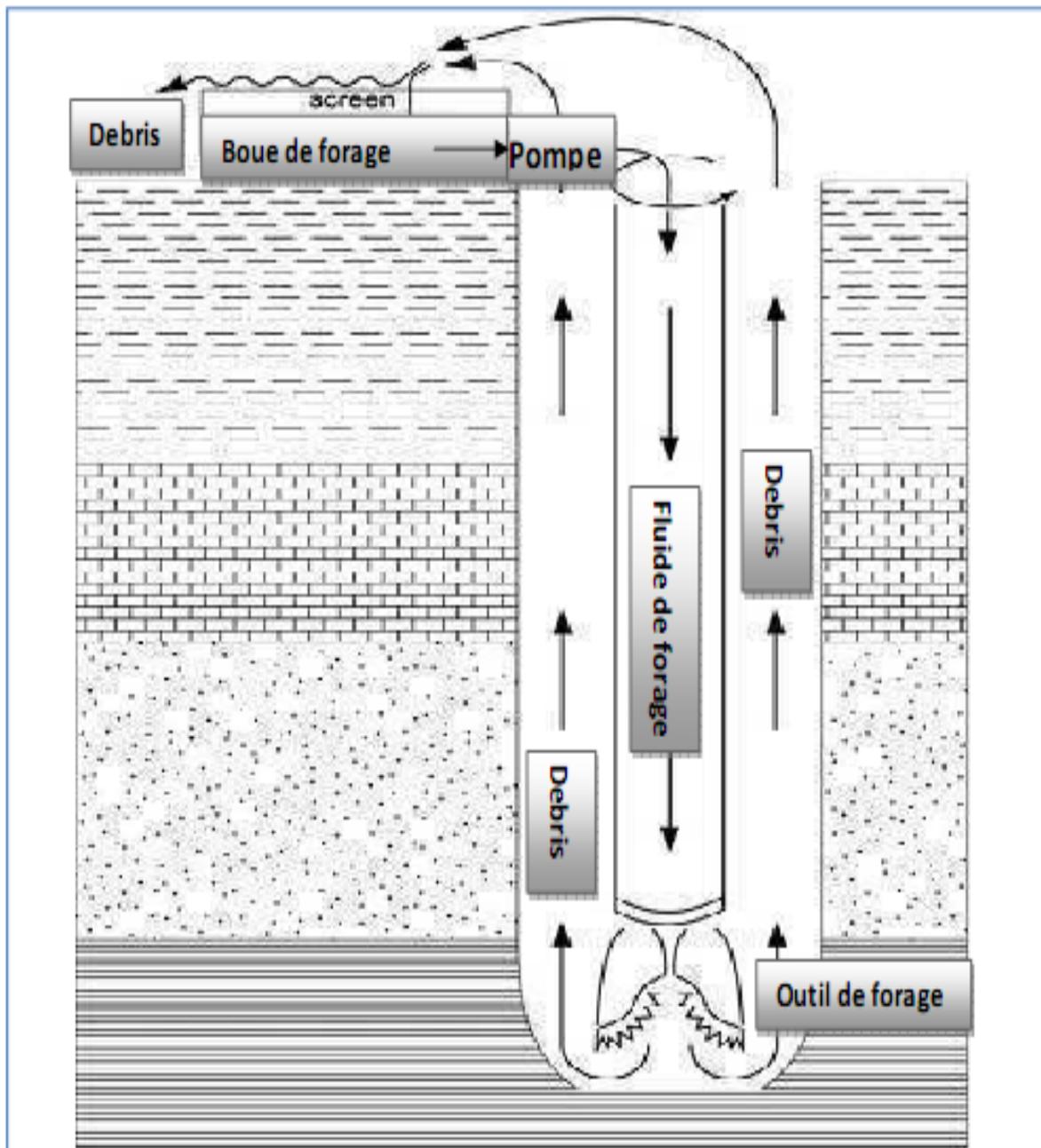


Figure I.5 : Schéma descriptif du rôle de la boue de forage bentonique

### C. 10.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 mêle 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. De très nombreux mélanges sont préparés dans le commerce pour des spécialités. L'argile utilisée peut être une bentonite naturelle du type Wyoming ou une bentonite de traitement (terres décolorantes ou bentonite non gonflante selon la terminologie américaine, traitée en y ajoutant de faibles quantités de carbonate de sodium). La tendance des sables dits synthétiques à remplacer les sables naturels (bien que ceux-ci continuent d'être utilisés) 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.

### C. 10.c Bouletage des minerais de fer

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 laissent 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.

## C.10.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).

## C.10.e Terres décolorantes

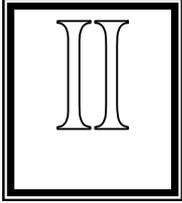
Les bentonites trouvent également des débouchés pour la décoloration des huiles et comme support de catalyse (bentonites activées à l'acide).

## C.10.f Autres utilisations

La bentonite est un nanocomposite recherché comme charge minérale dans les insecticides et pesticides, les aliments du bétail, les engrais, les produits cosmétiques, les polymères, en pharmacie (comme pansement gastrique) etc.



Figure I.6 : Les utilisations de la bentonite (BENTAL)



La géologie du gisement de  
M'ZILA

## I. Géologie du gisement

### A. Géologie régionale [4] :

#### A.1 Introduction:

Le bassin du bas CHELIF forme une cuvette intra montagneuse de direction NE-SW. Il se situe dans la zone externe de l'atlas tellien occidental qui correspond au segment algérien de l'orogénèse alpine.

D'Est en Ouest, le bassin de CHELIF est subdivisé en trois ensembles géographiques:

- ✓ Le haut Chélif;
- ✓ Le moyen Chélif;
- ✓ Le bas Chélif (notre secteur d'étude);

Le bassin du bas Chélif est situé entre deux ensembles de formation essentiellement secondaires qui sont le massif du Dahra au Nord et l'Ouarsenis au Sud. Les dépôts accumulés du bassin du bas Chélif vont du Miocène post nappe (Miocène moyen- supérieur) au Quaternaire.

Les reliefs occupent une partie importante dans le bassin ou ils viennent s'accoler au massif crétacé du Dahra pour former un même ensemble orographique. Dès la mise en place du bassin (Miocène inf et moy.), des mouvements ns à no/se ont engendré le plissement des différentes formations Mio- plio -quaternaire ainsi que la mise en place des failles.

Ces différentes phases se traduisent par des discordances angulaires observées sur le terrain entre le Miocène Inférieur, le Miocène Supérieur et le Pliocène et à l'intérieur même de ces étages (Binger, 1952 in SONAREM). Les cinérites forment un facies important dans la formation des bentonites de la région étudiée.



Figure II.1: Carte géologique de la bordure occidentale du massif du DAHRA (SIDAM, 1979)

## A.2 Stratigraphie [1]:

### A.2.1 Stratigraphie du bassin du bas Chélif (région de Mostaganem):

Géologiquement, le gisement de M'ZILA fait partie du bassin du Bas Chélif, ce dernier est de type intra montagneux comblé de sédiments du Mésozoïque, Cénozoïque et de dépôts du Quaternaire.

#### - Mésozoïque :

Il est représenté par le Crétacé inférieur, il affleure sur une longue bande orientée Nord-Est et caractérisée par des dépôts de quartzites, de calcaire siliceux et de marnes schisteuses, d'une épaisseur de 200m environ.

#### - Paléocène :

Il est représenté par l'Oligocène qui affleure sur la côte au Nord Ouest sur une surface réduite, il est caractérisé par des marnes, des argiles marneuses, du sable brun, des grès et des calcaires marneux.

#### - Miocène:

Le Miocène est très largement développé dans la région.

- ❖ **Miocène inférieur** : il est représenté par une série monotone d'argiles, et des marnes renfermant des veines de gypse, de grès et de conglomérats.
- ❖ **Miocène supérieur** : il comporte une série de grès glauconieux, de marnes argileuses et une puissante couche de marnes bleues (550m) renfermant des intercalations de calcaires, de grès et d'argiles bentonitiques et d'argiles gypsifères. Le gisement de M'ZILA appartient à cet horizon d'argiles bentonitiques. Les niveaux de cinérites observés dans la formation des marnes bleues sont riches en glauconie et de

soufre au niveau des ponts du Chélif tandis qu'au niveau du bassin elles sont représentées par des tufs ryolithiques qui séparent les deux formations Tlélat et Tafaraoui.

Ce niveau est riche en feldspath, micas, silice en boule.

- ❖ **Miocène terminal** : Le Miocène terminal repose sur les formations du Miocène supérieur. II affleure en bande caractérisée par une alternance de marnes à tripolis purs et de calcaires siliceux, l'épaisseur totale peut atteindre 30m.

- **pliocène:**

- En discordance sur le Miocène, le Pliocène offre une partie inférieure composée de grès et des conglomérats ; le tout surmonté par des grès marins (Astien) et des grès et limons continentaux à Hélix. Ces dernières formations sont en discordance avec les précédentes.

- **Quaternaire :**

- II est représenté par des grès calcaires, évoluant à travers toute la zone Nord-Ouest de la région de Hadjads et Sidi Ali jusqu'à la mer méditerranée par différentes roches continentales rubéfiées, sableuses et argileuses, ainsi que par des sables marins côtiers tout au long de la côte.

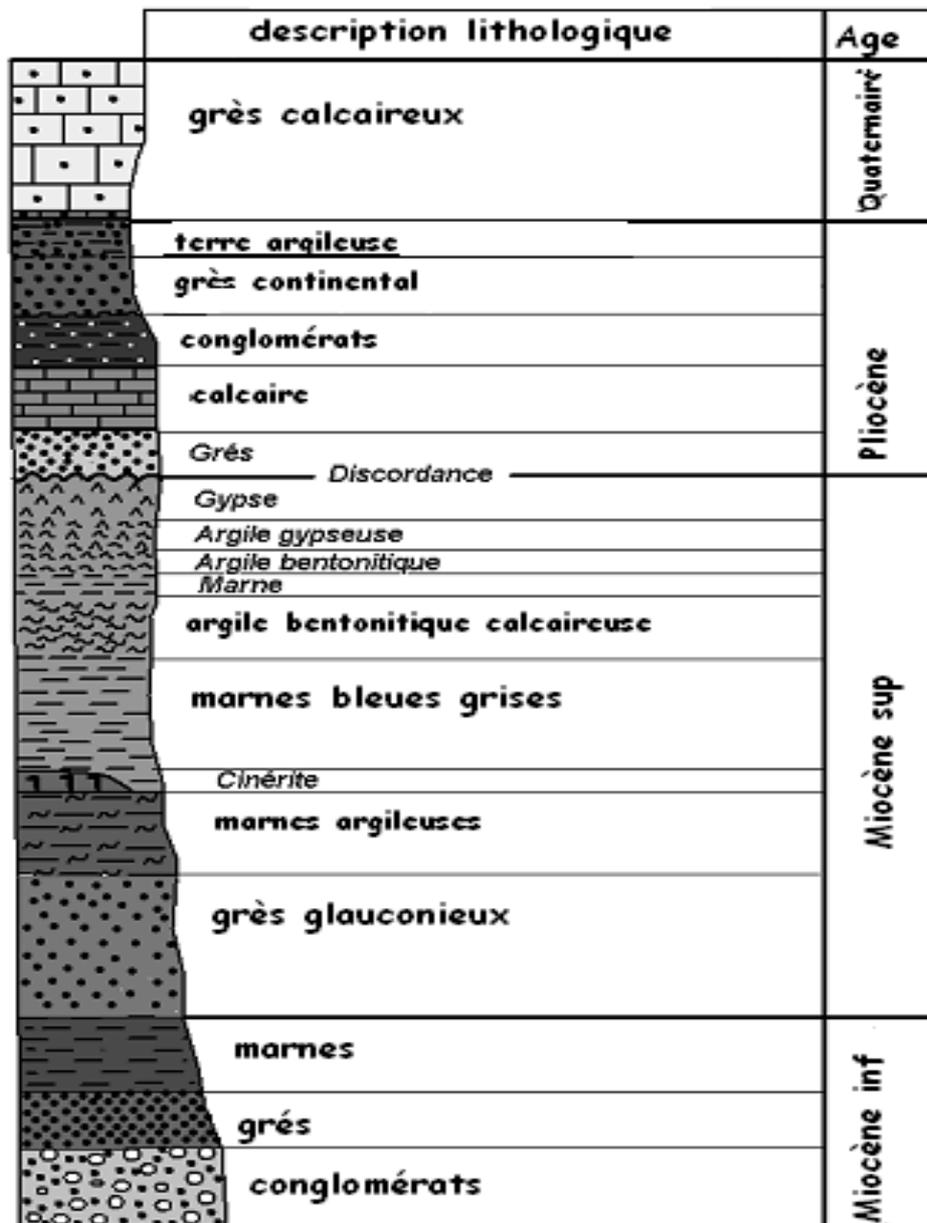


Figure II.2 : Colonne stratigraphique du bassin du Chélif dans la région de Mostaganem (SIDAM, 1979) (modifié)

## B. GEOLOGIE LOCALE

### B.1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

La zone de M'ZILA qui fait l'objet de ce travail, s'inscrit dans une surface de 5.2 Km<sup>2</sup>, à une distance de 45Km au Nord Est de Mostaganem et à environ 10 Km à l'Est du chemin goudronné reliant la commune de Sour à la Daïra de Sidi Ali à l'Est du village Achasta.



Figure II.3: Localisation géographique du gisement de M'ZILA (Michelin carte)

Le caractère essentiel de sa topographie réside dans l'apparition d'une masse marneuse qui forme des crêtes, de 0 à 100m, plus marquée à l'Est. L'érosion par drainage et par ravinement a donné un cachet bien particulier à cette zone.

### B.2. APERCU GEOLOGIQUE DU SITE :

À l'échelle du gisement de M'ZILA, la séquence du Miocène supérieur exposée dans la région des exploitations débute à la base par un banc épais de marne bleue compacte. Cette dernière est surmontée par les couches d'argiles bentonitiques, qui sont interstratifiées avec des grès biotitiques. Cette séquence est ensuite recouverte par une marne argileuse. Quatorze couches d'argiles bentonitiques ont été reconnues dans le gisement de M'ZILA.

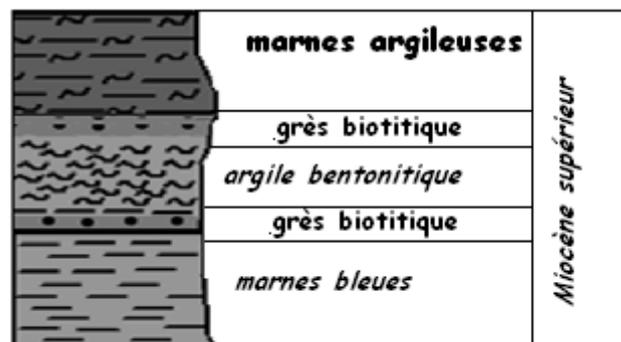


Figure II.4: Colonne stratigraphique du gisement de M'ZILA (SIDAM, 1979)

### B.3 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU GISEMENT:

Le gisement de M'ZILA comprend 14 couches d'argiles bentonitiques numérotées de I à XIV (I la plus récente, vers le sommet à XIV la plus ancienne, vers la base) et qui gisent au cœur synclinal orienté Est- Ouest, les couches du flanc nord présentent un pendage de 10° à 35° vers le Nord.

Les 14 couches d'argiles bentonitiques du gisement affleurent en direction mais d'une façon discontinue, entaillée par des ravins qui constituent un réseau dendritique de drainage des eaux de ruissellement.

L'extension occidentale des couches d'argiles bentonitiques plonge sous des morts terrains, dans une plaine à topographie moins accidentée que la zone du gisement en exploitation.

A la limite Est qui coïncide avec la terminaison du synclinal soulignée par une zone faillée, les couches changent de direction et s'incurvent pour continuer vers l'Ouest et le Sud-Ouest au flanc sud. Une tectonique cassante de faible amplitude affecte les couches.

#### B.4. CARACTERISTIQUES DES COUCHES

Le tableau II.1 présente un sommaire des principales caractéristiques de chaque couche du gisement de M'ZILA. Ces caractéristiques sont rencontrées dans quelques parcelles ou bien dans les parcelles où le prélèvement des échantillons est effectué.

Le nombre des échantillons varie d'une couche à l'autre (avec une moyenne d'une vingtaine échantillons). Le prélèvement s'effectuait par saignées de longueur de 0.3 à 3 m dans les tranchées, et par la prise d'un quart de la carotte récupérée dans les sondages.

Les caractéristiques physico- mécaniques déterminées dans ce tableau sont: la viscosité, la filtration ou l'eau libre, l'indice de gonflement, la compression à vert et le cisaillement à vert.

Les essais pour la détermination des différentes caractéristiques des échantillons se poursuivent jusqu'à ce qu'on obtienne deux résultats analogues successifs.

L'épaisseur des couches présentée au tableau est une épaisseur apparente (épaisseur mesurée horizontalement, sans correction pour

l'angle de pendage) mais pour le calcul de réserves on introduit cette correction dans la mesure de la profondeur.

Les couches II, V, IX, ne sont pas représentées à cause de leurs faibles potentiels en réserve

Ce tableau possède une valeur indicative seulement, puisque tous les paramètres requis pour la classification des bentonites en fonction de leur utilisation n'ont pas été mesurés systématiquement pour chaque couche. De plus, pour la même couche, la qualité de la bentonite peut varier d'un endroit à l'autre.

La lecture L600 de la viscosité et le volume d'eau libre (filtrat) sont les deux seuls paramètres dont les valeurs sont disponibles pour la plupart des couches. Les mesures récentes de ces paramètres ont été préférées aux plus anciennes dans l'élaboration du tableau II. 1.

**Tableau II.1: Caractéristiques géométriques, rhéologique et physico-mécaniques des couches [3]:**

Couches/ parcelles		Caractéristiques géométriques			Caractéristiques physiques moyenne						Eléments du gisement		
		Long (m)	Larg (m)	Epais (m)	Vis. L600 (cp)	filtrat (cm <sup>3</sup> )	Res >75u (%)	IG (%)	CPV (g/cm <sup>2</sup> )	CXV (g/cm <sup>2</sup> )	Azim Direct (°)	Azim Pend (°)	Angle Pend (°)
I	AB	3000	8	1.1	03.80	22.00	-	-	-	-	70	160	35
III	B	60	10	04	07.93	28.94	06.81	-	-	-	60	150	35
	A	70	10	04	09.75	24.67	06.15	8.82	683.6	112	70	160	35
IV	A	130	10	04	11.48	17.94	05.00	12.00	480	113	80	170	30
	AEK	70	8	04	11.11	18.18	05.13	-	4.17	-	80	160	30
VII	A	60	12	07	05.64	19.28	09.76	11.00	591	139	70	160	35
X	GRA	60	08	02	17.91	15.86	01.33	13.80	-	-	70	160	30
	DI	45	08	07	16.00	17.75	13.90	-	-	-	70	170	30
	Ben.	50	10	05	13.93	21.28	02.19	10.27	-	-	80	160	35
	B4	60	08	03	15.00	21.68	04.46	11.36	-	-	80	160	35
	T2	100	10	02	18.45	23.75	-	-	-	-	80	160	30
XI	A2	900	8-30	6	19.00	20.00	08.00	11.00	-	-	70	160	25
XII		3738	05	03	33.00	16.00	-	-	-	-	70	170	30
XIII	C	700	7	0.9	25.00	22.00	-	-	-	-	70	160	45

XIV	D	25	12	06	36.00	30.04	13.50	11.00	-	-	90	160	40
	E	40	12	06	33.86	27.27	13.50	11.00	-	-	90	160	40
	F	40	12	6	29.26	26.02	06.50	-	-	-	90	160	40
	C	60	03	6	22.81	19.66	5.16	12.30	-	-	80	160	45

couches	Epaisseur moyenne réelle	Longueur des couches	Carrières exploités	Nombre d'échantillons prélevés	Extension de la couche sur le synclinal
I	0.75	3301	4 et 13	--	Sur les deux flancs
II	2	204	12	--	Faible extension
III	2	1490	--	22	Sur le flanc nord
IV	3.5	2551	5 et 10	69	Sur le flanc nord
V	2.5	207	--	2	Faible extension
VI	0.25	214	--	1	Faible extension
VII	2	2603	11 et 14	71	Sur les deux flancs
VIII	0.85	2418	--	3	Sur le flanc sud
IX	0.25	100	--	2	Faible extension
X	3.5	5337	3, 6, 9, 15, et Fahim	25	Sur les deux flancs
XI	1.5	1311	2	--	Sur le flanc nord
XII	1.5	3738	1,7 et 8	--	Sur le flanc nord
XIII	2	2188	16	--	Sur le flanc nord
XIV	8.5	2121	17	--	Sur les deux flancs

La description qui suit présente un résumé de la qualité et de l'importance en terme de réserves de chacune des couches de bentonite reconnue dans le gisement de M'ZILA (notons que l'orientation

d'utilisation de la bentonite a été faite par rapport aux valeurs moyennes du tableau II.1) :

**Tableau II.2 : Description de l'importance des couches du gisement de M'ZILA**

Couche I: Elle a été tracée sur les deux flancs du synclinal, sur une longueur minimale de 3300 mètres, et a été exploitée dans les chantiers 4 et 13.

Couche II: Elle a été exploitée dans le chantier 12. Par contre, elle ne possède pas une grande extension et ses réserves sont minimales.

Couche III: Elle a été tracée seulement sur le flanc Nord du synclinal. Elle est en cours d'exploitation.

Couche IV : Il s'agit d'une couche de bonne épaisseur qui fusionnerait avec la couche VII dans le nez et sur le flanc sud du synclinal selon l'interprétation de l'ENOF.

Elle a été exploitée dans les carrières 5 et 10, mais ses réserves sont encore importantes.

Couche V : Elle est de faible extension et ses réserves sont modestes. De plus, les analyses suggèrent qu'elle est de mauvaise qualité et ne pourrait servir que comme bentonite de charge.

Couche VI: Elle est de faible extension et trop mince pour supporter une exploitation rentable.

Couche VII: Il s'agit d'une couche de bonne épaisseur qui a été tracée sur les deux flancs du synclinal.

Elle ne possède pas les caractéristiques requises pour les boues de forage, mais est de bonne qualité en fonderie. La couche VII a été exploitée dans les chantiers 11 et 14.

Couche VIII: Elle n'a jamais été exploitée, peut-être à cause de son épaisseur relativement faible (1,7m).

Couche IX: Cette couche est très mince ne contient pas de réserves significatives. D'ailleurs, la bentonite y serait de mauvaise qualité.

Couche X: Il s'agit de la couche qui a été tracée sur la plus grande distance, soit près de 5,4 kilomètres. Même si elle a été exploitée dans cinq chantiers (3, 6, 9, 15 et Fahim), elle contient encore des réserves très importantes.

