

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



Département Génie Minier  
Mémoire de projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

**Modélisation et évaluation des réserves géologiques du  
gisement de diatomite de Sig, Mascara.**

Réalisé par :

ABDELSADOK Yemna  
BOUHENNA Amira

Sous la direction de :

Mr. BENKACI Djamel MAA

Présenté et soutenu publiquement le (10/09/2020)

**Composition du Jury :**

<b>Président</b>	M. CHANANE Larouci	Maitre –Assistant A	ENP
<b>Examineur</b>	M. MOUSSAOUI Elabas	Maitre –Assistant A	ENP
<b>Promoteur</b>	M. BENKACI Djamel	Maitre-Assistant A	ENP

ENP 2020





Département Génie Minier  
Mémoire de projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

**Modélisation et évaluation des réserves géologiques du  
gisement de diatomite de Sig, Mascara.**

Réalisé par :

ABDELSADOK Yemna  
BOUHENNA Amira

Sous la direction de :

Mr. BENKACI Djamel MAA

Présenté et soutenu publiquement le (10/09/2020)

**Composition du Jury :**

<b>Président</b>	M. CHANANE Larouci	Maitre –Assistant A	ENP
<b>Examineur</b>	M. MOUSSAOUI Elabas	Maitre –Assistant A	ENP
<b>Promoteur</b>	M. BENKACI Djamel	Maitre-Assistant A	ENP

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو نمذجة وتقدير احتياطيات الدياتومايت من وديعة سيج (معسكر) وتصنيف الاحتياطيات المحسوبة وفقاً لاستخدامها في الصناعة الجزائرية.

أولاً، تم إجراء دراسة ميدانية للتعرف على الظروف الجيولوجية لرواسب الدياتومايت وطريقة التعدين تحت الأرض المعروفة بالغرف وأعمدة التجويف المستخدمة، بالإضافة إلى عملية معالجة الدياتومايت.

ثانياً، تم إجراء دراسة إحصائية وجيواحصائية لفهم رواسب تاليت بشكل أفضل، وتشمل هذه الدراسة دراسة إحصائية وصفية، ثنائية المتغير، متعددة المتغيرات، متباينة الخواص ومتنوعة

وأخيراً، تم إجراء تقييم للاحتياطيات عن طريق الاستيفاء وطرق الإحصاء الجيواحصائي لتقديرها حسب معايير الصناعة.

كلمات مفتاحية: الدياتومايت، التقدير، الإقامة، التصنيف، مكن سيق

## Abstract

The objective of this work is to model and estimate the diatomite reserves of the Sig (Mascara) deposit and to classify the reserves calculated according to their use in Algerian industry.

Firstly, a field study was carried out to learn about the geological conditions of the diatomite deposit and the underground mining method known as chambers and caved in pillars used, as well as the diatomite treatment process.

In a second place, a statistical and geostatistical study was carried out to better understand the Tallait deposit; this study includes a descriptive, bivariate, multivariate, anisotropic and variographic statistical study.

Finally, an evaluation of the reserves was carried out by interpolation and geostatistical methods in order to estimate the reserves and classify them according to industry standards.

Key words: diatomite, estimation, classification, inverse distance, kriging, interpolation, geostatistics.

## **Résumé**

L'objectif de ce travail est de modéliser et d'estimer les réserves de diatomite du gisement de Sig (Mascara) et classifiez les réserves calculées selon leur utilisation dans l'industrie algérienne.

Dans un premier lieu, 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.

Dans un second lieu, une étude statistique et géostatistique a été faite pour mieux connaître le gisement de Tallait, cette étude comprend une étude statistique descriptive, bi-variée, multi-variée, anisotropique et variographique.

Et on termine par une évaluation des réserves qui a été effectuée par les méthodes d'interpolation et de géostatistique afin d'estimer les réserves et les classifiez selon les normes industrielles.

**Mots clés** : diatomite, gisement de Sig, estimation, réserve, classification, krigeage, inverse de distance, interpolation, géostatistique.

