

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET METALLURGIE

ENSMM-Annaba-



DÉPARTEMENT GÉNIE MINIER

Mémoire de fin d'études

INGENIEUR

THEME :

**CARACTÉRISATION PHYSIQUE ET
MÉCANIQUE DE LA DIATOMITE DE SIG**

Présenté(e) par : - BOUCHERIT Younes

- BOUDEMAGH Nadir

Encadré(e) par : - Dr. OMRACI Kamel

Membres du jury :

- Dr. CHENITI Hamza

Président

- Dr. AISSI Adel

Examineur

Juillet 2017

REMERCIEMENT

*Avant tout, je remercie le bon Dieux de m'avoir donné le courage,
la patience et la force pour terminer ce travail.*

*Au terme de ce modeste travail, nous souhaitons adresser
nos remerciements les plus sincères à ceux qui nous ont
aidés de près ou de loin à élaborer ce mémoire, tous ceux qui
nous ont influencées tout au long de notre cursus
universitaire.*

*Tout d'abord nous témoignons toute nos remerciements à
Notre promoteur **Mr OMRACI Kamel** qui a dirigé l'ensemble de notre travail
pour son soutien ; sa disponibilité ; ces précieux conseils. Ses qualités humaines et
scientifiques sont pour moi un exemple et une référence.*

*Nous témoignons aussi toute nos reconnaissances à **Mr AOUANE ARAB**
le directeur de l'unité de Sig qui a accepté de nous prendre en charge, notre
promoteurs de stage **Mr Hmida , Mr laHabib** et égalamenet **Mme Douas**
pour leur soutien et ces précieux conseils.*

*Nous tenons également à remercier tous les enseignants et notre Chef de département Génie Minier monsieur **Abdelghani MIMOUN** ayant contribué à notre formation jusqu'à la dernière année d'étude.*

*Nous souhaitons également remercier les membres du Jury, **Dr Aissi Adel** et **Dr Cheniti Hamza** qui nous ont fait l'honneur de consacrer une partie de Leurs temps à la lecture et à la critique de ce travail.*

Nous tenons bien évidemment à remercier aussi tous les Membres du laboratoire de L'ENSM-M en acceptant de nous prendre en charge pendant notre travail

Enfin, nous remercions tout particulièrement nos proches, surtout ceux qui partagent notre quotidien et nous ont soutenus tous au long de ce travail.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail À ma très chère mère qui m'apporte toujours son
amour affectif.*

À mon très cher père qui me prodigue toujours des conseils de grandes valeurs.

À mes chers frères

À ma chère Sœur

À toute ma grande famille.

Mon cher binôme et sa famille

À tous mes amis.

Tous l'ensemble des enseignant de génie minier pour leurs aide et soutien

*Je le dédie aussi à tous les étudiants de l'école nationale supérieur des mines et
métallurgie –Annaba.*

Younes

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Ma source de tendresse, la femme la plus patiente ma très chère mère.

*Celui qui je suis le fruit de ces efforts, symbole de bonté, d'affection, de sagesse
et de fierté, mon exemple dans la vie, mon père.*

Mes chères sœurs

Mon cher Frère

Tous mes proches de la famille.

Mon cher binôme et sa famille

*Tous mes amis et mes collègues de l'école nationale supérieur des mines et
métallurgie.*

Tous qui m'ont enseignés au long de ma vie scolaire.

Tous qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Tous ceux que j'aime ...

Nadir

Table des matières

Remerciements.....	i
Dédicaces.....	iii
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	xi
Résumé.....	xiii
ملخص	xiv
Abstract.....	xv
 INTRODUCTION GENERALE.....	 1
 CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DIATOMITES.....	 2
1. Définition de la diatomite.....	2
2. Définition des diatomées.....	3
3. Origine et formation des gisements de diatomites.....	4
4. Classification des diatomites	5
5. Les diatomites dans le monde	5
6. Domaine d'utilisation des diatomites.....	6
7. Conclusion.....	8
 CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE DU GISEMENT.....	 9
1. Historique de recherche et d'exploitation du Kieselguhr de Sig.....	9
2. Situation géographique du gisement.....	9
3. Présentation du gisement.....	11
4. Relief et hydrographie	14
5. Géologie régionale	15
6. Géologie locale du gisement.....	17
7. Tectonique.....	22
8. Structure géologique du gisement.....	22
9. Description faciologique	24
10. Les blocs géologiques	24
Conclusion.....	28

CHAPITRE III : EXPLOITATION DU GISEMENT DE TAHALAIT.....	30
1. Principaux paramètres d'exploitation.....	30
1.1. Mode d'exploitation.....	30
1.2. Mode d'ouverture	30
1.3. Pression des terrains	31
1.4. Infrastructures	31
1.5. Les réserves	32
1.6. Production annuelle et durée de vie	34
1.7. Moyens humains et matériels.....	35
2. La méthode d'exploitation.....	35
2.1. Paramètres influençant le choix du mode d'extraction	35
2.2. Choix de la méthode	36
2.3. Principe de la méthode	37
2.4. L'abattage.....	41
2.5.Chargement et transport.....	42
3. Traitement du kieselguhr	44
4. Conclusion	47
CHAPITRE IV : CARACTIRISATION AU LABORATOIRE DE LA DIATOMITE.	49
1. Prélèvement des échantillons.....	49
2. Préparation des éprouvettes	49
2.1. Sciage de la roche	49
2.2. Carottage	50
2.3. Coupage et polissage	51
3. Caractérisation chimique de la diatomite	52
4. Caractérisation physique de la diatomite	55
4.1. Teneur en eau naturelle	55
4.2. Poids volumique	56
4.3. Le degré de saturation.....	57
4.4. Indice des vides	57
4.5. Porosité	57
4.6. Mesure du coefficient de perméabilité	59

5. Caractéristique mécanique de la diatomite	61
5.1. Essai de compression uniaxiale	61
5.1.1. Introduction	61
5.1.2. Mode opératoire	61
5.1.3. Résultats.....	63
5.2. Essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande.....	63
5.2.1. Introduction	63
5.2.2. But de l'essai.....	63
5.2.3. Les équipements nécessaires pour réaliser un essai de cisaillement	63
5.2.4. Mode opératoire de l'essai de cisaillement direct	65
5.2.5. Déroulement de l'essai	67
5.2.6. Résultats	67
5.3. Essai œdométrique	70
5.3.1. Introduction.....	70
5.3.2. Définition	70
5.3.3. But de l'essai	71
5.3.4. Principe de l'essai	71
5.3.5. Matériels de l'essai.....	72
5.3.6. Mode opératoire	73
5.3.7. Calculs élémentaires	74
5.3.8. Résultats et interprétation.....	76
5.4 Conclusion.....	79
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	80
BIBLIOGRAPHIE.....	84

Liste des figures

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DIATOMITES

Figure I.1 : Diatomite massive de Sig à l'état brut (Boucherit Y & Boudemagh N, 2017).....	2
Figure I.2 : Diatomite litée de Sig à l'état brut (Boucherit Y & Boudemagh N, 2017).....	3
Figure I.3 : Frustules de diatomées (Philippe Crassous /Ifremer).....	4

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE DU GISEMENT

Figure II.1 : Situation géographique de la wilaya de Mascara.....	10
Figure II.2 : Carte des caractéristiques géographiques de la wilaya de Mascara.....	10
Figure II.3 : Situation géographique de l'unité ENOF et du gisement	12
Figure II.4 : Photo satellite montrant la répartition des quartiers dans le périmètre du gisement.....	14
Figure II.5 : Coupe synthétique de la région de Sig (MANSOUR, 1991.....	19
Figure II.6: Carte géologique de la région Sud de la ville de Sig (Service de la carte de l'Algérie, 1957).....	21
Figure II.7: Caractéristiques des couches de diatomites dans le gisement de TAHALAIT de Sig (Meguedad M, 2004).....	24
Figure II.8 : Plan de situation des blocs du gisement de kieselguhrs montrant des zones en activité (SONAREM, 1978)	26

CHAPITRE III : EXPLOITATION DU GISEMENT DE TAHALAIT

Figure III.1: Réserves géologiques au 30 juin 2016.....	34
Figure III.2: Réserves exploitables au 30 juin 2016	34
Figure III.3: Pilier résiduel.	36
Figure III.4: Pilier préparé à l'abattage.	37

Figure III.5: Plan d'exploitation du gisement

(ENOF 2017, modifié par Boudemagh N & Boucherit Y).....38

Figure III.6: Entrée de la galerie principale..... 39

Figure III.7 : Schéma représentatif de la méthode d'exploitation40

Figure III.8: Opération de foudroyage41

Figure III.9: Affaissement du toit41

Figure III.10 : Opération d'abattage manuel.....42

Figure III.11 : Opération de chargement manuelle dans les wagonnets.43

Figure III.12: Opération de roulage jusqu'au jour43

Figure III.13: Opération de déversement et stockage43

Figure III.14 : Opération de chargement de la diatomite de la zone de stockage.....44

Figure III.15 : Opération de séchage.45

Figure III.16 : Opération de conditionnement.....45

Figure III.17 : schéma Technologique de l'opération de traitement du produit de charge.... 45

Figure III.18 : Schéma de traitement de produit de Filtration.....46

CHAPITRE IV : CARACTÉRIISATION AU LABORATOIRE DE LA DIATOMITE

Figure IV.1 : Abattage des piliers et récupération des échantillons..... 49

Figure IV.2 : La scie pour roche50

Figure IV.3 : La carotteuse51

Figure IV.4 : Opération de carottage51

Figure IV.5 : Opération de coupage et polissage d'échantillon de diatomite.....51

Figure IV. 6 : Aspect de texture de diatomées centriques (d'après Meguedad M, 2004) ...53

Figure IV. 7 : Aspect de microstructure des pores (d'après Meguedad M, 2004)53

Figure IV. 8 : Aspect de la texture des diatomées pennées (d'après Meguedad M, 2004). ..53

Figure IV. 9 : Aspect de texture des diatomées centriques (Laboratoire ENSMM, 2017)..	54
Figure IV. 10 : Aspect microstructurale des pores de la diatomite de Sig (Laboratoire ENSMM, 2017)	54
Figure IV.11 : Appareillage de mesure de la perméabilité.....	59
Figure IV.12 : Bâti de compression EN 4000 kN	62
Figure IV.13 : ADVANTEST 9 Console de commande pour application de charge	62
Figure IV. 14 : Appareillage de l’essai de cisaillement	64
Figure IV. 15 : courbes expérimentales obtenu dans un essai de cisaillement « direct » τ en fonction de ε_l	66
Figure IV. 16 : Résultats d’un essai de cisaillement direct dans le plan de Mohr Coulomb..	66
Figure IV.17 : Courbe de cisaillement de la diatomite de Sig.....	68
Figure IV. 18: Enveloppe de Mohr Coulomb de la résistance au pic et résiduelle de la diatomite de Sig.....	68
Figure IV. 19 : Résultats d’un essai de cisaillement direct sur la terre diatomées remaniée de tengchongkhine (Chine) (Zhan & al,2013).....	68
Figure IV. 21 : une cellule œdométrique	70
Figure IV. 22 : Principe de l’essai œdomètre.....	72
Figure IV. 23 : Un œdomètre.....	72
Figure IV. 24 : Un échantillon préparé pour l’essai œdométrique	73
Figure IV. 25 : Courbe de compressibilité et construction de σ'_c	76
Figure IV.26 : La courbe de compressibilité de la diatomite de Sig.....	77

Liste des tableaux

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DIATOMITES

Tableau I.1: Classification des diatomites selon la norme russe (KARAPOV, 1979).....5

Tableau I.2: Composition chimique d'échantillons de kieselguhr provenant des différents gîtes reconnus dans le monde (Ph. Rocher, 1995)6

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE DU GISEMENT

Tableau II.1: Cordonnées LAMBERT Zone Nord du gisement13

CHAPITRE III : EXPLOITATION DU GISEMENT DE TAHALAIT

Tableau III.1 : Réserves géologiques et exploitables au 30 juin 2016 en (T) (ENOF).....33

Tableau III.2 : Moyens humains et matériels dans la mine de TAHALAIT.....35

Tableau III.3 : Caractéristiques techniques des équipements de traitement.....47

CHAPITRE IV : CARACTERISATION AU LABORATOIRE DE LA DIATOMITE

Tableau IV.1 : Composition chimique de la diatomite (KARPOV L.V 1979)52

Tableau IV. 2 : Résultats des mesures de la teneur en eau naturelle de la diatomite
de Sig56

Tableau IV. 3 : Mesure du poids sec et humide de quelques échantillons58

Tableau IV. 4 : Les résultats de calcul des caractéristiques physiques de la diatomite
de Sig.....58

Tableau IV. 5 : Les résultats de calcul de perméabilité..... .61

Tableau IV. 6 : Les résultats de calcul de l'essai uniaxiale..... .67

Tableau IV.7 : Résultats de l'essai de cisaillement69

Tableau IV.8: Propriétés mécaniques de la terre de diatomées de (Tengchong, Chine) (Zhang & al, 2013).....	69
Tableau IV.9 : Calcul élémentaires de l'essai œdométrique.....	76
Tableau IV.10: Indice des vides en fonction de la charge appliquée sur l'échantillon.....	70
Tableau IV.11: calcul de la charge de terrain au-dessus de la couche de kieselguhrs.....	78

RESUME

L'objectif de cette étude est la caractérisation physique et mécanique de la diatomite de Sig exploitée en souterrain par l'entreprise ENOF. Une étude sur terrain a été réalisée pour prendre connaissance des conditions géologiques du gisement de diatomite et de la méthode d'exploitation souterraine dite par chambres et piliers foudroyés utilisée, ainsi que le processus de traitement de la diatomite.

Un travail de caractérisation au laboratoire de l'ENSM a été réalisé pour la détermination d'abord des différents paramètres physiques tels que la teneur en eau à l'état naturel, la masse volumique, la porosité et la perméabilité de la diatomite, puis les paramètres mécaniques par des essais, œdométriques, résistances à la compression uniaxiale et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Cette caractérisation est essentielle pour toute étude de stabilité des piliers de cette mine et qui touche directement au développement des capacités de production à travers le recours à la mécanisation de la mine.

Mots clés : Diatomite, kieselguhr, Sig, chambres et piliers, caractérisation physique, mécanique, essais de laboratoire.

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد خصائص الفيزيائية والميكانيكية لدياتوميت منجم السيق الذي يستغل تحت الارض من قبل الشركة الوطنية للمواد المنجمية غير الحديدية والمواد النافعة. وقد أجريت دراسة ميدانية للتعرف على الظروف الجيولوجية للدياتوميت وعملية الاستغلال تحت الأرض بطريقة الاعمدة و الغرف ، و دراسة طريقة معالجته. وأجريت دراسة في مخبر المدرسة الوطنية العليا للمعدن و المناجم لتحديد مختلف خصائصه الفيزيائية و المتمثلة في نسبة احتواءه على الماء في الحالة الطبيعية، والكثافة، ومسامية ونفاذية الدياتوميت، ثم دراسة خصائصه الميكانيكية عن طريق اجراء اختبارات، الاودومتر، ومقاومة للضغط أحادي المحور وعلبة القص المباشر كازافرونند. و يعتبر تحديد الخصائص ضروريا لأي دراسة استقرار الاعمدة في المنجم لأنه يؤثر بشكل مباشر على تطوير الطاقة الإنتاجية من خلال الاعتماد على المكنكة في المنجم.

كلمات مفتاحية: الدياتوميت, الكيسيلغير, سيق, اعمدة و غرف, خصائص فزيائية, ميكانيكية, مخبر.

ABSTRACT

The main objective of this study is the physical and mechanical characterization of diatomite of Sig. The underground mine is operated by the National Non-Ferrous Minerals & Substances Company ENOF. A field study has been carried out to understand the geological conditions of the deposit of the diatomite and the underground mining method used (room-and pillar caving), as well as the process of treating the diatomite.

A characterization tests has been executed in ENSMM laboratory to determine the physical parameters such as the water content in the natural state, density, porosity and permeability of diatomite, then, the mechanical parameters such as oedometric test, uniaxial compression test and direct shear test. This characterization is obligatory in order to study the pillars stability in the mine which effects directly the development of production capacity by the mechanization of the mine.

Keywords: Diatomite, Sig, kieselguhr, room-and-pillar, physical characterization, mechanical characterization, tests in laboratory.

INTRODUCTION GENERALE

Les substances utiles non métalliques notamment argiles, sables, agrégats, gypse, sel gemme et diatomite (Kieselguhr)...etc. sont utilisées dans de nombreux domaines et dans divers secteurs. L'importance des réserves de diatomites a conduit à leur recherche et leur exploitation en utilisant des techniques scientifiques pour les évaluer et les identifier en laboratoire par leurs principales caractéristiques.

Le présent travail porte sur l'étude du gisement de TAHALAIT, qui représente une source de richesse pour l'activité minière en Algérie. Il est situé au Sud-Est de la ville de Sig (Mascara) et procède à l'exploitation des diatomites. Ces dernières représentent des roches sédimentaires siliceuses de couleur blanche à grise, massive ou litée. Elles sont formées essentiellement par l'accumulation en couches épaisses d'algues microscopiques à squelette siliceux. Les diatomites ont une forte teneur en silice (de 70 à 90 %).

Leurs propriétés naturelles telles que porosité élevée, faible densité, forte inertie chimique combinées à l'évolution des technologies de calcination et sélection granulométrique font des diatomites d'excellents supports de filtration pour toutes sortes de liquides des industries agro-alimentaires, chimiques et pharmaceutiques et pour la gestion des problèmes environnementaux, bien que le kieselguhr comme la plupart des minéraux industriels ne puisse être considéré comme stratégique, sa présence dans le sol algérien est une ressource de valeur et son développement est d'un grand apport pour l'économie du pays.

Le mémoire est structuré de la façon suivante :

- ♣ Une recherche bibliographique dans les travaux et les études géologiques antérieurs qui ont une relation avec les diatomites.
- ♣ Une étude géologique régionale et locale du gisement afin de connaître les réserves et la répartition des terrains minéralisés et stériles dans le gisement ainsi que la prise d'échantillons du terrain pour des essais de laboratoire.
- ♣ Une étude d'exploitation en souterrain par chambres et piliers foudroyés pour identifier les différentes zones en activité d'extraction et la reconnaissance des plans d'exploitation et leur évolution.
- ♣ Une étude au laboratoire pour caractériser de manière physique et mécanique la diatomite de Sig effectuée sur les échantillons récoltés sur le site du gisement.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES DIATOMITES**1. Définition de la diatomite**

C'est une roche sédimentaire siliceuse, poreuse et friable de couleur blanche à grise, massive ou litée (cf. figures I.1 et I.2). Elle est formée essentiellement par l'accumulation de couches épaisses d'algues microscopiques à squelette siliceux : les diatomées.

La diatomite a une forte teneur en silice (70 à 90%). C'est une roche légère avec une densité variable de 1 à 1,2 (pour la roche fraîche) et de 0,6 pour la roche sèche.

Généralement, ce sont des roches tendres, friables, le plus souvent douces au toucher et traçantes comme la craie. Elles se réduisent aisément en poudre impalpable. Leur couleur est généralement claire, blanche ou grise.



Figure I.1 : Diatomite massive de Sig à l'état brut (Boucherit Y & Boudemagh N, 2017).



Figure I.2 : Diatomite litée de Sig à l'état brut (Boucherit Y & Boudemagh N, 2017).

Elle présente parfois une teinte foncée (verdâtre ou bleuâtre) due à la présence :

- d'eau d'imbibition (au moins 40 et jusqu'à 60% du poids de la roche fraîche) ;
- d'argiles ;
- d'hydroxydes ferriques ;
- de vivianite (phosphate de fer hydraté) ;
- de matières organiques bitumineuses comme le kérogène (si leurs teneurs sont

inférieures à 3%, la diatomite est blanche) ; entre 3 et 10% elle est grisâtre ou verdâtre ; au-delà et jusqu'à 20 et 30%, elle est brune ou noire.

Elle porte plusieurs appellations à savoir : Kieselguhr, farine fossile, tripoli et farine de diatomée.

2. Définition des diatomées

Ce sont des algues unicellulaires de la famille bacillariophycées, se développant en milieux aquatique, lacustre ou marin sous des formes qui peuvent être fixées au substrat « benthiques » ou flottantes « planctoniques » (cf. figure I.3).

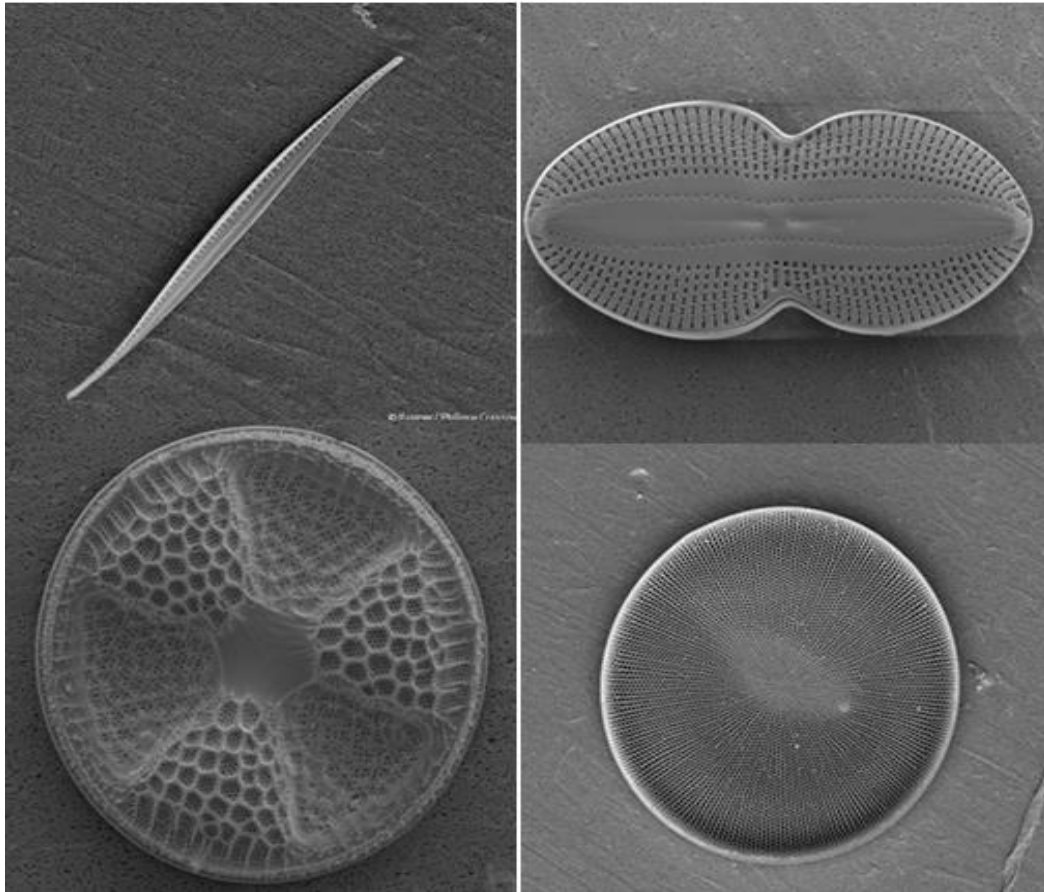


Figure I.3: Frustules de diatomées (Philippe Crassous/ Ifremer).

L'une des principales caractéristiques des diatomées est la présence d'une paroi siliceuse (le Frustule) autour de la cellule. Cette paroi montre une différenciation morphologique importante, elle est formée de silice biogénique (ou opale) dont la formule générale est $(\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O})$.

D'un point de vue morphologique, on distingue deux ordres:

- Les Centriques, à symétrie radiale, rassemblent les espèces rondes et cylindriques, cet ordre comprenant principalement des espèces marines.
- Les Pennées, à symétrie bilatérale, regroupent les autres espèces.

Plus de 12 000 espèces sont actuellement recensées avec une taille pouvant varier de $5\mu\text{m}$ à 1 mm mais le plus souvent comprises entre 50 et $150\mu\text{m}$.

3. Origine et formation des gisements

Les diatomées peuvent vivre en eaux douces, saumâtres et salées. On les trouve même dans les sols ou les mousses en présence d'humidité. Mais ce n'est que sous certaines conditions environnementales qu'elles prolifèrent. Les facteurs les plus favorables sont :

- La limpidité des eaux et une faible profondeur pour l'éclairement nécessaire à leur activité photosynthétique.
- Un milieu de sédimentation à faible énergie avec de très faibles apports détritiques.
- Une température basse, l'altitude ou les refroidissements climatiques leur conviennent parfaitement.
- La présence de dioxyde de carbone, d'éléments nutritifs mais surtout l'abondance de silice soluble indispensable pour la formation des frustules.
- L'absence, en revanche, de substances inhibitrices de croissance comme certains sels solubles.

4. Classification des diatomites

Les normes russes ont classé les diatomites en trois qualités en fonction de la teneur en principaux minéraux, ainsi que l'humidité et le poids volumique comme suit :

Tableau I.1: Classification des diatomites selon la norme russe (KARAPOV, 1979)

Composants	Qualité 1	Qualité 2	Qualité 3
SiO ₂ , pas moins de	80%	62%	51%
CaO, pas plus de	9%	11%	17%
H ₂ O, pas plus de	25%	-	-
Poids volumique (t/m ³)	0,73	-	-

5. Les diatomites dans le monde

Deux grands types de gisements ont été recensés :

- Les gisements marins liés à des zones côtières en relation avec des mécanismes de remontées de courants froids (upwelling);
- Les gisements continentaux associés à des dépressions lacustres plus ou moins étendues souvent en contexte volcanique.

La production mondiale de diatomite s'élève à 1,8 Mt par an de matières sèches ou calcinées commercialisables. En tête des pays producteurs, les Etats-Unis qui réalisent près 50 % de la production mondiale suivis de loin par l'Europe 0,25 Mt, le Japon 0,15 Mt, la Chine 0,10 Mt, le Mexique 0,10 Mt.