Couche XI: Elle est restreinte à la partie ouest du flanc nord du synclinal. Elle a été exploitée dans le chantier 2, sur une longueur de 900 mètres. Cependant, sa limite vers l'Ouest contient encore des réserves importantes.

Couche XII: Elle n'est connue que sur le flanc nord du synclinal. Cette couche exploitée dans le chantier 8 serait la même que celle qui affleure dans les chantiers 1 et 7 plus à l'Ouest.

Couche XIII: Elle a été exploitée dans la carrière 16.

Couche XIV: C'est la couche la plus importante du gisement en épaisseur (9 à 12m) et en réserves (plus de 268 000 t).

Le potentiel d'accroissement des réserves est réel à l'Ouest

#### B.5. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DE LA BENTONITE DE MOSTAGANEM [1]:

On reconnaît généralement deux types principaux de bentonite à l'état naturel. La plus répandue est la bentonite calcique, dont une analyse typique est donnée au tableau II.3 (bentonite du Sud des Etats-Unis). La bentonite calcique n'est pas gonflante, et donc impropre à la préparation des boues de forage. Par contre, son ion échangeable ( $Mg^{+2}$ ) lui confère une capacité d'absorption élevée, d'où son utilisation dans la décoloration des huiles végétales et minérales, et le raffinage des produits pétroliers. L'autre variété est la bentonite sodique, qui est naturellement gonflante et trouve son application dans la préparation des boues de forage. Une analyse représentative de ce type de bentonite est présentée au tableau II.3.

De par sa composition chimique, la bentonite de Mostaganem se rattache aux bentonites sodiques (tableau II.3). Comme la bentonite du Wyoming, sa teneur en  $Na_2O > 2\%$  lui confère un indice de gonflement élevé et donc de

bonnes propriétés pour la préparation des boues de forage. Par contre, sa teneur en MgO < 3% la rend impropre à la production de terres décolorantes, contrairement à la bentonite de Maghnia qui est de bonne qualité pour cette application (tableau II.3).

**Tableau II. 3 : Comparaison entre la composition chimique moyenne de la bentonite de Mostaganem et des bentonites d'autres régions. [4]**

% poids	Sud USA	Wyoming	Maghnia	Mostaganem
SiO <sub>2</sub>	59.00	64.30	58.89	65.50
TiO <sub>2</sub>	ND	ND	00.28	00.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.40	19.80	17.37	13.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	05.10	04.04	03.32	02.91
FeO	01.26	02.06	ND	00.70
MnO	ND	ND	00.07	00.03
MgO	02.86	02.03	03.37	02.27
CaO	03.88	00.73	01.06	01.86
Na <sub>2</sub> O	00.41	02.81	01.32	02.22
K <sub>2</sub> O	00.78	00.44	01.30	00.97
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	02.91	01.44	04.46	03.27
H <sub>2</sub> O	05.40*	02.11*	08.26	06.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ND	ND	00.05	00.06
SO <sub>3</sub>	ND	ND	00.68	00.02
TOTAL	100 .00	100.00	100.43	099.99

\* Faite par calcul

ND non déterminé

#### B.6. SPECIFICATION DE LA BENTONITE DE MOSTAGANEM SELON LES USAGES DE LA BENTONITE :

L'usine de Mostaganem produit de la bentonite pour trois usages principaux : les boues de forage, les moules de fonderie et la bentonite de charge industrielle. Chacune de ces applications nécessite des qualités propres.

La production de boues de forage requiert une bentonite dont la viscosité est élevée (>10 centipoises) et dont le volume d'eau libre est faible (< 18 cm<sup>3</sup>). Ces deux paramètres ont été mesurés systématiquement, depuis 1972, pour les bentonites de Mostaganem. Cependant, tel que mentionné dans le rapport de la SONAREM (1972), les résultats des analyses de 1972 sont douteux. En effet, plusieurs de ces analyses indiquaient une viscosité faible et un volume d'eau libre élevé pour des bentonites qui, en pratique, produisaient des boues de forage de bonne qualité. Pour les mêmes couches de bentonite, les analyses récentes du laboratoire de l'unité de l'ENOF à Mostaganem, qui ont été fournies à SIDAM (bureau d'étude canadien), ont donné de bien meilleurs résultats. Pour cette raison les analyses récentes doivent être préférées aux plus anciennes.

La production de moules de fonderie requiert une bentonite dont la résistance à la compression est supérieure à 570 g/cm<sup>2</sup> (à vert) et supérieure à 3 400 g/cm<sup>2</sup> (à sec). De plus, la résistance au cisaillement doit être supérieure à 165 g/cm<sup>2</sup> (à vert) et supérieure à 1 510 g/cm<sup>2</sup> (à sec).

Essentiellement, la bentonite de charge est celle qui ne rencontre pas les normes requises pour la production des boues de forage ou des moules de fonderie. Il s'agit d'un produit de qualité inférieure, qui commande un prix moindre. La seule spécification requise pour cet usage est un degré d'humidité inférieur à 18%.

L'étude de SIDAM (1979) avait démontré que la bentonite de Mostaganem est très supérieure à celle de Maghnia pour la production des boues de forage à cause de son indice de gonflement plus élevé (proportionnel à la teneur en Na<sub>2</sub>O), de sa teneur en sable plus faible et de sa composition plus homogène. La bentonite de Mostaganem serait également supérieure à celle d'Amérique du Nord pour la fabrication des moules de fonderie.

❖ **LES CRITERES MINIMUMS de la QUALITE ADOPTES POUR L'EVALUATION DES RESERVES DANS LE RAPPORT SONAREM1972**

**Tableau II. 4 : Critères SONAREM 1972**

Humidité (%)	Refus sur tamis (75u)(%)	pH	Eau libre (cm <sup>3</sup> )	viscosité	Gel	Pouvoir gélifiant
12-15	jusqu'à 10	9-10	<18	>10	15-110	86-148

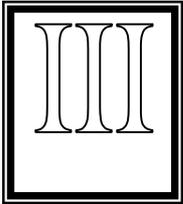
Parmi les propriétés physico-mécaniques conformes aux normes requises, seules l'eau libre et la viscosité ont été déterminées et ce pour la production de bentonite de forage.

❖ **LES CRITERES MINIMUM de la QUALITE ADOPTES POUR L'EVALUATION DES RESERVES DANS LE RAPPORT SIDAM (1979)**

**Tableau II. 5 Critères SIDAM (1979)**

	Bentonite de forage	Bentonite de fonderie	Bentonite de charge
Viscosité	>10cP		
Eau libre	< 18cm <sup>3</sup>		
Résistance a la compression		> 570 g/cm <sup>2</sup> (à vert) >3400 g/cm <sup>2</sup> (à sec)	
Résistance au cisaillement		165 g/cm <sup>2</sup> (à vert) 1510 g/cm <sup>2</sup> (à sec)	

Humidité			<18%
----------	--	--	------



# Etude détaillée des couches de bentonite

## **1. Introduction :**

Pour mieux comprendre les variations des couches de bentonite et suivre leur continuité afin de quantifier les réserves de la région de M'ZILA, on a jugé utile d'utiliser des cartes en isopaque, et des cartes en isobathe de chaque couche de bentonite.

La carte en isopaque permet d'étudier la variation des épaisseurs d'une couche donnée suivant les différentes directions géographiques.

La carte en isobathe permet d'étudier la variation de la profondeur du toit ou du mur d'une couche donnée suivant les différentes directions géographiques.

Pour la réalisation de ces cartes, on utilise le logiciel "SURFER"(version8) qui est un outil très adapté pour ces tâches.

Le but de ce chapitre est de mettre en évidence toutes les caractéristiques des couches benthoniques (épaisseur, profondeur...) afin d'envisager une exploitation optimale.

## **2. Description de la méthode du travail [13]:**

Avant d'entamer ces différentes tâches, nous avons consulté :

- le plan de positionnement des sondages pour déterminer leurs coordonnées (X, Y, Z)
- les logs des sondages, à partir desquels on relève les informations nécessaires (épaisseur des couches, profondeur du toit ou de mur) pour l'établissement des cartes en isopaque et en isobathe.
  
- Ensuite nous avons chargé les données dans le logiciel SURFER 8
  
- Les coordonnées prises en compte sont les coordonnées UTM car la zone étudiée est petite ce qui fait qu'on est dans le même faisceau

### 3. les sondages réalisés dans la région :

On a utilisé les données de 16 sondages répartis dans les différents endroits de la région de M'ZILA, ces sondages sont effectués par la SONAREM (équipe soviétique) en 1971 :

- ✓ Au Nord on a les sondages (S.5) et (S.6).
- ✓ Au milieu du gisement on a les sondages (S.1) et (S.2)
- ✓ Au Sud on a les sondages (S.4) et (S.3).
- ✓ A l'Est on a une grande concentration de sondages parce que dans cette zone on voit l'affleurement des couches en surface, comportant les sondages de (S.7) jusqu'à (S.16).
- ✓ A l'Ouest, la société BENTAL a implanté trois sondages qui ne sont pas encore terminés.

La figure III.1 présente le positionnement des sondages dans le gisement du M' ZILA.

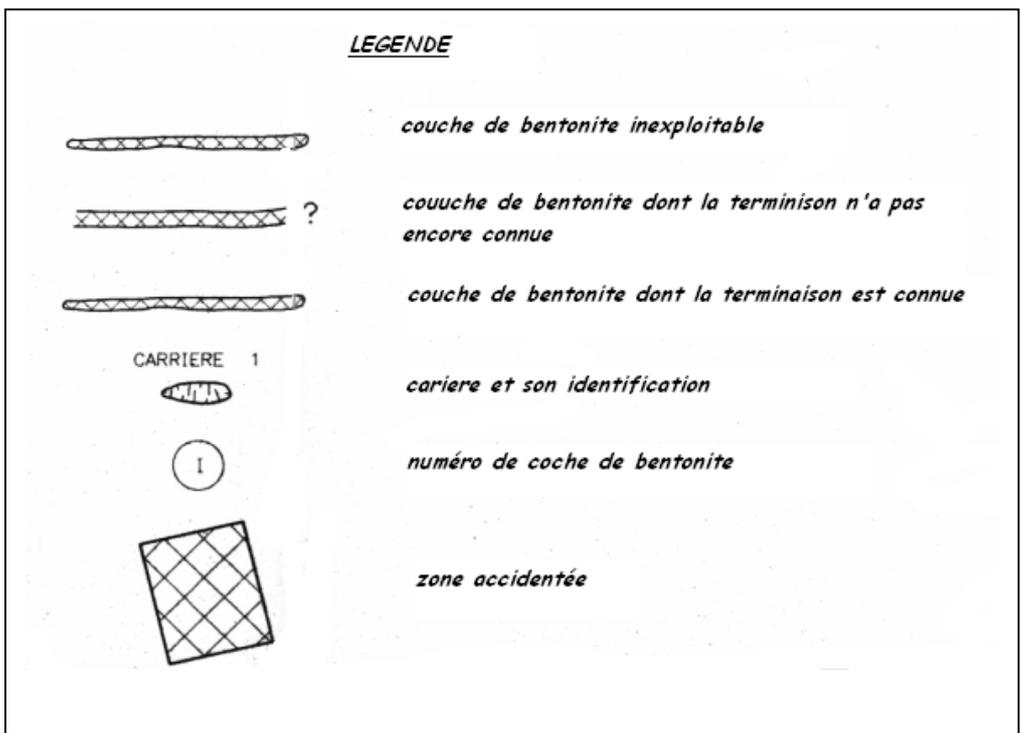
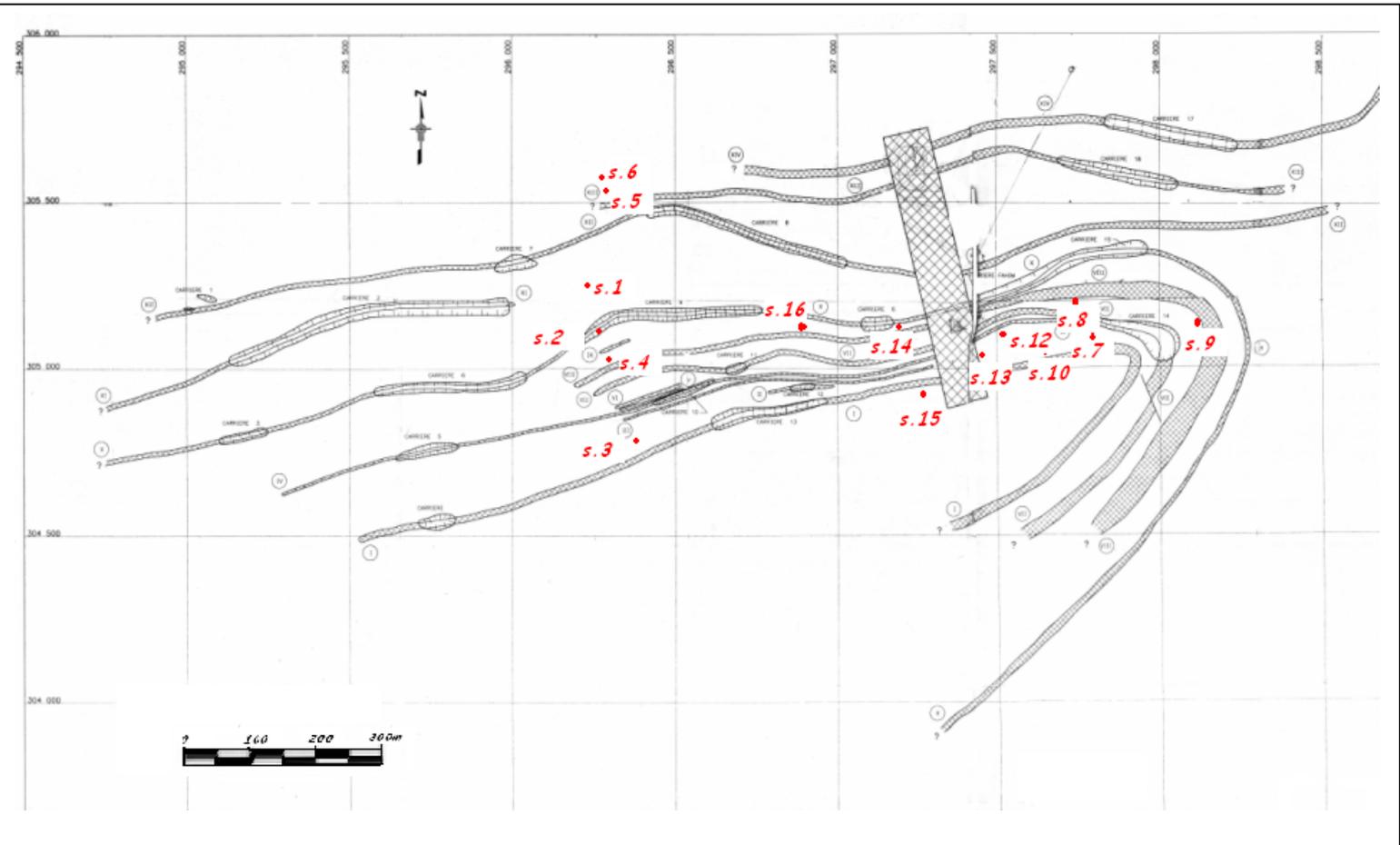
### 4. "SURFER" le logiciel d'interpolation :

Concernant le logiciel SURFER, nous avons d'abord élaboré le fichier de données qui se présente sous la forme d'un tableau réalisé sur Excel.

Il s'affiche de la manière suivante:

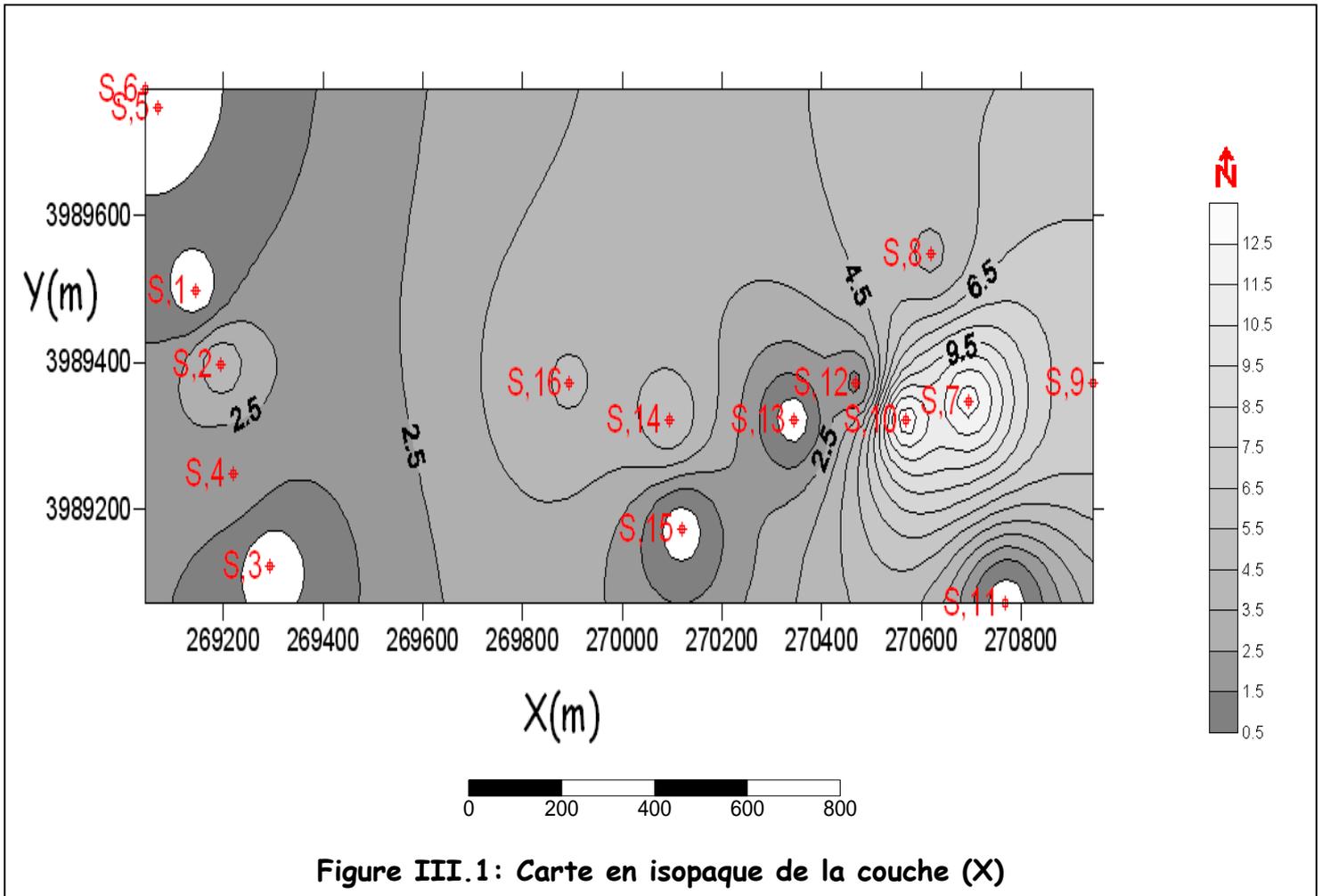
- ✓ La première colonne comprend le nom du puits.
- ✓ La deuxième et la troisième colonne comprennent les coordonnées X et Y des puits en coordonnées UTM.
- ✓ La quatrième colonne contient l'épaisseur ou la profondeur du toit de la formation.

Après on utilise ces données pour réaliser les cartes en isopaque (variation des épaisseurs) et les cartes en isobathe (variation des profondeurs). (KHETAL, 2000)



FigureIII.1 : Carte de localisation des sondages dans le gisement de M'ZILA (SIDAM 1981, modifié)

## 5. Les cartes en isopaque



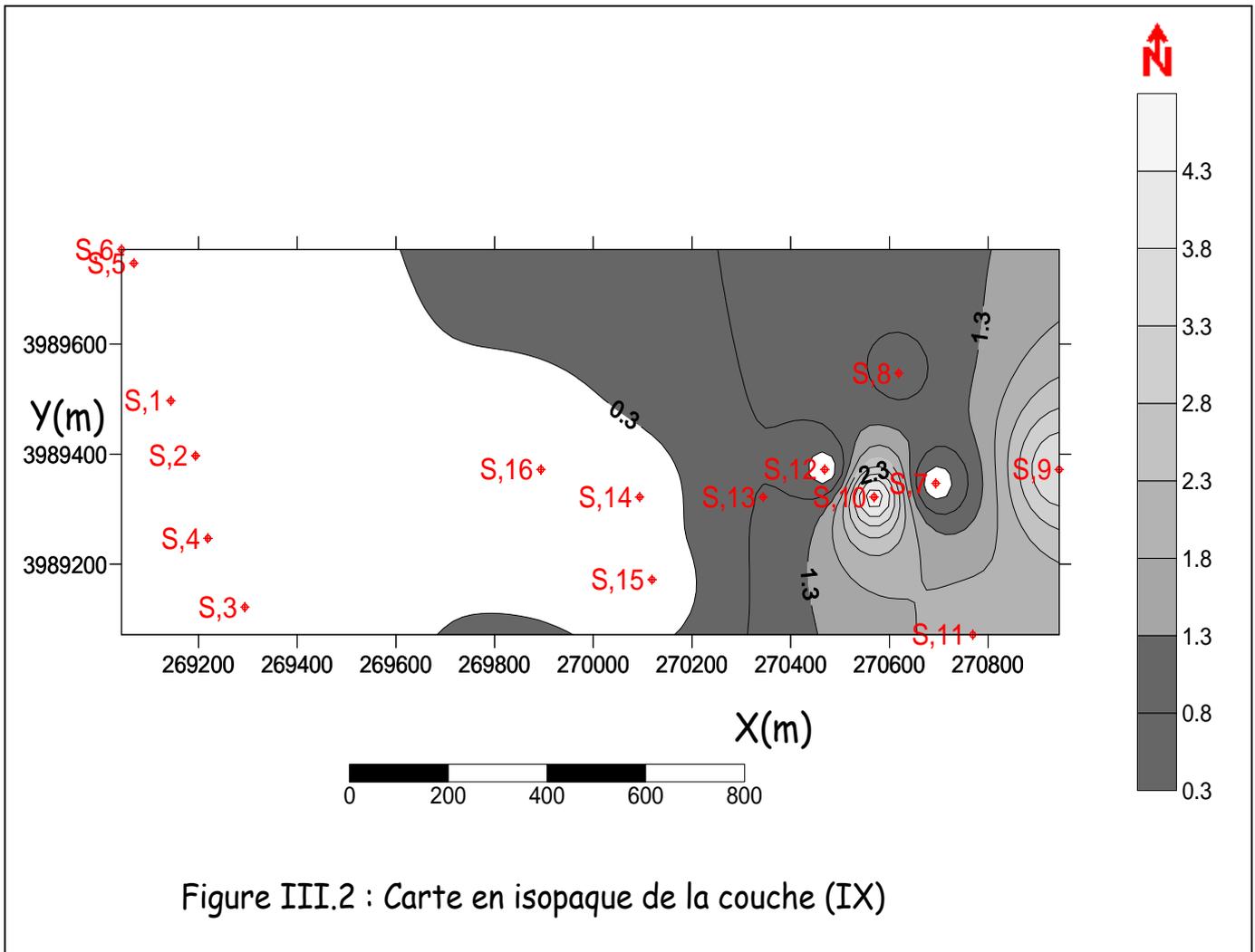
### 5- A- Carte en isopaque de la couche (X) :

La carte en isopaque de la couche X montre une progression des épaisseurs de l'Ouest vers l'Est passant de 1.2 m au niveau de sondage (S.12) jusqu'à une épaisseur de 13.1 m au niveau du sondage (S.10).