## *Remerciements*

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire malgré les circonstances de cette situation sanitaire.

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadreur Mr. BENKACI Djamel pour son suivi, sa disponibilité et sa rigueur, sans son aide précieuse, ce travail n'aurait pas pu avoir le jour.

Nos remerciements sont destinés à tous les professeurs de notre département « Génie Minier », spécialement à notre chef de département Mr. OULD HAMOU Malek.

Nous remercions aussi les membres de jury de nous avoir honoré de bien vouloir participer au jury de ce mémoire et d'avoir pris le temps d'examiner notre mémoire.

Nous adressons nos sincères remerciements à Mr. DURAND Mohamed, ingénieur en génie minier du Mali et Mr. ELNOUR Nadir, ingénieur géologue du Soudan pour leur aide et leur patience avec nous et surtout pour le partage d'information.

Nos profonds remerciements vont à toute personne ayant participé à la réalisation de ce projet de près ou de loin.

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma source de tendresse, mon exemple de dévouement et qui n'a pas cessé de m'encourager et prier pour moi, la femme la plus patiente, ma très chère mère Fadila .Puisse Dieu, le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*Celui que je suis le fruit de ces efforts, symbole de bonté, de sagesse et de fierté, mon exemple dans la vie qui me prodigue toujours des conseils de grandes valeurs, mon papa Abdelaziz.*

*A ma source de motivation, ma sœur Nour El Houda.*

*A mon bonheur, mon frère Yacine.*

*A la mémoire de mon oncle Rachid.*

*A vous mes chers oncles Abderrazek, Abdelmalek et Abdenour qui m'avez toujours aidé durant ces années d'étude.*

*A mes très chère tantes Sarah, Fouzia et Salima.*

*A ma grand-mère « Lamima » et mon grand-père.*

*A tous les membres de ma grande famille.*

*A mon binôme « Yemna » et sa famille.*

*A mes amis.*

*A tous mes camarades de classe de Génie Minier spécialement, et de Polytech généralement.*

***Amira***

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail accompagné d'un sincère amour*

*A celle qui m'a arrosée de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour*

*Incessible, à la mère des sentiments fragiles qui m'a bénie par ces prières ....ma  
mère.*

*A mon support dans la vie, qui m'a apprise, m'a supporté et m'a dirigée vers la  
gloire .... Mon père.*

*A ma source d'affection et de motivation .... Ma sœur.*

*A ma source de joie et de bonheur .... Mes frères jumeaux.*

*A tous les membres de ma grande famille qui ont cru en moi et m'ont soutenu  
jusqu'au jour présent.*

*A mes amies.*

*A tous mes camarades de classe de Génie Minier spécialement, et de Polytech  
généralement.*

***Yemna***



# Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> -----	<b>14</b>
<b>Chapitre I : Contexte géologique et description de la mine</b> ---	<b>16</b>
<b>I.1 Situation géographique du gisement</b> -----	<b>16</b>
<b>I.2 Cadre géologique régional</b> -----	<b>18</b>
I.2.1 Stratigraphie-----	19
I.2.2 Tectonique-----	23
<b>I.3 Géologie détaillée sur le gisement et ses environs</b> -----	<b>23</b>
<b>I.4 Exploitation de la mine</b> -----	<b>28</b>
I.4.1 Principaux paramètres d'exploitation -----	28
I.4.1.1 Mode d'exploitation -----	28
I.4.1.2 Mode d'ouverture-----	29
I.4.1.3 Pression des terrains -----	29
I.4.1.4 Infrastructures -----	29
I.4.2 Méthode d'exploitation-----	30
I.4.2.1 Paramètres influençant sur le choix du mode d'extraction -----	30
I.4.2.2 Choix de la méthode-----	30
I.4.2.3 Principe de la méthode-----	31
I.4.2.4 L'abattage-----	32
I.4.2.5 Chargement et transport -----	33
<b>I.5 Traitement du minerai</b> -----	<b>34</b>
<b>I.6 Conclusion</b> -----	<b>36</b>
<b>Chapitre II : Théorie des variables régionalisées</b> -----	<b>37</b>
<b>II.1 Introduction</b> -----	<b>37</b>
<b>II.2 Quelques notions théoriques</b> -----	<b>37</b>
II.2.1 Notion de réserve-----	37
II.2.2 Notion d'une catégorie de réserve -----	37
<b>II.3 Méthodes de calcul des réserves</b> -----	<b>38</b>
II.3.1 Méthode des blocs géologiques -----	38
II.3.2 Méthode de l'inverse de la distance -----	38
II.3.3 Krigeage -----	40
II.3.3.1 Variable régionalisée -----	40
II.3.3.2 Notion des moments-----	40
II.3.3.3 Hypothèse stationnaire et intrinsèque-----	41
II.3.3.3.1 Hypothèse stationnaire-----	41
II.3.3.3.2 Hypothèse intrinsèque -----	42
II.3.3.4 Introduction à la notion du variogramme-----	42