Tableau I.2: Composition chimique d'échantillons de kieselguhr provenant des différents gîtes reconnus dans le monde (Ph. Rocher, 1995)

	USA	Japon	URSS	Allemagne	France		Algérie
	Lompoc Californie %	Terre de Nilgata%	Kamychlov(Oural) %	Hanovre %	Auvergne %	Ardèche %	Mascara %
SiO ₂	88,6	86	72.92	79.72	91.6	95.6	58.4
Al ₂ O ₃	3,72	5.8	6.58	4.52	1.5	1.8	1.66
Fe ₂ O ₃	1,5	1.6	3.56	4.33	2.2	1.3	1.55
TiO ₂	0,2	0.22	0.48	0.34	-	0.4	0.1
P ₂ O ₅	0,1	0.03	-	0.63	-	-	0.2
CaO	0,6	0.7	1.43	4.17	0.2	0.5	13.8
MgO	0,6	0.29	0.98	0.98	0.3	-	4.57
Na ₂ O	0,5	0.48	0.65	0.38	-	-	0.96
K ₂ O	0,5	0.53	0.72	1.16	-	-	0.5
P au f	3,7	4.4	4.91	2.39	3.4	3.8	17.48

6. Domaine d'utilisation des diatomites

L'emploi de la diatomite englobe des domaines très variés qui vont encore en se diversifiant d'années en années. Parmi les plus répandus, nous citerons :

➤ La filtration :

Aujourd'hui, la diatomite remplace l'amiante. En raison de son niveau important de porosité combiné à sa faible densité et forte inertie chimique, elle retient les impuretés aussi petites que nanomètre (0.1 µm), particulièrement les microorganismes, les matières mucilagineuses et les colloïdes.

Elle est utilisée pour stériliser et filtrer diverses boissons alcoolisées, le sucre, l'huile, les jus de fruits et toutes sortes de liquides des industries agro-alimentaires, chimiques et pharmaceutiques. Elle est utilisée notamment pour filtrer la bière et également pour éliminer les bactéries et virus de l'eau des piscines et des réseaux publics de distribution d'eau potable.

➤ **Produit abrasif :**

Les propriétés abrasives douces de la diatomite ont en fait un ingrédient de choix pour les vernis métalliques et les dentifrices. Elle sert à polir, nettoyer et blanchir les métaux ouvrés, les pierres précieuses, les marbres et les glaces. Elle fait polir sans rayer l'argenterie, l'or, le cuivre, l'inox, les chromes...

➤ **Produit de charge :**

La diatomite est ajoutée à de nombreux produits pour modifier ou améliorer certaines de leurs caractéristiques, sa finesse, sa rigidité et sa micro structure ont permis de développer ces dernières années de nombreuses applications comme additif fonctionnel (charge minérale) pour les peintures, papiers, plastiques et caoutchoucs, dans les décapants, bitumes, détergents, décolorants, désodorisants et les engrais, etc.

On utilise la diatomite naturelle en tant qu'additif alimentaire (E551) que l'on retrouve dans les nouilles instantanées, café déshydraté, le lait en poudre et même dans les dentifrices. On retrouve aussi le (E551) dans certains médicaments tels que « Parapsyllium, Topaalou Dissolvurol ».

Utilisée comme support piégeant l'humidité pour l'industrie du tabac et de la cosmétique.

La diatomite est ajoutée aux lotions de beauté, des champoings, des huiles industrielles et dérivés comme la vaseline et paraffine. Elle est également un bon exfoliant (masques dermiques).

D'autres propriétés comme l'absorption, la faible masse volumique sont mises à profit dans le domaine des bétons et ciments, celui des absorbants industriels pour le nettoyage des sols. Elle absorbe les hydrocarbures ou les huiles après un accident de la circulation.

➤ **Isolation thermique :**

Employée sous forme de briques ou de blocs moulés ou encore enduits, la diatomite, par sa grande inertie chimique et sa forte porosité, constitue un isolant thermique de haute qualité.

➤ **Usages divers :**

Support de catalyseurs, refroidissement d'aciers spéciaux, déparasitage, etc.

7. CONCLUSION

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse biogénique, constituée entièrement ou essentiellement de squelettes, ou frustules, de diatomées fossilisés. Les diatomées sont des algues unicellulaires aquatiques, qui se sont développées, principalement depuis le Crétacé terminal, dans des eaux douces, saumâtres et salées.

On reconnaît deux grands types de gisements : les gisements marins, formés notamment dans les zones de "upwelling", et les gisements continentaux, essentiellement lacustres et situés dans des contextes volcaniques. La plupart des gisements d'intérêt économique sont d'âge miocène et d'origine lacustre.

Les matériaux diatomitiques bruts font l'objet de différentes phases de traitement en usine, comprenant concassage, séchage et broyage, sélection et calcination (avec ou sans agent fondant).

Les principales propriétés des produits diatomitiques (inertie chimique ; faible densité apparente ; porosité, surface spécifique et capacité d'absorption des liquides élevées, pouzzolanité,...) sont liées à leurs caractéristiques fondamentales : composition chimique et structure.

Ils sont principalement utilisés comme adjuvants pour la filtration de liquides divers, notamment alimentaires (bière, vin, glucose, ...), également en tant que charges, absorbants et produits isolants et réfractaires.

La production mondiale, qui est de l'ordre de 1,8 Mt/an, est nettement dominée par les Etats-Unis, suivis par la France, le Japon, les pays de l'ex-URSS, la Chine et le Danemark.

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE DU GISEMENT

1-Historique de recherche et d'exploitation du Kieselguhr de Sig:

- **1925** : Découverte du gisement d'El MEHDI et installation d'un atelier de séchage du kieselguhr.
- **1958** : Ouverture du gisement de Grimez.
- **1^{er} juin 1970** : Nationalisation de l'exploitation mine de fond.
- **1960-1970** : Première étude de prospection géologique et minière du gisement de TAHALAIT.
- **ENTRE 1977 et 1979** : deux études de prospection effectuées sur le gisement de TAHALAIT.
 - La première réalisée par le bureau d'étude Canadien SIDAM dans la zone dénommée SKB ;
 - La deuxième réalisée par le département de recherche, unité de Sidi Bel Abbes de l'ORM.

Les deux études ont eu pour objectif de déterminer les réserves et les qualités du gisement de TAHALAIT.

- **1979** : Début d'exploitation dans le chantier III au Sud-est du gisement de TAHALAIT (actuellement le bloc VI).
- **1994** : Une étude de développement du kieselguhr de la région de Sig a été réalisée par le groupe SIDAM. Le rapport a eu pour objectif de produire une carte de distribution du SiO_2 et CaO dans le gisement de TAHALAIT et d'examiner la possibilité d'une contamination des kieselguhrs par les calcaires et vérifier la relation entre l'épaisseur des développements du kieselguhr de la région de Sig.

2. Situation géographique du gisement

Mascara est une ville du Nord-Ouest algérien, située à 99 km au Sud d'Oran et à 93 km au Nord-Ouest de Sidi Bel Abbes et à 361 km à l'Ouest de la capitale, Alger. Elle s'étend sur une superficie de 5 941km², elle est limitrophe des wilayas d'Oran et de Mostaganem au Nord, à l'Ouest la Wilaya de Sidi Bel Abbes, à l'Est les Wilayas de Tiaret et Relizane et au Sud la Wilaya de Saida (cf. figure II.1).



Figure II.1 : Situation géographique de la wilaya de Mascara.

La wilaya est caractérisée par quatre principales zones géographiques (cf. figure II.2):

- ✓ Zone 1 : Les plaines de Sig et de Habra au Nord
- ✓ Zone 2 : Les monts des Béni-Chougrane, en amont
- ✓ Zone 3 : Les hautes plaines, au Centre
- ✓ Zone 4 : Les monts de Saida, au Sud

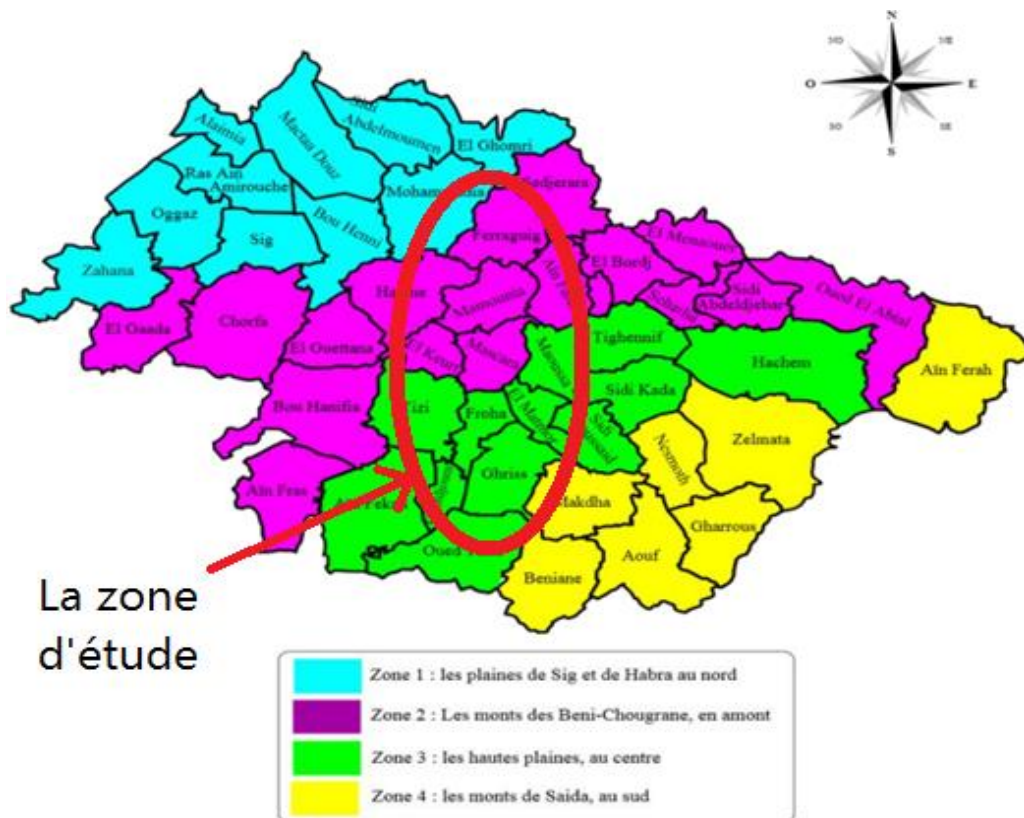


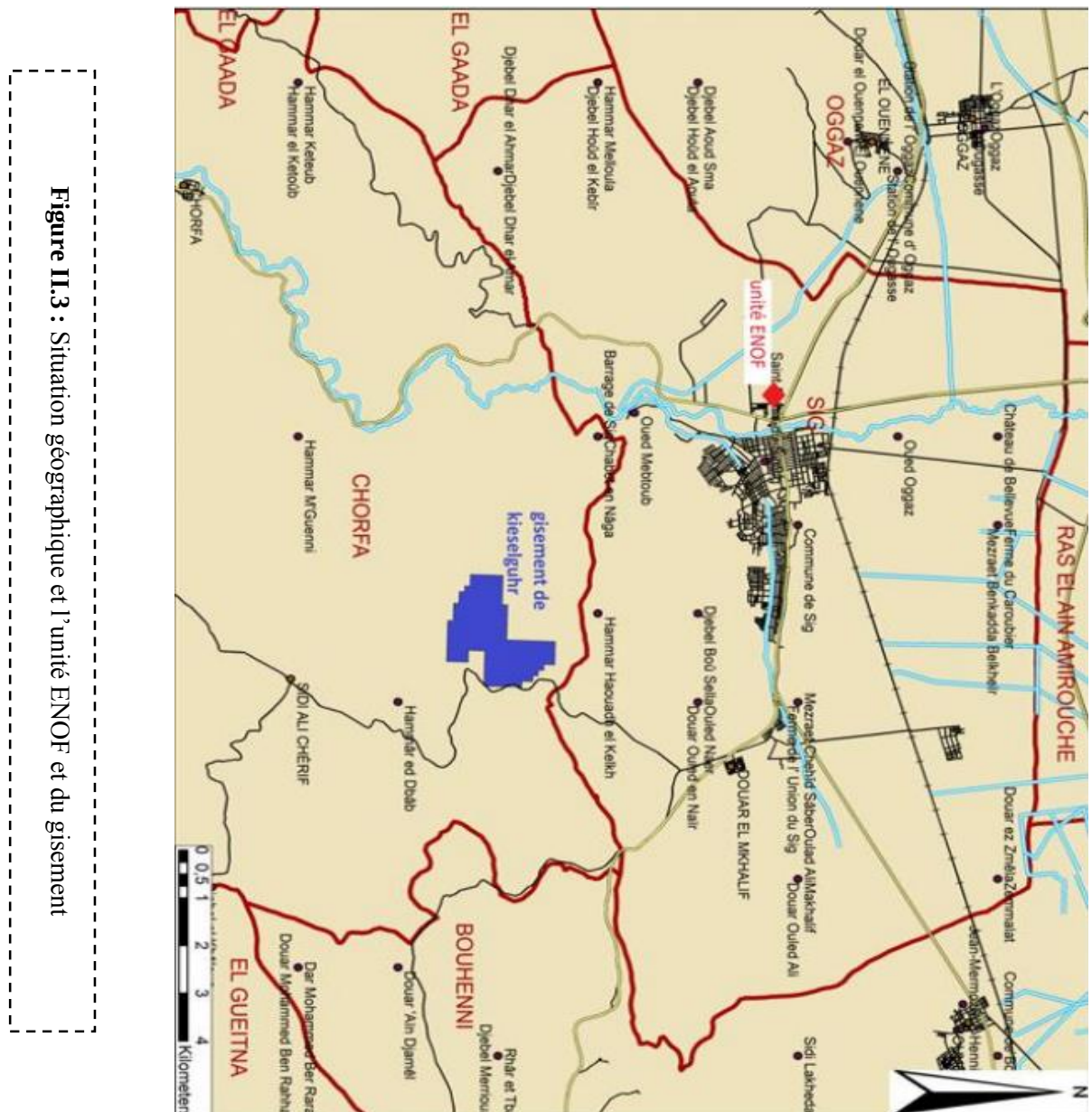
Figure II.2 : Carte des caractéristiques géographiques de la wilaya de Mascara.

Notre zone d'étude est située au Sud-Est de la ville de Sig (les monts des Béni Chougrane). C'est une chaîne continue de montagnes située entre les plaines de Sig et de Habra au Nord et la haute plaine de Ghriss au Sud.

3. Présentation du gisement

Le gisement de Kieselguhr de TAHALAIT, actuellement en exploitation par l'entreprise minière ENOF est situé à 15 Km de la ville de Sig dans une zone isolée montagneuse, à 390 Km à l'Ouest de la capitale Alger, au centre entre 4 grandes villes ; Deux villes côtières (Oran à 54 Km et Mostaganem 70 Km) et deux villes intérieures (Mascara à 50Km et Sidi Bel-Abbes à 80 Km).

Le gisement est limité au Nord -Ouest par Djebel Touakas, au Nord-Est par Douar Khrouf et au Sud Douar Sidi Ali Cherif. Les habitations les plus proches sont situées à 3 Km (cf. figure II.3).



Les coordonnées Lambert (Zone Nord) du périmètre d'exploitation sont représentées dans le tableau II.1 ci-dessous:

POINTS	Tableau II.1: Cordonnées LAMBERT Zone Nord du gisement	
	X	Y
1	241467,679	246931,278
2	241427,043	246282,989
3	240828,509	246517,819
4	240811,094	246018,551
5	241010,606	246006,941
6	240987,387	245607,917
7	240289,094	245648,549
8	240294,899	245748,306
09	239995,629	245765,720
10	240001,434	245865,477
11	239801,921	245877,086
12	239807,725	245976,843
13	239707,969	245982,648
14	239713,774	246082,405
15	239514,260	246094,015
16	239549,091	246692,555
17	240047,874	246663,529
18	240053,680	246763,285
19	240652,217	246728,453
20	240704,467	247626,257
21	241103,490	247603,034
22	241091,879	247403,522
23	241191,634	247397,717
24	241185,829	247297,961
25	241285,584	247292,156
26	241279,779	247192,400
27	241379,534	247186,594
28	241367,924	246987,083

Le gisement de TAHALAIT de kieselguhr renferme huit (08) blocs numérotés de I à VIII, et il est réparti par quartier comme suit (cf. figure II.4):

Quartier GANA : Bloc I et II

Quartier MORIN : Bloc VI, VII et VIII

Quartier CHORBA : Bloc V

Quartier GANA – MORIN : Bloc III et IV

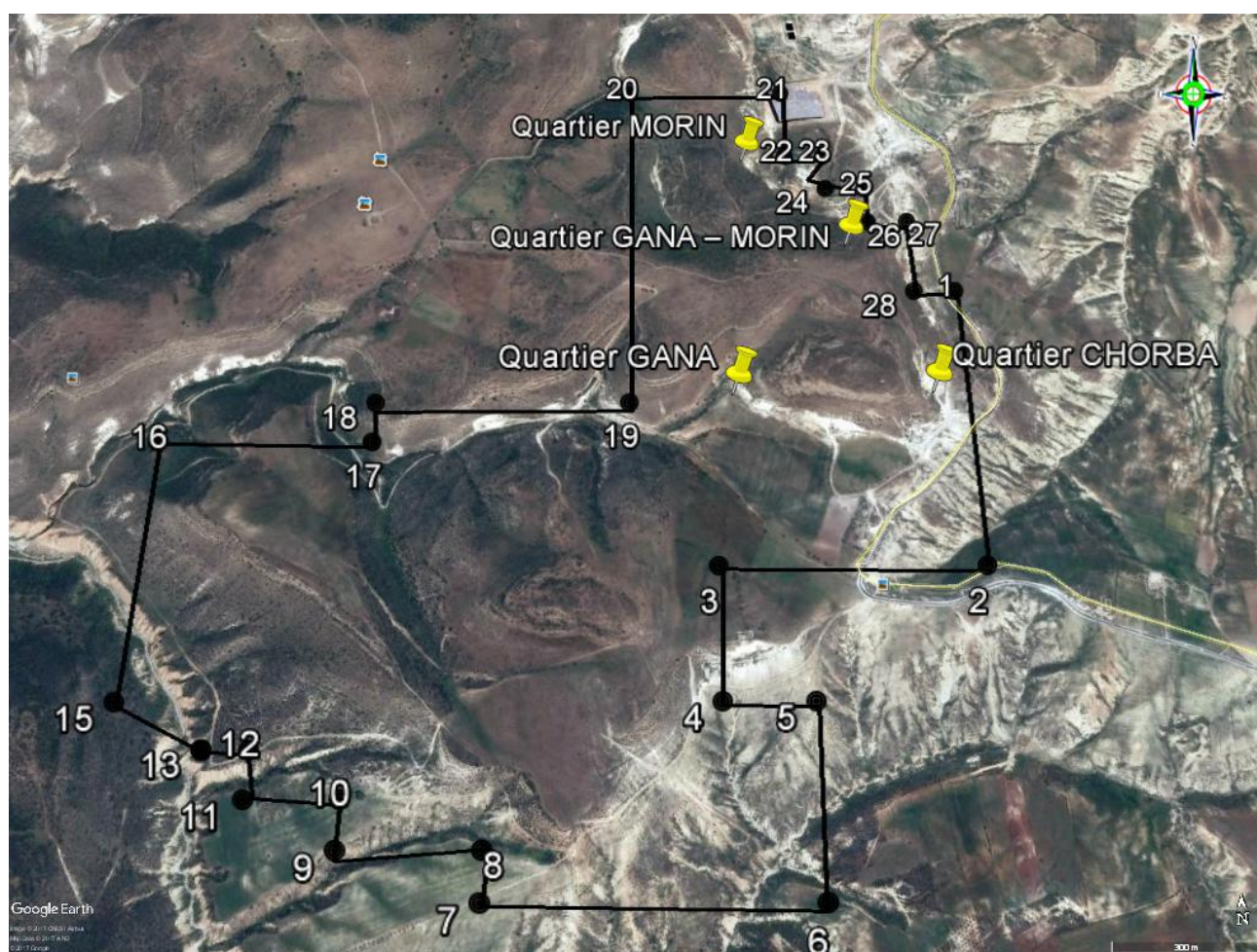


Figure II.4 : Photo satellite montrant la répartition des quartiers dans le périmètre du gisement (Google Earth, Juin 2017)

4. Relief et hydrographie

Sig est située à 50 m d'altitude et à une trentaine de kilomètres à vol d'oiseau de la mer. La ville est limitée au Sud, par les monts des Ouled Ali, dont le djebel Touakas à 429 m qui domine l'agglomération, et dans la direction de Mascara, par le djebel Bou Sella et le djebel

Ben Djouane (429 m). Elle est traversée par l'Oued Sig (Mekerra), qui prend ses sources au Sud de la ville de Tlemcen, et passe par Sidi Bel Abbès. La zone est caractérisée par un hiver peu rude par rapport à d'autres régions et un été assez chaud. La pluviométrie quant à elle ne dépasse pas les 400 mm par an.

5. Géologie régionale:

La litho-stratigraphie régionale (d'après la carte géologique prévisionnelle au 1/200 000 de Mascara) est représentée par les unités suivantes:

Quaternaire : Les vastes plaines d'El-Habra (au Nord-Ouest) et de Ghriss (au Sud-Est) constituent les formations alluvionnaires et néritiques du Quaternaire : limons, limons sableux, sable argileux, galets, poudingues, grès, etc. Sa puissance varie de 05 à 25 m.

Néogène : Il est représenté par le Pliocène et le Miocène.

A/ Pliocène : il est subdivisé en pliocène continental et pliocène marin

Pliocène continental : Il affleure dans divers endroits de la région (Mascara, Ghriss, Nord-Ouest d'Oggaz, El-Hachem, etc.). Il est essentiellement constitué d'un matériel sablo-gréseux alternant avec des argiles, poudingues et conglomérats. Sa puissance varie de 30 à 100 m.

Pliocène marin : Moins développé que le faciès précédent, le Pliocène marin affleure localement au Nord de Mascara et d'Oggaz. Il est constitué de 03 séries lithologiques :

- Série de calcaires gréseux et marnes ;
- Série de marnes gris bleu ciel et d'argiles carbonatées ;
- Série gréseuse.

B/ Miocène : Il est très développé et occupe la majeure partie du territoire de la Wilaya. On distingue :

Pontien: C'est la formation continentale de Bou Hanifia: sables, grès friables, conglomérats, argiles carbonatées et marnes sableuses. Sa puissance est de 100 m environ.

Miocène terminal: Il est subdivisé en 03 séries lithologiques:

- Série gréseuse d'El Bordj puissante de plus de 150 m ;
- Série gypseuse de puissance de 100 m environ ;
- Série à Tripolis puissante de 100 m environ.

Miocène supérieur – Vindobonien: Il est subdivisé en 03 séries lithologiques:

- Série carbonatée, de puissance de 100-200 m ;
- Série d'argiles et de marnes bleu ciel, de puissance de 500 m ;
- Série gréseuse puissante de 250 m.

Miocène inférieur – Burdigalien: Il est constitué de 02 faciès lithologiques :

- Argiles et marnes fortement plastiques de puissance de 1 000 m ;
- Grès et conglomérats durs de puissance de 50 m.

Paléogène : Il est représenté par l'Oligocène et l'Eocène :

- **Oligocène:** Il affleure au Nord d'El Hachem et de Bou Hanifia. Ce sont des marnes et argiles sableuses alternant avec des couches de grès friables et des calcaires marneux durs. Sa puissance dépasse 100 m.
- **Eocène:** Il apparaît au Nord de Bou Hanifia et au Nord-Est de Tighenif. Il est composé de marnes blanches et grises, compactes, de calcaires blancs crayeux à filons et inclusions de nodules de silex noir, d'argiles bentonitoides claires et de grès quartzitiques. Sa puissance est de 200 m environ.

Crétacé : Il est subdivisé en Crétacé supérieur, Crétacé moyen et Crétacé inférieur.

- **Crétacé supérieur:** Il apparaît à l'Est de Hacine, dans les monts de Beni-Chougrane. Ce sont des marnes grises avec des couches de calcaires noirs localement ferrugineux, durs, microgrenus. Sa puissance dépasse 200 m.
- **Crétacé moyen:** Il affleure au Nord de Mascara et au Nord-Est de Tighenif. Il est constitué de marnes schisteuses alternant avec des couches de calcaires marneux, d'argiles stratifiées et de grès quartzitiques. Sa puissance est d'environ 200 m.
- **Crétacé inférieur:** Très développé au Nord de Ain Fekane et dans la région d'El Hachem, ce dernier est composé de marnes et d'argilites gris-bleuâtres, schisteuses avec des couches de grès quartzitiques et des nodules ferrugineux. En bas de la série, les marnes alternent avec les couches de calcaires durs, microgrenus, gris foncés. Sa puissance est d'environ 200 m.

Jurassique : Le Jurassique affleure au Sud, Sud-Est et à l'Est de Mascara, dans les massifs montagneux suivants : Djebel Ouled Aouf, Djebel Kodjil, Djebel Ahnaïdja, Djebel Bazita, Djebel Boumane, Djebel Boughadou. Il est constitué de calcaires gris, cryptocristallins, compacts, durs, de marnes, d'argilites ferrugineuses, de grès quartzitiques, de passées lenticulaires de silex, de calcaires siliceux et de dolomies. Sa puissance dépasse 500 m.

Trias : Le Trias forme des structures diapiriques composées de roches diverses : schistes violacés, grès, quartzites, gypse, anhydrite et dolomies. Elles sont très disloquées. Il affleure légèrement à l'Est d'El Bordj et au Nord-Est de Hacine.