Cette couche apparaît dans 9 sondages et présente des épaisseurs variables sur une longueur de 5337 m, on voit des parties épaisses dans les sondages (S.7) avec une épaisseur 12.9 m, et dans le sondage (S.9) avec une épaisseur de 7.2 m.

On a aussi des épaisseurs moyennes variant de 4 à 5.5 m dans les sondages (S.14), (S.16), (S.8) et (S.2), et des faibles épaisseurs de 1 à 2 m dans les sondages (S.4) et (S.12).

En général la plus grande réserve de la couche X se trouve dans la partie est de cette couche mais la possibilité d'exploitation se pose la question.



**5- B- Carte en isopaque de la couche (IX) :**

Cette couche apparaît dans la partie est du gisement et ne présente pas de grandes épaisseurs, le maximum est traversé au niveau du sondage (S.10) où on a une épaisseur de 4.6 m.

Les autres sondages montrent des épaisseurs qui varient de 0.6 à 3.8 m au niveau des sondages (S.8), (S.9), (S.11) et (S.13).

Cinq sondages seulement traversent cette couche à cause de sa faible extension 100 m de longueur.

L'isopaque de cette couche montre une progression des épaisseurs du Nord (S.8) vers le Sud (S.10) mais avec une faible importance.

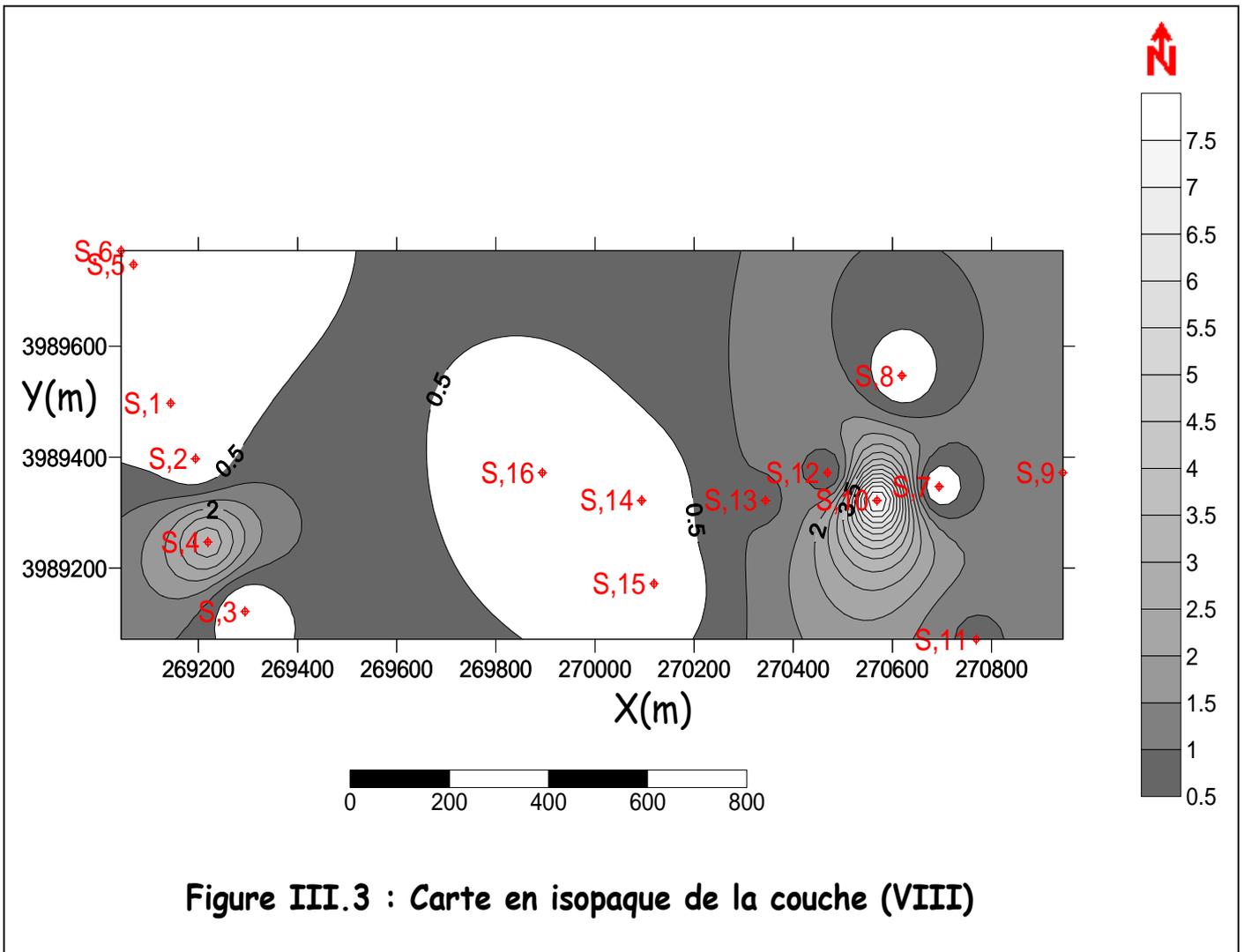


Figure III.3 : Carte en isopaque de la couche (VIII)

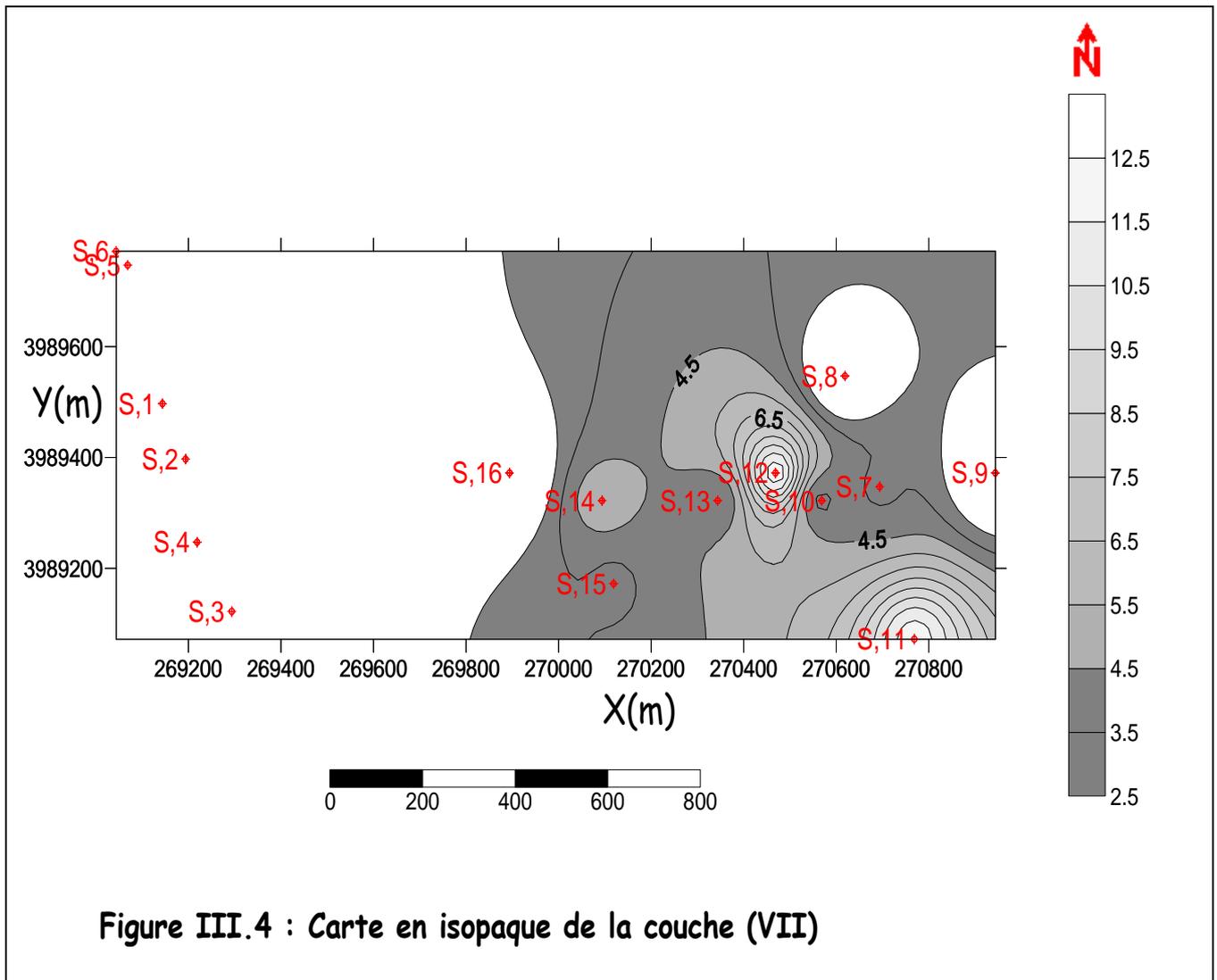
**5- C- Carte en isopaque de la couche (VIII) :**

L'isopaque de la couche (VIII) montre une progression rapide des épaisseurs en deux directions, la première d'Ouest vers l'Est, on voit cette progression au niveau des sondages (S.13) vers (S.10) où l'épaisseur augmente de 0.5 m jusqu'à 7.6 m.

L'autre sens de progression apparaît du Sud vers le Nord dans le sondage (S.11) vers (S.10) où l'épaisseur augmente de 0.9 m à 7.6 m.

Les autres sondages montrent des épaisseurs faibles ne dépassant pas les 3 m sauf au sondage (S.4) au milieu du périmètre minier où l'épaisseur atteint 3.3 m.

En général, cette couche a une épaisseur relativement faible et donc ne présente pas de grandes réserves.



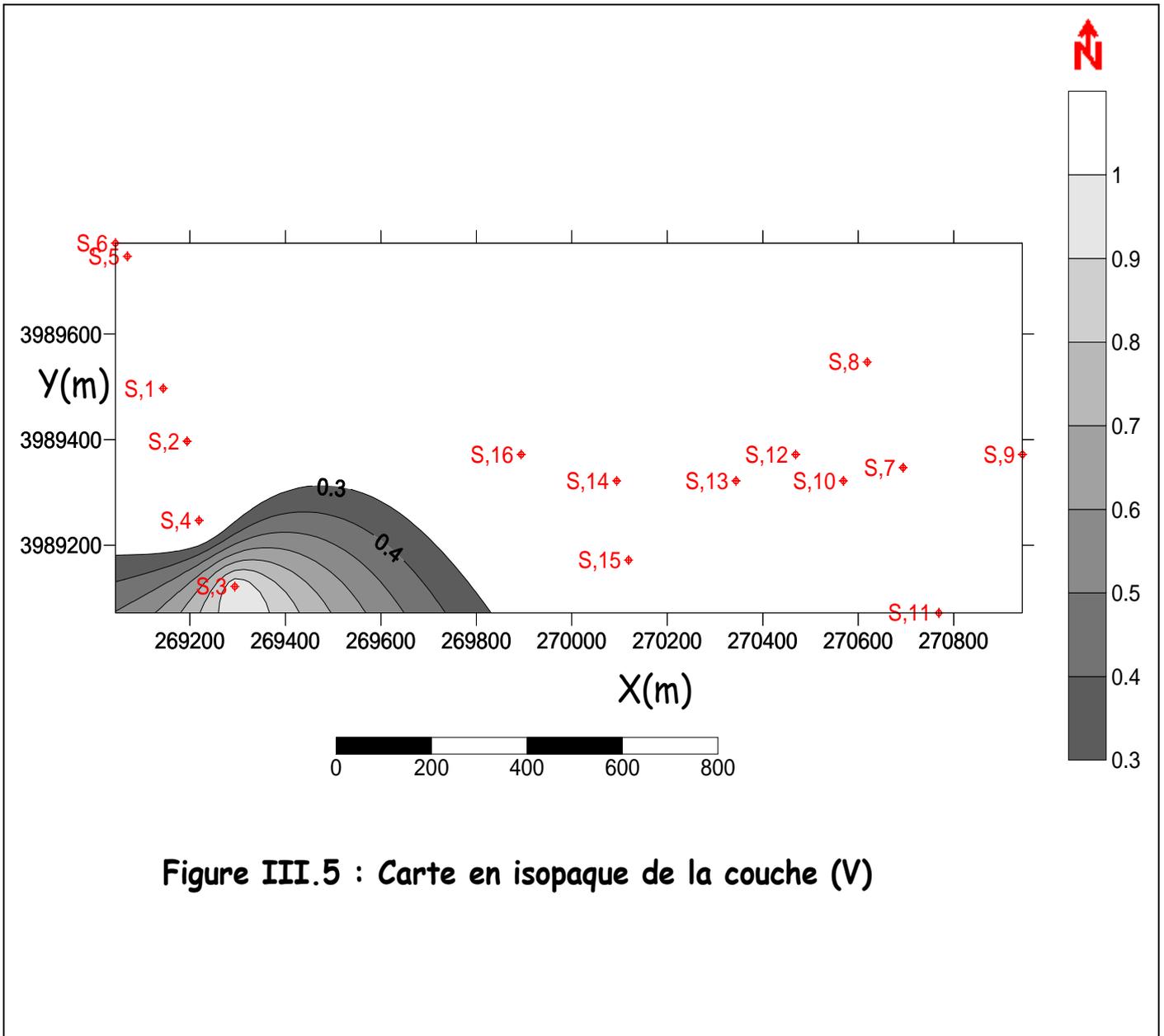
#### 5- D- Carte en isopaque de la couche (VII) :

La couche (VII) est concentrée dans la partie orientale du gisement avec des épaisseurs importantes et on voit l'importance de la couche au niveau des sondages (S.11), (S.12) où l'épaisseur dépasse les 12 m.

L'isopaque montre une augmentation des épaisseurs de l'Ouest vers l'Est, passant de 3.3m en (S.15) à 12.1 m en (S.11).

On note la progression rapide des épaisseurs au niveau du sondage (S.12) qui est dû à une structuration du massif (faille).

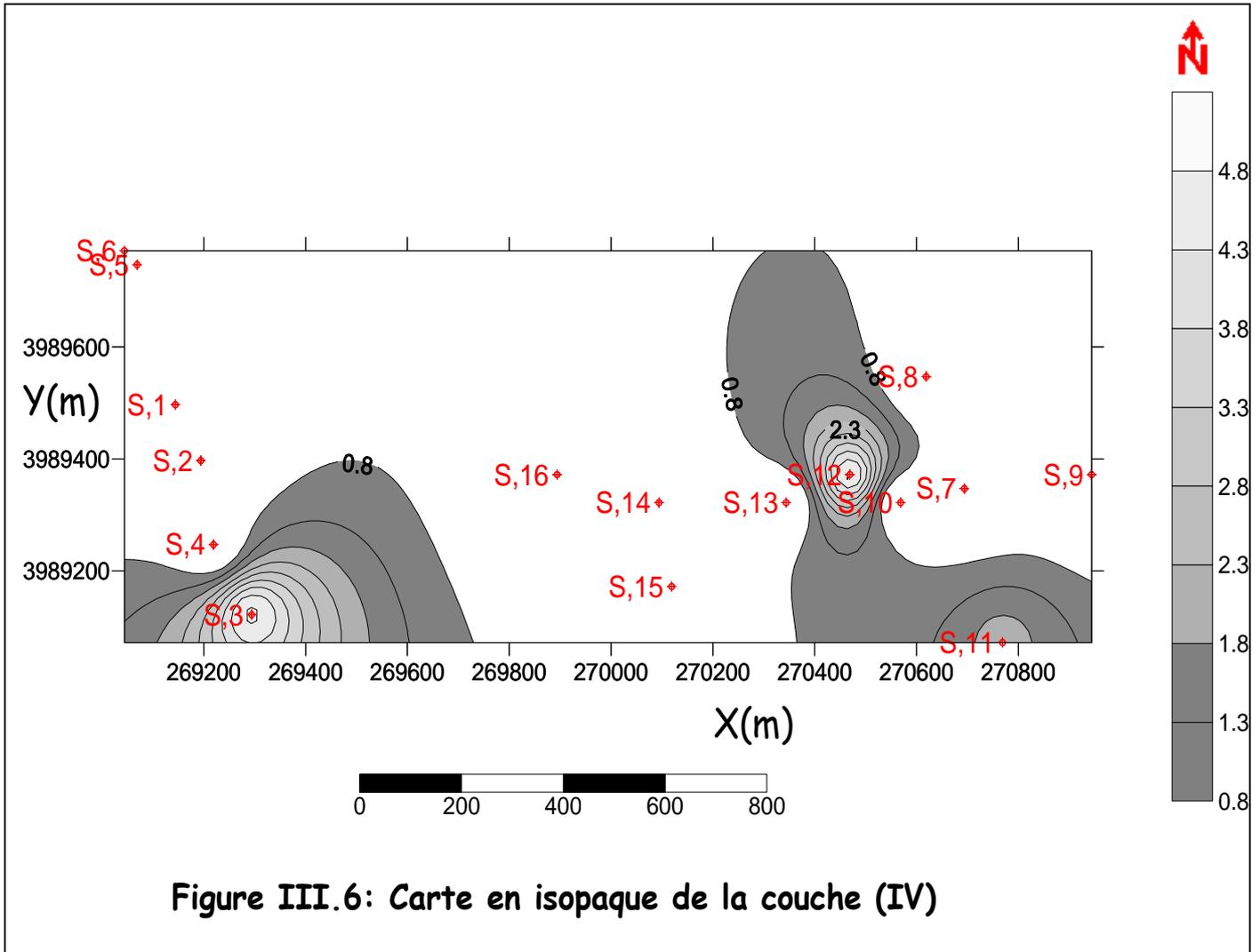
Les autres sondages montrent des épaisseurs moyennes de la couche (VII) allant de 3 à 6 m.



**5- E- Carte en isopaque de la couche (V) :**

Cette couche n'apparaît que dans le sondage (S.3) au Sud de M'ZILA avec une épaisseur de 1 m, car elle a une faible extension (200 m de longueur) et se situe dans la limite sud du gisement.

Aussi pour suivre les variations de cette couche il faut ajouter des sondages dans le périmètre de sondage (S.3)



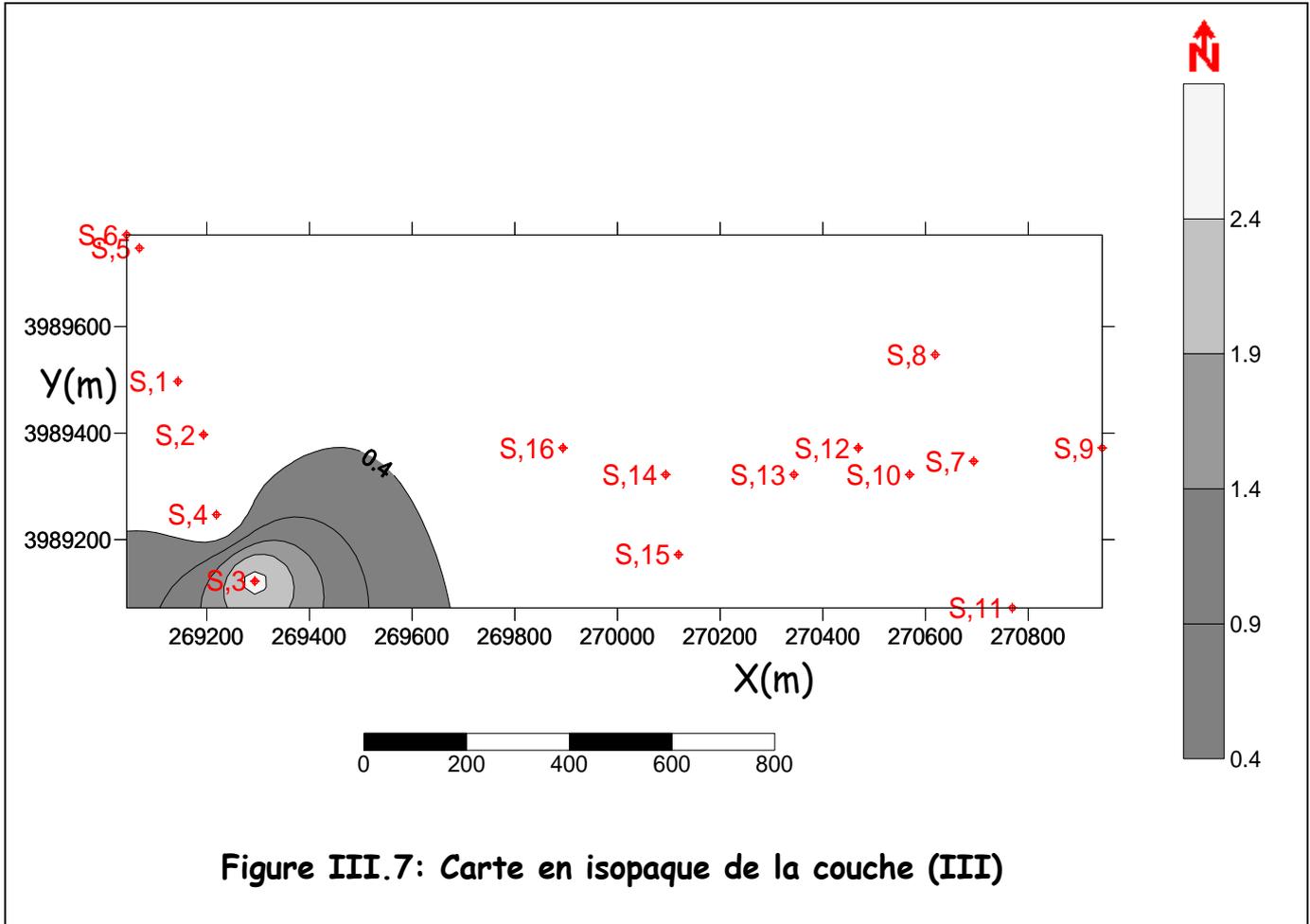
#### 5- F- Carte en isopaque de la couche (IV) :

La couche (IV) est présente dans trois sondages (S.3), (S.11) et (S.12), et montre des épaisseurs variables de 2 à 5 m.