II.3.3.5	Semi-variogramme théorique -----	43
II.3.3.6	Variogramme expérimental -----	44
II.3.3.7	Schémas théoriques et ajustement des variogrammes : -----	46
II.3.3.8	Isotropie et anisotropie -----	48
II.3.3.8.1	Anisotropie géométrique -----	48
II.3.3.8.2	Anisotropie zonale -----	48
II.3.3.9	Le krigeage -----	49
<b><i>Chapitre III : Synthèse des travaux antérieurs. -----</i></b>		<b>54</b>
<b>III.1</b>	<b>Les travaux de SONAREM (1970-1979) -----</b>	<b>55</b>
III.1.1	Volume des travaux -----	55
III.1.2	Réserves calculées -----	56
III.1.3	Etat de réserves en 2016 -----	60
<b>III.2</b>	<b>Les travaux de SIDAM -----</b>	<b>61</b>
III.2.1	Volume des travaux -----	61
III.2.2	Réserves calculées -----	62
III.2.3	Utilisations du minerai selon sa qualité -----	63
<b>III.3</b>	<b>Les travaux de l'ORGM (2017) -----</b>	<b>64</b>
<b><i>Chapitre IV : Modélisation et estimation des réserves et étude statistique. -----</i></b>		<b>65</b>
<b>IV.1</b>	<b>Introduction -----</b>	<b>65</b>
<b>IV.2</b>	<b>Présentation des logiciels -----</b>	<b>65</b>
IV.2.1	Surpac -----	65
IV.2.2	Surfer -----	66
IV.2.3	Statistica -----	66
<b>IV.3</b>	<b>Modélisation du gisement -----</b>	<b>67</b>
IV.3.1	Topographie -----	67
IV.3.2	Données des trous de forage -----	68
IV.3.3	Création d'une base de données Surpac -----	69
IV.3.4	Affichage de modèle des trous et correction -----	69
IV.3.5	Coupes de section verticale (Nord-Sud) et (Est-Ouest) -----	72
IV.3.6	Construction du solide modèle -----	74
IV.3.7	Construction du bloc modèle -----	75
IV.3.7.1	Création du bloc vide -----	76
IV.3.7.2	Choix des dimensions du bloc élémentaire -----	77
IV.3.7.3	Attributs -----	77
IV.3.7.4	Ajout des contraintes au modèle de bloc -----	78
<b>IV.4</b>	<b>Etude statistique -----</b>	<b>81</b>
IV.4.1	Etude de la distribution normale des teneurs -----	81
IV.4.2	Statistique descriptive -----	83
IV.4.3	Etude bi-variée et multi-variée -----	84
IV.4.3.1	Etude bi-variée : matrice de corrélation -----	84
IV.4.3.2	Etude multi-variée par la méthode d'ACP -----	85
IV.4.4	Etude variographique -----	87
IV.4.4.1	Variogrammes expérimentaux -----	87