6. Géologie locale du gisement

Le gisement de TAHALAIT est composé de formations datées du Miocène, Pliocène et Quaternaire et qui appartiennent au complexe géologique de Béni-Chougrane et constitue l'une des bordures Sud du bassin du bas Chélif. La stratigraphie se décrit de la manière suivante:

1. Miocène : Il est composé des trois séries du miocène supérieur, miocène continental et miocène marin.

- **Miocène supérieur:** Les dépôts sont représentés par des complexes de sédiments continentaux et marins. Les formations du miocène supérieur sont bien développées dans cette région. On distingue (cf. figure II.5 et II.6):
 - **Tortonien :** Elle est constituée par des alternances de bancs gréseux et de niveaux marneux à dents de rongeurs dans sa partie inférieure. Cette série se poursuit de marnes sableuses.
 - **Messinien:** Il se compose de plusieurs formations différenciées. De bas en haut on distingue:
 - ✓ Formation marneuse: Ces roches sont développées sur presque toute la superficie de la région et bordent le gisement de tous les côtés. Celles-ci sont représentées par des marnes bleues qui contiennent une faune caractéristique du Miocène supérieur.
 - ✓ Formation calcaire: Ce sont des roches massives, blanches parfois à teinte jaunâtre. À la base de celles-ci, elles deviennent plus friables, gréseuses et se transforment graduellement en calcaires tendre gréseux et argileux. Dans la partie Sud, ces formations deviennent plus détritiques, formant des marnes gréseuses et des grès faiblement cimentés. Ces formations sont développées en petite quantité dans la partie Sud-Est du territoire.
 - ✓ Formation diatomitique: Elle se développe dans la partie centrale de la superficie. Cette formation est constituée à sa base par une alternance de marnes grises et de bancs diatomitiques au sens large. Elle se poursuit par d'épais bancs

diatomitiques à passées marneuses et s'achève par des intercalations de diatomites parfois marneuses et de bancs calcaires.

- ✓ Formation gypseuse : Ces roches sont développées au Nord du gisement de Kieselguhr en une bande étroite s'étirant du Sud-Ouest au Nord-Est. Ce sont les derniers dépôts du Miocène supérieur qui forment une suite compliquée de différents faciès. Ceux-ci sont représentés par des sables à grains fins blanc-jaunâtres ou blancs, par des marnes et des argilites grises avec des passages de gypse.

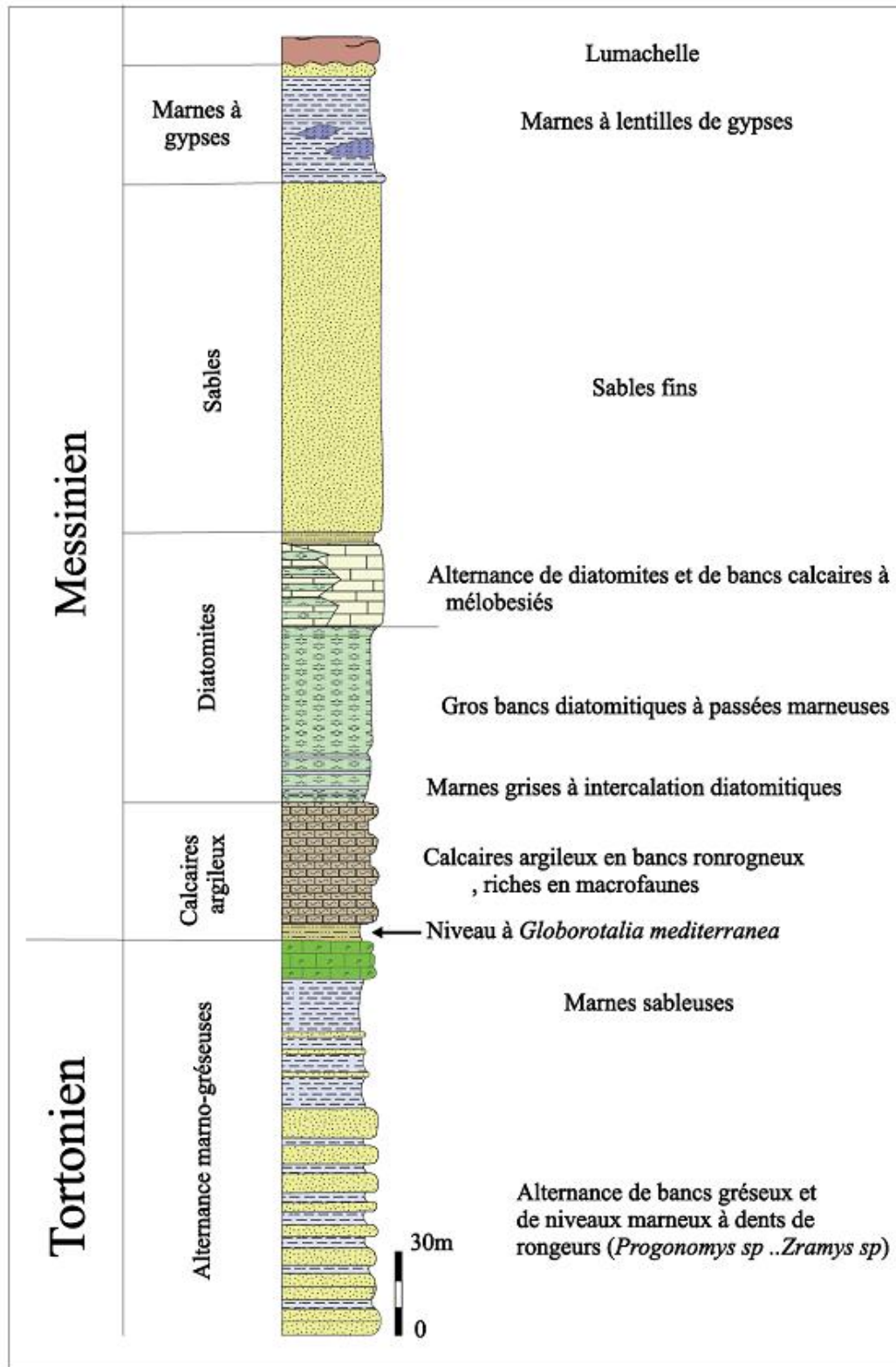


Figure II.5 : Coupe synthétique de la région de Sig (MANSOUR, 1991).

- **Miocène continental :** Il est représenté par une assise de formations détritiques rouges, des limons sableux, des grès et des conglomérats.

Sables rouges et grès : Ces sédiments sont développés sur le flanc droit de la vallée de l'Oued Mebtoub. La puissance des dépôts du Miocène continental est variable et atteint 200 m.

- **Miocène marin** : Il se compose de 4 formations différenciées.
- ✓ **Miocène marneux** : Ces roches sont développées sur presque toute la superficie de la région et bordent le gisement de tous les côtés. Celles-ci sont représentées par des marnes bleues qui contiennent une faune caractéristique du Miocène supérieur. La puissance du niveau atteint 500 m.
- ✓ **Miocène calcaire** : Ce sont des roches massives, blanches parfois à teinte jaunâtre. A la base de celles-ci, elles deviennent plus friables, gréseuses et se transforment graduellement en calcaires tendres gréseux et argileux. Dans la partie Sud, ces formations deviennent plus détritiques, formant des marno gréseuses et des grès faiblement cimentés. Ces formations sont développées en petite quantité dans la partie Sud- Est du territoire. La puissance de l'assise atteint 200 m.
- ✓ **Tripolis (kieselguhrs) miocènes**: Ils se développent dans la partie centrale de la superficie. Les kieselguhrs sont blancs et gris-blancs avec des bancs de roches siliceuses, marneuses et calcaires. Les calcaires reposent sur les kieselguhrs et contiennent une faune du Miocène supérieur. La puissance de cette assise atteint 150 m.
- ✓ **Miocène gypseux** : Ces roches sont développées au Nord du gisement de kieselguhr en une bande étroite s'étirant du Sud – Ouest au Nord – Est. Ce sont les derniers dépôts du Miocène supérieur qui forment une suite compliquée de différents faciès. Ceux-ci sont représentés par des sables à grains fins blancs – jaunâtres ou blancs, par des marnes et des argilites grises avec des passées de gypse. La puissance de cette série atteint 200m.

2. Pliocène : Les dépôts du Pliocène sont représentés par des formations marines et continentales qui reposent en discordance sur les dépôts du Miocène.

- ✓ **Pliocène continental**: Il est composé d'une assise constituée de marnes, de limons sableux, de sables, d'argiles de couleur rouge brique et de conglomérats. Cette assise atteint une puissance considérable et se développe en une large bande au Sud-Est de la ville de Sig.
- ✓ **Pliocène marin**: Il est représenté par une stratification de sables marneux, de grès à stratification oblique, de calcaires dolomités et de sable quartzeux. La puissance maximale du dépôt pliocène marin atteint 400 m. Les dépôts pliocènes marins

affleurent en une bande étroite au Sud-Est de la ville de Sig où ils sont représentés par des sables blancs, gris-blancs, à grains fins et micro granulés. Leur puissance atteint 40 m.

3. Quaternaire: Ils sont représentés par des dépôts diluviaux et alluviaux graveleux, sableux et argileux avec des inclusions de gros blocs de roches mères. Sur une partie considérable de la superficie, les formations quaternaires sont recouvertes d'une carapace calcaire.

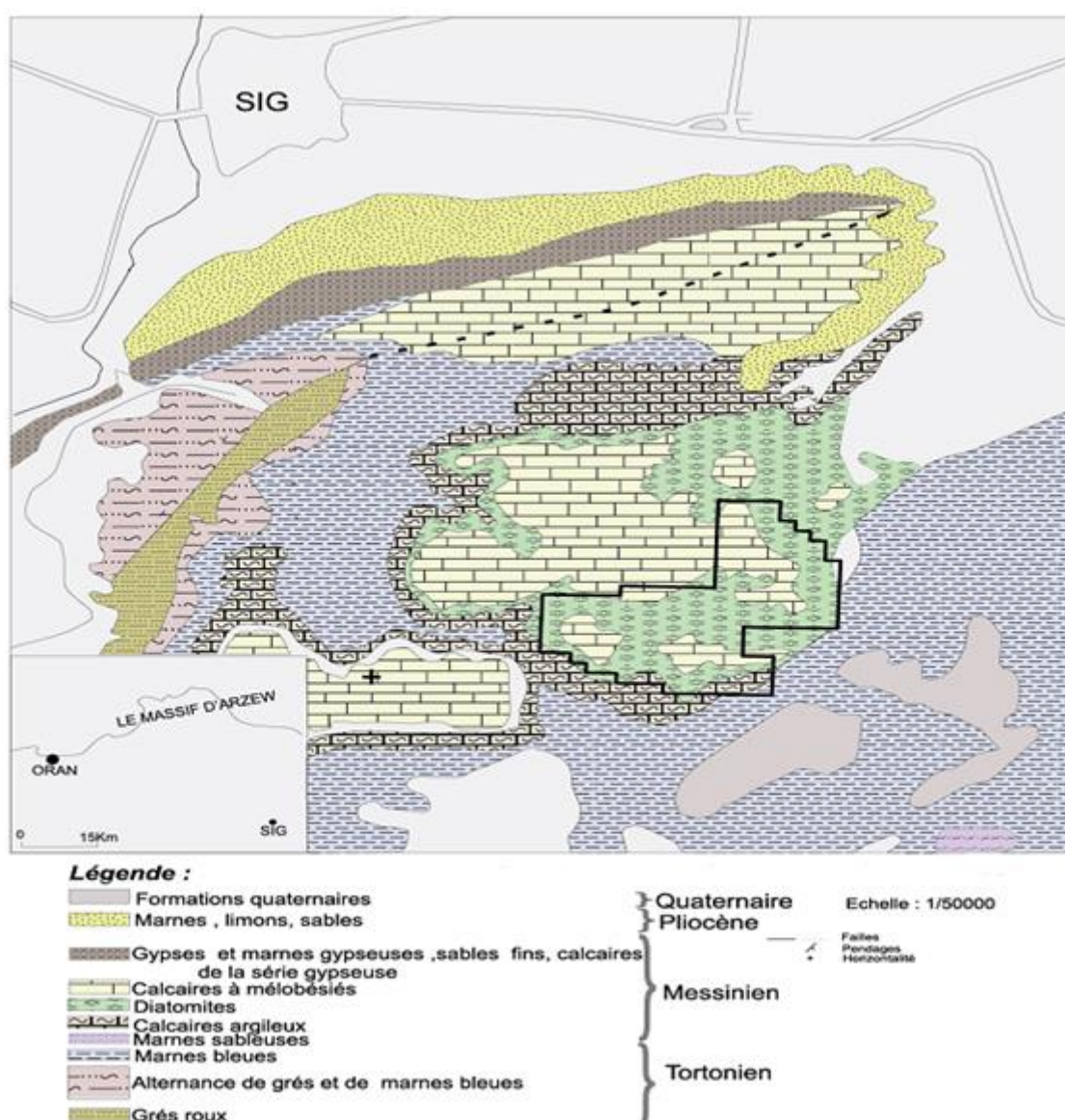


Figure II.6: Carte géologique de la région Sud de la ville de Sig (Service de la carte de l'Algérie, 1957)

7. Tectonique

La région d'étude se trouve dans la partie littorale de l'Atlas tellien. L'Atlas tellien ou méditerranéen, s'étirant en direction sub-latitudinale, a une structure très compliquée, provoquée par une série de déplacements tectoniques.

Dans la région du gisement, les roches du Miocène et du Pliocène sont plissées et de faible pendage, formant des structures anticlinale et synclinale dont les axes ont en général une direction Nord-Est.

Au Sud de la ville de Sig, l'anticlinal de direction Nord-Est, est coupé en longueur par une faille avec rejet. Des conglomérats et des grès de teinte rouge du Miocène affleurent dans le noyau de l'anticlinal. Les flancs de plis ont une pente jusqu'à 30°.

8. Structure géologique du gisement :

La structure géologique du gisement est constituée par des sédiments marins du Miocène supérieur et par des formations du Quaternaire.

Les dépôts marins du Miocène supérieur dans le gisement sont représentés par une assise de kieselguhr qui se divise en trois (3) niveaux :

- **Niveau de marne** : Il est représenté par des marnes bleues, vertes avec des rares restes de faune.
- **Niveau de kieselguhr** : Il repose en concordance sur des marnes et il est représenté par des couches et des interlits de kieselguhr avec des alternances de marnes verdâtres, d'argiles marneuses et d'aleurolites.

La puissance des couches de kieselguhrs en direction et en pendage est assez irrégulière et peut fortement changer sur des petites distances de l'ordre de 100 m. Les contacts de kieselguhr avec l'assise encaissante sont nets. Les kieselguhrs sont en général gris clair parfois jaunâtres ou blancs. Ils sont légers, poreux, assez compacts parfois à texture litée.

- **Niveau de calcaire** : Il est représenté par des calcaires détritiques organogènes avec des interlits d'aleurolites de puissance de 2 à 3 m. La puissance de ce niveau atteint 30 m.

9. Description faciologique:

La composition chimique du Kieselguhr est basée essentiellement sur la valeur de la silice, de la chaux et de l'humidité. Le gisement exploité montre de bas en haut la succession des sept couches suivantes :

Remarque : pour l'entreprise ENOF la numérotation se fait de haut en bas pour cela la couche exploitable n°3 correspond à la couche n°5 dans ce mémoire. On distingue les couches suivantes (cf. figure II.7).

Couche 1 : Il s'agit de diatomites gris claires, laminées et d'épaisseur atteignant 1.5m. Latéralement l'épaisseur peut atteindre 0.5 m. Elle est limitée au sommet par des marnes argileuses grises et de marnes argileuses bleuâtres à sa base.

Couche 2 : C'est un Kieselguhr gris, lité dont l'épaisseur varie entre 0.50 et au sommet il est recouvert par des marnes argileuses grises à vert foncé.

Couche 3 : Il s'agit de diatomites gris claires, litées, d'épaisseur variable. Sa puissance varie entre 2 et 5 m (3 m en moyenne). Elle est limitée de part et d'autre par des marnes argileuses et gréseuses de couleur verdâtre au sommet et de marnes argileuses grises vers sa base.

Couche 4 : C'est une diatomite laminée de couleur gris clair d'une puissance variable (1 et 2. m), matérialisée par plusieurs intercalations de fines passées marneuses (0.05 m). Elle est limitée au sommet par des marnes sableuses de couleur jaunâtre à grisâtre.

Couche 5 : D'une épaisseur variable, c'est une diatomite blanche à aspect massif au milieu. En profondeur (à la cassure) elle est grise. Le sommet et la base des diatomites sont laminés (lités). Sa puissance est comprise entre 1.1 et 3.5 m avec une moyenne de 2.5 m. Cette couche est limitée au toit par des calcaires gréseux et des marnes argileuses de couleur jaunâtre. Elle admet dans sa partie inférieure de fines passées de marnes (0.02 à 0.05 m).

Latéralement dans le Djebel Touakas, cette couche est moins épaisse, mettant en évidence les variations latérales d'épaisseurs. Les caractéristiques physico-chimiques de cette couche lui confèrent un intérêt économique remarquable.

Couche 6 : Il s'agit de diatomites grises, litées et de puissance comprise entre 0.50 et 1.50 m. Cette couche est limitée vers le haut par des marnes sableuses. Elle admet de minces intercalations de marnes pour atteindre 0.10m.

Couche 7 : Elle est constituée de diatomites de couleur grise, laminées à intercalation de minces niveaux de marnes grises, d'épaisseur très réduite ne dépassant pas 0.15 m. La couche de puissance variable (0.5 à 1 m) est limitée au toit par des marnes jaunes.

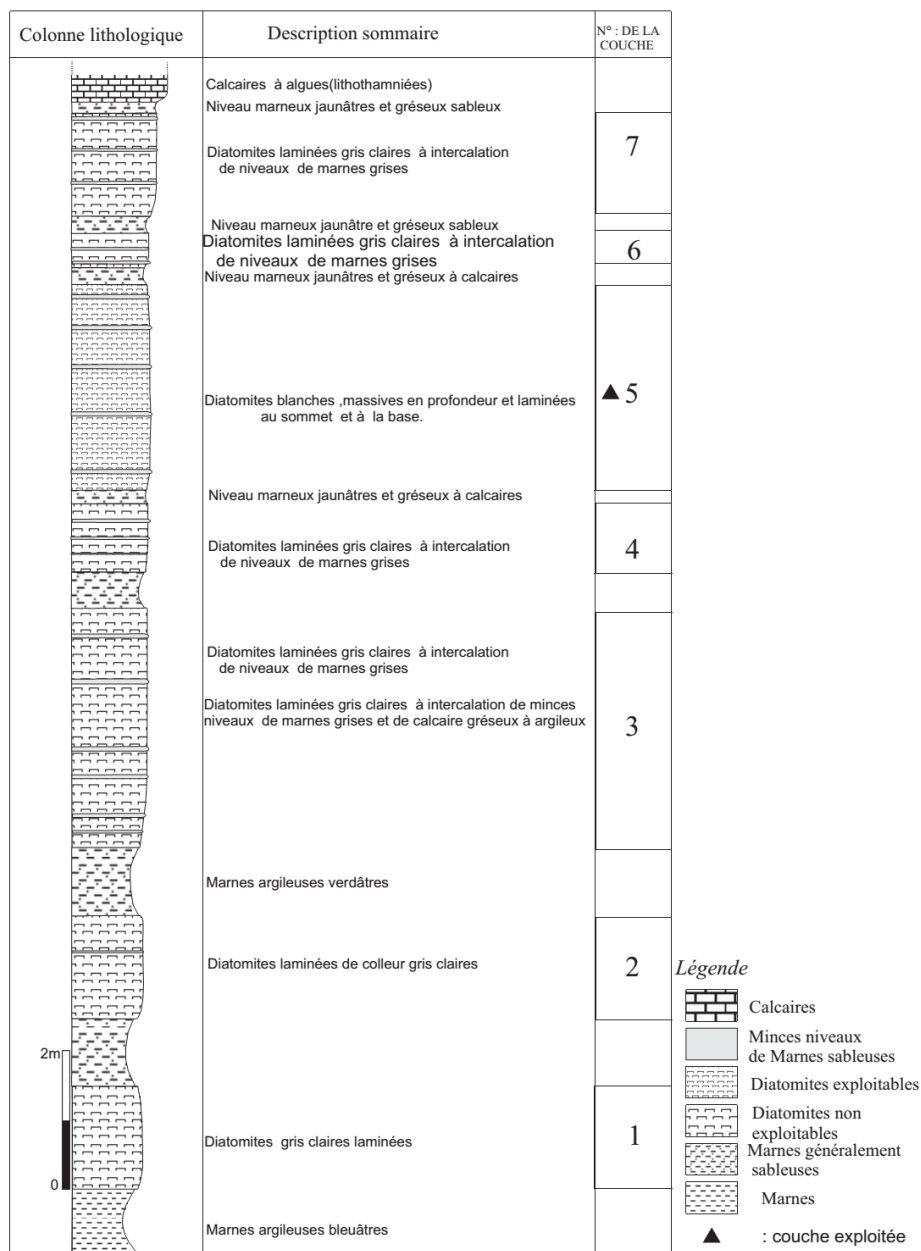


Figure II.7: Caractéristiques des couches de diatomites dans le gisement de TAHALAIT de Sig (Meguedad M, 2004).

10. Les blocs géologiques :

Pour faciliter le calcul des réserves, le gisement a été divisé en blocs. La caractérisation qualitative est donnée suivant les blocs (cf. figure II.8).

Bloc I-C2 :

Il est dans la partie Nord du gisement, il est limité au sud par les sondages N°44 et 27. Le sondage N°26 est à l'intérieur du contour. La puissance moyenne de l'assise utile est égale à 4.8m, la surface du bloc est de $75732m^2$, son volume est égale à $363513 m^3$. Les réserves constituent 345337 tonnes dont 32462 tonnes en qualité II et 312875 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (56% à 62.10%) en moyenne 58%
- CaO (7.90% à 15.36%) en moyenne 14.35%
- Fe_2O_3 (1.11 à 1.63%) en moyenne 1.41%
- Al_2O_3 (1.76 à 3.4%) en moyenne 2.84%

Bloc II- C2 :

Il est accolé par le sud au bloc I-C2, limité par les sondages N° 3, 49, 51, 54, 44. La puissance moyenne de l'assise utile est égale à 3.9m, la superficie du bloc est de $139733m^2$, le volume est de $544958m^3$. Les réserves sont de 517710 tonnes dont 71962 tonnes en qualité II et 445748 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (56.80 % à 63.40%) en moyenne 58.70%
- CaO (11.22% à 15.36%) en moyenne 14.28%
- Fe_2O_3 (1.15 à 1.64%) en moyenne 1.29%
- Al_2O_3 (1.52 à 5.04%) en moyenne 2.94%
- H_2O (3.78% à 5.42 %) en moyenne 5.05%

Bloc III-C1 :

Il est situé au sud du bloc II et il y est accolé. Ce bloc est limité par les sondages N° 47, 2, 50, 3, 49, 54, 51, 8, 45 et 7. Quatre sondages (1, 55, 5 et 6) sont à l'intérieur du contour. La puissance moyenne de l'assise utile est égale à 4.9 m, la superficie du bloc est de $295502m^2$, le volume du bloc est de $1447960 m^3$. Les réserves constituent 1375362 tonnes dont 108669 tonnes en qualité II et 1266893 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (51.20 % à 63.40%) en moyenne 57.00%
- CaO (11.16% à 16.62%) en moyenne 13.85%
- Fe_2O_3 (1.10% à 2.00%) en moyenne 1.41%

➤ Al_2O_3 (1.52 à 5.04%) en moyenne 3.38%

➤ H_2O (2.63% à 7.52 %) en moyenne 4.41%

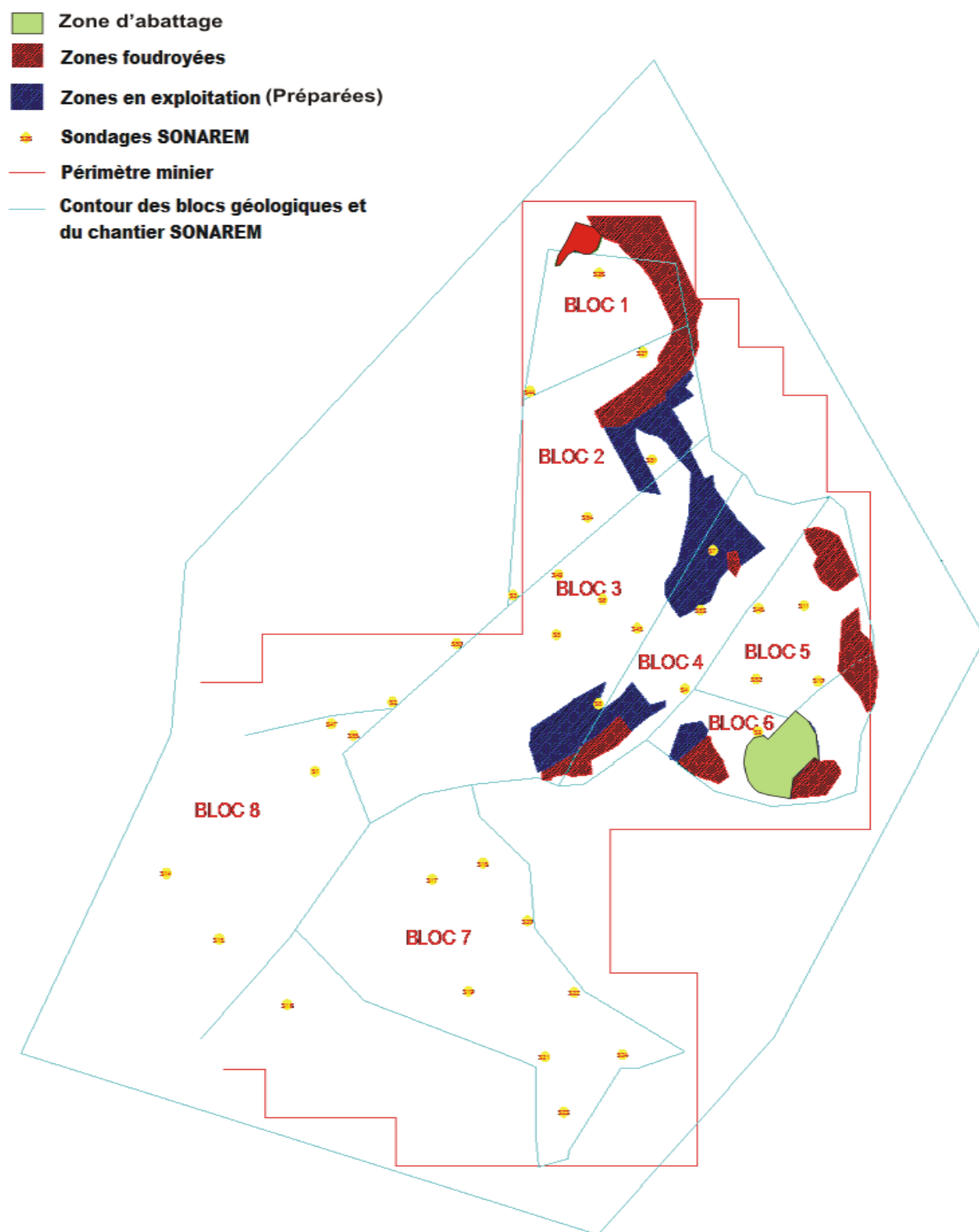


Figure II.8 : Plan de situation des blocs du gisement de kieselguhr montrant les zones en activité (SONAREM, 1978)