Cette couche montre une progression rapide dans le sens sud- nord au niveau du sondage (S.12) passant de 2 m d'épaisseur à 4.5m.

On note aussi une zone étalée avec une épaisseur de 4.9m comportant le sondage (S.3) dans la partie sud-ouest.

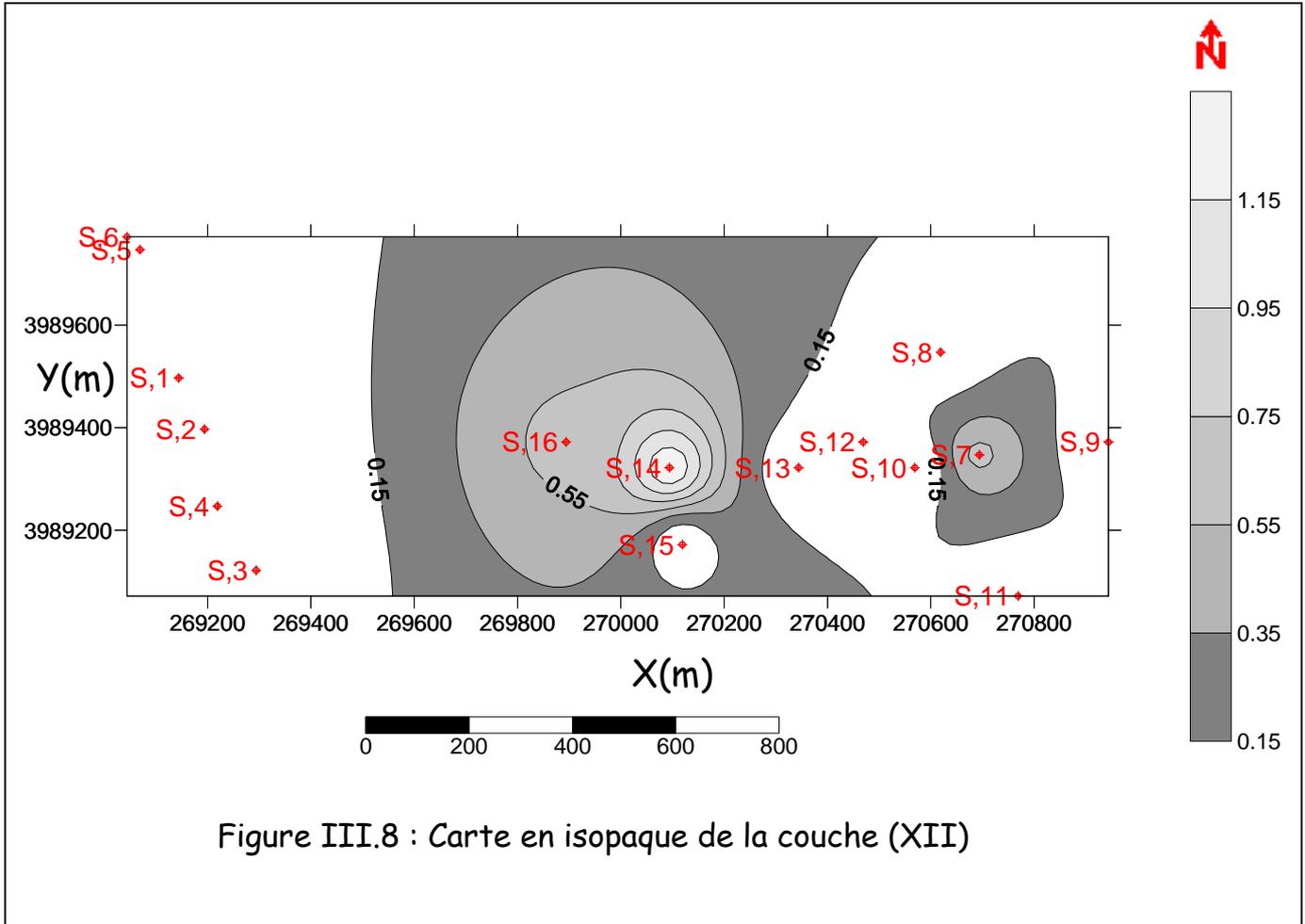
La couche (IV) a une grande extension et contient des réserves importantes, l'exploitation de cette couche va être plus productive.



**5- G- Carte en isopaque de la couche (III) :**

La couche (III) n'est présente que dans le sondage (S.3) comme la couche (V) mais avec une épaisseur plus grande que celle-ci.

L'épaisseur a atteint 2.5 m, mais probablement, si on va plus loin vers le Sud - Ouest on trouverait de grands réserves pour la couche (III).



**5- H - Carte en isopaque de la couche (XII) :**

La carte en isopaque de la couche (XII) montre une progression rapide de direction Ouest- Est passant de 0.6 m d'épaisseur au niveau du sondage (S.16) à une épaisseur de 1.3 m , cette couche présente des faibles épaisseurs dans les trois sondages qui la traversent.

On note aussi une zone où la couche réapparaît dans le sondage (S.7) à l'extrémité est avec 0.6 m d'épaisseur.

2. Les cartes en isobathe:

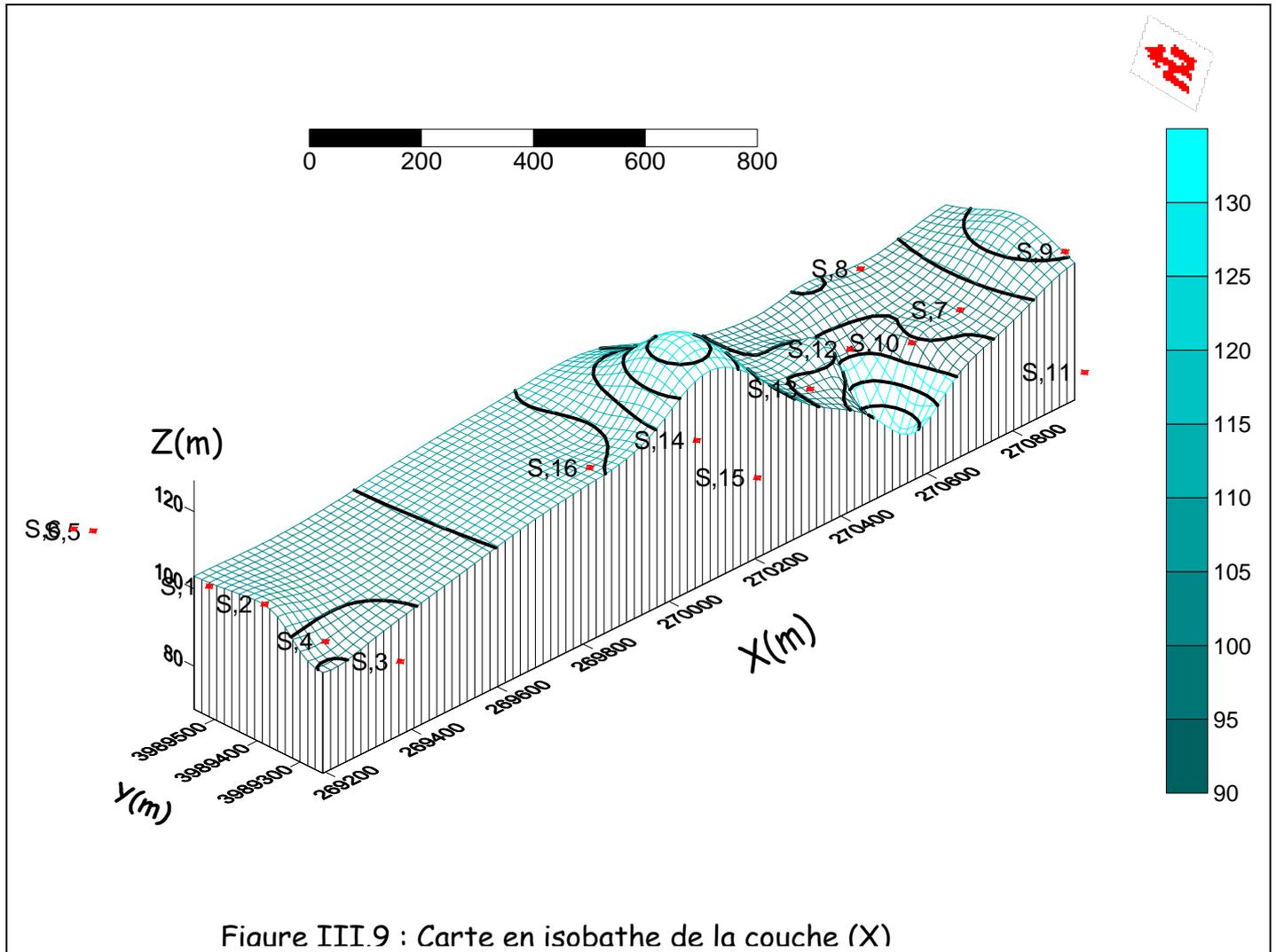


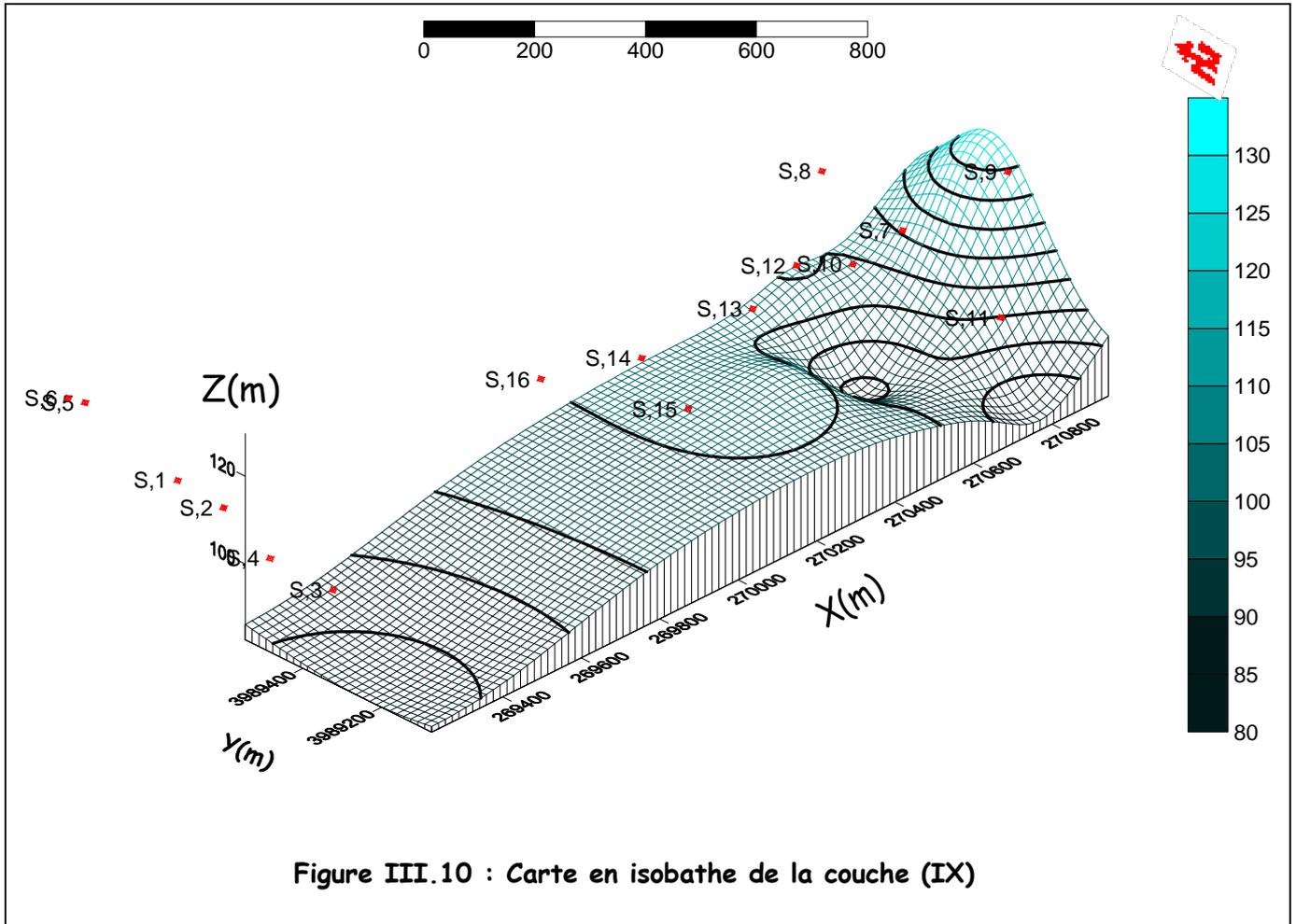
Figure III.9 : Carte en isobathe de la couche (X)

6- A- Carte en isobathe de la couche (X):

La carte en isobathe de la couche (X) montre différents accidents tectoniques, on voit une zone haute au niveau du sondage (S.14) dû à la présence d'une faille près du sondage (S.14) qui se traduit par une élévation de la couche à 128 m par rapport au niveau de la mer, qui correspond à une profondeur de 30 m.

On voit aussi une zone basse au niveau du sondage (S.10) (dû à une subsidence ou compartiment affaissé de la faille) qui se traduit par une augmentation de la profondeur jusqu'à 68 m par rapport au niveau de la mer qui correspond a un profondeur de 93 m.

Pour la plupart des zones on a une stabilité des profondeurs se situant entre 100 et 109 m au niveau 0, qui correspond à une profondeur de 10 à 50 (par rapport à la surface).



#### 6- B- Carte en isobathe de la couche (IX) :

Dans la carte en isobathe de la couche (IX) la zone haute est bien visible et on la voit au niveau du sondage (S.9) dû probablement à un accident tectonique qui a relevé la couche à plus de 129 m au niveau de la mer, ce qui correspond à une profondeur de 15 m.

On note aussi la présence d'une fosse (zone basse) au niveau du sondage (S.10) dû à la faille où la profondeur augmente à plus de 88 m par rapport au niveau de la mer.

Mais dans le reste de la couche on note des variations faibles dues à la stabilité tectonique, et on a des profondeurs variant de 80 à 100 m par rapport au niveau de la mer, ce qui correspond à des variations en moyenne de 30 m de la surface.

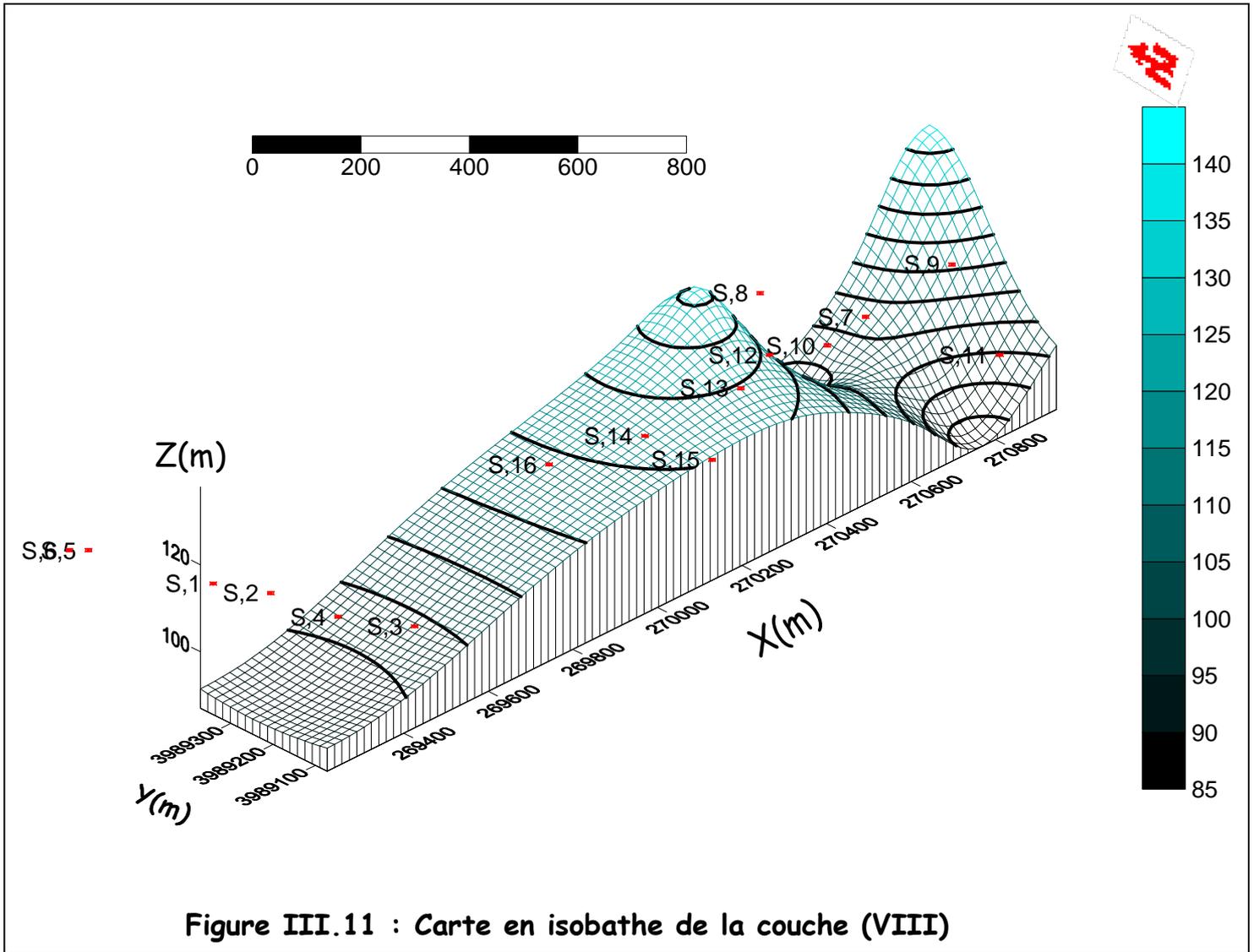


Figure III.11 : Carte en isobathe de la couche (VIII)

**6 -C- Carte en isobathe de la couche (VIII) :**

La carte en isobathe de la couche (VIII) montre deux zones hautes remarquables au niveau du sondage (S.13) et (S.9) dont les profondeurs sont respectivement 131 m et 138 m par rapport au niveau de la mer, ce qui correspond à une profondeur de 26 m et 7 m.

On note entre ces deux zones que la carte en isobathe montre une zone basse résultat de la présence de la faille au niveau des sondages (S.10) et (S.11), ce qui augmente la profondeur à 95 m et 87 m respectivement .

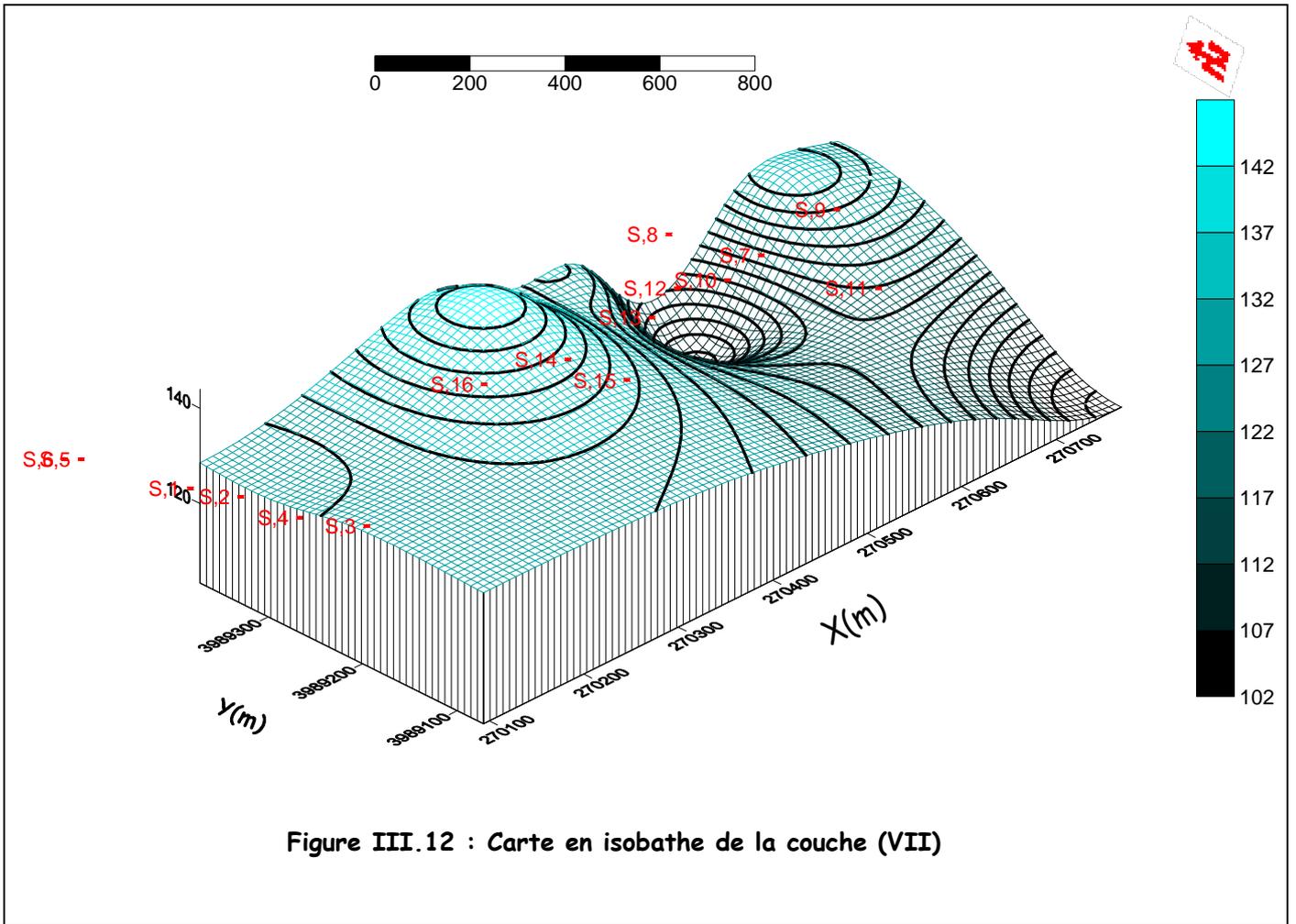


Figure III.12 : Carte en isobathe de la couche (VII)

**6- D- Carte en isobathe de la couche (VII) :**

La carte en isobathe de la couche (VII) montre les mêmes accidents tectoniques de la couche (VIII), mais la différence est due au positionnement des sondages, dans les zones hautes au niveau des sondages (S.7) et (S.13) avec des profondeurs de 134 m et 144 m respectivement, par rapport au niveau de la mer, qui correspond à des profondeurs de 31m et 13 m (resp), par rapport à la surface.