IV.4.4.2	Modélisation du variogramme théorique	88
IV.4.4.3	Etude d'anisotropie	89
IV.4.5	Cartographie 2D	90
IV.4.5.1	Cartes iso-teneurs	91
IV.4.5.2	Carte iso-puissances	95
<b>IV.5</b>	<b>Estimation des réserves</b>	<b>96</b>
IV.5.1	Méthode de l'inverse de distance	96
IV.5.2	Krigeage ordinaire	98
<b>IV.6</b>	<b>Classification des réserves</b>	<b>100</b>
IV.6.1	Classification selon SIDAM	101
IV.6.2	Classification SONAREM	102
IV.6.3	Comparaison entre les résultats de krigeage et de l'IDS	103
<b>IV.7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>104</b>
	<b><i>CONCLUSION GENERALE</i></b>	<b><i>105</i></b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>107</b>
	<b>Annexe</b>	<b>108</b>

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1 Les coordonnées UTM du périmètre de permis d'exploitation.</i>	17
<i>Tableau 2 Tableau récapitulatif des caractéristiques des couches minéralisées de diatomite.</i>	27
<i>Tableau 3 Tableau récapitulatif des documents et recherches effectués</i>	54
<i>Tableau 4 Volume des travaux réalisés par SONAREM entre 1977 et 1978.</i>	55
<i>Tableau 5 Les sondages réalisés par SONAREM.</i>	56
<i>Tableau 6 Réserves totales (géologiques) du gisement de Dj.Tallait calculées par SONAREM (avec une densité de 0,95 T/m<sup>3</sup>.)</i>	58
<i>Tableau 7 Composition moyenne de chaque bloc du gisement (données SONAREM).</i>	59
<i>Tableau 8 Qualités de diatomite selon la composition chimique selon SONAREM.</i>	59
<i>Tableau 9 Les réserves géologiques selon les différentes catégories et qualités (d=0,95T/m<sup>3</sup>).</i>	60
<i>Tableau 10 Les réserves géologiques et exploitables au 30 Juin 2016 par ENOF</i>	60
<i>Tableau 11 Réserves calculées par SIDAM (avec une densité de 0,8 T/m</i>	62
<i>Tableau 12 Composition chimique moyennes des échantillons provenant des 9 premiers sondages de SIDAM.</i>	62
<i>Tableau 13 Composition chimique moyenne des échantillons provenant des 4 derniers sondages de SIDAM .</i>	62
<i>Tableau 14 Qualités de diatomite selon la composition chimique de SIDAM.</i>	63
<i>Tableau 15 Les réserves exploitables estimées selon les différentes qualités (d=0,8 T/m<sup>3</sup>).</i>	63
<i>Tableau 16 Composition des catégories classifiées par SONAREM et SIDAM dans les années 1977-1978.</i>	64
<i>Tableau 17 Les coupes de sections verticales Est-Ouest et Nord-Sud.</i>	72
<i>Tableau 18 Les caractéristiques du solide modèle.</i>	75
<i>Tableau 19 Paramètres de création du bloc vide.</i>	77
<i>Tableau 20 Listes des attributs introduits dans le bloc vide.</i>	78
<i>Tableau 21 Paramètres statistiques de l'étude de la distribution de teneur SiO<sub>2</sub>.</i>	82
<i>Tableau 22 Paramètres statistiques de la distribution des teneurs</i>	83
<i>Tableau 23 matrice de corrélation entre les éléments chimiques.</i>	84
<i>Tableau 24 les paramètres des variogrammes expérimentaux.</i>	87
<i>Tableau 25 Paramètres du modèle du variogramme</i>	89
<i>Tableau 26 Les paramètres des modèles des variogrammes appropriés au variogrammes expérimentaux de SiO<sub>2</sub> selon les différentes directions.</i>	90
<i>Tableau 27 Paramètres calculés pour l'estimation par l'inverse de la distance.</i>	96
<i>Tableau 28 Résultats de l'interpolation par l'IDS pour l'ensemble des contraintes.</i>	96
<i>Tableau 29 Paramètres calculés pour l'estimation par l'inverse de la distance.</i>	98
<i>Tableau 30 Résultats d'estimation par le krigeage pour l'ensemble des contraintes.</i>	98
<i>Tableau 31 Résultat de tonnage pour chaque qualité selon la classification SIDAM.</i>	101
<i>Tableau 32 Résultat de tonnage pour chaque qualité selon la classification SONAREM.</i>	102
<i>Tableau 33 Gains en métal selon les deux méthodes d'estimation</i>	103