Bloc IV-C1 :

Il est accolé par le Sud –Est au bloc III suivant la ligne de sondage N° 8,45 et 7. Le sondage N° 53 se trouve à l'intérieur du contour. La puissance moyenne de l'assise utile est de 3.9m, la superficie du bloc est de $104266m^2$, le volume est de $406637 m^3$. Les réserves sont de 386305 tonnes dont 73398 en qualité II et 312907 en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (54.14 % à 62.55%) en moyenne 58.63%
- CaO (11.68% à 16.56%) en moyenne 14.01%
- Fe_2O_3 (0.95% à 2.00%) en moyenne 1.41%
- Al_2O_3 (2.41 à 3.42%) en moyenne 3.14%
- H_2O (3.32% à 4.62 %) en moyenne 3.50%

Bloc V-C1 :

Il est limité au sud–est par le bloc IV-C1 suivant la ligne des sondages N°4 et 48. La puissance moyenne de l'assise utile dans le bloc est égale à 5.0m. La superficie est de $91618m^2$ et le volume de $458090m^3$. Les réserves constituent 435185 tonnes dont 103139 tonnes en qualité II et 332046 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (54.14 % à 64.10%) en moyenne 58.99%
- CaO (10.98% à 16.38%) en moyenne 13.32%
- Fe_2O_3 (0.78% à 3.41%) en moyenne 2.38%
- Al_2O_3 (2.53 à 4.79%) en moyenne 3.32%
- H_2O (3.88% à 5.16 %) en moyenne 4.65%

Bloc VI-C1 :

Il est limité au sud-ouest par le bloc V-C1 suivant la ligne des sondages N°9 et 10. La puissance moyenne de l'assise utile dans le bloc est égale à 5.2m. La superficie est de $40990m^2$ et le volume de $213148m^3$. Les réserves constituent 202490 tonnes dont 63582 tonnes en qualité II et 138908 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (55.70 % à 67.69%) en moyenne 64.49%
- CaO (10.98% à 14.49%) en moyenne 11.11%
- Fe_2O_3 (1.04% à 2.41%) en moyenne 1.54%

- Al_2O_3 (2.19 à 4.61%) en moyenne 3.14%
- H_2O (2.96% à 7.14 %) en moyenne 5.00%

Bloc VII-C2

Il est délimité par les sondages N° 17, 18, 19, 30, 21, 22, 23, 24. La puissance moyenne est 6.8 mètres, la superficie est $40990m^2$, le volume est de $213148m^3$. Les réserves constituent 1674775 tonnes dont 375150 tonnes en qualité II et 129625 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (53.25 % à 67.65%) en moyenne 62.60%
- CaO (6.91% à 15.46%) en moyenne 11.39%
- Fe_2O_3 (1.21% à 2.50%) en moyenne 1.67%
- Al_2O_3 (3.25 à 5.23%) en moyenne 3.71%
- H_2O (3.60% à 5.46 %) en moyenne 4.90%.

Bloc VIII-C2 :

Il est situé à 40 m à l'ouest des chantiers 2 et 3, séparé par un oued asséché. La puissance moyenne est 6.8 mètres, la superficie est $253750m^2$ et son volume est de $1725500m^3$. Ses réserves sont de 1639225 tonnes dont 293421 tonnes en qualité II et 1345804 tonnes en qualité III.

La composition chimique est :

- SiO_2 (51.20 % à 65.01%) en moyenne 59.57%
- CaO (10.07% à 16.15%) en moyenne 12.08%
- Fe_2O_3 (1.12% à 2.09%) en moyenne 1.44%
- Al_2O_3 (1.79 % à 3.65%) en moyenne 3.02%
- H_2O (3.61% à 6.32 %) en moyenne 4.90%.

11. CONCLUSION :

Le gisement de Kieselguhr de TAHALAIT (Sig), en exploitation jusqu'à l'heure actuelle par l'unité minière ENOF est situé à 15 km au sud-est de la ville de Sig, wilaya de Mascara (Ouest-algérien). Il constitue l'un des dépôts majeurs de la sédimentation messinienne du bassin du Bas Chélif.

Le gisement de TAHALAIT est composé de formations datées du Miocène, Pliocène et Quaternaire et qui appartiennent au complexe géologique de Béni-Chougrane et constitue l'une des bordures Sud du bassin du bas Chéelif.

Le gisement a été divisé en blocs afin de faciliter le calcul des réserves dont la caractérisation qualitative est donnée suivant ces blocs. Les principales compositions chimiques des différentes couches sont le dioxyde de silicium (SiO_2) avec des pourcentages qui atteignent 60% suivie par l'oxyde de calcium (CaO) avec des pourcentages atteignant 15%, l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) jusqu'à 5%, Oxyde de fer (Fe_2O_3) jusqu'à 4% et l'eau H_2O jusqu'à 8%.

Le niveau à Kieselguhr contient sept couches de cette substance utile. Cependant, seule la troisième couche (à partir du haut) est présentement exploitée, eu égard à son épaisseur importante et à sa teneur élevée en SiO_2 . Cette couche montre une épaisseur moyenne de 2,1 mètres. Elle peut être subdivisée en deux parties distinctes. La partie massive, d'une épaisseur moyenne de 1,3 mètre est plus pure (teneur moyenne en CaO : 64%). La partie litée, d'une épaisseur moyenne de 0,8 mètre, contient de minces interlits de marnes et possède conséquemment une teneur en chaux plus élevée (teneur moyenne de 9,6 % en CaO).

CHAPITRE III : EXPLOITATION DU GISEMENT DE TAHALAIT**1. Principaux paramètres d'exploitation****1.1. Mode d'exploitation**

Le choix de la méthode d'exploitation nécessite la détermination d'un coefficient de découverte. Deux méthodes sont donc mises en œuvre : La méthode à ciel ouvert et souterraine.

Lorsque le coefficient (rapport) de découverte dépasse la norme (supérieur à 3), la méthode souterraine est applicable, par contre si le coefficient ne dépasse pas cette valeur, l'exploitation peut se faire à ciel ouvert, à condition que le recouvrement soit constitué d'une roche meuble, et inférieur à 1 pour un recouvrement constitué d'une roche compacte.

En général, dans le cas d'un recouvrement compact, il est préférable d'exploiter le gisement par creusement des galeries (méthode souterraine).

Notant que l'exploitation à ciel ouvert reste la plus facile et la plus économique si l'infrastructure le permet.

Le coefficient est représenté par le rapport suivant :

$$R_d = \frac{Q_s}{Q_m}$$

Q_s : Quantité de stérile extraite ou excavée

Q_m : Quantité de minerai extraite

Dans le cas du gisement de TAHALAIT de Sig l'épaisseur de la couche exploitable est 2.5 mètres (en moyenne). Le gisement est exploité en souterrain en tenant compte des couches de couverture assez conséquentes avec des variations de 0 à 65 mètres.

Le mode d'exploitation à ciel ouvert ou mixte ne peut être envisagé vu que le coefficient de découverte dépasse la norme (supérieur à 3).

1.2. Mode d'ouverture

Les modes d'ouverture ont été exécutés en tenant compte de la morphologie du terrain et aux affleurements de la couche de Kieselguhr (terrain très accidenté) avec une extraction par galerie d'accès et de roulage à partir du jour et par des voies de traçage, de recoupes et de refentes.

1.3. Pression des terrains

Vu que les couches de couverture du gisement varient entre 0 et 65 mètres, et après expérience sur le gisement et ses divers quartiers d'exploitation, la pression des terrains n'engendrent aucun affaissement brutal, ni glissement.

Durant les années passées, l'unité n'a jamais eu de phénomène d'affaissement ou de glissement, ni d'éboulement dans ses chantiers, si ce n'est de petites chutes de blocs, dues à la fissuration ou de microfailles. Les foudroyages au niveau de l'abattage sont commandés par le système d'exploitation.

1.4. Infrastructures

Les plateformes de déversement et de stockage et les pistes entrent comme infrastructures dans les travaux d'exploitation. Tous les quartiers du gisement sont reliés par des pistes à des routes goudronnées. La longueur de ces pistes varie entre 350 et 700 m.

1.4.1. Les pistes :

- Quartier Gana : une piste relie la route goudronnée à la plateforme de stockage. Sa distance est de 500 mètres.
- Quartier Morin : une piste relie la route goudronnée à la plateforme de stockage. Sa distance est de 700 mètres.
- Quartier Chorba : une piste relie la route goudronnée à la plate-forme de stockage. Sa distance est de 350 mètres.
- Quartier Gana - Morin : une piste relie la route goudronnée à la plate-forme de stockage. Sa distance est de 400 mètres.

Ces quatre pistes sont praticables tant en été qu'en hiver. La largeur de ces pistes est de 3 mètres.

1.4.2. Les plateformes de déversement et de stockage:

Il existe des plateformes de déversement et de stockage du minerai au niveau des quatre quartiers. La longueur de chacune est comprise entre 20 et 40 mètres. La largeur est comprise entre 15 et 20 mètres et la hauteur du quai de déversement est de 2 à 4 mètres.

1.5. Les réserves :

1.5.1. Notion de réserve:

C'est la quantité de minerai calculé dans un périmètre de gisement, mesuré en volume (m^3) ou en tonnage (T). Les réserves sont divisées en deux types :

Réserves géologiques: Ce sont les réserves totales d'un gisement (exploitable et non exploitable).

Réserves exploitables : Elles concernent la partie exploitable d'un gisement.

Ces réserves sont divisées en catégories suivant la certitude de connaissance.

1.5.2. Notion d'une catégorie de réserve:

La catégorisation est le degré de connaissance des réserves en quantité. Elle est obtenue à partir des travaux de recherches. En fonction des pourcentages de reconnaissance et de recherche du gisement, elle permet de la subdiviser en plusieurs catégories.

- ✓ Catégorie A : C'est une catégorie « sûre » où la reconnaissance et la recherche sont établies à 100%. Dans ce cas le gisement est prêt à être exploiter.
- ✓ Catégorie B : C'est une catégorie « certaine » où la reconnaissance et la recherche sont établies à 75%.
- ✓ Catégorie C1 : C'est la catégorie « probable » où la reconnaissance et la recherche sont établies à 50%.
- ✓ Catégorie C2 : C'est la catégorie « possible » où la reconnaissance et la recherche sont établies à 30%.

1.5.3. Méthode de calcul des réserves:

Pour faciliter le calcul des réserves le gisement a été divisé en huit (8) blocs géologiques, les surfaces ont été mesurées à l'aide d'un planimètre sur le plan, le contour extérieur a été tracé suivant la ligne moyenne de la couche et la puissance moyenne de la couche utile considérée égale à 5.2 mètres.

Le calcul est effectué comme suit :

$$\text{Réserves du bloc} = \text{volume de chaque bloc} \times \text{le poids volumique}$$

Les réserves du gisement correspondent à l'ensemble des réserves des blocs

$$\text{Volume de chaque bloc} = \text{la puissance moyenne} \times \text{la surface du bloc}$$

Dans le gisement de Sig le poids volumique de la diatomite est égal à 0.95 t/m³

1.5.4. Etat des réserves:

Les réserves géologiques du gisement de TAHALAIT de Sig ont été estimés à 6 576 589 tonnes, selon le rapport géologique de la SONAREM après les travaux réalisés par eux entre 1968, 1969 et 1977, 1978. Les réserves restantes au 30 juin 2016 sont de **6 410 307** tonnes.

Les réserves exploitables restantes (fin juin 2016) sont estimées à 1079826 tonnes.

Tableau III.1 : Réserves géologiques et exploitables au 30 juin 2016 en (T) (ENOF)

Quartier	Réserves Géologiques				Réserves Exploitables			
	B	C1	C2	Total	B	C1	C2	Total
Gana	10 032	0	730 032	730 032	0	0	0	0
Morin	21 873	331 461	3 389 510	3 742 844	21 873	0	0	21 873
Chorba	0	1 614 523	0	224 746	0	0	0	0
Gana - Morin	98 162	1 614 523	0	1 712 685	68 917	257 372	731 664	1 057 953
Total	130 067	2 170 730	4 109 510	6 410 307	90 790	257 372	731 664	1 079 826

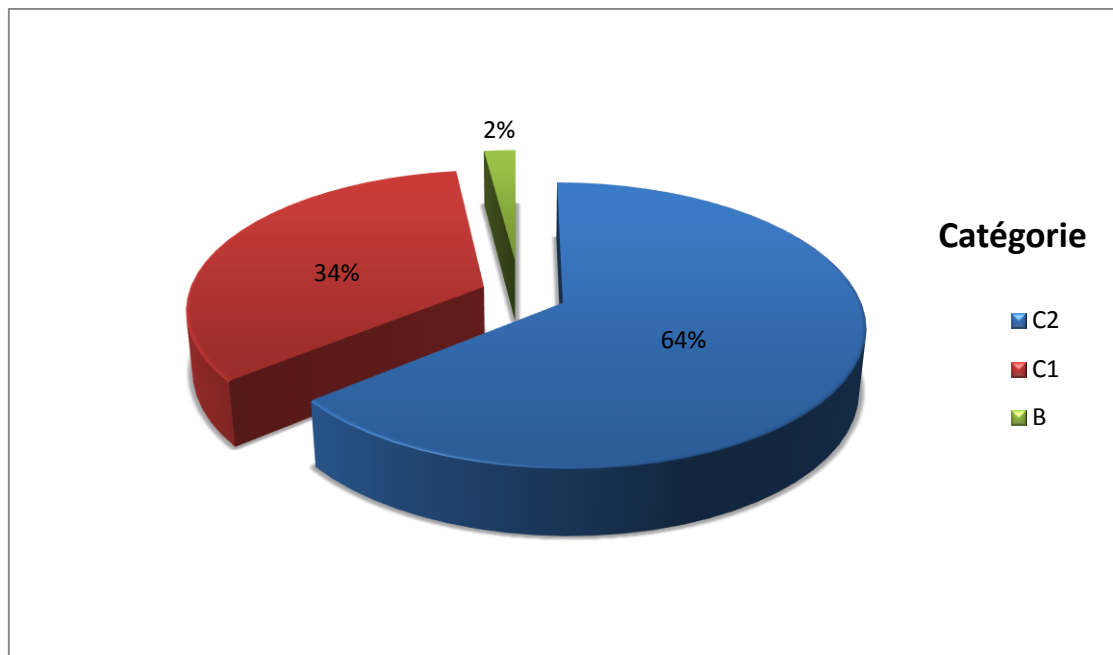


Figure III.1: Réserves géologiques au 30 juin 2016.

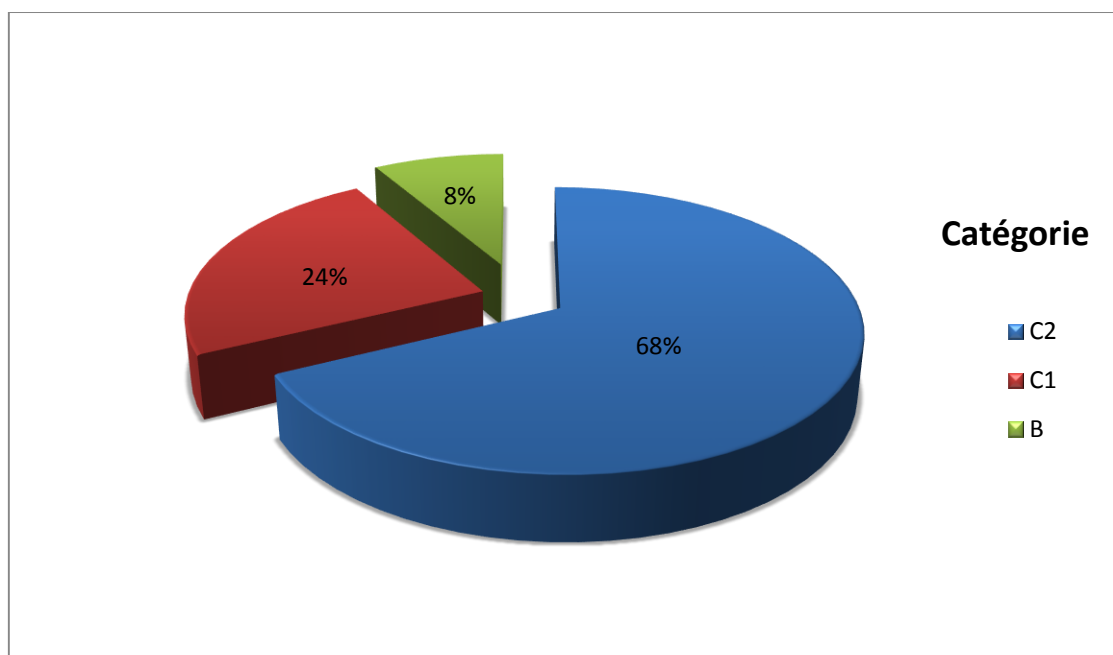


Figure III.2: Réserves exploitables au 30 juin 2016

1.6. Production annuelle et durée de vie:

L'avancement d'un abatteur minerais est 0.35 ml, cet avancement permettra d'extraire 1.6 T de minerai, quatre équipes de 02 abatteurs minerais sont affectés aux travaux préparatoires. Ces quatre équipes permettent d'extraire 3072 tonnes de tout venant par an.

Vu que les réserves exploitables de la mines sont estimés à 1 079 826 tonnes et avec un tel taux d'extraction, la mine va durer plus de 300 ans.

1.7. Moyens humains et matériels:

Les moyens humains et matériels mis en œuvre pour l'exploitation sont reportés dans le tableau III.2 ci-dessous.

Tableau III.2 : moyens humains et matériels dans la mine de TAHALAIT.

Désignation ou type de travaux	Moyens Humains		Moyens Matériels	
	Qualification	Nombre	Types	Nombre
Recoupes	Abatteurs minerais	08	Outillage manuel + Wagonnets 600 l	04

Les wagonnets à benne basculante en voies de roulage ont 600 mm de long et d'une capacité de 600 litres servent au transport du tout-venant vers le jour. Ils sont entretenus et réparés par le service maintenance de l'unité (réparation, roulements, bennes etc.).

2. La Méthode d'exploitation:

2.1. Paramètres influençant le choix du mode d'extraction:

L'épaisseur, l'aspect de la roche, la couleur et l'exigence du client sont des paramètres importants pour choisir le produit brut (tout venant) ainsi que la quantité et la qualité de ce dernier. Ils sont divisés en deux paramètres : Paramètres physiques (épaisseur, couleur, aspect de la couche) et un paramètre technique qui dépend de l'exigence du client.

2.1.1. Paramètres physiques :

- L'épaisseur: L'épaisseur de la couche exploitable doit être suffisante pour une circulation facile des ouvriers, les wagons de transport de la matière première et la circulation libre de l'air. Dans la mine de diatomite de TAHALAIT, l'épaisseur de la couche exploitable est de l'ordre de 2.5m.
- La couleur : La couleur est un des paramètres parmi d'autres. Elle doit être blanche et claire. Elle permet aussi la distinction entre la couche exploitable et les autres couches.
- L'aspect: L'aspect de la couche exploitable doit être massif, tendre et pulvérulent.

2.1.2. Paramètre technique:

L'exigence du client réside dans la teneur chimique pour le produit fini. Ces exigences sont formulées soit par une fiche technique soit verbalement adressé au service commercial de l'unité de production. Le représentant commercial adresse lui-même les exigences au service de production. Ce dernier formule à partir de ces données une fiche technique du tout-venant (produit brut, matière première...) pour l'adresser enfin au service géologique et l'exploitation. Il faut noter que la réserve et la qualité d'un gisement sont très importantes pour le choix du bloc du gisement et par conséquent pour l'exigence du client.

2.2. Choix de la méthode

Le choix de la méthode d'exploitation est porté sur une combinaison de deux méthodes : celle des chambres et piliers abandonnés et celle dite par chambres et piliers avec foudroyage des piliers résiduelles (quilles résiduelles).



Figure III.3: Pilier résiduel.

Cette méthode a été adoptée vu que la couche de Kieselguhr exploitée est en plateure et que la disposition est très simple. Elle repose sur le choix convenable des dimensions à donner aux piliers de telle sorte qu'ils puissent supporter sans faiblesse la totalité des pressions du terrain de couverture. Celle-ci permet dans une seconde phase d'exploiter les piliers découpés dans les chambres (cf. figure III.4). Elle a comme inconvénient la perte quantitative de 15% à 30% de minerai dans les quilles résiduelles.



Figure III.4: Pilier préparé à l'abattage.

2.3. Principe de la méthode:

La méthode repose sur une exploitation qui utilise des fronts étroits et assure une sécurité au personnel. Elle s'effectue par creusement des chambres séparées par des piliers, puis une récupération de ces piliers entraîne un foudroyage contrôlé. Un plan d'exploitation est illustré en figure III.5.

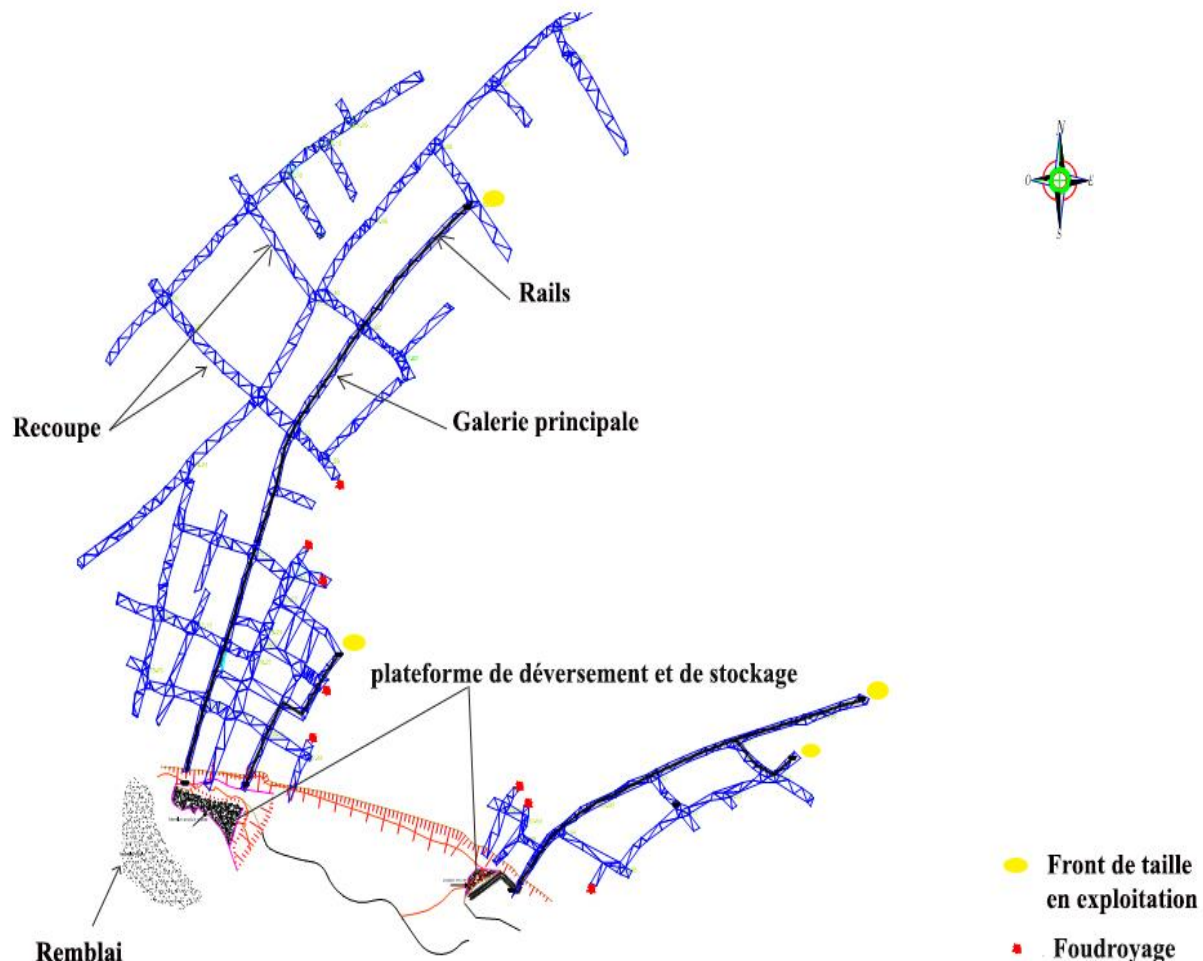


Figure III.5: Plan d'exploitation du gisement (ENOF 2017, modifié par Boudemagh N & Boucherit Y).