La zone basse dans la couche (VII) est représentée par le sondage (S.11), la faille à ce niveau bascule le compartiment, qui fait descendre la zone à plus de 103 m par rapport au niveau de la mer, ce qui correspond à une profondeur de 28 m par rapport à l'affleurement.

### 7. Calcul des réserves géologiques:

A partir des cartes en isopaques et à l'aide du logiciel "Surfer" on peut calculer les réserves de chaque couche de bentonite, en calculant le volume de la couche entre les différents sondages qui l'ont traversée, et on le multiplie par la densité de bentonite du gisement du M'ZILA qui est égale à 2 tonnes/m<sup>3</sup>.

**Tableau III.1 : Calcul des réserves géologiques à partir des cartes en isopaques.**

Couche	Volume (m <sup>3</sup> )	Densité (tonne/m <sup>3</sup> )	Réserves (tonnes)
XII	36772.5	2	73 545
X	2446772	2	4 893 544
IX	824291	2	1 648 582
VIII	1132929	2	2 265 858
VII	3439580	2	6 879 160
V	81190	2	162 380
IV	927187	2	1 854 374
III	202976	2	405 952
Total des réserves des couches : 18 183 395 tonnes			

### 7.1 Les Réserves dont on ne tient pas compte:

La construction des pistes dans le gisement de M'ZILA couvre une partie importante des réserves. Cette partie ne sera pas exploitée à cause de la circulation des engins ; elle a été soustraite du calcul des réserves.

Son évaluation a pris en compte :

- la largeur de la piste de 12 m tient compte de la largeur des engins circulant sur les pistes.
- la longueur de la piste et des accès aux carrières d'exploitation mesurée à partir de la carte des réserves de M'ZILA établie par l'ENOF (mise à jour en 2006) de 7750 m.
- l'épaisseur de 2.21 m. qui est l'épaisseur moyenne des 12 couches (on élimine la couche V et XI à cause de ses faibles épaisseurs)
- l'angle de pendage moyen des couches de 36°50'
- la densité moyenne de la bentonite de 2 tonnes/m<sup>3</sup>

D'où le calcul :

$$7750\text{m} \times 12\text{m} \times \sin 36^{\circ}50' \times 2.21\text{m} \times 2 = 244\ 507 \text{ tonnes.}$$

On a aussi un parking à l'entrée du gisement qui recouvre la couche XIV de longueur 60 m et de largeur 7 m, l'épaisseur de cette couche est de 8.5 m avec un pendage de 55°

Ce parking recouvre des réserves de :

$$60 \times 7 \times 8.5 \times \sin 55^{\circ} \times 2 = 5849 \text{ tonnes.}$$

Ainsi on soustrait les réserves situées au dessous des pistes et du parking et on trouve le résultat suivant:

$$18\ 183\ 395 - 244\ 507 - 5\ 849 = 17\ 933\ 039 \text{ tonnes}$$

## **7. Conclusion :**

Les cartes en isopaque et les cartes en isobathe nous donnent une vue dans l'espace des couches de bentonite, ce qui nous permet de tirer plusieurs informations liées à ces couches.

Ces cartes confirment la continuité de la bentonite du gisement de M'ZILA, et montrent que la concentration des réserves se localise dans la partie orientale du gisement.

Le sens de progression des épaisseurs est en général de l'Ouest vers l'Est et peut atteindre plus de 13 m dans certaines couches.

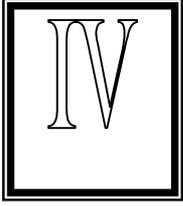
La progression des épaisseurs revient probablement à la transgression marine et aussi à la présence de la faille dans l'Est du gisement de M'ZILA.

La profondeur des couches est en moyenne de 30m par rapport à la surface d'affleurement mais on trouve des zones où la profondeur est inférieure à 10m, et d'autres avec des profondeurs supérieures à 70 m.

À partir des cartes en isopaque on a estimé que les réserves du gisement de M'ZILA sont supérieures à 17 933 039 tonne

Une méthode d'exploitation adaptée permettra de récupérer une grande partie des réserves de bentonite.

On tient à préciser que le nombre de sondages implantés dans le gisement par la SONAREM est insuffisant pour permettre une étude détaillée de toutes les couches de bentonite, c'est pour cela que nous n'avons pas présenté les cartes des couches (I), (II), (VI), (XI), (XIII) et (XIV) aucun sondage n'a traversé ces couches.



Exploitation du gisement de  
M'ZILA

## **1. Introduction:**

Les réserves géologiques de bentonite de la région de Mostaganem s'élèvent à plusieurs millions de tonnes. Cependant, le pendage et la topographie limitent les réserves exploitables par carrières à 1090160 tonnes. Or, ce tonnage suffit pour plus de 45 ans d'exploitation au taux annuel de 23 000 tonnes, c'est une exploitation par carrières qui est envisagée.

Les chantiers qui seront exploités sont situés sur l'affleurement de 6 couches à la surface (III, IV, VII, X, XI, XIV). Ils sont donc de faible tonnage chacun et il faut en exploiter plusieurs concomitamment.

La planification des développements de ces chantiers d'abattage est le pivot de l'exploitation. Une bonne planification est celle qui prévoit, un an à l'avance, quels seront les chantiers à développer et ceux à exploiter de façon à donner les 23 000 tonnes de minerai annuellement requis par l'usine sur une base régulière.

Les carrières fournissent 128 tonnes par jour pendant 9 mois de l'année. La mine fonctionne avec un poste par jour, 5 jours par semaine. Cela tient compte d'une saison des pluies équivalente à deux mois et d'une période de vacances d'un mois.

L'exploitation est un processus complexe dont la finalité est de permettre en toute sécurité, avec un minimum de pertes et de dilution, l'extraction des minerais utiles du sol (ou du sous-sol) avec un gain économique.

## 2. DESCRIPTION DES TRAVAUX [1] :(Développement et abattage)

L'exploitation du gisement doit se faire en deux temps: le développement, qui consiste à décaper les collines pour ôter le stérile, et l'abattage, qui consiste à extraire le minerai brut.

Le taux de production à l'usine permet de faire ces deux opérations concurremment, mi-temps chacune, avec une seule équipe de travail et le même équipement.

### 2.1 Décapage (développement)

Avant de commencer le décapage, un fossé de dérivation des eaux de pluie doit être creusé en amont du chantier de façon à garder à sec la zone de travail de décapage. Le fossé doit récolter et diriger les eaux d'écoulement venant de la colline vers un endroit choisi qui ne nuit pas aux véhicules.

De façon à réduire la contamination du minerai par le stérile, et à faciliter l'abattage, le décapage doit commencer à la limite du chantier et progresser vers la couche de bentonite. (figure IV.1)

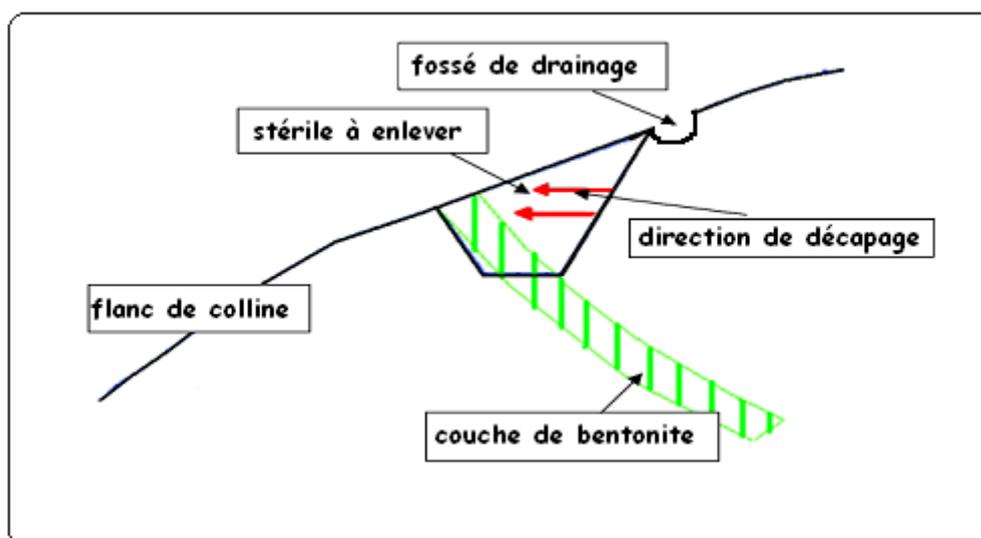


Figure IV.1: section typique d'une exploitation de bentonite (SIDAM 1981) (modifié)

Le décapage se fait avec une défonceuse (bulldozer CATERPILLAR de type D75). Le rapport stérile/minerai est de 1,3 à 1 en volume

Le stérile est chargé dans les camions qui le déversent à un endroit approprié (trou à remplir ou stabilisation des voies d'accès) après s'être assuré que l'aire de dépôt ne sera pas exploitée ultérieurement.

**Tableau IV.1: caractéristiques d'un bulldozer CATERPILLAR D75 [19]**

	Puissance du moteur	250 chevaux
Caractéristique de la lame	Capacité	3.89 m <sup>3</sup>
	Longueur de la lame	4.12 m
	La hauteur de la lame	1.11 m
	Profondeur de cavage	0.67 m
Caractéristique des dents de rippage	Largeur de la poutre	2.20 m
	Profondeur maximale de défoncement	0.748 m

## 2. 2 Abattage [ 10] [18]

L'abattage du minerai a lieu sur le terrain décapé, ce qui, si le décapage a été proprement effectué, donne un minerai faiblement contaminé.

Le choix de la méthode d'exploitation dépend des différents engins miniers et du transport employés, ainsi que des exigences de l'usine qui va être alimentée par les argiles benthoniques de ce gisement.

Étant donné que les argiles sont des roches tendres, l'extraction de ces roches va être réalisée par rippage. Le sens d'orientation de l'exploitation sera d'Ouest en Est pour les couches les plus importantes.

L'extraction est réalisée par émottage mécanique des roches à l'aide des rippers remorqués par bulldozers, un ripper est un lourd multident (trident). Ces derniers, qui s'enfoncent dans le sol durant la translation, sont suffisamment écartées pour permettre le dégagement de la matière désagrégée.

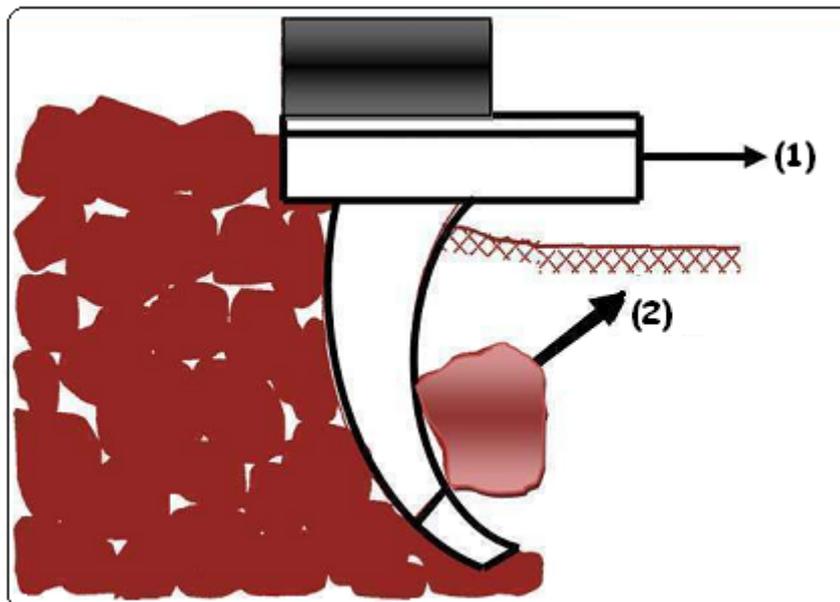


Figure IV.2: Schéma de l'action du ripper sur le sol

(1) - le sens de déplacement du ripper

(2) - le sens d'arrachement des roches

Le chargement des roches fragmentées par le ripper est assuré par des chargeuses sur pneu.

L'extraction se fera par gradins conduits successivement jusqu'au contour optimal, les travaux miniers dans le gradin inférieur ne démarrent que peu avant la fin de ceux dans le gradin immédiatement supérieur.

La hauteur maximale des gradins est fixée à 4 m avec un angle de talus de 45° à cause de la faible consolidation de cette roche et également des paramètres des talus.

Des échantillons du minerai doivent être pris et analysés afin d'en assurer la qualité. Le minerai est livré à l'une des deux aires de stockage.

L'aire principale de stockage est celle de l'usine. La seconde aire de stockage doit être située près des mines, le plus près possible de la route asphaltée. Son rôle est de créer un stockage supplémentaire à celui de l'usine, quand on prévoit un arrêt majeur de la production, ou avant la saison des pluies. Dans ce dernier cas, la pluie rendant le chantier d'abattage inexploitable, les camions approvisionnent l'usine à partir de cette aire de stockage.

### **2.3 Accès et ouverture du gisement [10] :**

Afin d'obtenir le front initial des travaux, chaque gradin sera préparé par creusement d'une piste d'accès à partir de la route principale qui constitue la limite occidentale du gisement. Ces pistes seront tracées latéralement au sens de développement des gradins d'exploitation.

Les pistes d'accès aux parcelles d'exploitations dont la longueur atteint plus de 6 km nécessitent un entretien périodique deux (02) fois par an (figure IV.3). Elles deviennent impraticables après les pluies.

La longueur moyenne de chaque piste est donnée dans le tableau suivant:

**Tableau IV.2: la longueur moyenne de chaque piste d'accès [10]**

Couche	parcelles	Piste d'accès	Longueur
III	B	P1	400 m
IV	A	P2	600 m
	AEK	P3	500 m
X	T2	P4	400 m
XI	A2	P5	70 m
XIV	F	P6	400 m
	C	P7	200 m
	A	P8	4000 m

La largeur de la piste en tenant compte des différents paramètres techniques (les camions, une double voie) est de 12 m

#### **2.4 Chargement et transport [16] :**

Le chargement s'effectue à partir des stocks intermédiaires à l'aide d'une pelle mécanique. Le transport vers l'usine est assuré par (03) camions dont la charge utile est de 12 tonnes, et 19 tonnes. Ils effectuent trois (03) rotations par poste de travail, et par camion.

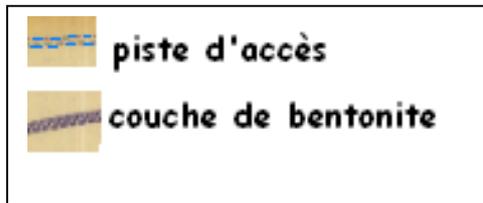
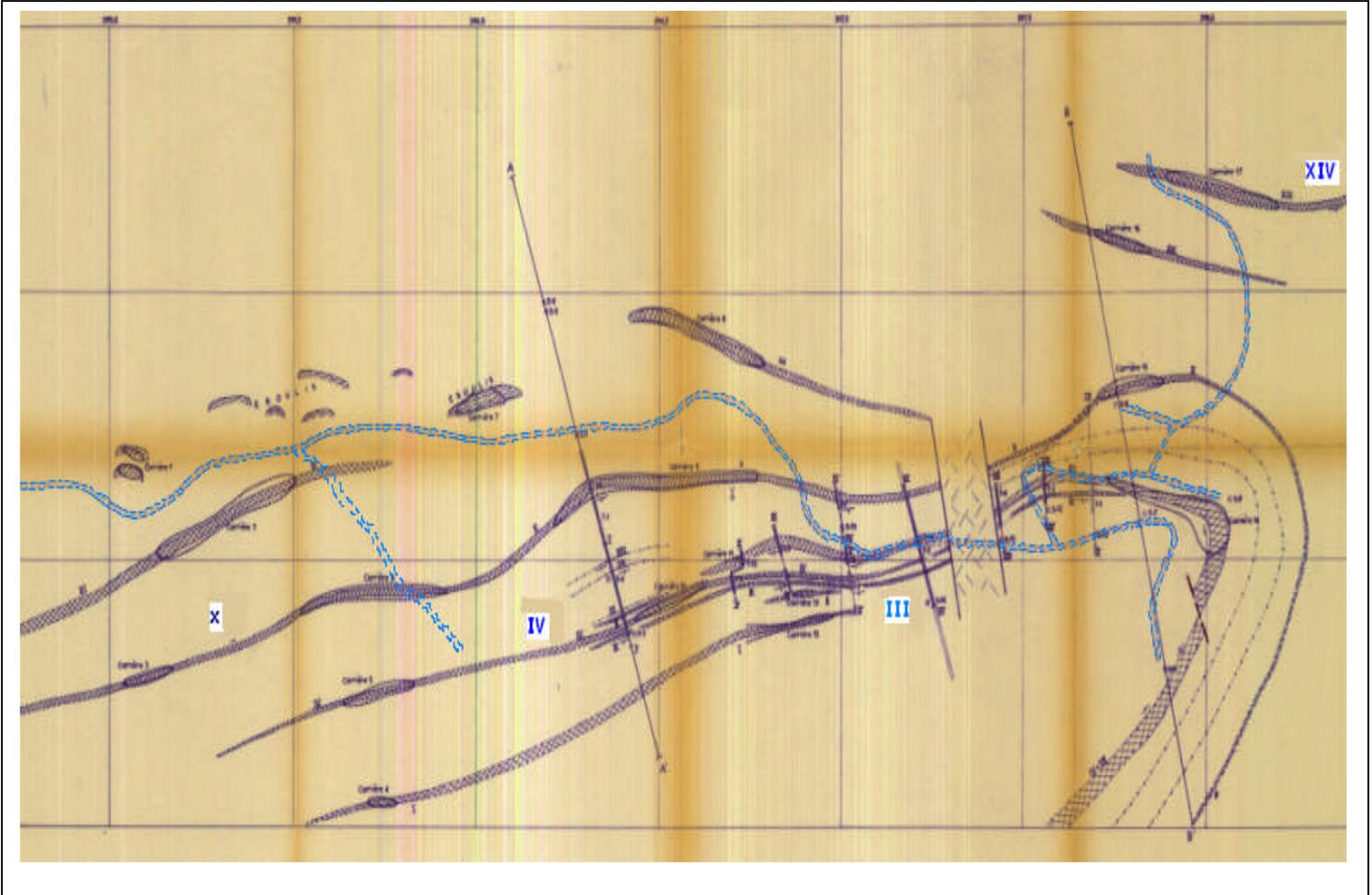


Figure IV.3: Les pistes d'accès

### **3. Taux de salissage :**

Le taux de salissage c'est la quantité de stérile mélangée avec la couche de bentonite, en fait c'est le reste de décapage de mort terrain.

Pour le gisement de M'ZILA le taux de salissage est nul car la découverte est faite de façon à ce que le godet de la chargeuse enlève le stérile avec une partie de la couche de bentonite, donc il ne reste que la bentonite alors le taux de salissage est pratiquement nul.

#### **Le taux de découverte [1]:**

Le minerai est exploité au moyen de carrières étroites et allongées, La largeur limitée de ces carrières est imposée par l'épaisseur relativement faible des couches de bentonite, et par le taux de découverte qui devient rapidement prohibitif lorsque la largeur d'exploitation augmente. Pour rentabiliser l'exploitation, ce taux de découverte ne doit pas excéder 3 mètres cubes de stérile par tonne de minerai.

### **5. le stérile :**

Pour le gisement de M' ZILA, il n'y a pas le problème de terril (lieu où on met le stérile) car lors des travaux de découverte on met le stérile à coté du chantier de travail, on extrait la bentonite et on remet le stérile dans la fosse, donc le chantier va revenir à l'état initial.

### **6. Les carrières exploitées actuellement :**

En tenant compte de l'orientation, de l'utilisation de la bentonite et de la possibilité d'accès, la priorité de l'exploitation est menée vers les zones les plus riches puis vers les autres catégories.

Au Nord et Nord-Ouest seront concentrés actuellement les travaux d'extraction de la bentonite de forage dans les couches XIV, XI, et VII et dans le flanc sud et sud-est l'extraction de la bentonite des autres catégories.

✓ La couche XIV

- Les réserves de la couche XIV sont de 48611 tonnes.
- La bentonite destinée au forage hydraulique (super bentonite).
- La parcelle en cours d'exploitation est : parcelle (F) (niveau 80-90) au Nord du gisement
- Réserves de cette parcelle est 2490 tonnes de bentonite.

✓ La couche XI

- les réserves de la couche XI sont de 27940 tonnes.
- la bentonite destinée au forage pétrolier.
- La parcelle en cours d'exploitation est : parcelle (A3) (niveau 50-60) au Nord-Ouest du gisement.
- Les réserves de cette parcelle sont de 2070 tonnes

✓ La couche VII

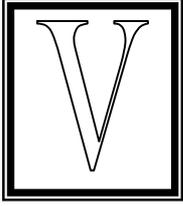
- les réserves de la couche VII sont de 149733 tonnes
- la bentonite destinée a la fonderie.
- La parcelle en cour d'exploitation est : parcelle (A) niveau (140-150) au Nord du gisement
- Les réserves de cette parcelle sont de 24 tonnes

## **7. Conclusion :**

L'exploitation est peu coûteuse, car elle ne nécessite qu'un bulldozer, une pelle chargeuse et quatre camions (trois pour le transport du minerai et un pour le déplacement du stérile). La méthode utilisée est simple car elle est à ciel ouvert, de longue tranchée et de faible profondeur, cette méthode est appropriée aux conditions des terrains.

Le gisement compte un grand nombre d'ouvertures, ce qui constitue un avantage pour la production de bentonite destinée à différents usages, et éventuellement, pour le mélange de minerais de différentes qualités.

Mais le nombre d'engins disponibles pour l'exploitation est trop limité, et ne laisse aucun jeu. En cas de bris d'un engin essentiel, la production cesse immédiatement. Et aussi les engins d'exploitation limitent la profondeur verticale à une dizaine de mètres dans les meilleures conditions.



Calcul des réserves du gisement  
de M'ZILA

## **1. Introduction:**

Au moment de l'arrêt des travaux de SONAREM dans la partie orientale du gisement, après l'implantation du sondage (S.16), les travaux s'orientent vers une deuxième méthode de prospection qui est la subdivision des couches en parcelles ou tranchées.

Les tranchées creusées sur le chantier, visaient à mettre en évidence les roches en place, et plus spécialement les couches de bentonite. Elles s'orientaient transversalement (comme toute tranchée) à la direction générale des couches.

Ces tranchées sont rectilignes, étroites et d'une profondeur excédant rarement les 20 mètres, et rangées de façon à pouvoir suivre en direction les couches d'argiles bentoniques déjà repérées.

En surface toutes les tranchées sont échantillonnées par rainurages tous les 10 m, à partir de ces rainurages on peut voir l'épaisseur réelle de la couche dans cette tranchée.

Les argiles bentoniques du gisement de M'ZILA ont été exploitées au moyen d'une quinzaine de carrières, dont quelques-unes sont encore actuellement en production.

Dans ce chapitre, on calcule les réserves des parcelles à partir du logiciel SURFER qui nous aide à tracer des cartes en isopaque de chaque parcelle. Ces cartes nous permettent de calculer le volume, parcelle par parcelle (on prend les épaisseurs à partir des rainures qu'on a fouillées).

On se base dans ce travail sur la carte de l'ENOF (2006) à l'échelle du 1/5000, qui présente l'extension des couches de bentonite, ainsi que les carrières (parcelles) exploitées depuis 1979.

## 2. Les travaux de SONAREM [2]:

En 1971, un groupe de spécialistes soviétiques à réalisé, pour le compte de la SONAREM un ensemble de levés topographiques, de tranchées et de sondages dans le but d'établir les réserves de bentonite du gisement de M'ZILA.

Les couches de bentonite ont été identifiées de I à XIV et évaluées.

D'après ces travaux, les réserves de bentonite contenues dans les 7 couches les plus importantes (III, IV, VII, X, XI, XII, et XIV) s'élevaient à 2230000 tonnes, sur la base des données suivantes :

❖ Longueur moyenne des 7 couches :	2400 mètres
❖ Epaisseur horizontale totale des 7 couches :	31 mètres
❖ Angle de pendage moyen des couches :	36°50'
❖ Profondeur mesurée le long du pendage :	25 mètres
❖ Densité de la bentonite :	2.0

En considérant l'épaisseur vraie calculée en fonction du pendage de la couche on a le calcul suivant :

$$2400\text{m} \times 31\text{m} \times \sin 36^{\circ}50' \times 25\text{m} \times 2 = 2\ 230\ 000 \text{ tonnes}$$

## 3. Les travaux de SIDAM [1] :

En 1977, SIDAM effectua des échantillonnages sur les couches déjà répertoriées (couche I à XIV) pour des essais technologiques sur la bentonite de M'ZILA. Suite à ces travaux, un calcul détaillé des réserves, couche par couche a été réalisé.

Ces réserves s'appliquent à la longueur totale des couches, comme montrent les sondages et les puits d'exploration, à l'exclusion des secteurs déjà exploités et de la zone accidentée.

Les réserves totales du gisement de M'ZILA, jusqu'à une profondeur de 10 mètres mesurés le long du pendage, s'élèvent à **1 038 600 tonnes**.

#### 4. Les paramètres utilisés dans le calcul des réserves [1] :

Le calcul de réserves se fait en considérant les paramètres suivants

- ❖ **Longueur** : la longueur inexploitée de chaque couche, sur la carte présentée ci-après, a été mesurée à l'aide du logiciel AutoCAD, à l'exclusion des zones exploitées et d'une zone très accidentée au niveau de la section 297250E, entre les stations 304 900 N et 305 700 N. L'exploitation de cette zone accidentée est techniquement difficile et conséquemment, elle a été soustraite du calcul de réserves.
- ❖ **La largeur** : la largeur de la parcelle correspond à la profondeur de celle-ci par rapport à la surface, c'est-à-dire que plus on va en profondeur plus la largeur augmente, on calcule donc la profondeur et on la multiplie par le pendage de la couche et le résultat sera la largeur, mais pour le gisement de M'ZILA on ne peut pas aller à plus de 10 m en profondeur, car la pente des couches est généralement supérieure à 30° et on ne peut pas exploiter les couches plus profondément pour des raisons techniques.
- ❖ **L'épaisseur** : l'épaisseur des couches est une épaisseur apparente (épaisseur mesurée horizontalement, sans correction pour l'angle de pendage),  
Il est nécessaire d'introduire cette correction au niveau de la profondeur. C'est-à-dire d'utiliser la profondeur verticale dans le calcul des réserves. Cette profondeur verticale est égale au produit de la profondeur mesurée le long du pendage par le sinus de l'angle de pendage des couches. Pour les couches I à XIV, un pendage moyen de 30° a été utilisé dans les calculs. Cette valeur correspond à la moyenne des 62 mesures de pendage.  
  
La profondeur verticale considérée pour les couches I à XIII est donc de 5,0 mètres (10 mètres x sin 30°). Quant à la couche XIV, son pendage serait de l'ordre de 55°. La profondeur verticale considérée pour cette couche est donc de 8,2 mètres (10 mètres \* sin 55°).
- ❖ **Volume** : c'est le produit de la longueur par la largeur par l'épaisseur de la parcelle concernée.
- ❖ **Réserves** : elles sont égales au produit du volume par la densité. Une densité de 2,0 tonnes/m<sup>3</sup> a été utilisée pour la bentonite de Mostaganem.

L'explication la plus plausible à cette valeur serait que la bentonite de Mostaganem, à l'état naturel sur le terrain, possède un faible degré d'humidité, ce qui lui conférerait une densité plus élevée.

Cette valeur est conservée dans le présent calcul faute d'une mesure plus précise, et aussi dans le but de faciliter la comparaison avec les calculs antérieurs.

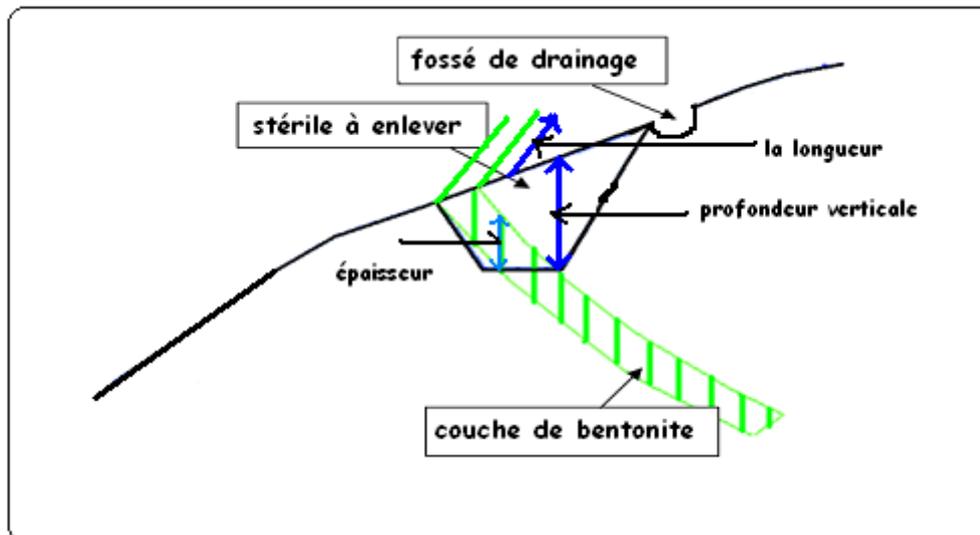


Figure V.1: Les paramètres utilisés dans le calcul des réserves

### 5. Le calcul des réserves par le logiciel SURFER :

On réalise les cartes en isopaque de chaque parcelle à l'aide du logiciel SURFER puis on calcule les réserves en utilisant les paramètres énumérés précédemment.

Les parcelles qu'on a prises en considération dans le calcul des réserves par le logiciel, sont celles qui ont été délimitées par des rainures, ces rainures nous ont permis de connaître les différentes épaisseurs de la couche de bentonite

Comme dans le chapitre III, on élabore le fichier de données qui se présente sous la forme d'un tableau réalisé sur Excel.

Il s'affiche de la manière suivante :

- ✓ La première colonne comprend les numéros des rainures.
- ✓ La deuxième et la troisième colonne comprennent les coordonnées X et Y des rainures en coordonnées UTM.

- ✓ La quatrième colonne contient l'épaisseur de la couche mesurée dans chaque rainure.

## **6. Calcul des réserves de la catégorie (B):**

Les réserves de la catégorie (B) ou réserves prouvées sont celles qui sont préparées pour la production. Pour cette catégorie de réserves, la découverte est faite, le contrôle de qualité a été effectué et l'épaisseur de la couche est connue.

L'étude des parcelles de cette catégorie se fait en trois groupes :

Pour l'ensemble des parcelles qui sont creusées par des rainures c'est-à-dire pour lesquelles on a des données sur les variations des épaisseurs, on calcule les réserves avec le logiciel SURFER.

Le deuxième groupe des parcelles dont les données sont les caractéristiques géométriques (longueur, largeur, épaisseur, pendage).

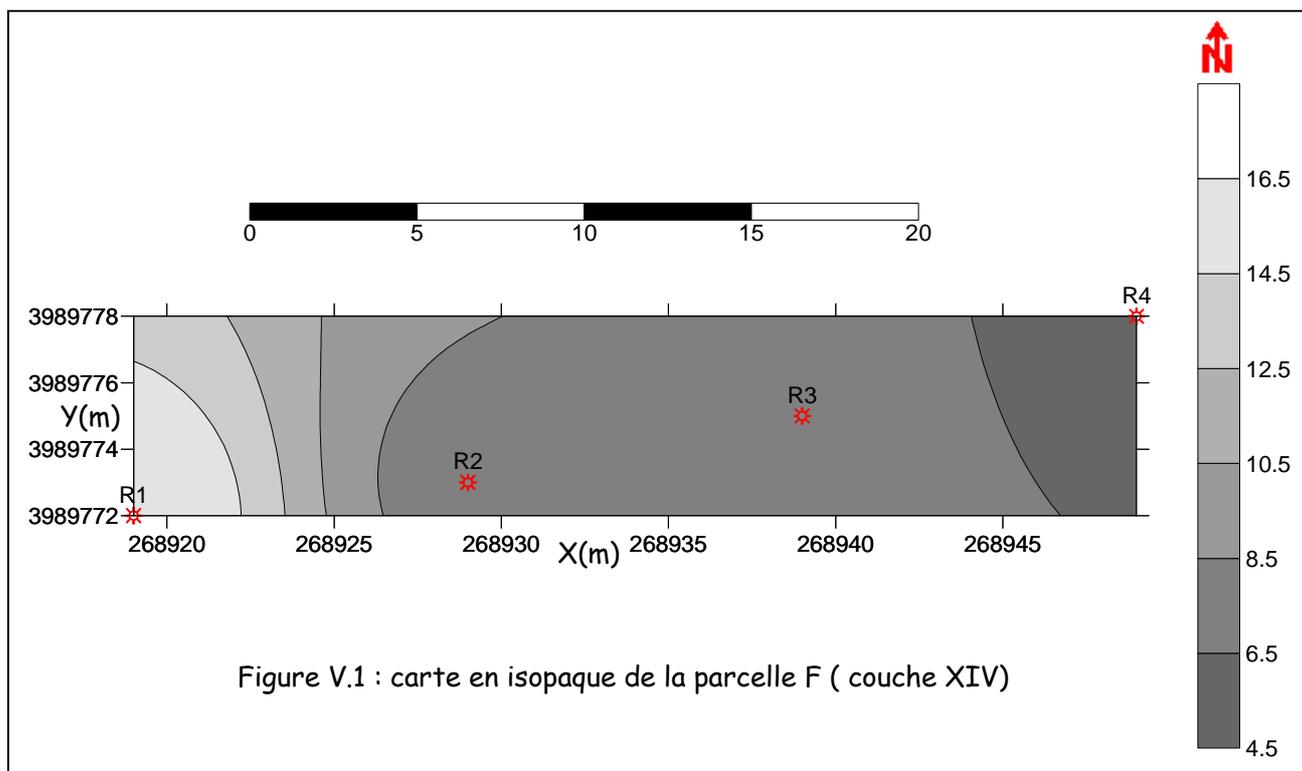
Le troisième groupe est celui des parcelles qui n'ont pas été creusées par des rainures et ne contiennent pas de données géométriques, on calcule donc ses réserves à partir de la carte au 1/5000 de l'ENOF.

Le tableau V.1 présente les travaux effectués dans le gisement de M'ZILA dans le cadre de la prospection de bentonite.

Tableau V. 1 : Les résultats des travaux réalisés dans le gisement de M'ZILA pour la prospection des couches de bentonite

Couches \ Travaux	C I	C III	C IV	C V	C VII	C VIII	C IX	C X	C XI	C XII	C XIII	C XIV
Les sondages stériles	16	15	13	15	9	10	11	7	16	13	16	16
Les sondages minéralisés	0	1	3	1	7	6	5	9	0	3	0	0
Le nombre des parcelles	3	2	5	0	1	0	0	7	1	0	1	4
Les parcelles rainurées	0	1	1	0	1	0	0	2	1	0	0	4
Le nombre des rainures	0	5	7	0	6	0	0	3	8	0	0	17
Le nombre d'échantillons prélevés	0	22	69	2	71	3	2	25	0	0	0	0
Le nombre d'échantillons prélevés dans les sondages	0	12	27	2	25	1	1	13	0	0	0	0
Le nombre d'échantillons prélevés dans les rainures	0	10	42	0	46	2	1	12	0	0	0	0

### 6.1. Les cartes en isopaques des parcelles :



#### 6.1. Couche XIV - parcelle F :

La parcelle F se trouve dans la partie Nord/Est du gisement, sur l'affleurement de la couche XIV entre les niveaux 80 et 90

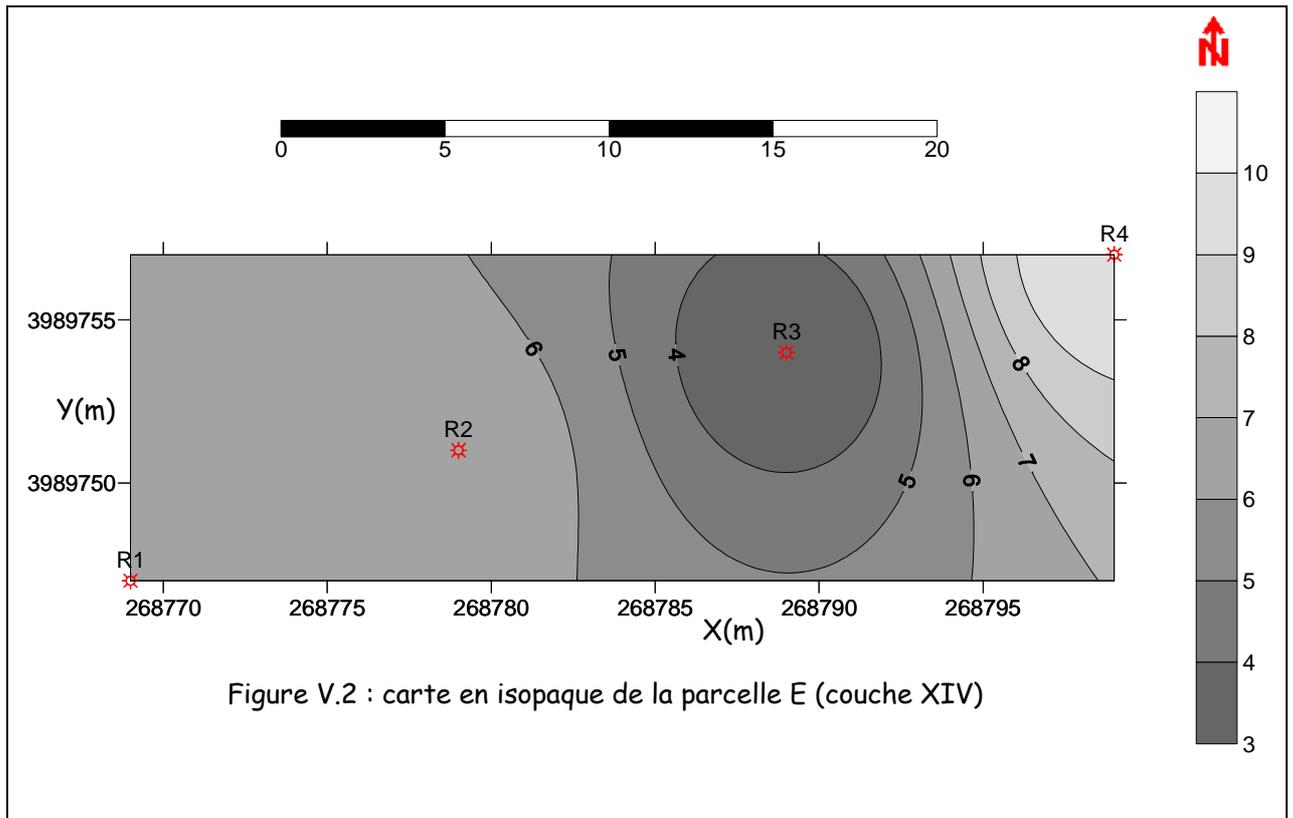
Elle possède une longueur de 40 m et une largeur de 8 m avec une profondeur de 5m ; cette parcelle est orientée N 110° avec un pendage de 35°.

Dans cette parcelle on a fouillé 4 rainures espacées de 10 m afin de connaître les épaisseurs de la couche en chaque rainure.

Dans la rainure (1) l'épaisseur de la couche est grande, elle atteint 16.4 m, au niveau des rainures (2) et (3) on voit une épaisseur moyenne de 7 à 8 m et une petite épaisseur au niveau de la rainure (4) qui est de 4.6 m.

L'excavation directe de la couche est proposée pour cette parcelle car le terrain de découverte est peu épais et on est dans une petite parcelle donc un excavateur à grande hauteur suffit pour récupérer toute la bentonite de cette parcelle.

Le volume de cette parcelle est de  $1592 \text{ m}^3$  ce qui donne avec une densité de  $2 \text{ tonne/m}^3$  une réserve de 3184 tonnes.



## 6.2. Couche XIV - parcelle E :

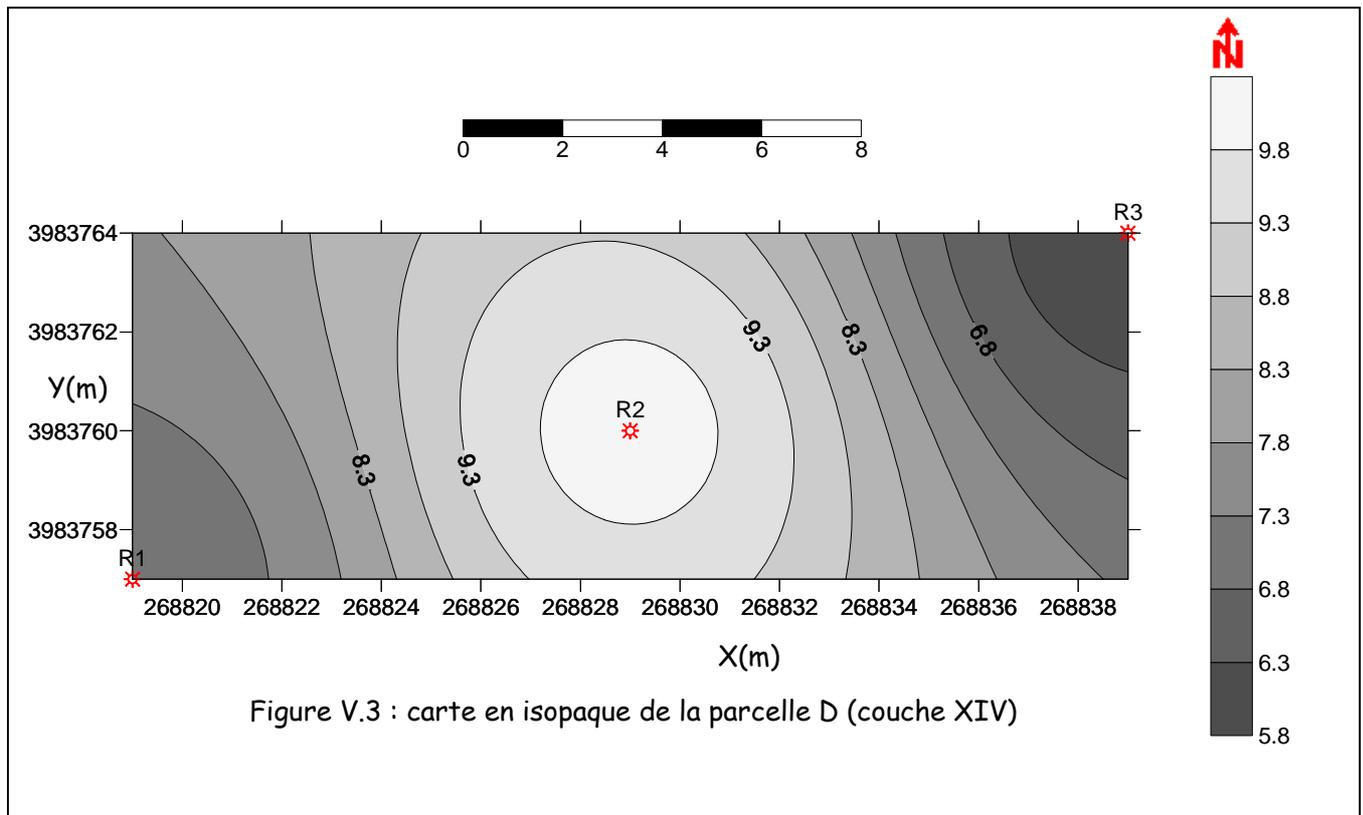
Cette parcelle située entre les niveaux 70 - 80, avec un terrain de découverte de 10 m, est de longueur de 40 m et de largeur de 10 m orientée suivant la direction N  $94^\circ$  et avec un pendage de  $45^\circ$  vers le Sud.

Elle montre des épaisseurs différentes et on les voit à partir des 4 rainures qu'on a creusées

Les épaisseurs varient entre 3m (rainure 3) et 10m (rainure 4), et on voit qu'il y a des épaisseurs moyennes de 6 à 7 m dans les rainures (1) et (2) (respect).

Avec un excavateur à grande hauteur (plus de 10 m) on peut l'exploiter, après l'enlèvement de stériles pour extraire toute l'épaisseur de la parcelle.