L'avancement dans l'exploitation s'effectue comme suit:

- Une galerie principale est creusée dans un bloc géologique vierge (cf. figure III.6), ce qui va créer deux panneaux d'une distance de plus de 100 m séparés par une première chambre principale.
- Le creusement, le traçage et le découpage des deux panneaux mettent en évidence des chambres séparées par des piliers. Il est à noter que l'opération d'exploitation des piliers se fait successivement.



Figure III.6: Entrée de la galerie principale.

L'exploitation s'effectue selon les étapes I à V du schéma illustratif présenté en figure III.7.

L'élément ABCD se recoupe en FECD et ABEF. L'un des deux éléments et lui-même sont refendus en IHMN de sorte que l'élément se réduit en deux piliers résiduels AIHF et BEMN. Lors de la récupération des piliers leur dimensions seront réduites ce qui les fragilisent et diminuent leur résistance aux charges appliquées sur eux par les terrains de couverture. Une fois cette résistance est inférieure à la charge appliquée par le terrain au-dessus, un foudroyage aura lieu sur cette partie ou sur cette zone (ABEF). Les dimensions des piliers et des quilles résiduelles sont déterminées suivant la pression des terrains de couverture et ce pour avoir un auto-foudroyage. Expérimentalement, ce dernier est contrôlé auditivement et visuellement (craquement des parois et toit, effritement, signes sonores etc.). Le foudroyage est illustré en figure III.8 et ses conséquences sur l'affaissement en surface est illustré en figure III.9.

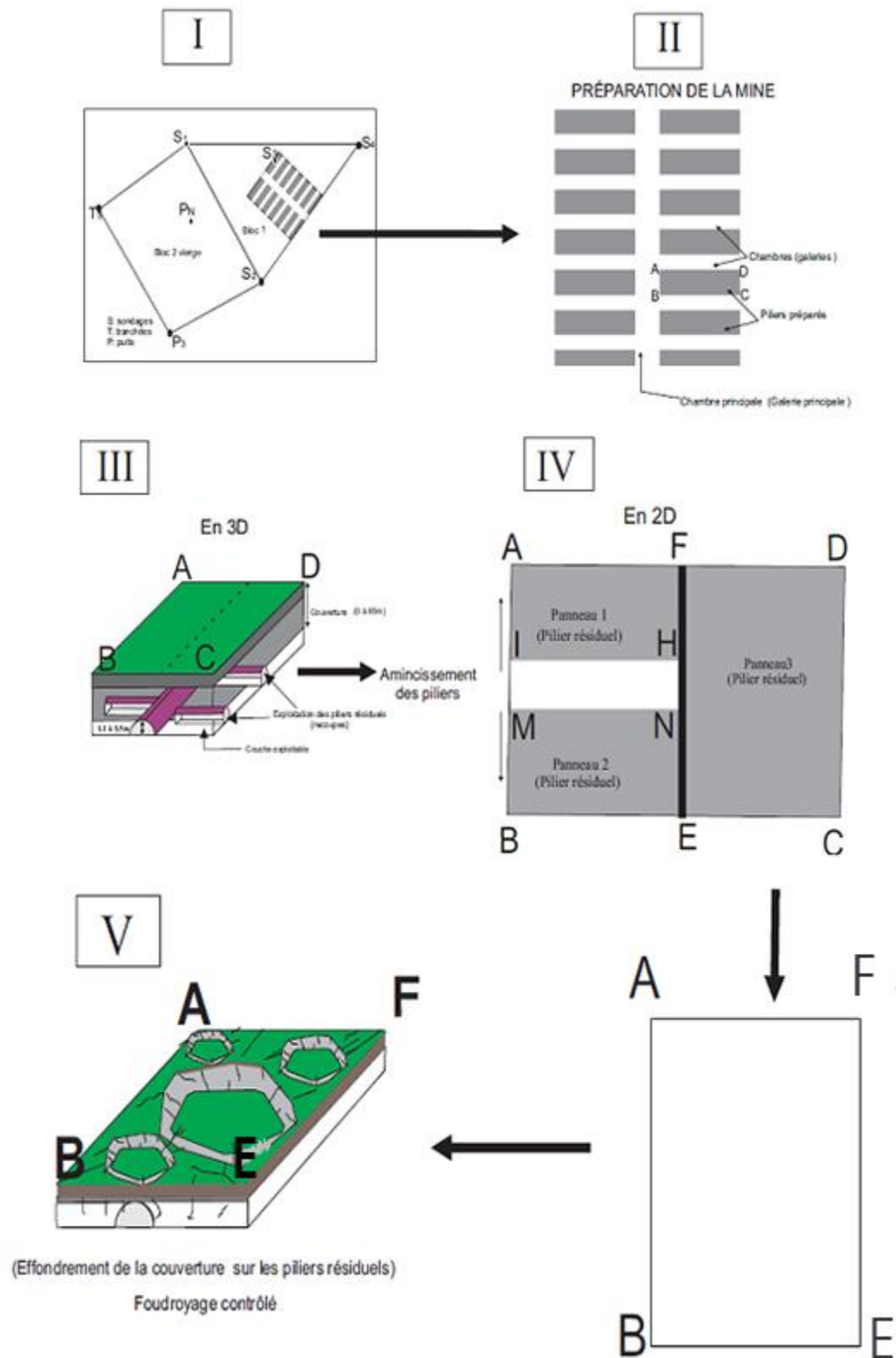


Figure III.7 : Schéma représentatif de la méthode d'exploitation



Figure III.8: Opération de foudroyage



Figure III.9: Affaissement du toit

2.4. L'abattage:

Dans tous les quartiers mis en activité d'exploitation, l'abattage ou le creusement des différents ouvrages miniers s'effectue manuellement. Cette méthode artisanale a été utilisée dans la mine de kieselguhr de Sig depuis 1979 jusqu'au aujourd'hui (cf. figure III.10).

Au front de taille les abatteurs de minerai creusent et abattent un volume donné de minerai à l'aide de pioches à double pic, en donnant au front une forme appropriée en respectant la section de la galerie (2.20 x 2.20 m).

Lors de l'abattage, le mineur se positionne face au front de taille perpendiculairement à la couche de kieselguhr, puis il commence à creuser avec la pioche une ouverture au centre du front afin de créer une surface libre dans la partie supérieure et inférieure du front dans le but de libérer ce dernier et faciliter l'opération d'abattage.

L'abattage suit la direction du pendage de la couche de diatomite par rapport à l'horizontale, l'avancement de l'exploitation est conditionné par la pente de la galerie, ce qui augmente la difficulté de pousser le wagonnet manuellement jusqu'au point de chargement (front de taille).

La couche de kieselguhr exploitée est délimitée par deux couches de marnes qui sont plus dures que le kieselguhr, ce qui facilite à l'opérateur de donner une forme appropriée aux galeries.



Figure III.10 : Opération d'abattage manuel.

Le volume du minerai abattu par un homme/poste est de 1.7 m^3 (soit 1.6 T). Le seul engin de transport utilisé dans les quartiers d'exploitation est le wagonnet à benne basculante.

Au niveau de l'abattage ou du creusement des différents ouvrages miniers, la procédure est la même pour tous les fronts : un mineur abat le minerai tandis qu'un autre le charge et le transporte jusqu'à la plateforme de déversement et de stockage au jour et vice-versa. Les mineurs sont polyvalents ; ils abattent, chargent et transportent le minerai jusqu'à la plateforme de déversement et de stockage.

2.5. Chargement et transport

Le chargement du minerai s'effectue manuellement par les mineurs sur des wagonnets d'une capacité de 600 litres à l'aide des pelles ordinaires (cf. figure III.11). Ces wagonnets sont poussés sur des rails du front de taille jusqu'à la plateforme de déversement et de stockage sur une distance d'environ 200 mètres (cf. figure III.12.13).



Figure III.11 : Opération de chargement manuel dans les wagonnets.



Figure III.12: Opération de roulage jusqu'au jour **Figure III.13:** Opération de déversement et stockage

Le chargement du tout venant de la mine vers l'usine de traitement se fait par une pelle hydraulique sur pneu de marque Liuhong de type 988H d'une capacité de godet de $3m^3$.

Le chargement et le transport du tout-venant de la mine jusqu'à l'usine de traitement est programmé pour deux jusqu'à trois fois par mois voir la faible production mensuelle de kieselguhr (cf. figure III.14).

Un camion de marque Faw d'une benne de capacité de 15 tonnes assure le transport du tout-venant depuis le point de déversement (stockage) vers l'usine de traitement de Sig sur une distance de 15 km par des transporteurs privés sous-traitants.

Le couple de la pelle de $3m^3$ et le camion de 15t assure et satisfait suffisamment le transport du tout-venant vers l'usine de traitement du fait de la faible production de la mine.



Figure III.14 : Opération de chargement de la diatomite de la zone de stockage.

3. Traitement du kieselguhr:

Une fois le chargement effectué, le tout-venant Kieselgur est acheminé vers l'unité de traitement afin de subir deux types de traitement (mécanique et thermique). Le concassage, séchage et le broyage constituent des étapes inévitables pour éliminer l'humidité naturelle et les matières organiques.

- La première étape de traitement consiste à un séchage dans des hangars prévus à cet effet (à l'air libre en période sèche) ensuite il est chargé par une pelle chargeuse dans une trémie de réception.
- Le tout-venant est par la suite concassé dans un concasseur à lames à granulométrie de sortie de 0/40 mm, puis le produit concassé est acheminé vers un séchoir rotatif à gaz (cf. figure III.15) (les températures du séchoir varient de 70 à 430°C), pour diminuer l'humidité du kieselguhr qui varie de 30 % jusqu'à 55 % à l'état naturel tout dépend du climat et de la température de la saison. Le kieselguhr est séché pour maintenir sa teneur en eau jusqu'à 3% afin de satisfaire les exigences de la clientèle.
- Par un convoyeur muni d'un tapis à chevron, le produit est transporté vers le broyeur, au final il est broyé doucement à 0/70 microns pour préserver la structure puis il est ensaché dans des sacs.
- La dernière étape est celle du conditionnement, le produit fini est commercialisé en sacs de 25 kg (cf. figure III.16).



Figure III.15 : Opération de séchage.



Figure III.16 : Opération de conditionnement.

L'installation illustrée dans la figure III.17 ci-dessous est destinée pour la production des produits de charge et industriels tout-venant de 1ère qualité et 2ème qualité.

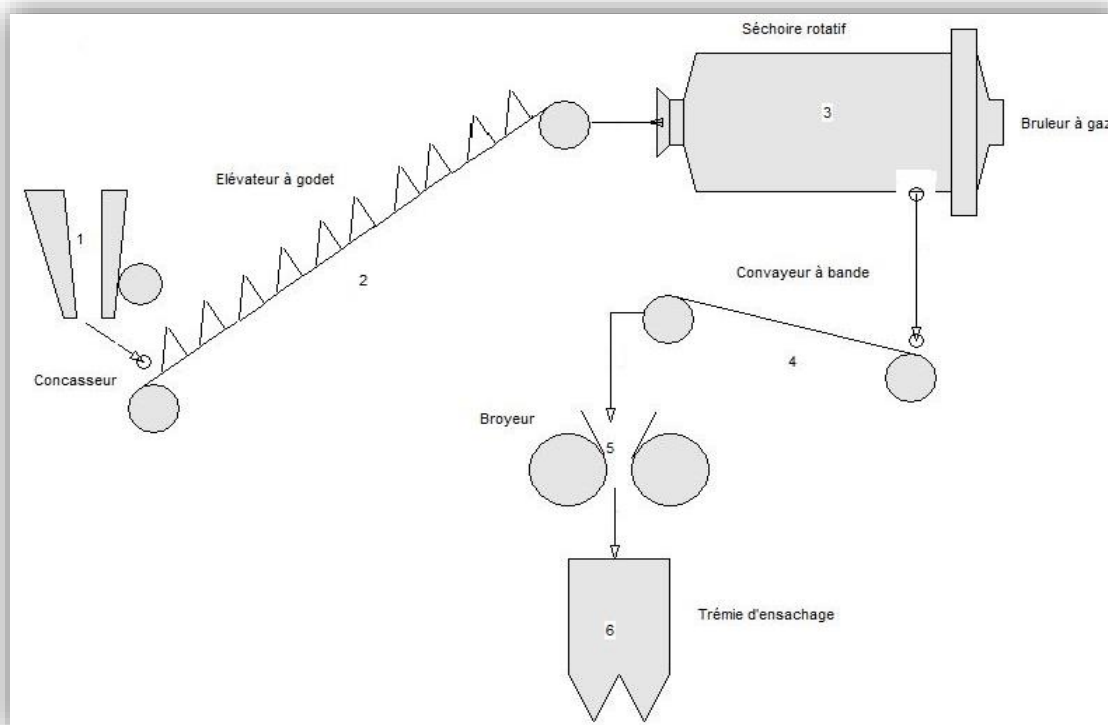


Figure III.17 : schéma Technologique de l'opération de traitement de produit de charge.

Il existe également une autre installation de traitement secondaire pour les produits de filtration. Le tout-venant dans cette installation est concassé dans un concasseur à lames. Il est ensuite activé avec du (Na_2CO_3) , puis le produit activé est broyé. Après cette opération le produit est calciné dans un four rotatif à des températures comprises entre 800°C et 1 100°C. Le produit de la calcination est refroidi dans un refroidisseur puis broyé et classé à nouveau par granulométrie avant l'emballage et livraison aux clients. Cette installation n'est plus

fonctionnelle depuis 2006 à cause de ses impacts indésirables sur l'environnement et sur les habitats. Le schéma suivant (cf. figure III.18) montre le processus de traitement du kieselguhr pour l'obtention de produit de filtration.

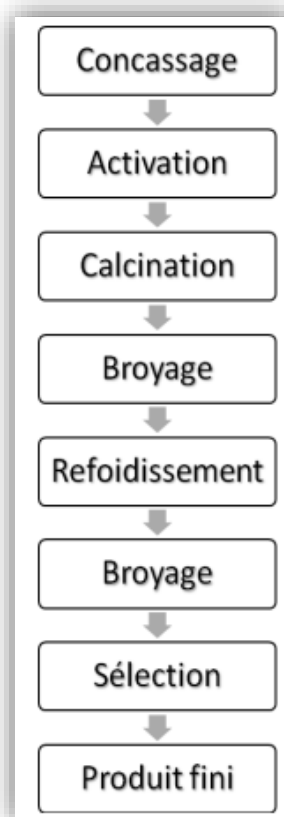


Figure III.18 : Schéma de traitement de produit de Filtration.

Après un traitement (séchage, broyage, calcination et sélection), elle se présente sous la forme d'une poudre d'une extrême porosité possédant un grand pouvoir d'absorption et de filtration. Son utilisation se faisant dans beaucoup de domaines. Les principales caractéristiques techniques des équipements de traitement sont données dans le tableau III.3 ci-après.

Tableau III.3 : Caractéristiques techniques des équipements de traitement.

Station	Type équipement	Caractéristique technique	Capacité installée T/h	Année acquisition	Etat
Concassage	Concasseur	Pui=6kw Vit=40tr/min DE= 400-200mm DS= 100-20mm	1.5	1999	Moyen
Séchage	Four séchage	Pui=11kw Vit=1460tr/min L=13 m D=2m T°= 600°C	1.5	2014	Moyen
Broyage	Broyeur à marteau	Pui=30kw Vit=1460tr/min DE= 0-41 mm DS= 0-0.2mm	1	2000	Moyen

Pui : puissance de moteur. Vit : vitesse du moteur. DE : diamètre d'entrée. DS : diamètre de sortie. L : longueur. D : diamètre. T: température.

4. CONCLUSION:

Le gisement est actuellement en exploitation et produit de la diatomite provenant du chantier situé à la côte orientale du relief montagneux. Les travaux d'exploitation sont effectués en souterrain, par la méthode des chambres et piliers avec dépilage et foudroyage sur quilles résiduelles, en creusant des galeries subhorizontales le long de la troisième couche de la formation de kieselguhr. L'abattage se fait manuellement à l'aide des pioches à double pic, ce qui justifie la faible production (2200 t/an).

Cette méthode artisanale a des inconvénients notamment le faible rendement des abatteurs miniers, la très faible productivité et le taux d'avancement de l'exploitation qui est conditionné par le pendage de la galerie (les mineurs se trouvent parfois obligés d'arrêter l'abattage dans certains fronts à cause des forts pendages qui rendent l'opération de transport très difficile voire impossible dans ces conditions).

La mécanisation des outils d'abattage et de transport est nécessaire afin d'améliorer les conditions de travail dans la mine de TAHALAIT. Cette mécanisation aidera l'abatteur minier dans un premier lieu et l'entreprise minière en général.

Les études réalisées précédemment ont privilégié la recherche et l'étude des différents niveaux de diatomite. Il est impossible de développer une stratégie pour l'excavation minérale sans une carte topographique détaillée avec des informations actualisées des sondages. Il est nécessaire de faire une étude de reconnaissance détaillée en réalisant de nouveaux sondages dans les zones vierges pour entamer une étude de faisabilité d'une exploitation à ciel ouvert afin d'améliorer, de développer, et d'atteindre les objectifs visés par l'entreprise.

L'usine de traitement de la diatomite de Sig traite le tout-venant afin d'obtenir un produit de charge qui est le seul produit final commercialisé. La diatomite brute subit deux types de traitement, un processus mécanique par broyage suivi d'un traitement thermique dans un séchoir rotatif pour obtenir finalement le produit désiré.

Pour l'intérêt économique de l'entreprise, il est nécessaire de réaliser une autre unité de traitement pour produire un produit de filtration, soit par l'installation d'une usine de traitement par la méthode de calcination à four rotatif à proximité du gisement, ou bien étudier la possibilité d'un traitement avec l'acide chlorhydrique HCl.

Chapitre IV : CARACTERISATION AU LABORATOIRE DE LA DIATOMITE.**1. Prélèvement des échantillons :**

Cette opération consiste à la récupération des échantillons de différents blocs de gisement de TAHALAIT. Les échantillons ont été récupérés des piliers de l'exploitation actuelle et des anciens sites préparés pour l'exploitation. Le prélèvement des échantillons a été effectué manuellement par une pioche à double pic en respectant leur disposition dans le gisement et la direction des couches. Les dimensions des échantillons récupérés sont d'environ 30*30 cm.



Figure IV.1 : Abattage des piliers et récupération des échantillons.

2. Préparation des éprouvettes :**2.1 Sciage de la roche :**

La scie pour roche a été-utilisée pour la découpe d'éprouvettes de roche (échantillons en forme cylindrique). Elle est fournie avec un dispositif de maintien de l'échantillon de forme irrégulière et est montée sur un bâti et équipée d'un disque diamanté et d'une pompe à eau. (cf. Figure IV.2).

Le but de l'opération de sciage est la préparation des échantillons pour le carottage.

Cette opération consiste à maintenir la dimension ($H_{\max}=14.5$ cm pour un carottier de diamètre de 54 mm) afin de réussir la découpe d'échantillons sans trop de vibrations.



Figure IV.2 : La scie pour roche

2.2 Carottage :

L'appareil utilisé pour faire l'opération de carottage est la carotteuse. Cet appareil de laboratoire a été spécialement conçu pour carotter des éprouvettes sur des matériaux durs tels que roches. Un dispositif de blocage permet d'immobiliser le matériau durant cette opération.

Dans cette phase on a utilisé un carottier de diamètre de 54 mm pour obtenir des éprouvettes cylindriques. L'élancement d'un échantillon est par définition son rapport hauteur/diamètre. Une fois le carottage effectué sur ces échantillons, les éprouvettes sont taillées pour un élancement de 2.

Cette tâche a été très difficile voir presque impossible dans les roches de diatomite de nature litée. La diatomite est une roche très friable et très sensible à l'eau.



Figure IV.3 : La carotteuse



Figure IV.4 : Opération de carottage

2.3 Coupage et polissage :

Les différentes faces de l'échantillon sont rectifiées sous l'eau dans une rectifieuse plane avec meule pour les rendre planes et parallèles. La tolérance des imperfections du polissage des surfaces de chargement lors de la confection des éprouvettes est très stricte. L'erreur de parallélisme entre les deux surfaces de chargement planes ne doit pas dépasser 0.03 mm pour une hauteur d'échantillon de 60 mm, si l'on se réfère aux recommandations de la SIMR (Fairhurst et Hudson, 1999) pour les tests de compression.



Figure IV.5 : Opération de coupage et polissage d'échantillon de diatomite

3. Caractérisation chimique de la diatomite :

Au total, sur le gisement de TAHALAIT, pour l'évaluation de la qualité des kieselguhrs, il a été effectué 33 sondages, 24 tranchées, 1 galerie et 4 affleurements, dans lesquelles 290 échantillons ont été prélevés répondant aux exigences et qui ont donné les valeurs en composants chimiques majeurs suivants:

Tableau IV.1 : Composition chimique de la diatomite (KARPOV L.V 1979).

Composition chimique	Min (%)	Max (%)	Moyenne (%)
SiO₂	51.06	80.38	59.86
CaO	2.39	16.77	12.80
Fe₂O₃	0.40	4.00	1.50
Al₂O₃	0.11	5.95	3.32
H₂O	1.50	9.34	4.73

La diatomite est composée majoritairement de silice présente soit sous forme pont siloxane (Si-O-Si) participant à la structure du squelette de diatomée, soit sous forme de groupement (Si-OH) silanols situé à la surface du matériau.

3.1. Microstructure de la diatomite.

L'utilisation du microscope électronique à balayage M.E.B pour l'examen des diatomites a permis de mieux de connaître la structure des frustules de diatomées, leur taille et les dimensions des pores. Il met en évidence aussi l'agencement naturel des différents constituants de la roche. L'observation au M.E.B peut expliquer et prévoir les caractéristiques de la diatomite.

L'analyse par M.E.B met en évidence la porosité, la perméabilité, de la roche, la fragmentation des constituants et leur hétérométrie ou leur homométrie.

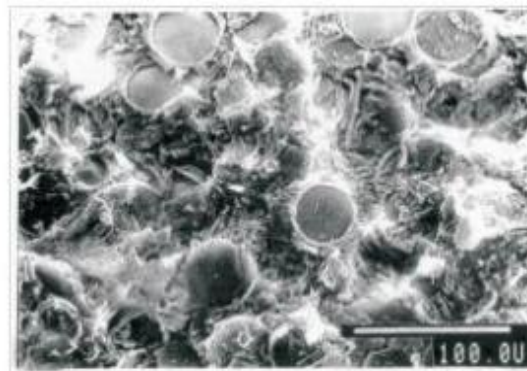
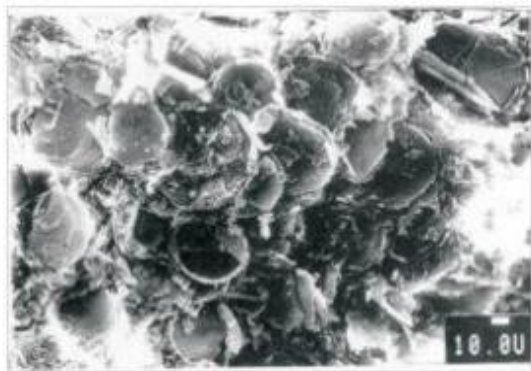


Figure IV. 6 : Aspect de texture des diatomées centriques (d'après Meguedad M, 2004).

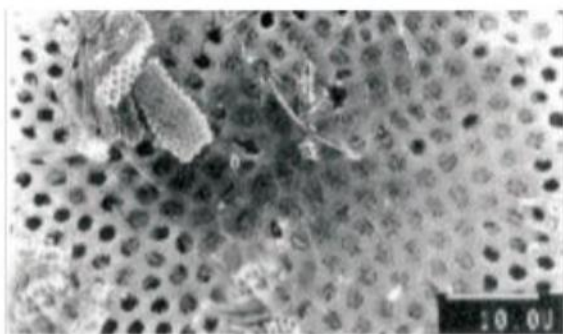


Figure IV. 7 : aspect de microstructure des pores (d'après Meguedad M, 2004)



Figure IV. 8 : Aspect de la texture de diatomées pennées (d'après Meguedad M, 2004)

On observe un empilement régulier de frustules relativement bien conservés, déterminant la structure laminaire du sédiment. La diatomite montre une superposition des lamines parallèles, d'épaisseur infra millimétrique. Les lamines sont constituées des diatomées pennées et centriques de grande taille et hétérométriques.

Les frustules montrent un bon état de conservation avec de rare débris de frustules.

Des échantillons de diatomite ont été examinés au microscope électronique à balayage M.E.B au sein du laboratoire de l'école des mines d'Annaba afin de voir la structure des frustules de diatomées, leur taille et les dimensions des pores (cf. figures IV.9 et IV.10).

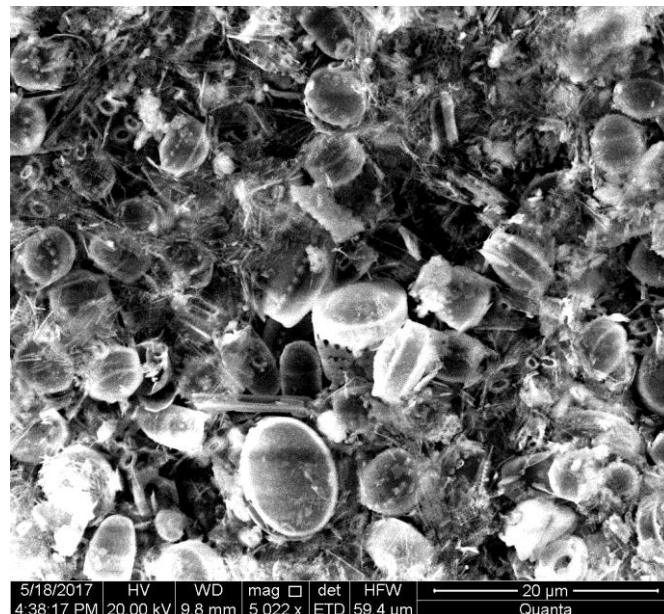


Figure IV. 9 : Aspect de texture des diatomées centriques de Sig (Laboratoire ENSMM, 2017).