A partir du logiciel SURFER, on a estimé le Volume de cette parcelle à  $1770 \text{ m}^3$  ce qui donne une réserve de 3540 tonnes



### 6.3. Couche XIV- parcelle D

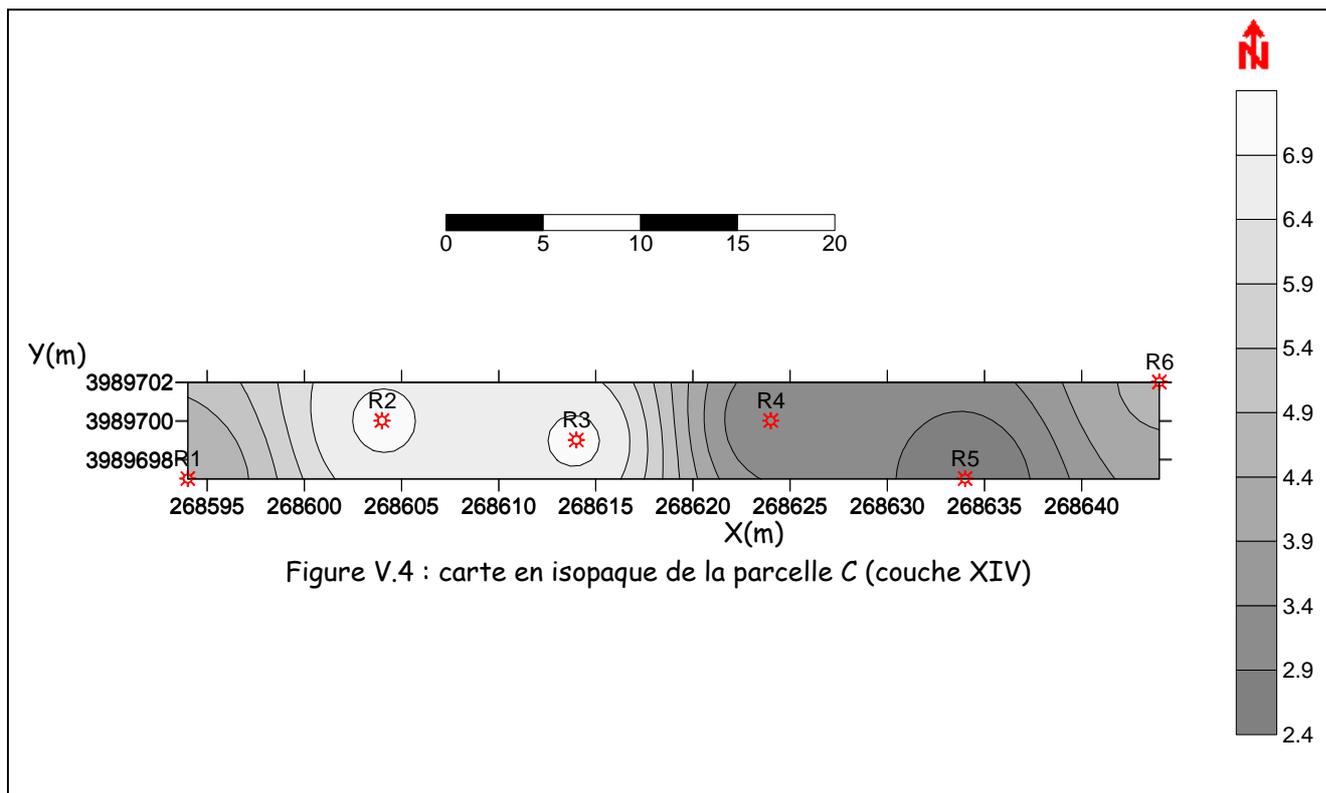
La parcelle D est plus petite que les autres parcelles, elle a une longueur de 25 m, une largeur de 7 m et une profondeur faible de 5m

Cette parcelle se situe entre les niveaux 80 -90, elle est orientée dans la direction N 110° avec un pendage de 45° vers le Sud

Comme la parcelle est petite on a creusé 3 rainures, les épaisseurs sont en moyenne de 8 m, 7 m dans la rainure (1), 10 m pour la deuxième rainure, et 6 m dans la rainure (3).

L'exploitation ici se fait aussi par excavation directe de la couche de bentonite, parce qu'on ne peut pas faire de gradins dans les petites tranchées pour une faible épaisseur de la couche.

Le volume de cette parcelle est de 1170 m<sup>3</sup>, on le multiplie par la densité de 2 tonnes/m<sup>3</sup> on trouve des réserves de 2340 tonnes.



#### Couche XIV - parcelle C :

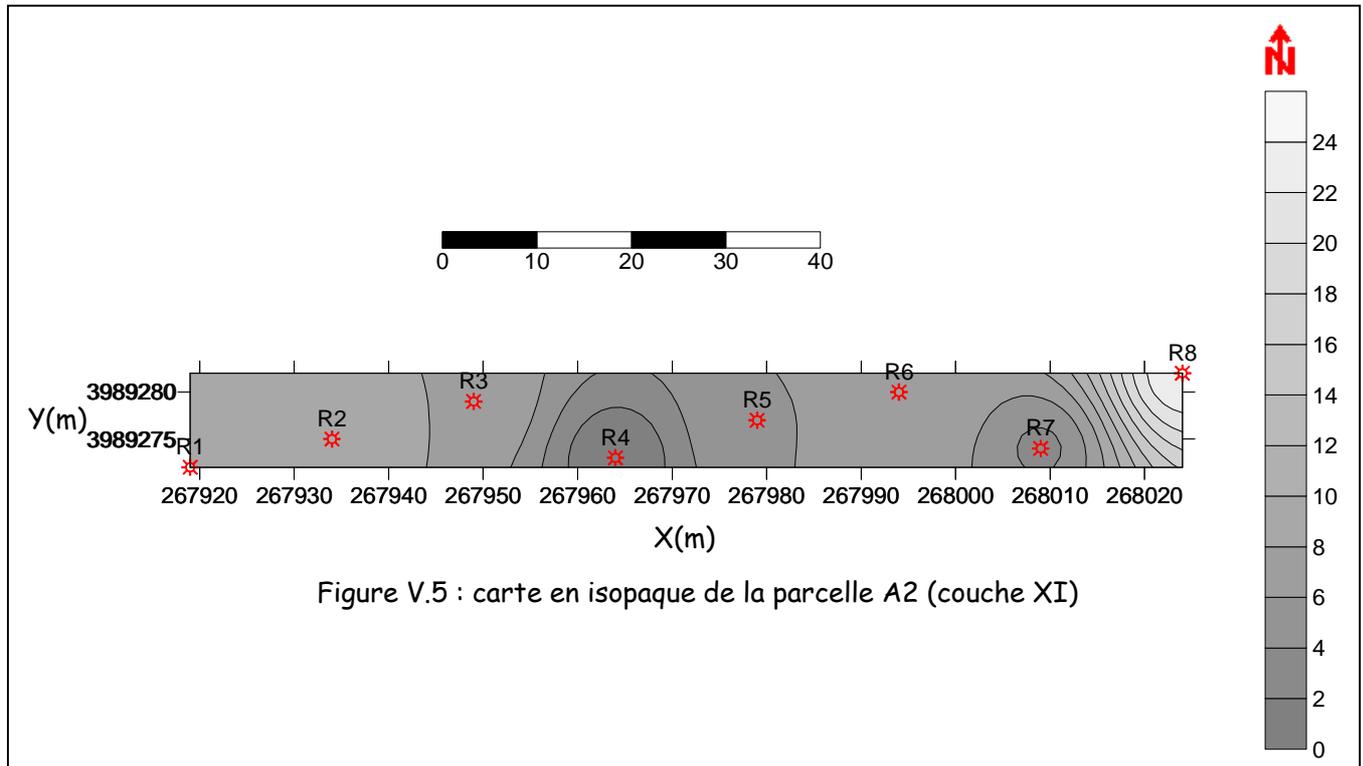
Sur la même couche XIV, et entre les niveaux 60 et 80, se situe la parcelle C, elle possède une longueur de 60 m et une largeur de 4.5 m, mais la couche est peu profonde et atteint 13 m de profondeur.

Cette parcelle est orientée suivant la direction N 94° avec un pendage de 45° vers le Sud.

On a fouillé 6 rainures. Dans cette parcelle des épaisseurs varient de 2.5 à 7 m, le maximum des épaisseurs se trouve dans les rainures (2) et (3), les autres rainures montrent des épaisseurs inférieures à 4.5 m.

L'exploitation de cette parcelle est faite par gradins de hauteur 3-4 m, on commence par la découverte, après on construit les gradins, l'extraction commence par le niveau 80 et on descend jusqu'au niveau 60.

SURFER nous a permis de calculer le volume de la parcelle C qui est de 1208 m<sup>3</sup>, les réserves sont de 2416 tonnes.



### Couche XI -parcelle A2 :

C'est la plus longue parcelle dans le gisement avec une longueur de 150 m située dans l'Ouest au sein de la couche XI, entre les niveaux 40 et 70.

La largeur de cette parcelle est de 10 m et avec une profondeur de 3m donc la découverte est moins importante.

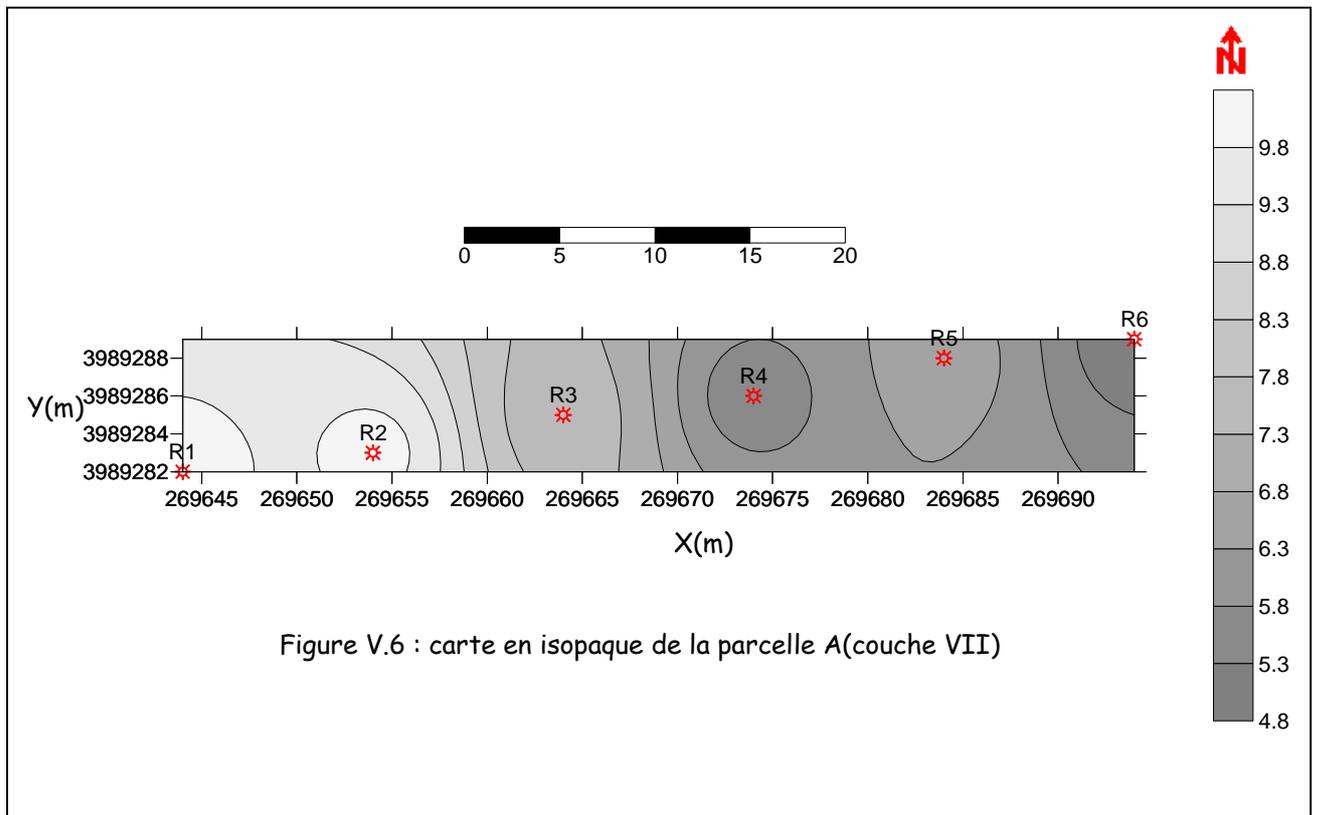
On a fouillé 7 rainures dans cette parcelle espacées de 10 m, ces rainures montrent des épaisseurs différentes allant de 4 à 24 m.

On voit que dans la rainure (3) l'épaisseur de la couche a atteint 8 m et après 10 m dans la rainure (4) la couche disparaît, ce qui est dû à la présence d'une faille à ce niveau.

Les autres rainures montrent des épaisseurs moyennes de 4 à 10 m sauf dans la rainure (8) où l'épaisseur atteint 24 m.

L'exploitation se fait par gradins de 4m de talus, la découverte a une faible importance, on construit les gradins et on extrait la bentonite à l'aide d'une pelle passant du niveau 70 au niveau 40.

Le volume de la parcelle est de 7858 m<sup>3</sup>, ce qui correspond à des réserves de 15716 tonnes



### 6.6. Couche VII - parcelle A :

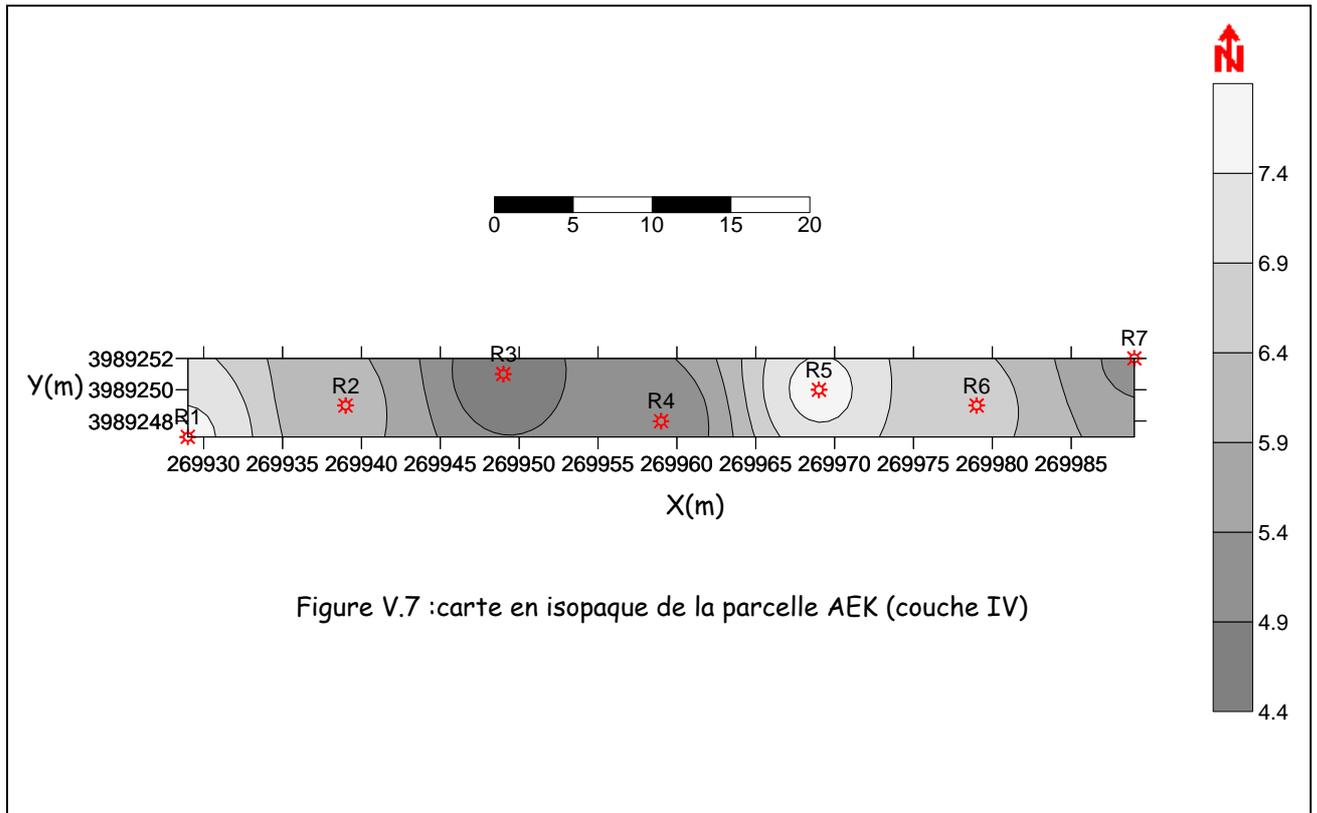
La parcelle A de la couche VII située entre les niveaux 150 et 160 au milieu du gisement, elle est orientée suivant la direction N 80° et avec un pendage de 35° vers le Sud.

La parcelle à une longueur moyenne de 60 m et une largeur de 7 m et le terrain de découverte atteint 10 m.

Sur tout le long de cette parcelle on a creusé 6 rainures, ces derniers montrent des épaisseurs moyennes de 5 à 10 m.

L'exploitation de cette parcelle se fait par gradins de 3-4 m à cause du pendage du terrain (35°) ; on commence du haut vers le bas à savoir du niveau 160 au niveau 150.

SURFER a estimé les réserves de cette parcelle en un volume de 2578 m<sup>3</sup> ce qui donne, avec une densité de 2 tonnes/m<sup>3</sup>, des réserves de 5156 tonnes.



### 6.7. Couche IV - parcelle AEK :

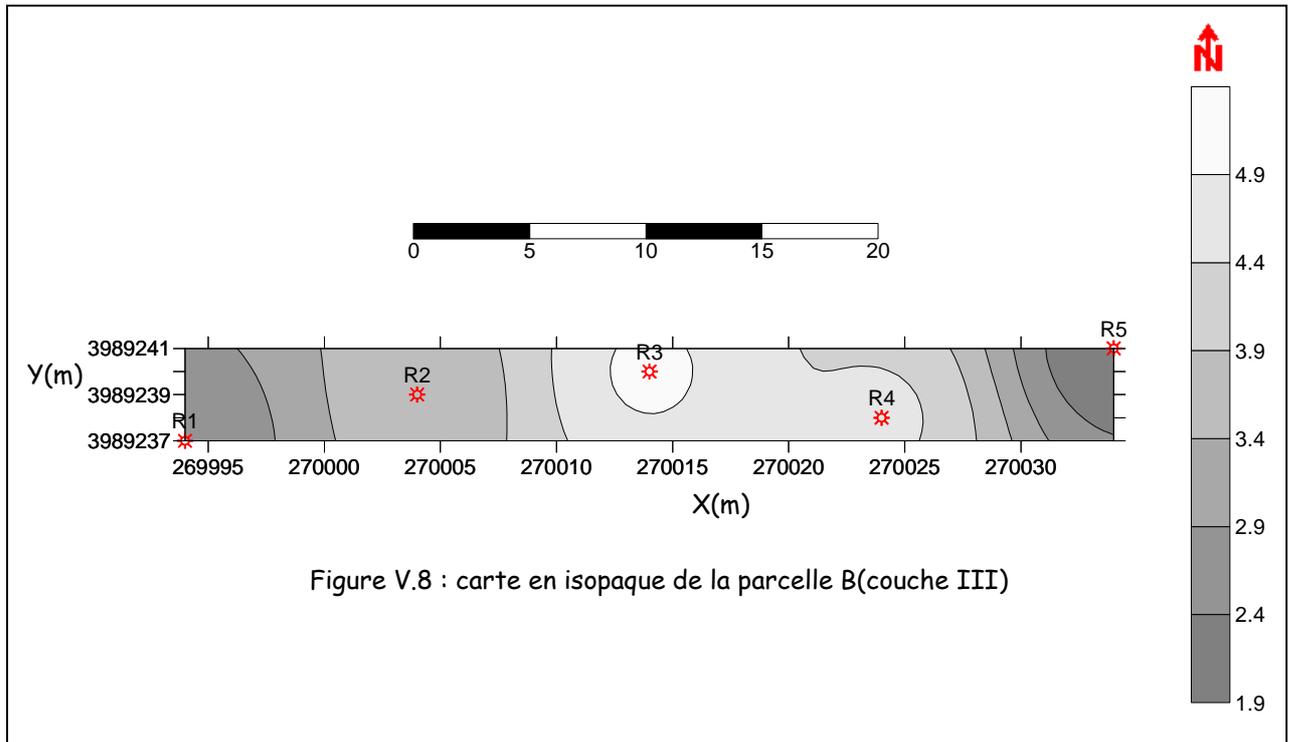
La parcelle AEK (Abdelkader) de la couche IV a une longueur de 70 m, une largeur de 5 m; elle est caractérisée par le faible terrain de découverte qui est de 5 m de profondeur.

Cette parcelle est située entre les niveaux 170 - 180, orientée suivant la direction N 80° avec un pendage de 30° vers le Nord.

On a creusé 7 rainures sur toute la longueur de la parcelle dont les épaisseurs vont de 4.5 m à 7.5 m. On voit l'épaisseur maximale dans la première rainure et minimale dans la troisième. Les autres épaisseurs sont en moyenne de 6 m.

L'exploitation de ce gisement se fait par gradins de 3 à 4 mètres de hauteur, on commence par l'enlèvement du mort terrain, ensuite on construit les gradins sur les différents niveaux passant du haut vers le bas.

Le volume estimé de cette parcelle est de 1803 m<sup>3</sup> et les réserves atteignent les 3606 tonnes.



### 6.8. Couche III - parcelle B :

La parcelle B de la couche III avec une longueur de 50 m et une largeur de 4 m elle est caractérisée par le faible terrain de recouvrement qui est de 5 m de profondeur.

Cette parcelle est située entre les niveaux 120 - 130, orientée suivant la direction N 80° avec un pendage de 35° vers le Sud.

On a creusé 5 rainures sur toute la longueur de la parcelle, les épaisseurs sont faibles et ne dépassent pas les 5 m.

La rainure (5) ne donne que deux mètres d'épaisseur de couche de bentonite.

Le volume estimé de cette parcelle est moyennement faible de 612 m<sup>3</sup> ce qui donne des réserves de 1224 tonnes.

Ce calcul donne des réserves de catégorie (B) de 37 182 tonnes pour l'ensemble des parcelles étudiées, il en existe évidemment d'autres qui comportent des rainures et des tranchées mais sans données répertoriées dans des rapports et nous tenterons d'évaluer leur dimensions graphiquement à l'aide de leur tracé sur la carte au 1/5000, d'autres ne comportent ni rainures ni tranchées et le calcul qui sera fait ne tiendra compte que des sondages et nous procéderons par interpolations entre deux sondages et deux rainures ou tranchées, (plus les distances sont grandes plus grande sera l'approximation ).