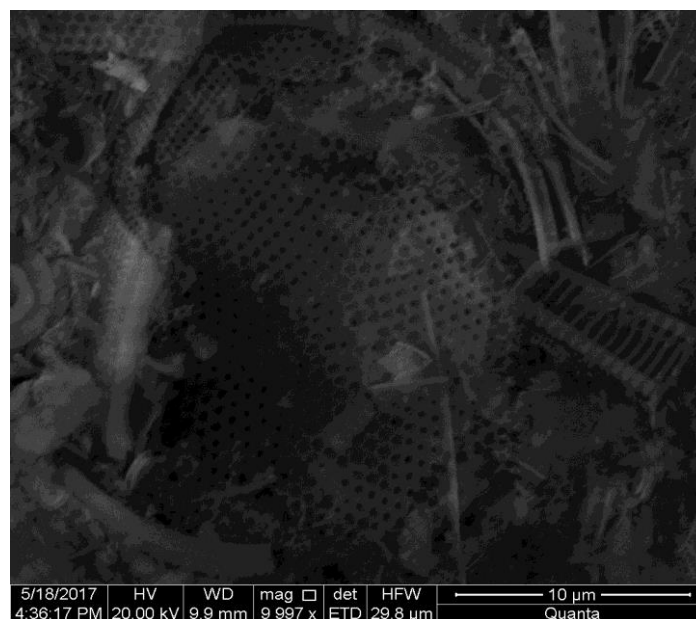


Figure IV. 10 : Aspect microstructural des pores de la diatomite de Sig (Laboratoire ENSMM, 2017).

Plusieurs imageries ont été prises au MEB dans le laboratoire de l'école des mines d'Annaba (elles sont illustrées en annexe 01).

4. Caractéristiques physiques de la diatomite:

Avant d'analyser le comportement mécanique des sols ou roches, il est nécessaire de définir certains paramètres qui se rapportent aux diverses proportions dans lesquelles se trouvent le squelette solide, l'eau et l'air les constituant. Notamment la teneur en eau naturelle, le poids volumique naturel, le poids volumique sec et déjaugé, l'indice des vides, la porosité, degré de saturation...etc.

Par manque de matériels de laboratoire à l'école et quelques difficultés rencontrés dans la réalisation de ces essais hors école, nous avons utilisé le matériel disponible pour obtenir certains paramètres physiques et en déduire d'autres par corrélations entre eux.

Le matériel utilisé est :

- Une balance électrique.
- Une éprouvette (1000 ml).
- Une étuve.

Les échantillons à volume préalablement déterminé sont pesés après saturation dans l'eau pendant 24 heures, puis, séchées dans une étuve pendant 24 heures dans une température de 65°C (matériaux organiques) afin de les peser de nouveau pour déterminer la masse des échantillons secs.

La masse volumique a été obtenue par la détermination de la masse et le volume apparent des échantillons d'une forme cylindrique régulière (cf. tableau IV. 3).

4.1. Teneur en eau naturelle, w% :

C'est le rapport du poids d'eau que le matériau contient au poids de ses éléments secs, après séchage à l'étuve à 65 °C dans le cas des matériaux contenant des éléments organiques.

$$W\% = \frac{\text{Poids d'eau dans le matériau}}{\text{Poids du matériau sec}} \times 100$$

Cet essai a été réalisé au niveau du laboratoire de l'unité de Sig.

Le principe de l'essai est simple. Nous avons prélevé des échantillons de la mine, puis avons pesé chaque échantillon dans leur état naturel, et après séchage de ce dernier pendant 24 à l'étuve à 65 °C l'échantillon a de nouveau été pesé.

Après la réalisation d'une série d'essai nous avons obtenu les résultats donnés dans le tableau IV. 2 suivant:

Tableau IV.2: Résultats de mesure de la teneur en eau naturelle de la diatomite de Sig

	Echantillon N°1	Echantillon N°2	Echantillon N°3	Echantillon N°4	Echantillon N°5
Masse de l'échantillon à l'état naturel (g)	280.45	240.31	219.50	199.54	179.20
Masse de l'échantillon après séchage (g)	184.14	156.98	143.00	129.00	115.40
Teneur en eau de l'échantillon %	52.30	53.08	53.50	54.68	55.29
teneur en eau moyenne de la diatomite de Sig %	53.77				

Les résultats de ces mesures montrent que les diatomites de Sig ont une teneur en eau importante dans leur état naturel. La valeur moyenne est de l'ordre de 54%.

4.2. Poids volumique :

a. Poids volumique du matériau humide (ou apparent).

C'est le rapport du poids total d'une certaine quantité de matériau à son volume apparent.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

b. Poids volumique du matériau sec γ_d .

C'est le rapport du poids de matériau sec contenu dans une certaine quantité de ce matériau au volume de ce même matériau.

$$\gamma_d = \frac{W}{V_s}$$

Le poids spécifique sec définit l'état dans lequel se trouve le matériau: suivant la valeur de γ_d , un matériau sera très dense, dense, lâche ou très lâche.

c. Poids volumique des grains γ_s .

C'est le rapport de matériau sec contenu dans une certaine quantité de ce matériau au volume des grains du matériau.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

d. Poids volumique du sol saturé γ_{sat} .

Lorsque tous les vides sont remplis d'eau, c'est le rapport du poids total du corps complètement saturé par son volume total.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_w + W_s}{V_s}$$

e. Poids volumique du matériau déjaugé, γ' .

Il est pris en compte lorsque le sol est entièrement immergé. Il tient compte de la présence de l'eau qui remplit tous les vides et de la poussée d'Archimède.

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (\gamma_w \text{ poids volumique de l'eau } \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3)$$

4.3. Le degré de saturation, S_r :

Le degré de saturation noté S_r est le rapport entre le volume d'eau et le volume des vides dans un matériau. C'est un paramètre sans dimension qui est souvent exprimé en pourcentage. Un matériau sec a un degré de saturation de 0 % et un matériau saturé en eau à un degré de saturation de 100%.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

4.4. Indice des vides, e :

Rapport entre le volume des vides et le volume des particules solides:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

L'indice des vides peut être supérieur à 1 et même atteindre la valeur 13 (cas extrême des argiles de Mexico).

4.5. Porosité, n :

Elle permet de connaître l'importance des vides, c'est à dire de savoir si le matériau est dans un état lâche ou serré. Elle est définie comme étant le rapport du volume des vides au volume total.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Tableau IV. 3 : Mesure de poids sec et humide de quelques échantillons

	N°1	N°2	N°3
Poids sec de l'éprouvette (N)	0,29	0,75	0,89
Poids de l'éprouvette saturée (N)	0,6	1,5	1,95
Volume total de l'éprouvette (m ³)	5,00E-05	1,24E-04	1,44E-04

Les résultats de calculs sont donnés dans le tableau IV.4 ci-dessous :

Tableau IV. 4 : Les résultats des calculs

Appellation et définition	Symbole	Unité	Expression	Résultat
Teneur en eau naturelle	W	%	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	54
Poids volumique sec apparent	γ_d	kN/m ³	$\frac{P_s}{V_t}$	6
Poids volumique des grains solides	γ_s	kN/m ³	$\frac{P_s}{V_s}$	26.5
Poids volumique saturé	γ_{sat}	kN/m ³	$\frac{P_w + P_s}{V_t}$	12.53
Indice des vides	e	Sans unité	$\frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$	3.41
Porosité	n	Sans unité	$\frac{e}{e + 1}$	0.77
Poids volumique Déjaugé	γ'	kN/m ³	$\gamma_{sat} - \gamma_w$	2.53
Teneur en eau de saturation	w_{sat}	%	$\gamma_w \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right)$	1.28

4.6. Mesure du coefficient de perméabilité:

4.6.1. Introduction

Le coefficient de perméabilité d'un matériau saturé est une caractéristique qui dépend essentiellement de sa granularité, de sa nature, de sa structure, de son indice des vides et de la température.

Plus il est fin ou compact, plus les pores sont petits, plus les frottements et les pertes de charge sont importantes et plus le coefficient de perméabilité est petit.

Deux méthodes, applications directes de la loi de Darcy, sont utilisées en laboratoire :

- La mesure sous charge constante pour les matériaux très perméables.
- La mesure sous charge variable pour les matériaux peu perméables.

4.6.2. Perméabilité à charge constante :

La perméabilité d'un matériau (une roche, un tissu végétal, etc.) correspond à son aptitude à se laisser traverser par un fluide de référence sous l'effet d'un gradient de pression.

4.6.3. Mode opératoire :

Cet essai est destiné à la mesure du débit d'eau traversant une éprouvette de roche contenue dans une cellule de Hoek et sujette à une pression de confinement. La pression est appliquée à l'éprouvette par un générateur de pression constante et l'eau traversant l'éprouvette est collectée dans une burette (cf. figure IV.11). Une paire d'embouts est également nécessaire pour montage sur la cellule de Hoek.



Figure IV.11: Appareillage de mesure de la perméabilité

Cet appareil permet la production et le réglage précis d'une pression constante et est utilisé en conjonction avec une cellule de Hoek équipée des embouts pour l'évaluation de la perméabilité des roches à des pressions de confinement élevées. Il comprend : une pompe hydraulique motorisée ; un ensemble piston/ressort, un manomètre de précision 0-3500 kPa, un réservoir échangeur huile/eau, des vannes, 2 kg d'huile haute viscosité (cf. figure IV.11).

La Loi de Darcy permet de relier un débit à un gradient de pression appliqué au fluide grâce à un paramètre caractéristique du milieu traversé (Henry Darcy, 1856), qui s'exprime par :

$$\frac{Q}{S} = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta X}$$

Avec :

- Q le débit d'eau.
- S la section de l'éprouvette qui pour une éprouvette cylindrique est $\pi.R^2$ avec R le rayon de l'éprouvette.
- K la perméabilité.
- η la viscosité dynamique du fluide.
- $\Delta P/\Delta X$, le gradient de pression.

La perméabilité K est donc : $K = \frac{Q}{S} \cdot \frac{\Delta X}{\Delta P} \cdot \eta$

Cet essai a été réalisé sur un échantillon saturé, de forme cylindrique d'une hauteur H=10.8 et d'un diamètre D=54.7. L'essai a été réalisé en appliquant une pression de confinement de 0.5 MPa et une pression d'eau (0.5 MPa) traversant l'éprouvette.

Une fois le niveau d'eau commence à augmenter dans la burette, on mesure la variation de niveau d'eau en fonction du temps pour obtenir le débit d'eau traversant l'éprouvette.

4.6.4. Résultats de mesures:

Les résultats de l'essai de perméabilité sont présentés dans le tableau IV.5 ci-dessous :

Tableau IV. 5 : Les résultats des calculs de perméabilité.

Volume d'eau ayant traversé l'éprouvette (m³)	4.50x 10 ⁻⁶
Temps (s)	276
Débit d'eau (m³/s)	1.6x10 ⁻⁸
Viscosité d'eau (Pa.s)	1.003x10 ⁻³
Longueur de l'éprouvette (m)	0.108
Section de l'éprouvette (m²)	2.348x10 ⁻⁹
Perte de charge (Pa)	1x10 ³
Perméabilité (darcy)	0.23

5. Caractéristique mécanique de la diatomite

5.1. Essai de compression uniaxiale :

5.1.1 Introduction :

L'essai de compression uniaxiale ou de compression simple consiste à comprimer un échantillon de roche de forme cylindrique entre deux plateaux parallèles d'une presse rigide. Les essais se font généralement par lots de 5 échantillons par roche homogène pour obtenir une bonne moyenne. Dans certains cas, et selon la taille de l'échantillon de roche disponible, les lots peuvent être plus grands ou plus petits.

5.1.2 Mode opératoire :

L'échantillon doit présenter de préférence une élongation (rapport hauteur sur diamètre) de 2 à 2,5. La dimension utilisée dans notre caractérisation est de 108 mm de hauteur par 54.7mm de diamètre. Les échantillons sont préparés par carottage au diamètre 54.7 mm, découpage et rectification pour l'obtention de surfaces strictement parallèles. L'essai de compression uniaxiale est réalisé suivant les recommandations de la Société Internationale de Mécanique des Roches (I.S.R.M.).

La préparation de l'échantillon s'effectue par le collage de deux jauges de déformation à résistance électrique pour la mesure de la déformation axiale et radiale avec une colle sur une

éprouvette d'un diamètre de 54.7 et d'un élanement de 2. Une fois l'échantillon est préparé on le place dans la cellule de Hoek et on applique la charge axiale grâce à un piston vertical. Une fois la connexion entre les jauges de déformation et l'ADVANTEST (appareil de suivi du test) est assuré, l'essai est mis en route (cf. figure IV.12 et 13). L'essai est effectué avec un asservissement de la contrainte axiale à une valeur de 0,1 MPa/s jusqu'à la rupture.

Au cours de l'essai, l'enregistreur permet de relever l'évolution de la contrainte axiale. Cet enregistrement permet de déterminer différentes caractéristiques mécaniques selon le besoin : la résistance à la compression uniaxiale R_c , le module d'Young E et le coefficient de Poisson ν .



Figure IV.12 : Bâti de compression EN 4000 kN



Figure IV.13 : ADVANTEST 9- Console de commande pour application de charge

La difficulté de confection d'éprouvettes sur le matériau de diatomite qui est très fragile et sensible à l'eau, a fait que nous n'avons pu réaliser que deux essais. De plus, lors de la mise en charge des échantillons, les jauges se détachent de l'éprouvette au cours de l'essai en raison de la surface poreuse et de sa texture (tendre, formée de grains fins), où la compression de l'éprouvette au cours de l'essai provoque l'usure des jauges.

5.1.3 Résultats :

Les résultats de l'essai uniaxial sont présentés dans le tableau IV.6 ci-dessous :

Tableau IV. 6 : Les résultats des calculs de l'essai uniaxial.

Echantillon	N°1	N°2
Résistance à la compression N/mm^2	8.88	7.74
Module de Young kN/mm^2	2.51	-
Coefficient de Poisson	0.235	-

La résistance de la compression de la diatomite de Sig est de l'ordre de 8 MPa

Le module de Young de la diatomite de Sig est de l'ordre de 2.51 kN/mm^2 et le module de Poisson est de 0.235.

5.2. Essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande :

5.2.1. Introduction :

L'étude de la résistance au cisaillement d'un matériau constitue un problème complexe. La résistance au cisaillement dépend du type de matériau rencontré, suivant qu'il est cohérent ou non, que le matériau est grossier ou fin, mais aussi l'intensité des efforts exercés et la manière dont ces efforts sont appliqués.

5.2.2. But de l'essai :

Il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques en procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du ~~sol~~ matériau étudié, et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C .

5.2.3. L'équipement nécessaire pour réaliser un essai de cisaillement:

Un ensemble d'essai à la machine de cisaillement direct conforme à la norme NF P94-071-1 se compose de :

- Un bâti de chargement : la machine elle-même et son dispositif de chargement vertical.

La machine de cisaillement est constituée d'un bâti support comportant un moteur pas à pas permettant de pousser la demi-boîte inférieure montée dans un chariot mobile guidé tandis que la demi-boîte supérieure est reliée au dispositif de mesure de la force horizontale, cette partie restant fixe (cf. figure IV.14).

Le chariot doit être étanche car il reçoit l'eau pour la saturation de l'échantillon. Le mode de chargement vertical permettant d'appliquer les contraintes de consolidation soit conventionnel à poids, c'est-à-dire qu'on dépose les poids nécessaires sur le plateau du bras de levier prévu à cet effet. Le bâti est alors de type châssis à cadre acier et les pieds doivent être fixés au sol. Un jeu de 32 kg est livré en standard avec la machine car le bras de levier (x10) permet l'application de 320kg soit plus de 3kN sur l'échantillon. En cas de besoin, des poids supplémentaires peuvent être ajoutés jusque 50kg. La capacité de cisaillement est de 5kN. Ces bâti possèdent une liaison RS 232 de série permettant de les piloter à distance (démarrage, arrêt, vitesse réglée de 0,01pm à 10mm/min) tandis que leur écran et clavier permettent de les utiliser simplement en mode local.

-Une boîte de cisaillement

De forme carrée, elle est de dimension de 60mm. Un dispositif de mesure est relié pour le tassement vertical, la force de cisaillement développée et le déplacement horizontal du chariot supportant les 2 demi-boîtes. La force est mesurée à l'aide d'un capteur de force (capteur aveugle analogique permettant l'acquisition automatique)

Le tassement vertical est mesuré à l'aide d'un capteur de déplacement de l'ordre de 10mm, suffisant pour une hauteur d'échantillon de 20mm.

Le déplacement horizontal est mesuré avec un capteur de 25mm, suffisant pour mesurer la course totale du chariot (Programmé à 15 mm dans notre étude) ainsi que la déformation maximale à atteindre pour l'arrêt du cisaillement.

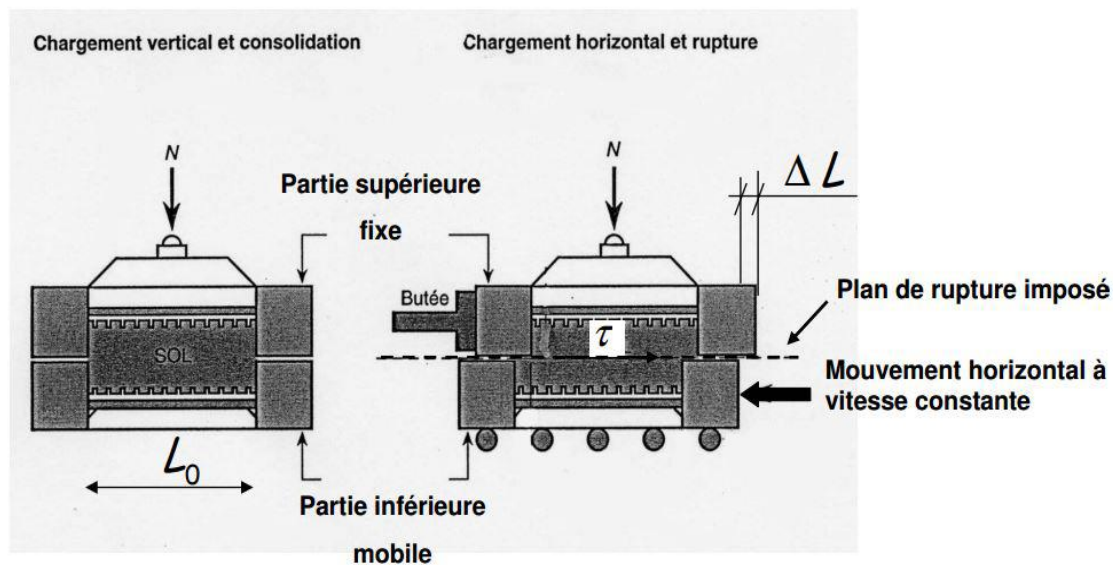


Figure IV. 14 : Appareillage de l'essai de cisaillement.

5.2.4. Mode opératoire de l'essai de cisaillement direct:

Le mode opératoire consiste à (selon la norme NF P94-071-1):

- Consolider l'éprouvette de section s dans une première phase en appliquant sur la face supérieure un effort vertical constant maintenu pendant tout l'essai (contrainte $\sigma_n = N/S$).
- La phase de consolidation permet de calculer la vitesse à laquelle doit être cisailé l'échantillon.
- Cisailier ensuite le long du plan de séparation des 2 demi-boîtes en leur imposant un déplacement relatif à vitesse constante.
- L'effort de cisaillement horizontal (T) est mesuré et la contrainte $\tau = T/s$ est calculée.

De plus, on mesure le déplacement vertical de l'éprouvette Δh et le déplacement horizontal Δl à l'aide de deux capteurs de mesure de déplacement.

A partir de là, on peut déterminer en fonction du temps :

- la contrainte normale σ_n ;
- la contrainte tangentielle τ ;
- la déformation verticale $\frac{\Delta h}{h} = \varepsilon_h$
- la déformation horizontale $\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon_l$

Pour un effort vertical donné, c'est à dire pour une contrainte normale σ_n , on construit deux types de courbes $\tau = f(\varepsilon_l)$ (cf. figure IV.15) et $\tau = f(\sigma_n)$ (cf. figure IV.16).

- τ en fonction de ε_l

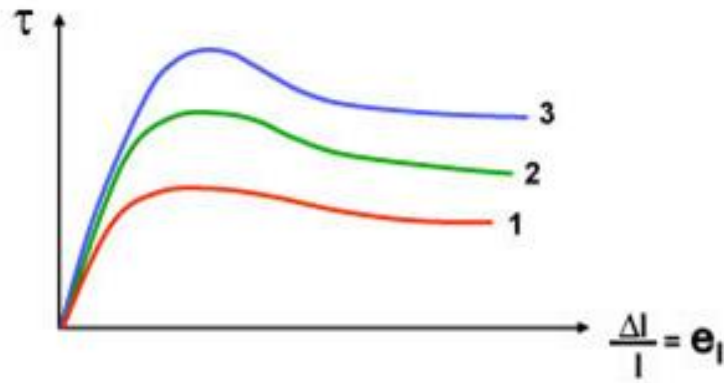


Figure IV. 15 : Courbes expérimentales obtenues dans un essai de cisaillement « direct » τ en fonction de ε_l .

Sur ce graphe, les trois séries de courbe (1, 2 et 3) sont fonction de la contrainte normale imposée.

- τ en fonction de σ_n

Il s'agit ensuite de déterminer sur la courbe (τ ; ε_h) de la figure IV.15 le point qui correspond à la rupture ($\tau_{\max}$), en fonction du critère choisi.

Ceci permet d'obtenir pour chaque couple de valeurs (τ , σ_n) un point dans le plan de Mohr. Pour déterminer une courbe intrinsèque, il est nécessaire de réaliser l'essai avec plusieurs valeurs de σ_n , ce qui donne les points dans le plan de Mohr (cf. figure IV.16).

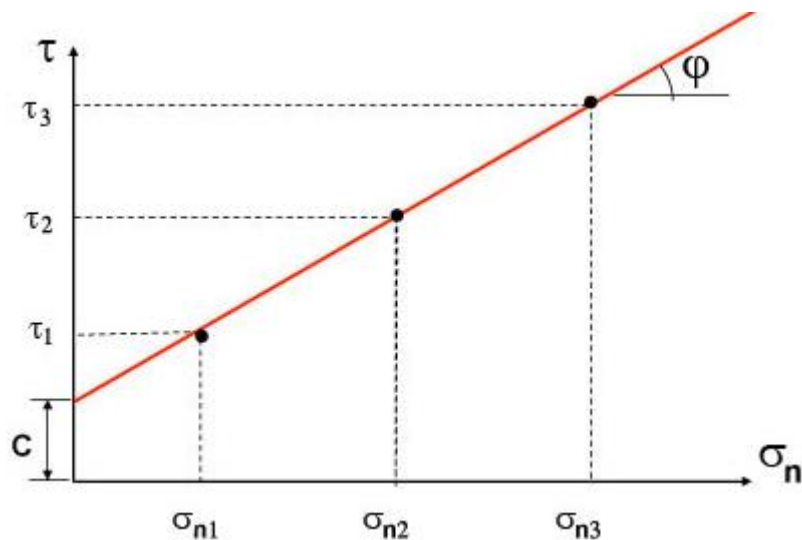


Figure IV. 16 : Résultats d'un essai de cisaillement direct dans le plan de Mohr Coulomb

5.2.5. Déroulement d'essai :

L'échantillon a été placé dans le bâti dans les conditions drainé et consolidé. Quatre essais à la boîte de Casagrande ont été effectués avec différentes forces N verticales au sommet de l'éprouvette qui crée une contrainte normale sur le plan horizontal de l'éprouvette (100 KN ; 200 KN ; 300KN ; 400 KN). La vitesse de déplacement horizontal de la demi-boîte inférieure a été fixée à 0.1 mm/mn.

5.2.6. Résultats:

Les résultats des essais de cisaillement direct effectués sont regroupés dans le tableau IV.7 ci-dessous

Essai n°	Type d'échantillon	Dimension de l'échantillon (mm)	Charge normale (N)	Contrainte normal (kPa)	Charge de cisaillement (N)	Contrainte de cisaillement (kPa)	Charge de cis résiduelle (N)	Contrainte résiduelle (kPa)
1	Carrée	59	100.0	28.7	219.61	63.09	201.92	60
2	Carrée	60	200.0	55.6	260.46	72.35	224.28	69.82
3	Carrée	60	300.0	83.3	281.09	78.08	263.25	73.13
4	Carrée	60	400.0	111.1	319.0	88.61	301.68	81.15

Tableau IV.7 : Résultats de l'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande.

La courbe de cisaillement enregistrée pendant l'essai sous différentes valeurs de contraintes normales (σ_n) est donnée dans la figure IV.17 ci-après.

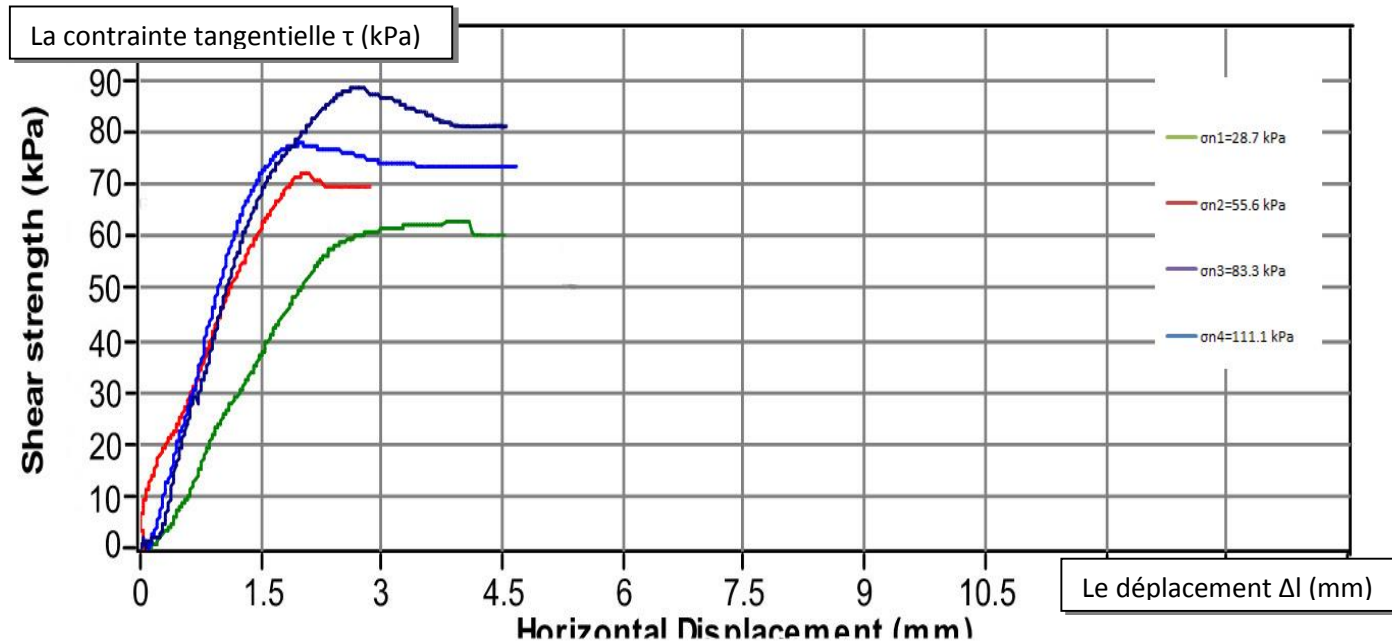


Figure IV.17 : Courbe de cisaillement de la diatomite de Sig

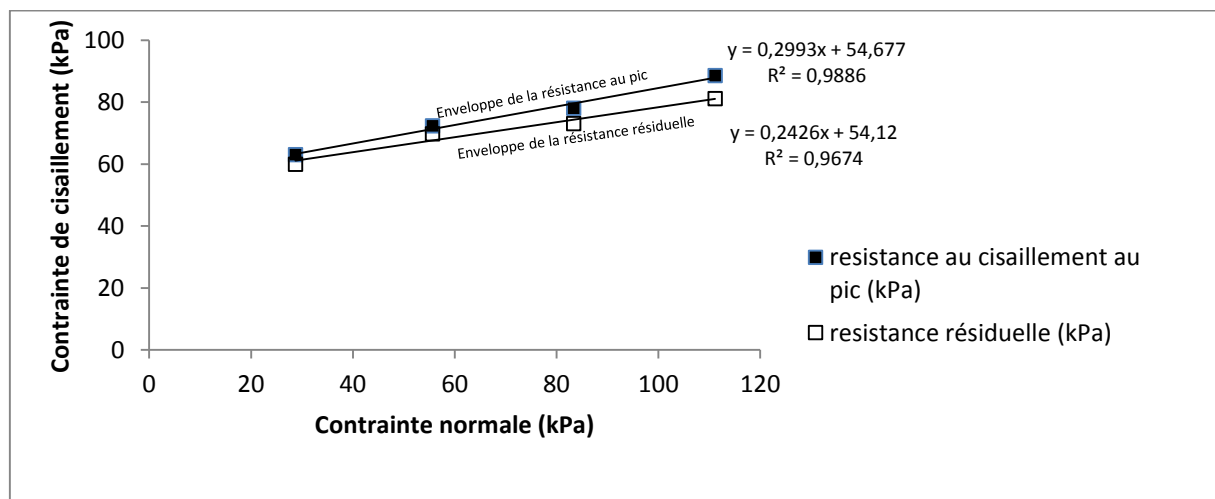


Figure IV. 18: Enveloppe de Mohr Coulomb de la résistance au pic et résiduelle de la diatomite de Sig.

La construction des couples de points ($\tau=f(\sigma_n)$) dans le plan de Mohr-Coulomb que ce soit en valeur maximale ou au pic (rupture) ou en résiduelle (post rupture) nous donne la courbe enveloppe de la résistance au cisaillement direct et qui est illustrée en figure IV.18.

Discussion :

Les courbes illustrées dans la figure IV.17 de l'évolution de la contrainte de cisaillement τ en fonction de la déformation horizontale Δl , montrent un comportement typique de roche tendre dans un cisaillement direct. En effet, à faible charge verticale $\sigma_n=28.7$ kPa, le matériau a tendance à montrer une résistance au pic faible pas très net à une déformation horizontale près de 4 mm et avec un palier en post rupture (résiduel) monotone. Par contre si l'on augmente la

contrainte verticale σ_n , le pic de la résistance au cisaillement devient plus évident et bien clair avec un palier en post rupture facilement identifiable aussi. Plus la contrainte verticale est importante plus la valeur de la résistance au cisaillement au pic est importante.

En traçant la courbe intrinsèque ($\tau=f(\sigma_n)$) ou dite aussi enveloppe de résistance au cisaillement (cf. figure IV.18) dans le plan de Mohr coulomb ($\tau = \sigma_n \cdot \tan\varphi + c$), Celle ci permet de déterminer les caractéristiques mécaniques à la rupture par cisaillement (cohésion c et angle de frottement Φ). Nous obtenons une courbe de tendance linéaire avec un très bon coefficient de corrélation (près de 1) pour les deux cas de figures (au pic et résiduelle).

- L'enveloppe de rupture par cisaillement dans le cas "au pic" s'écrit:

$$Y = 0.2993x + 54.67$$

Ce qui permet de déduire les caractéristiques à la rupture: $c = 54.67$ kPa et $\varphi = 16.7^\circ$

- L'enveloppe de rupture par cisaillement dans le cas résiduel s'écrit:

$$Y = 0.226x + 54.12$$

Ce qui permet de déduire les caractéristiques résiduelles: $c_r = 54.12$ kPa et $\varphi_r = 13.6^\circ$

A titre de comparaison nous donnons ci dessous une figure illustrant un essai de cisaillement direct (figure IV.19) réalisé par (Zhang et al, 2013) sur une terre de diatomées de Tengchong (Chine) ainsi que les valeurs de cohésion et angle de frottement obtenus pour cette diatomite.

Tableau IV.8: Propriétés mécaniques de la terre de diatomées de (Tengchong, Chine) (Zhang & al, 2013).

Sample no.	Uniaxial compressive strength/MPa	Saturated uniaxial compressive strength/MPa	Softening coefficient	Quick shear strength		Slow shear strength		Residual strength		Triaxial consolidated drained strength	
				c /kPa	$\varphi/^\circ$	c_d /kPa	$\varphi_d/^\circ$	c_r /kPa	$\varphi_r/^\circ$	c /kPa	$\varphi/^\circ$
G02-1	1.09	0.84	0.77	210.0	30.0	29.4	21.6	22.5	12.4		
G04-2	2.11			95.0	23.5	58.9	23.4	5.8	12.3	155.2	26.1
G05-1	1.36	0.80	0.59	177.0	31.5	61.5	25.9	16.9	11.8	409.8	22.7
G06	0.40	0.34	0.84	69.0	29.5	79.8	21.6	45.9	17.9		

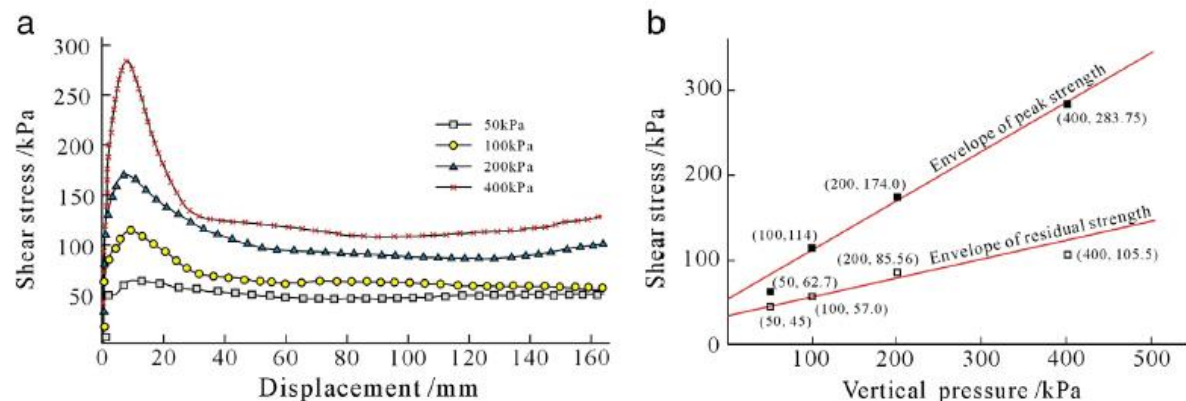


Figure IV.19: Résultats d'un essai de cisaillement direct sur la terre de diatomées remaniée de Tengchong (Chine); (Zhang & al, 2013).

5.3. Essai œdométrique :

5.3.1. Introduction :

Le terme « œdomètre » désigne l'appareil servant à réaliser des essais de compressibilité en laboratoire. Par cet essai, nous allons déterminer le comportement de la diatomite soumise à une augmentation de la contrainte verticale. Ceci nous permettra de déterminer les courbes de compressibilités et ainsi en déduire le tassement d'un massif de diatomite sous l'effet d'une charge quelconque.

Ce test de compressibilité par paliers est depuis de nombreuses années reconnu comme l'essai œdométrique de référence.

Dans les œdomètres, l'enceinte cylindrique rigide qui entoure l'éprouvette de forme cylindrique (cellule œdométrique cf. figure IV.20) interdit toute dilatation radiale, de sorte que les déformations qui se produisent lorsque l'on exerce une pression sur le piston sont uniquement verticales (ou axiales). Ce mode de déformation "unidimensionnel" a acquis en mécanique des sols une grande importance pratique et, dans le langage courant, l'adjectif "œdométrique" a pris le double sens de "relatif aux œdomètres" et de "à déformation latérale nulle".

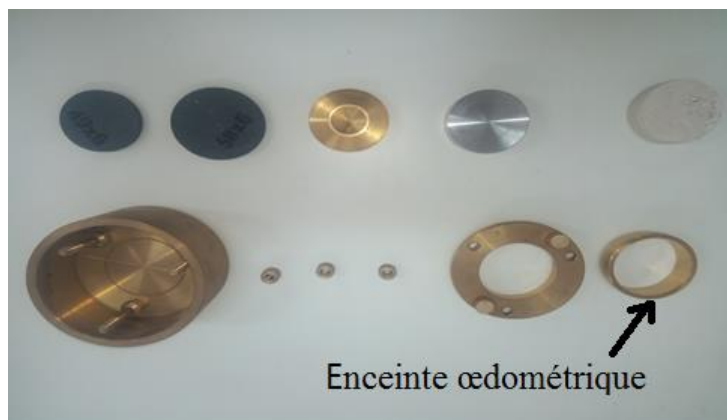


Figure IV. 20 : Une cellule œdométrique.

5.3.2. Définition :

Contrainte de chargement σ : Contrainte moyenne totale σ obtenue en divisant l'effort axial N par l'aire de la section transversale de l'éprouvette cylindrique, identique à celle du moule de l'œdomètre.

Déformation axiale $\Delta H/H$: Déformation qui se produit lorsqu'une contrainte axiale σ est appliquée à une éprouvette de matériaux fretté latéralement.

Courbe œdométrique : Représentation du diagramme donnant l'indice des vides (e) de l'éprouvette soumise à essai à la fin de chaque palier de consolidation, en fonction de la contrainte effective (σ'_v), égale à la contrainte totale (σ_v) qui lui est appliquée en début d'essai. La durée du palier telle que la pression interstitielle est nulle dans l'éprouvette à la fin de la consolidation. Une représentation dans un système de coordonnées semi-logarithmique est généralement choisie : $e = f(\log \sigma'_v)$.

Courbe de consolidation : Variation de la hauteur (tassement) s de l'éprouvette en fonction du temps t sous l'effet d'une contrainte appliquée au début de l'essai σ_v et maintenue constante. Les représentations choisies sont soit s en fonction du temps soit s en fonction de la racine carrée du temps.

5.3.3. But de l'essai :

La manipulation a pour but de déterminer les caractéristiques de compressibilité d'un sol matériau qui permettent d'estimer le tassement d'un massif soumis à une charge. Ces paramètres sont :

- L'indice des vides initial de l'éprouvette.
- La contrainte effective verticale de consolidation σ_p' .
- L'indice de vide actuel et in situ.
- L'indice de compression (chargement, courbe vierge).
- L'indice de gonflement (décharge).

5.3.4. Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériau placée dans une enceinte cylindrique rigide (œdomètre), un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai (cf. figure IV.21).

La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge. La norme utilisée lors de l'essai œdométrique est NF P 94-090-1.

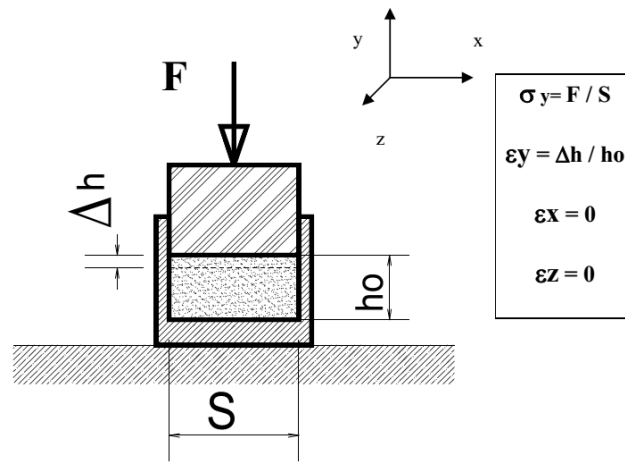


Figure IV. 21 : Principe de l'essai œdométrique

5.3.5. Matériel de l'essai:

- appareil spécifique de l'essai à œdomètre comprend (cf. figure IV.22) :
 - Le bâti permettant l'application des contraintes- La cellule œdométrique- Le dispositif d'application de la charge.
 - Le système de mesurage.

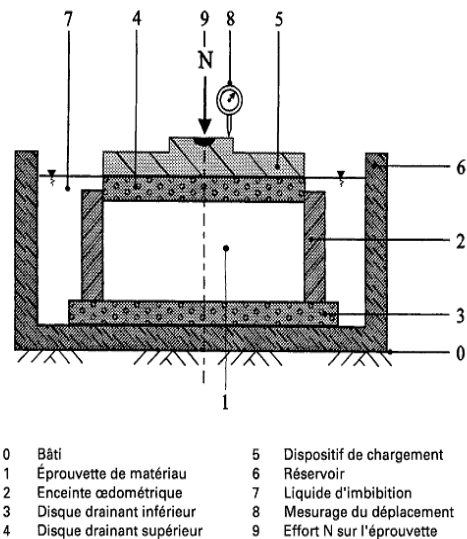


Figure IV. 22 : Un œdomètre

La réalisation de l'essai nécessite en outre l'appareillage courant pour la préparation des éprouvettes et la détermination des teneurs en eau et des masses volumiques des échantillons notamment. Pour cela il faut :

- Une balance compatible
- Une enceinte thermique ou une étuve de dessiccation à température globale de 50 °C à 105 °C.
- Des outils nécessaires au découpage et à la préparation des éprouvettes
- Un chronomètre

5.3.6. Mode opératoire :

a. Préparation de l'éprouvette

L'éprouvette est taillée avec soins aux dimensions de l'enceinte œdométrique dans laquelle elle est introduite. Elle est arasée sur les deux faces parallèles de l'enceinte puis pesée.

La forme de cette éprouvette est cylindrique avec les dimensions:

R (rayon) = 50 mm et H (hauteur) = 20 mm (cf. figure IV.23).

Cette enceinte cylindrique empêche toutes déformations latérales lors d'un chargement par palier. On suppose donc que dans le matériau, les déformations horizontales sont nulles.



Figure IV. 23 : Un échantillon préparé pour l'essai œdométrique

b. Déroulement de l'essai

L'éprouvette est déposée dans un cylindre métallique indéformable entre deux pierres poreuses destinées à permettre la consolidation du ~~sol~~ matériau par dissipation des pressions interstitielles.

La pression est exercée par un piston mobile sollicitée par un système de mise en charge. Celle-ci s'exerce par paliers en progression géométrique. Pour chaque charge on mesure le tassement en fonction du temps. Puis lorsqu'on a atteint la stabilisation du piston, on mesure l'enfoncement au tassement final correspondant.

Ensuite on effectue le cycle de déchargement suivant le même processus. On démonte puis on pèse immédiatement l'éprouvette. On détermine sa teneur en eau.

5.3.7. Calculs élémentaires

Le meilleur moyen pour suivre les différents calculs, consiste à examiner la feuille de résultats qui accompagne le mode opératoire. Quelques indications seulement seront données dans nos calculs.

La hauteur de solide équivalente ou hauteur des pleins est constante au cours de l'essai :

$$H_p = \frac{W_s}{\gamma_s * S}$$

Avec :

W_s = poids sec du solide, obtenu par pesée de l'éprouvette après passage à l'étuve.

γ_s = poids spécifique des grains solides, pris égal à 2.65 kN/m^3

S = section de l'échantillon

Soit H , la hauteur de l'éprouvette à un moment donné. L'indice des vides est alors :

$$e = \frac{H - H_p}{H_p}$$

Courbe de compressibilité :

La courbe de compressibilité est la courbe $e = f(\log \sigma_n')$, e étant l'indice des vides de l'échantillon correspondant à la pression effective σ_n' .

Indice de compression :

La courbe $e = f(\log \sigma_n')$ présente le plus souvent une partie droite horizontale suivie d'une partie courbe, puis à nouveau d'une partie généralement droite et inclinée.

Par définition, l'indice de compression C_c est la pente de cette droite inclinée.

Indice de décompression :

De même, par définition, l'indice de décompression C_g sera la pente estimée de la courbe de décompression.

Pression de pré consolidation :

La pression de pré consolidation σ'_c est la plus grande pression effective à laquelle a été soumis l'échantillon au cours de son histoire.

σ'_c est estimée de la manière suivante :

- Une valeur minimale $\sigma'_{c \min}$ est obtenue en prenant la valeur de la pression correspondant à l'intersection de l'horizontale passant par e_0 et de la partie droite la plus inclinée.
- Une valeur maximale $\sigma'_{c \max}$ correspond au point séparant la partie courbe de la partie droite inclinée.
- La pression de pré consolidation σ'_c se trouve à l'intérieur de cette plage.
- Enfin, une valeur probable de σ'_c est obtenue avec la construction dite de Casagrande. Du point de courbure maximale de la courbe $e = f(\log \sigma'_n)$, on trace la bissectrice de l'angle formé par la tangente à la courbe et l'horizontale. Cette bissectrice coupe la partie droite de la courbe en un point où la pression est σ'_c (cf. Figure IV. 24).

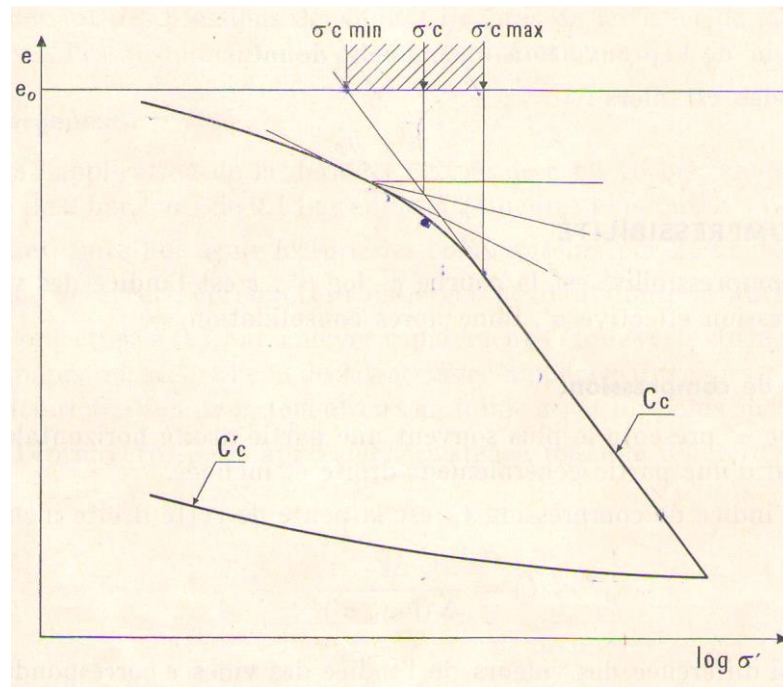


Figure IV. 24 : Courbe de compressibilité et construction de σ'_c

5.3.8. Résultats et interprétation:

En suivant scrupuleusement la procédure de l'essai décrite précédemment nous obtenons les valeurs du calcul élémentaire (cf. figure IV.8) comme défini au-dessus.

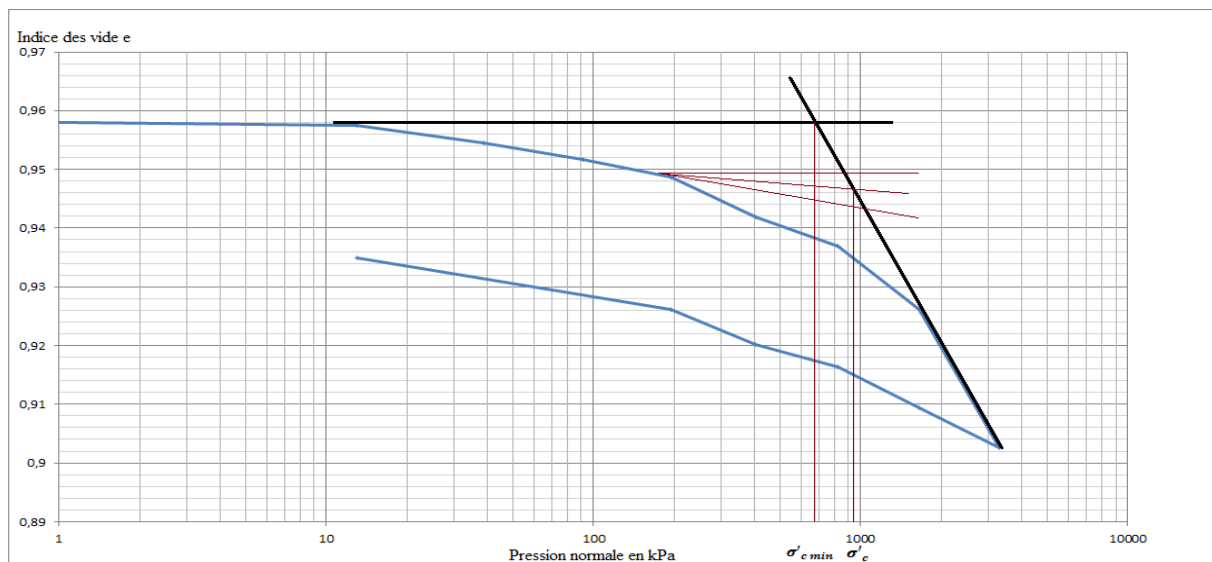
Tableau IV.8 : Calculs élémentaires pour l'essai œdométrique

Section de l'échantillon (m²)	0,001923446
poids de l'échantillon humide (N)	0,705
poids de l'échantillon sec (N)	0,52
γ_s (KN/m³)	26500
Hp (m)	0,010201814

Les résultats enregistrés durant l'essai œdométriques sont donnés dans le tableau IV.9 et repris sous forme graphique en figure IV.25.

Tableau IV.9: Indice des vides en fonction de la charge appliqué sur l'échantillon

Indice de vide e	Charge σ (kPa)
0,958083078	0
0,957494948	12,99750383
0,954554294	38,99251149
0,951613641	90,98252681
0,948672987	194,9625574
0,941811463	402,9226187
0,936910374	818,8427413
0,926127978	1650,682986
0,902602751	3314,363476
0,909464275	1650,682986
0,9163258	818,8427413
0,920246671	402,9226187
0,926127978	194,9625574
0,934949938	12,9975

**Figure IV.24 :** La courbe de compressibilité de la diatomite de Sig.

Après avoir tracé la courbe d'indice des vides en fonction du logarithme de la charge, et en se référant à cette dernière, on détermine la contrainte effective verticale de consolidation σ'_c (selon la méthode de Casagrande). Tout d'abord, on se place sur le point de la courbe où la

courbure est maximale, et on trace l'horizontale et la tangente passant par ce point. On construit leur bissectrice. On trace aussi la tangente au point de la courbe correspondant à la charge de 3400 kPa. L'abscisse du point d'intersection entre cette dernière tangente et la bissectrice est $\log(\sigma'_c)$

$$\sigma'_c = 950 \text{ kPa}$$

$$C_c = 0,078 \quad C_c = -\frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \text{ pendant la phase de compression.}$$

$0,05 < C_c < 0,1$ donc la diatomite est peu compressible.

$$C_g = 0,0075 \quad C_g = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \text{ pendant la charge de décompression.}$$

La charge actuellement appliquée sur la couche de diatomite N°3 d'après le sondage 9 réalisé par la SONAREM (la zone de prélèvement de l'échantillon étudié):

Tableau IV.10: Calcul de la charge de terrain au-dessus de la couche N°3 de kieselguhrs

Matériaux	Poids volumique (kN/m³)	Epaisseur de la couche (m)	Contrainte appliqué par la couche (kPa)
Alluvions	14.7	2	29.4
Calcaire	26	18	468
Argile	17	13.7	232.9
Marnes	19	1.3	24.7
Kieselguhrs (couche 1)	9.5	0.3	2.85
Marnes	19	3.5	66.5
Kieselguhrs (couche 2)	9.5	2.4	22.8
Marnes	19	0.3	5.7
Kieselguhrs (couche 3)	9.5	2.9	-
La charge totale appliqué sur la couche de diatomite N°3 par le terrai au-dessus.			852.85

$$\sigma_n = \gamma * h$$

$$\sigma_n = 852.85 \text{ kPa}$$

$\sigma'_c > \sigma_n$: La diatomite est surconsolidée. Elle a été soumise dans le passé à une pression de préconsolidation supérieure au poids des couches supérieures maintenant présentes sur le terrain.