Les parcelles suivantes sont des parcelles appartenant à la catégorie (B) (prouvée), ces parcelles ne comportent pas de rainures mais les données sur les caractéristiques géométriques sont connues (longueur, largeur, épaisseur et le pendage) donc le calcul des réserves sera :

$$C = \text{Longueur} \times \text{largeur} \times \text{l'épaisseur} \times \sin(\text{angle du pendage}) \times \text{densité}.$$

Le tableau suivant présente les caractéristiques géométriques de quelques parcelles de catégorie (B) que nous considérons dans le calcul des réserves de ces parcelles

Tableau V.2 : Caractéristiques géométriques des parcelles de la catégorie (B)

		Caractéristiques géométriques			
Couches	Parcelles	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Angle pendage (°)
III	B	60	10	04	35
	A	70	10	04	35
IV	A	130	10	04	30
	AEK	70	8	04	30
VII	A	60	12	07	35
X	GRA	60	08	02	30
	DI	45	08	07	30
	Ben.	50	10	05	35
	B4	60	08	03	35
	T2	100	10	02	30
XI	A2	900	8-30	6	25
XIII	C	700	7	0.9	45
XIV	D	25	12	06	40
	E	40	12	06	40
	F	40	12	6	40
	C	60	03	6	45

- Les réserves de cet ensemble sont

**Couche XIII - C :**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
90	7	0.7	45
Les réserves sont de : 624 tonnes			

**Couche X - GRABI**

Longueur	largeur	Epaisseur	pendage
60	8	2	30
Les réserves sont de : 960 tonnes			

**Couche X - Dauphin**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
45	8	7	30
Les réserves sont de : 2520 tonnes			

**Couche X - Benmoumen**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
50	10	5	35
Les réserves sont de : 2868 tonnes			

**Couche X - B4**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
60	8	3	35
Les réserves sont de : 1652 tonnes			

**Couche X - T2**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
100	10	2	30
Les réserves sont de : 2000 tonnes			

**Couche IV - parcelle A**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
130	10	4	30
Les réserves sont de : 5200 tonnes			

**Couche III - A**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
70	10	4	35
Les réserves sont de : 3212 tonnes			

**6.2. Calcul des réserves à partir de la carte :**

Nous nous basons sur le fait que la carte de l'ENOF au 1/5000 (qui montre les parcelles des différentes catégories et l'extension des couches de bentonite), a été tracée à l'échelle.

Cet ensemble de parcelles n'a pas été considéré dans le calcul précédent c'est le reste des parcelles de la catégorie (B) qui étaient sans rainures seuls les tracés sur la carte de l'ENOF sont des éléments quantifiables (tracé de couleur rouge sur la carte) aussi le calcul des réserves se fait graphiquement à partir de cette carte.

La longueur et la largeur se mesurent sur la carte, l'épaisseur et le pendage correspondent à chaque fois à la moyenne de la couche concernée.

On note que dans ce calcul on ne compte pas les réserves exploitées précédemment alors toutes les réserves exploitées avant 2006 ne sont pas comprises dans notre calcul.

#### Couche I - A

longueur	Largeur	Epaisseur	pendage
40	25	1.1	35
Les réserves sont de : 1262 tonnes			

#### Couche I - B

longueur	Largeur	Epaisseur	pendage
40	25	1.1	35
Les réserves sont de : 1262 tonnes			

#### Couche I - C

Longueur	largeur	Epaisseur	pendage
40	25	1.1	35
Les réserves sont de : 1262 tonnes			

**Couche IV - A'**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
40	30	4	35
Les réserves sont de : 5506 tonnes			

**Couche IV - B3**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
40	30	4	30
Les réserves sont de : 5506 tonnes			

**Couche IV - C3**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
60	40	4	30
Les réserves sont de : 9600 tonnes			

**Couche VII+VI - A**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
40	30	1	30
Les réserves sont de : 1200 tonnes			

**Couche VII+IV - B**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
30	30	1	30
Les réserves sont de : 900 tonnes			

**Couche VII+IV - C**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
30	10	1	30
Les réserves sont de : 900 tonnes			

**Couche X - Ouladi**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
75	10	3.5	30
Les réserves sont de : 2625 tonnes			

**Couche X - B6**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
50	10	3.5	30
Les réserves sont de : 1750 tonnes			

**Couche X -B4**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
50	25	3.5	30
Les réserves sont de : 4375 tonnes			

Ce calcul donne toutes les parcelles de catégorie B (réserves prouvées) qui sont tracées sur la carte, ces réserves atteignent 92 366 tonnes

Donc les réserves appartenant à la catégorie C1 sont de :

Réserves prouvées : 92 366 tonnes
-----------------------------------

**7. Les réserves de catégorie (C1) :**

Les réserves de la catégorie C1 sont les réserves probables, ces réserves sont celles pour lesquelles la continuité de la couche a été démontrée par des puits de sondage (ou des sondages à la tarière), et dont la qualité a été vérifiée. Par contre, la découverte n'est pas faite et l'épaisseur de la couche est indéterminée.

Le calcul de ces réserves se fait à l'aide de la carte au 1/5000, ces réserves sont tracées avec une couleur jaune et en ligne continue

**Couche X**

Longueur	largeur	épaisseur	pendage
100	20	3.5	30
Les réserves sont de : 7000 tonnes			

**Couche XII**

Longueur	largeur	épaisseur	pendage
175	30	1.5	30
Les réserves sont de : 7875 tonnes			

**Couche IV**

longueur	largeur	épaisseur	pendage
500	10	4	30
Les réserves sont de : 20 000 tonnes			

**Couche VII**

longueur	largeur	épaisseur	pendage
350	15	7	35
Les réserves sont de : 42 157 tonnes			

Les réserves totales de la catégorie C1 (probables) sont de 77032 tonnes

Réserves probables : 77032 tonnes
-----------------------------------

**8. Les réserves de la catégorie (C2) (possible) :**

Les réserves de la catégorie C2 sont des réserves possibles où on voit la continuité des couches et l'interpolation entre les sondages et les parcelles qui affleurent en surface.

Sur la carte, ces réserves sont tracées en couleur jaune avec des traits discontinus.

**Couche XIV**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
1750	20	6	42
Les réserves sont de : 281 035 tonnes			

**Couche XIII**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
350	10	0.9	45
Les réserves sont de : 4 454 tonnes			

**Couche XI**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
275	15	6	25
Les réserves sont de : 20 919 tonnes			

**Couche X**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
1925	15	4	30
Les réserves sont de : 115 500 tonnes			

**Couche VII**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
675	10	7	35
Les réserves sont de : 54 203 tonnes			

**Couche IV**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
1275	10	4	30
Les réserves sont de : 51 000 tonnes			

**Couche III**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
800	10	4	35
Les réserves sont de : 36 709 tonnes			

**Couche I**

longueur	largeur	Epaisseur	pendage
3550	12	1.1	35
Les réserves sont de : 53 755 tonnes			

Donc le total des réserves de catégorie C2 (possibles) est :

Réserves possibles : 617 575 tonnes

A partir de ce calcul et après la somme des réserves des différentes catégories, les réserves actuelles du gisement de M' ZILA sont :

$$92\ 366 + 77\ 032 + 617\ 575 = 786\ 973 \text{ tonnes}$$

Donc le total des réserves du gisement de M'ZILA est

Les réserves de M'ZILA : 786 973 tonnes



Tableau V.3 : Comparaison de notre calcul des réserves avec le calcul de l' ENOF :

## 1) réserves de l' ENOF 2006

Couches	Catégories	Tonne
I	B	19341
	C1	29050
	B+C1	48391
	C2	51500
	B+C1+C2	99891
III	B	24729
	C1	12000
	B+ C1	36729
	C2	180000
	B+C1+C2	216729
IV	B	26780
	C1	200
	B+ C1	26980
	C2	13080
	B+C1+C2	40060

## 2) notre calcul de réserves 2009

Couches	Catégories	Tonne
I	B	3786
	C1	0
	B+C1	3786
	C2	53755
	B+C1+C2	57541
III	B	4436
	C1	0
	B+ C1	4436
	C2	36709
	B+C1+C2	41145
IV	B	29418
	C1	20000
	B+ C1	49418
	C2	51000
	B+C1+C2	100418

IV+VII	B	29234
	C1	22000
	B+ C1	51234
	C2	100000
	B+C1+C2	151234
VII	B	10233
	C1	19500
	B+ C1	29733
	C2	120000
	B+C1+C2	149733
X	B	19451
	C1	56984
	B+ C1	76435
	C2	162700
	B+C1+C2	239135
XI	B	6620
	C1	200
	B+ C1	6820
	C2	21120
	B+C1+C2	27940

IV+VII	B	3000
	C1	0
	B+ C1	3000
	C2	0
	B+C1+C2	3000
VII	B	5156
	C1	42157
	B+ C1	47313
	C2	54203
	B+C1+C2	101516
X	B	18750
	C1	7000
	B+ C1	25750
	C2	115500
	B+C1+C2	141250
XI	B	15716
	C1	0
	B+ C1	15716
	C2	20919
	B+C1+C2	36635

XII	B	5000
	C1	15000
	B+ C1	20000
	C2	40000
	B+C1+C2	60000
XIII	B	828
	C1	19200
	B+ C1	20028
	C2	36800
	B+C1+C2	56828
XIV	B	12151
	C1	33660
	B+ C1	45811
	C2	2800
	B+C1+C2	48611
TOTAL	B	154367
	C1	207794
	B+ C1	362161
	C2	728000
	B+C1+C2	1 090 161

XII	B	0
	C1	7875
	B+ C1	7875
	C2	0
	B+C1+C2	7875
XIII	B	624
	C1	0
	B+ C1	624
	C2	4454
	B+C1+C2	5078
XIV	B	11480
	C1	0
	B+ C1	11480
	C2	281035
	B+C1+C2	292515
TOTAL	B	92366
	C1	77032
	B+ C1	169398
	C2	617575
	B+C1+C2	786 973

Ce tableau montre des différences notables à la fois dans le total des réserves mais aussi catégorie par catégorie. La différence entre les réserves totales (ENOF et calculées) est de 303 188 tonnes.

Cette différence est remarquable au niveau de la catégorie C1 pour la raison suivante : on a noté 0 dans notre calcul pour ces réserves (couches I, III, IV+VII, XI, XIII, XIV) ; ces réserves ont été exploitées avant 2006 et elles sont représentées sur la carte de l'ENOF en couleur noire aussi on ne les compte pas dans notre calcul.

D'autres réserves appartiennent à ces couches, calculés par l'ENOF elles ne sont pas représentées sur la carte au 1/5000 c'est pourquoi on ne les compte pas dans notre calcul (0 dans le tableau)

Les réserves de cette catégorie calculées par l'ENOF pour l'ensemble des couches citées semblent ne pas exister et le calcul de l'ENOF pour cette partie est jugé incertain.

Pour la même raison, les réserves de la catégorie C2 dans les couches IV+VII et XII, n'existent pas et ne sont pas présentées sur la carte de l'ENOF.

Quant aux réserves de la catégorie B pour laquelle on a mis 0 pour une parcelle de la couche XII : cette parcelle a été déjà exploitée et tracée sur la carte avec une couleur noire alors aussi on ne l'introduit pas dans notre calcul de réserves.

## **Conclusion générale**

Au terme de notre étude relative à l' « Evaluation du calcul des réserves couche par couche du gisement benthonique de M'ZILA (Wilaya de Mostaganem) », nous pouvons dégager les conclusions suivantes :

- ✓ La bentonite de la région de Mostaganem appartient à la variété de la montmorillonite sodique, sa teneur élevée en  $\text{Na}_2\text{O}$  lui confère un indice de gonflement élevé, et elle rencontre généralement les exigences requises pour la fabrication des boues de forage, on l'utilise aussi en fonderie et comme bentonite de charge.
- ✓ L'étude géologique et topographique du gisement benthonique de M'ZILA a permis l'évaluation de ses réserves exploitables actuelles qui sont estimées à **786 973 tonnes** dans les tranchées, ce qui permet, avec une production annuelle de 23000 tonnes , d'alimenter l'usine de traitement pendant 34 ans.
- ✓ La majeure partie des réserves (71%) est contenue dans les quatre couches IV, VII, X et XIV. Les couches II, VI et IX ne renferment que des couches à réserves négligeables.
- ✓ A partir des cartes en isopaque on a estimé que les réserves géologiques de huit couches sont supérieures à **17 933 039 tonnes**, ce chiffre a été mesuré dans la partie orientale du gisement et avec 16 sondages seulement.
- ✓ A partir des cartes en isobathe on conclut que la majorité des couches sont profondes (30 m en moyenne), c'est pour cela que l'exploitation est orientée vers l'extraction des tranchées qui affleurent car la méthode est simple et appropriée aux conditions du terrain.
- ✓ L'exploitation se fait par carrières à ciel ouvert étroites et limitées, dès que la profondeur d'exploitation atteint 4 à 5 mètres , l'extraction devient difficile à cause des pendages des couches et faute de moyens mécaniques adéquats.
- ✓ La couche XIV montrant une bonne qualité celle de plus grande épaisseur, ses extensions devraient être exploitées et explorées en priorité.

- ✓ Il ne faut pas compter dans le calcul des réserves géologiques du gisement les réserves situées au dessous des pistes soit quelques 19 920 tonnes.
  
- ✓ Les réserves totales calculées toutes catégories confondues (B+C1+C2) sont de 786 973tonnes, soit :  
En catégorie B : 92 366t ; en catégorie C1 : 77 032t ;  
  
En catégories B+ C 1 : 169 398t et en catégorie C2 :617 575t

❖ **Recommandations :**

Les équipements utilisés limitent la profondeur verticale d'exploitation à une dizaine de mètres dans les meilleures conditions. Les couches les plus épaisses et de meilleure qualité pourraient être exploitées avec profit à de plus grandes profondeurs, si la machinerie appropriée était disponible.

L'insuffisance des informations sur les couches de bentonite revient au nombre de sondages implanté dans le gisement.

Une campagne de forage permettra :

- d'étudier l'évolution de la qualité des couches en profondeur.
- de réévaluer les réserves afin de mieux rationaliser l'exploitation, les réserves géologiques entre les parcelles étant inconnues.
- de délimiter la profondeur maximum d'exploitation après avoir défini une nouvelle méthode qui permette de mobiliser les ressources situées plus en profondeur par rapport à la limite actuelle.

L'exploration du flanc sud du synclinal est recommandée en priorité. La topographie moins accidentée (doucement inclinée vers le Nord) y rendra l'exploitation plus facile que sur le flanc nord. De plus, le pendage plus faible des strates augmentera la productivité et diminuera le volume de découverte.

Aucune piste d'accès ne permet présentement d'exploiter les couches de bentonite situées sur le flanc sud du synclinal. Pour ce faire, il faudra acquérir quelques propriétés privées.

# Annexes

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] **SIDAM** : rapport de développement M'ZILA, 1994.
- [2] **SONAREM** : résultat des travaux de recherche géologique effectuées sur le gisement de M'ZILA, 1971.
- [3] Rapport final projet de qualité BENTAL, 2002.
- [4] **PERRODON. A** : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale (bulletin N°12), 1957.
- [5] **DEHIM. S** : "étude géologique des argiles bentonitiques", PFE, USTHB, 2004.
- [6] [WWW.WEPEDIA.MOBI/montmorillonite.html](http://WWW.WEPEDIA.MOBI/montmorillonite.html)
- [7] <http://www.mineralinfo.org/index.htm>
- [8] **LARIBI. S**:"contribution à l'exploration nanoscopique des argiles", école des mines France, 2004.
- [9] **PIERSON. P**:"géo membrane-géocomposites bentonitiques-" chapitre 8, 200P Ed presses internationales.
- [10] **OUAHAB. M**:"proposition d'une méthode d'exploitation du gisement de bentonite de Mostaganem", PFE, ENP, 2008.
- [11] **GARCIA. C** : " boue de forage", IFP, 1981, Ed, technip, paris.
- [12] **KOVALENKO.V** : "exploitation des carrières", 1986, OPU, Alger.
- [13] **ZIANI. S** : "étude paléogéographique de la période Crétacée-tertiaire de la région de Tébessa", PFE, ENP, 2005.
- [14] **KHATAL. M** : "étude de la répartition spatio-temporelle du magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane" PFE, ENP, 2003.
- [15] **KERCHOUCHE. F** : " répartition Spatio-temporelle du magmatisme dans les bassins de Berkine et d'Illizi", PFE, ENP, 2007.
- [16] **DERRIDJ. M** : "amélioration de la qualité de la bentonite de Mostaganem par le traitement thermique", PFE, ENP, 2008.
- [17] **BOURAS.O** : "propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles", 23P, thèse doctorat, limoges, 2003.
- [18] **BOKY. B** : "exploitation des mines", Ed Mir, 1968.
- [19] **CATERPILAR** : "catalogue d'un bulldozer D75".
- [20] **HAYDN H.MURRAY**: "applied clay mineralogy", 2007, U.S.A, Ed Elsevier.

# Annexe 1

Les coordonnées de sondage en UTM

SONDAGE	X	Y
S,1	269144	3989497
S,2	269194	3989397
S,3	269294	3989122
S,4	269219	3989247
S,5	269069	3989747
S,6	269044	3989772
S,7	270694	3989347
S,8	270619	3989547
S,9	270944	3989372
S,10	270569	3989322
S,11	270769	3989072
S,12	270469	3989372
S,13	270344	3989322
S,14	270094	3989322
S,15	270119	3989172
S,16	269894	3989372

Les épaisseurs des couches III, IV, V.

SONDAGE	X	Y	épaisseur C (III)	épaisseur C (IV)	épaisseur C (V)
S,1	269144	3989497	0	0	0
S,2	269194	3989397	0	0	0
S,3	269294	3989122	2,5	4,9	1
S,4	269219	3989247	0	0	0
S,5	269069	3989747	0	0	0
S,6	269044	3989772	0	0	0
S,7	270694	3989347	0	0	0
S,8	270619	3989547	0	0	0
S,9	270944	3989372	0	0	0
S,10	270569	3989322	0	0	0
S,11	270769	3989072	0	2	0
S,12	270469	3989372	0	4,9	0
S,13	270344	3989322	0	0	0
S,14	270094	3989322	0	0	0
S,15	270119	3989172	0	0	0
S,16	269894	3989372	0	0	0

Les épaisseurs des couches VII, VIII, IX.

SONDAGE	X	Y	épaisseur C (VII)	épaisseur C (VIII)	épaisseur C (IX)
S,1	269144	3989497	0	0	0
S,2	269194	3989397	0	0	0
S,3	269294	3989122	0	0	0
S,4	269219	3989247	0	3,3	0
S,5	269069	3989747	0	0	0
S,6	269044	3989772	0	0	0
S,7	270694	3989347	3,3	0	0
S,8	270619	3989547	0	0	0,6
S,9	270944	3989372	0	1,3	3,8
S,10	270569	3989322	3,3	7,6	4,6
S,11	270769	3989072	12,1	0,9	2
S,12	270469	3989372	12,2	0,5	0
S,13	270344	3989322	3,6	0,9	0,8
S,14	270094	3989322	5,2	0	0
S,15	270119	3989172	3,3	0	0
S,16	269894	3989372	0	0	0

Les épaisseurs des couches X, XII

SONDAGE	X	Y	épaisseur C (X)	épaisseur C (XII)
S,1	269144	3989497	0	0
S,2	269194	3989397	4,1	0
S,3	269294	3989122	0	0
S,4	269219	3989247	2	0
S,5	269069	3989747	0	0
S,6	269044	3989772	0	0
S,7	270694	3989347	12,9	0,6
S,8	270619	3989547	4,3	0
S,9	270944	3989372	7,2	0
S,10	270569	3989322	13,1	0
S,11	270769	3989072	0	0
S,12	270469	3989372	1,2	0
S,13	270344	3989322	0	0
S,14	270094	3989322	5,2	1,3
S,15	270119	3989172	0	0
S,16	269894	3989372	4,6	0,6

Les profondeurs des couches X, IX, VIII, mesurées par rapport au niveau de la mer

SONDAGE	X	Y	profondeur C (X)	profondeur C (IX)	profondeur C (VIII)
S,1	269144	3989497			
S,2	269194	3989397	105		
S,3	269294	3989122			
S,4	269219	3989247	94,5	82,8	90,5
S,5	269069	3989747			
S,6	269044	3989772			
S,7	270694	3989347	96,8		
S,8	270619	3989547	100,5	105,5	
S,9	270944	3989372	109,5	129,7	137,9
S,10	270569	3989322	68,6	88,5	95,5
S,11	270769	3989072		85	87
S,12	270469	3989372	104,1		115,5
S,13	270344	3989322		103,5	131,5
S,14	270094	3989322	128		
S,15	270119	3989172			
S,16	269894	3989372	108,2		

Les profondeurs des couches VII, IV, XII mesuré par rapport au niveau de la mer

SONDAGE	X	Y	Profondeur C (VII)	profondeur C (IV)	profondeur C (XII)
S,1	269144	3989497			
S,2	269194	3989397			
S,3	269294	3989122		87,5	
S,4	269219	3989247			
S,5	269069	3989747			
S,6	269044	3989772			
S,7	270694	3989347	134		82,8
S,8	270619	3989547			
S,9	270944	3989372			
S,10	270569	3989322	107		
S,11	270769	3989072	103,3	84,8	
S,12	270469	3989372	132,3	154	
S,13	270344	3989322	144		
S,14	270094	3989322	128		106,3
S,15	270119	3989172	131,5		
S,16	269894	3989372			97,7

## Annexe 2

Les coordonnées d'un ensemble des parcelles appartiennent à la catégorie C1

Coordonnées de la parcelle F - couche XIV

Rainure	X	Y	Épaisseur XIV -F
R1	268919	3989772	16,4
R2	268929	3989773	7,5
R3	268939	3989775	8,4
R4	268949	3989778	4,7

Coordonnées de la parcelle E - couche XIV

Rainure	X	Y	Épaisseur XIV-E
R1	268769	3989747	7
R2	268779	3989751	6,5
R3	268789	3989754	3
R4	268799	3989757	10

Coordonnées de la parcelle D - couche XIV

Rainure	X	Y	Épaisseur XIV -D
R1	268819	3983757	7
R2	268829	3983760	10
R3	268839	3983764	6

Coordonnées de la parcelle C - couche XIV

Rainure	X	Y	Epaisseur XIV - C
R1	268594	3989697	4,5
R2	268604	3989700	7
R3	268614	3989699	7
R4	268624	3989700	3
R5	268634	3989697	2,5
R6	268644	3989702	4,5

Coordonnées de la parcelle A2 - couche XI

Rainure	X	Y	Epaisseur XI -A2
R1	267919	3989272	9,2
R2	267934	3989275	10
R3	267949	3989279	8
R4	267964	3989273	0
R5	267979	3989277	5,8
R6	267994	3989280	8
R7	268009	3989274	3,5
R8	268024	3989282	24

Coordonnées de la parcelle A - couche VII

Rainure	X	Y	Epaisseur VII -A
R1	269644	3989282	10
R2	269654	3989283	10
R3	269664	3989285	7,5
R4	269674	3989286	5,5
R5	269684	3989288	6,5
R6	269694	3989289	5

Coordonnées de la parcelle AEK - couche IV

Rainure	X	Y	Epaisseur IV -AEK
R1	269929	3989247	7,5
R2	269939	3989249	6
R3	269949	3989251	4,5
R4	269959	3989248	5
R5	269969	3989250	7,6
R6	269979	3989249	6,5
R7	269989	3989252	5,3

Coordonnées de la parcelle B - couche III

Rainure	X	Y	Epaisseur III -B
R1	269994	3989237	2,5
R2	270004	3989239	3,6
R3	270014	3989240	5
R4	270024	3989238	4,5
R5	270034	3989241	2