5.4 Conclusion :

Les essais de caractérisation en laboratoire de la diatomite de Sig ont été effectués principalement sur des éprouvettes cylindriques de 54.7mm de diamètre mis à part ceux de l'essai de cisaillement qui a nécessité des éprouvettes carrées de 60mm.

La détermination des propriétés physiques comme la teneur en eau a montré que celle ci est importante ($w=54\%$). Le poids volumique des grains solides est de l'ordre de 26.5 kN/m^3 . L'indice des vides calculé est de 3.41 ce qui correspond à une porosité de l'ordre de 77%. Cela démontre que la diatomite est une roche très poreuse ce qui lui procure une grande perméabilité à l'eau comme l'a prouvé l'essai de perméabilité (0.23 darcy).

En ce qui concerne les propriétés mécaniques de la diatomite celles ci ont permis de mettre en évidence certaines caractéristiques typiques des roches tendres et friables comme la faible valeur de la résistance à la compression uniaxiale ainsi que les paramètres d'élasticité ($E=2510 \text{ MPa}$ et $\nu=0.23$).

Les essais de cisaillement direct ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des diatomites à travers les enveloppes de rupture tracées dans le plan de Mohr-Coulomb.

Les caractéristiques mécaniques au pic sont: : $C = 54.67 \text{ kPa}$ et $\varphi = 16.7^\circ$.

Les caractéristiques mécaniques résiduelles sont: $C_r = 54.12 \text{ kPa}$ et $\varphi_r = 13.6^\circ$

L'essai de compressibilité à l'oedomètre a montré que la diatomite est peu compressible. La pression de préconsolidation est légèrement supérieure à la contrainte verticale in situ (γh) ce qui permet de dire que la diatomite est légèrement surconsolidée.

CONCLUSION GENERALE

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse biogénique, constituée entièrement ou essentiellement de squelettes, ou frustules, de diatomées fossilisés. Les diatomées sont des algues unicellulaires aquatiques, qui se sont développées, principalement depuis le Crétacé terminal, dans des eaux douces, saumâtres et salées.

Les principales propriétés des produits diatomitiques (inertie chimique ; faible densité apparente, porosité, surface spécifique et capacité d'absorption des liquides élevées, pouzzolanité,...) sont liées à leurs caractéristiques fondamentales : composition chimique et structure. Elles sont principalement utilisées comme adjuvants pour la filtration de liquides divers, notamment alimentaires (bière, vin, glucose, ...), également en tant que charges, absorbants et produits isolants et réfractaires.

Le gisement de Kieselguhr de TAHALAIT (Sig), en exploitation jusqu'à l'heure actuelle par l'entreprise minière ENOF est situé à 15 km au sud-est de la ville de Sig, wilaya de Mascara (Ouest-algérien). Il constitue l'un des dépôts majeurs de la sédimentation messinienne du bassin du Bas Chélif. Le niveau à Kieselguhr contient sept couches de cette substance utile. Cependant, seule la troisième couche (à partir du haut) est présentement exploitée, eu égard à son épaisseur importante et à sa teneur élevée en SiO_2 . Cette couche montre une épaisseur moyenne de 2,1 mètres. Elle peut être subdivisée en deux parties distinctes. La partie massive, d'une épaisseur moyenne de 1,3 mètre est plus pure. La partie litée, d'une épaisseur moyenne de 0,8 mètre, contient de minces interlits de marnes et possède conséquemment une teneur en chaux plus élevée (teneur moyenne de 9,6 % en CaO).

La mine de kieselguhr de Sig, a une capacité limitée de production à cause de sa simplicité en termes de mécanisation (exploitation artisanale). Pour augmenter ses capacités, l'entreprise doit faire une étude rigoureuse de la caractérisation du minerai vu l'aspect géologique diversifié du gisement (2 types de diatomites: massive et litée), dans lequel notre mémoire a essayé d'apporter quelques réponses sur le comportement au laboratoire de ce matériau complexe. Cette étude a eu pour objectif de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques de la diatomite, nécessaires à une meilleure connaissance du matériau dans la perspective d'une étude de stabilité de la mine (dimensionnement des piliers résiduels) et la maîtrise de la conduite des travaux de mécanisation de l'exploitation à l'intérieur de la mine.

Une campagne de reconnaissance sur terrain a été réalisée pour prendre connaissance des conditions géologiques du gisement de diatomite et la collecte d'échantillons nécessaire à la caractérisation au laboratoire de ces diatomites. Le travail expérimental au laboratoire de l'ENSMM a été réalisé pour la détermination d'abord des différents paramètres physiques tels que la teneur en eau à l'état naturel, la masse volumique, la porosité et la perméabilité. Ensuite, les paramètres mécaniques par des essais, œdométriques, résistances à la compression uniaxiale et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Cette caractérisation est essentielle pour toute étude de stabilité des piliers de cette mine et qui touche directement au développement des capacités de production à travers le recours à la mécanisation de la mine.

Les principaux résultats que l'on peut tirer de cette étude sont:

- La porosité de la diatomite de Sig calculé au laboratoire de l'ENSMM (0.6) est similaire à celle de la diatomite de la France qui vaut 0.75.
- Le poids volumique du kieselguhr dans le monde varie de 5 à 13 kN/m³ de l'état sec à l'état saturé. D'après les résultats de notre étude, le poids volumique de la diatomite de Sig sec et saturé est du même ordre que les gisements exploités en France.
- La perméabilité de la diatomite massive de sig est de 0.23 darcy, donc elle est très perméable par rapport à d'autre matériaux Elle est moyennement perméable par rapport à la diatomite de la France (0.068-0.53 Darcy) (voir Annexe).
- La résistance à la compression uniaxiale de la diatomite de l'Algérie est de 8MPa. Elle est anormalement grande et plus grande par rapport à la résistance à la compression de la diatomite de la chine qui est de l'ordre de 1 MPa (Zhang, 2013)).
- Les essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande ont fourni des courbes d'évolution de la contrainte de cisaillement $\tau = f(\Delta l)$ qui montrent un comportement typique de roche tendre. En effet, à faible charge verticale $\sigma_n = 28.7$ kPa, le matériau a tendance à montrer une résistance au pic faible pas très net à une déformation horizontale près de 4 mm et avec un palier en post rupture (résiduel) monotone. Par contre si l'on augmente la contrainte verticale σ_n , le pic de la résistance au cisaillement devient plus évident et bien clair avec un palier en post rupture facilement identifiable aussi. Plus la contrainte verticale est importante plus la valeur de la résistance au cisaillement au pic est importante.
- En traçant la courbe enveloppe de résistance au cisaillement ($\tau = \sigma_n \cdot \tan\phi + c$), Celle ci a permis de déterminer les caractéristiques mécaniques à la rupture par cisaillement (cohésion c et angle de frottement Φ). Nous obtenons une courbe de tendance linéaire

avec un très bon coefficient de corrélation (près de 1) pour les deux cas de figures (au pic et résiduelle).

- L'enveloppe de rupture par cisaillement dans le cas "au pic" nous donne les caractéristiques à la rupture: $C = 54.67$ kPa et $\varphi = 16.7^\circ$
- L'enveloppe de rupture par cisaillement dans le cas résiduel nous donne les caractéristiques résiduelles: $C_r = 54.12$ kPa et $\varphi_r = 13.6^\circ$

A titre comparatif, les diatomites de Sig ont des caractéristiques mécaniques similaires à celles de la terre de diatomées de Tengchong (Chine) (Zhang, 2013).

- La diatomite est légèrement surconsolidée, si l'on compare pression de préconsolidation à la charge verticale γh que le terrain a subi dans le passé géologique.

PERSPECTIVES:

Les études réalisées précédemment ont privilégié la recherche et l'étude des différents niveaux de diatomite. Il est impossible de développer une stratégie pour l'excavation minérale sans une carte topographique détaillée avec des informations actualisées des sondages. Il est nécessaire de faire une étude de reconnaissance détaillée en réalisant de nouveaux sondages dans les zones vierges pour entamer une étude de faisabilité d'une exploitation à ciel ouvert afin d'améliorer, de développer, et d'atteindre les objectifs visés par l'entreprise.

La mécanisation des outils d'abattage et de transport est nécessaire afin d'améliorer les conditions de travail dans la mine de TAHALAIT. Cette mécanisation aidera l'abatteur minier dans un premier lieu et l'entreprise minière en général.

Un développement réel de l'unité d'exploitation de la diatomite de Sig (ENOF), est conditionné par l'amélioration des paramètres techniques et économiques de la mine et qui nécessite le déploiement de grandes ressources humaines, matérielles et financières. Cette étude technico-économique constitue une action qui débouchera certainement vers une meilleure maîtrise de l'exploitation et le développement des capacités de production installées.

Ce thème est aussi important du fait qu'il offre, des perspectives, de recherche, qui tendent vers la diversification des produits en terme du secteur d'utilisation et leur intégration dans les différents processus de fabrication qui satisfont aux exigences de la clientèle. Enfin, connaître les caractéristiques techniques de la diatomite nous permettra de rationaliser techniquement l'exploitation du gisement avec le maximum de sécurité et de rentabilité.

C'est ainsi qu'une étude en master est prévue pour l'étude de la stabilité des piliers de la mine en intégrant les données de laboratoire pour juger numériquement (Analyse par éléments finis) de la résistance des piliers résiduels.

Une étude en master sera également entamée sur l'utilisation de la diatomite de Sig pour la fabrication de ciment de qualité en exploitant leurs caractéristiques physique (porosité, perméabilité, etc.) en vue d'améliorer la qualité du ciment et étudier la possibilité d'intégrer ce matériau dans l'industrie de fabrication du ciment portland en Algérie.

BIBLIOGRAPHIE

NÉGROUNJ groupe Imerys (2007). Fiche détaillées diatomites.

Ph. Rocher Mémento roches et minéraux industriels Diatomite 1995.

M. DELFAU MÉMENTO SUBSTANCES UTILES (MATERIAUX DE CARRIÈRE) DIATOMITE
1 ère édition : Décembre 1979.

KAPOROV L.V Rapport de calcul des réserves du gisement de TAHALAIT fait par le département de recherche EREM de Sidi bel Abbes le 30 juin 1979.

MEGUEDAD M. (2004) les diatomites messiniennes du bassin du bas Chélif : cartographie et un exemple d'exploitation mémoire, Présenté pour l'obtention du grade d'ingénieur Ingéniorat d'état en Géologie, Oran.

Normalisation française XP P 94-090-1 Décembre 1997 Essai œdométrique. Partie 1: Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers.

ARVOR Géotechnique, Ingénierie des sols et des fondations, Fiche MPL-FT-10 Indice A du 29.01.11

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSES Essais de laboratoire et en place de mécanique des sols, aide-mémoire, juin 1973.

Noureddine CHEGHOU Problèmes résolus en Mécanique des Sols Vol 1, 2007.

JACQUES Léraug 2005-2006. Géotechnique 1 cours- chapitres 1, Institut National des sciences appliquées Toulouse, Département de science et technologies pour l'ingénieur

JACQUES Léraug 2005-2006. Géotechnique 1 cours-chapitres 4, Institut National des sciences appliquées Toulouse, Département de science et technologies pour l'ingénieur.

YONGSHUANG Zhang ,CHANGBAO Guo , XIN Yao , YONGXIN Qu , NENGJUAN Zhou
2013 Engineering geological characterization of clayey diatomaceous earth deposits encountered in highway projects in the Tengchong region, Yunnan, China.

GEOFIELD SRL, Décembre 2015 Etude de faisabilité technique et économique détaillée de la variante retenue: DIATOMEES DE SIG.

Site web :

<https://www.statista.com/statistics/264935/global-diatomite-production/>

<http://www.cosmovisions.com/diatomees.html>

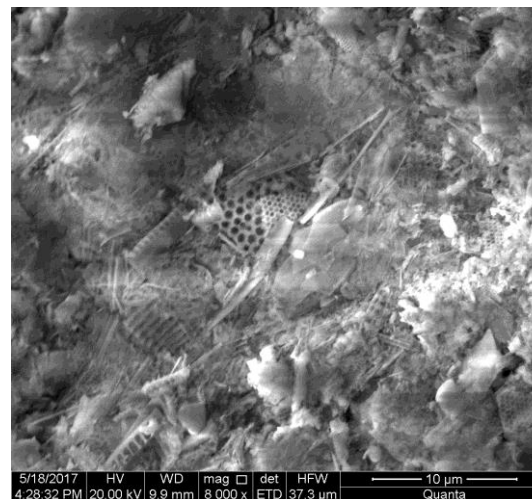
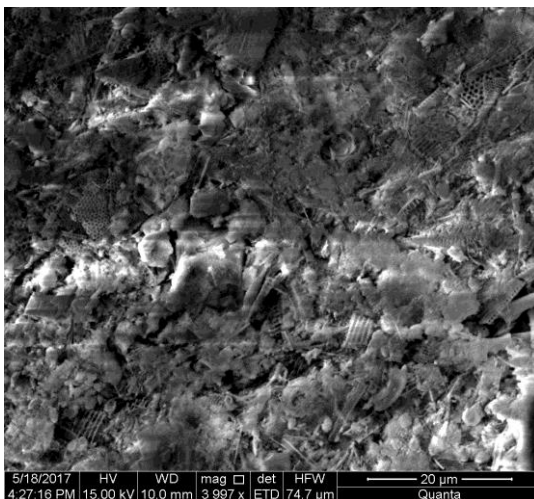
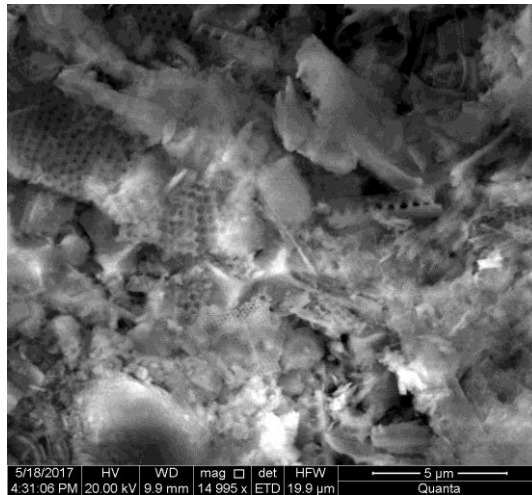
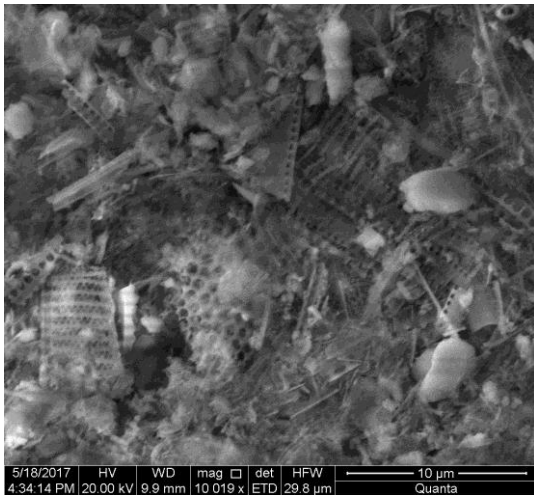
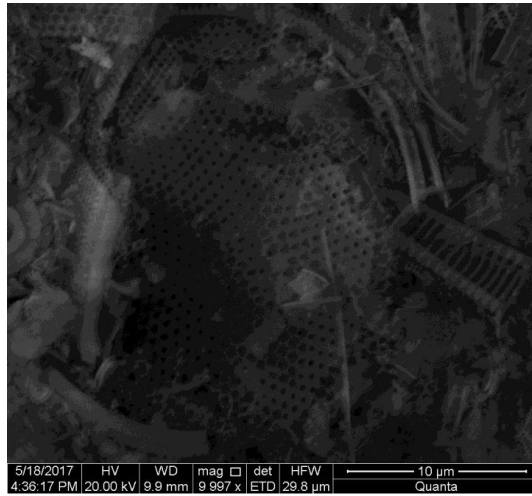
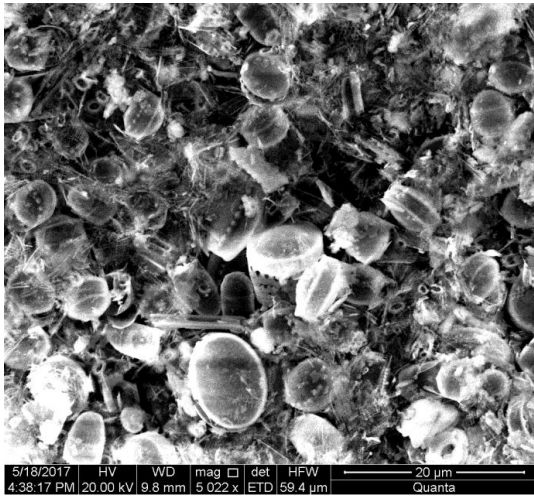
http://www.universalis.fr/encyclopedie/diatomees/#i_39956

http://tice.inpl-nancy.fr/modules/sciences_techniques/Proprietes-MecaSols/chap9/casagrande.html

http://tice.inpl-nancy.fr/modules/sciences_techniques/Proprietes-Meca-Sols/chap9/casagrande.html

<http://www.plancton-du-monde.org/decouvrir-le-plancton/le-phytoplancton/les-diatomées/>

ANNEXE N° 01



ANNEXE N° 02

ANNEXE N° 02

Indice	Unité	Définition
ρ_s	Kg/m^3	Masse volumique des particules solides Quotient de la masse des particules solides par leur volume
γ_s	kN/m^3	Poids volumique des particules solides Quotient du poids des particules solides par leur volume
ρ_w	Kg/m^3	Masse volumique de l'eau
γ_w	Kg/m^3	Poids volumique de l'eau
ρ	Kg/m^3	Masse volumique du sol Quotient de la masse totale du sol par son volume
γ	Kg/m^3	Poids volumique du sol Quotient du poids total du sol par son volume
ρ_d	kN/m^3	Masse volumique du sol sec Quotient du poids des particules solides par le volume total de sol
ρ_{sat}	kN/m^3	Masse volumique du sol saturé Quotient de la masse totale du sol complètement saturé par son volume total
γ_{sat}	kN/m^3	Poids volumique du sol saturé Quotient du poids total du sol complètement saturé par son volume total
ρ'	Kg/m^3	Masse volumique du sol déjaugé Différence entre la masse volumique du sol saturé et la masse volumique de l'eau
γ'	kN/m^3	Poids volumique du sol déjaugé Différence entre le poids volumique du sol saturé et la masse volumique de l'eau

Indices des vides		
e	%	Rapport entre le volume des vides et le volume des particules solides
Porosité		
n	%	Rapport entre le volume des vides et le volume total des vides
Teneur en eau		
w	%	Rapport entre le poids de l'eau interstitielle et le poids des grains solides
Degré de saturation		
S_r	%	Rapport entre le volume de l'eau interstitielle et le volume des vides.

ANNEXE N° 03

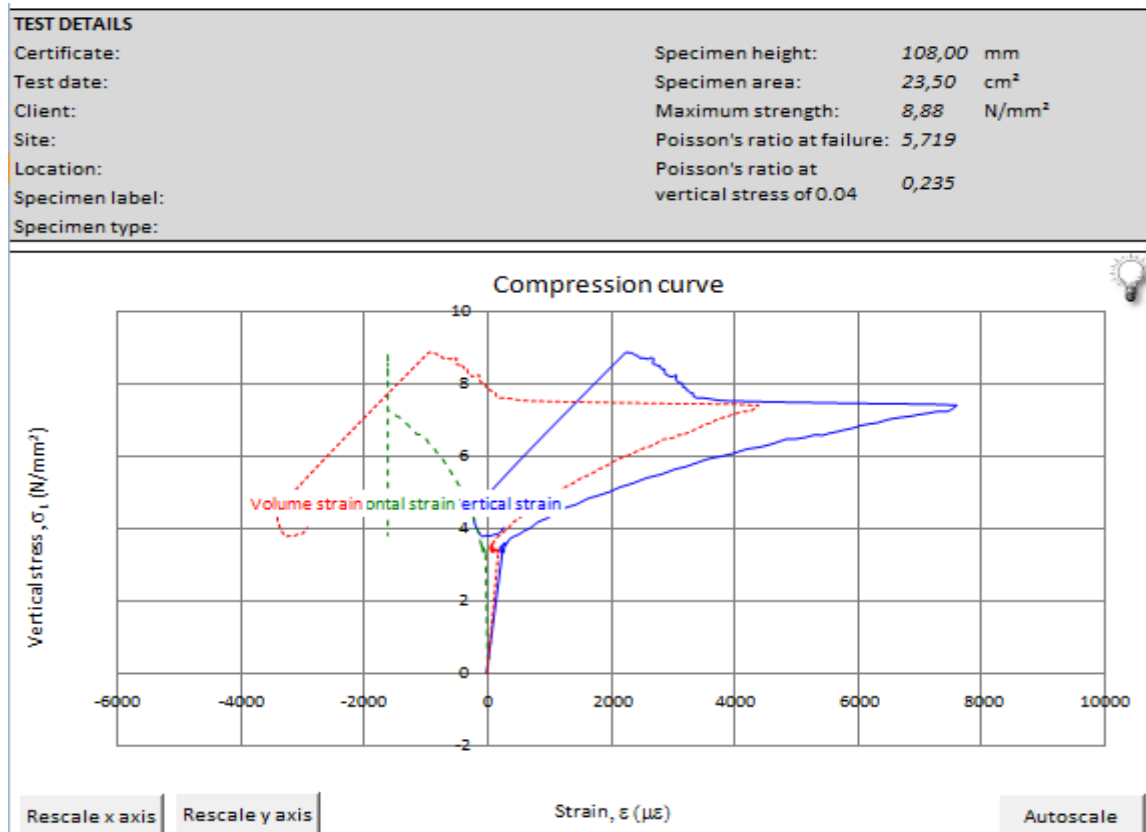


Les éprouvettes de diatomite avant l'essai uniaxial.

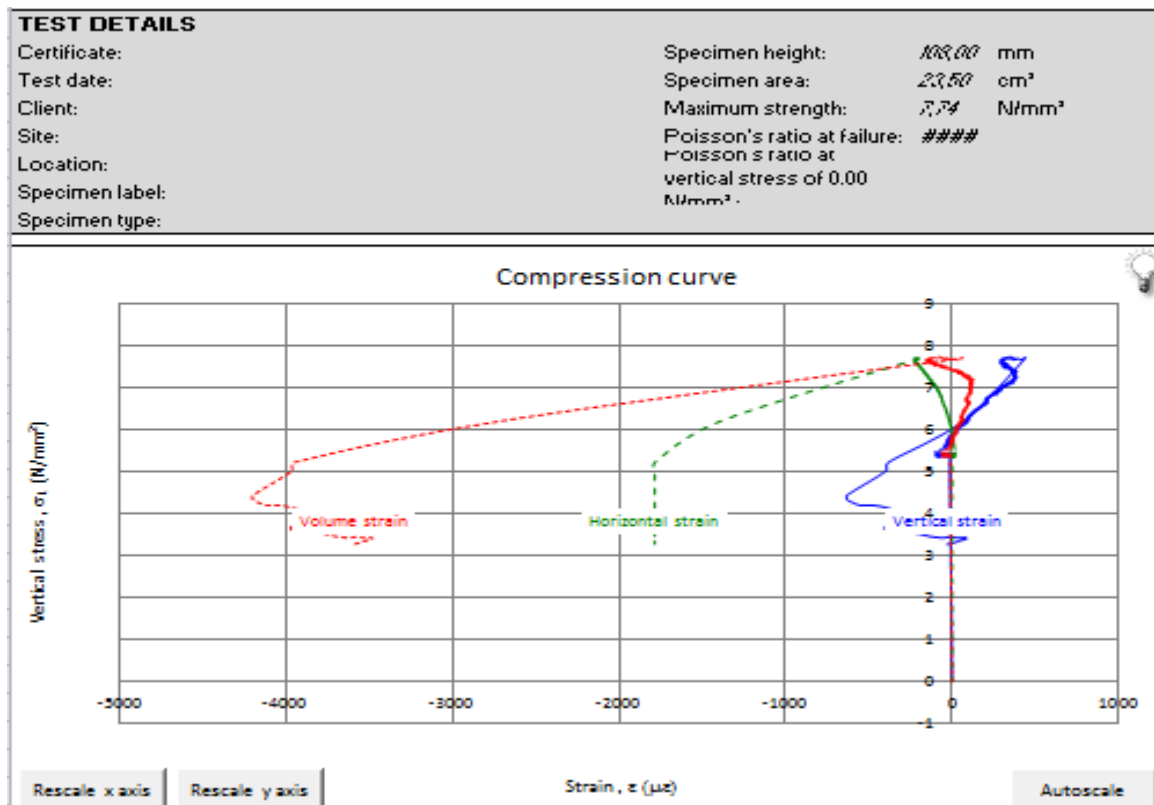


Les éprouvettes de diatomite après l'essai uniaxial

ANNEXE N°04



Essai de compression uniaxiale 1



Essai de compression uniaxiale 2 (détachement des jauges)

ANNEXE N° 05

Type de produit	Refus à 150 mesh (%)	Diamètre moyen des pores (µm)	Perméabilité (darcy)	Humidité (%)	pH
Naturel	1-2	1,5-2,5	0,057-0,062	1-3	7,0-8,0
Calciné	2-7	2,5-5,0	0,068-0,53	0,5-1,0	7,0
Activé	6-40	7-22	1,2-30	0,1	10,0

Perméabilité de la diatomite de la France