# Liste des figures

Figure 1 Situation géographique de la ville de Sig. -----	16
Figure 2 Situation topographique du gisement de diatomite (Extrait de la carte topographique BOUHANIFIA NI-30-XXIV-6-EST, échelle 1/50 000, commune Chorfa, Daira Sig-w.Mascara). -----	17
Figure 3 Image satellite montrant le périmètre minier et l'unité de Sig (Google Earth) -----	18
Figure 4 Coupe synthétique de la région de Sig (MANSOUR, 1991). -----	20
Figure 5 Carte géologique de la région Sud de la ville de Sig -----	22
Figure 6 Caractéristiques des couches de diatomites dans le gisement de TALLAIT de Sig (Meguedad M, 2004).-----	26
Figure 7 Plan d'exploitation du gisement (ENOF 2017)-----	31
Figure 8 Opération du foudroyage -----	32
Figure 9 Opération d'abattage manuel -----	33
Figure 10 Opération du chargement -----	33
Figure 11 Opération de séchage -----	34
Figure 12 Schéma de production de produit de charge, Unité Sig (a) schéma de traitement de produit (b) schéma de production.-----	35
Figure 13 Schéma de production de produit de la filtration -----	36
Figure 14 Pondération inverse à la distance. -----	39
Figure 15 : Représentation schématique des points de mesure de la variable. -----	42
Figure 16 Schéma type d'un variogramme. -----	43
Figure 17 Schéma de calcul du variogramme expérimental. -----	44
Figure 18 Schéma des paramètres du variogramme expérimental. -----	45
Figure 19 Exemple de variogramme multidirectionnel.-----	46
Figure 20 Schéma type d'un variogramme avec effet pépite -----	46
Figure 21 Schéma type d'un variogramme sphérique. -----	47
Figure 22 Schéma type d'un variogramme gaussien.-----	47
Figure 23 Schéma type d'un variogramme exponentiel. -----	48
Figure 24: Schéma des variogrammes représentant anisotropie géométrique et zonal.-----	49
Figure 25 Travaux de recherche de la SONAREM -----	57
Figure 26 Modélisation du levé topographique (a- plan avec l'extension .dtm, b- les courbes de niveau de la surface topographique)-----	68
Figure 28 Trous de forage sur le plan Nord-Est -----	70
Figure 29 Implantation des trous de forage avec le levé topographique avant la correction des altitudes -----	71
Figure 30 Implantation des trous de forage avec le levé topographique après la correction des altitudes -----	71
Figure 31 Représentation de la section Est-Ouest à partir du Nord 3929500-----	73
Figure 32 Représentation de la section Nord-Sud à partir de l'Est 756800 -----	73
Figure 33 Modélisation du corps minéralisé (solide modèle). -----	75
Figure 34 Schéma représentatif des étapes de construction du bloc modèle. -----	76
Figure 35 Bloc modèle avec la contrainte « Gisement » -----	78
Figure 36 Bloc modèle avec la contrainte « Inside périmètre ». -----	79
Figure 37 Bloc modèle avec la contrainte « Outside périmètre » -----	79
Figure 38 Bloc modèle avec la contrainte « sonarem_orgm ». -----	80
Figure 39 Bloc modèle avec la contrainte « sidam ». -----	80
Figure 40 Histogramme (a- distribution normale, b- distribution log-normale) -----	82
Figure 41 Histogrammes (a- Fe2O3, b-AL2O3, c- SiO2, d-CaO, e-H2O)-----	83
Figure 42 Table des coordonnées factorielles des variables -----	85
Figure 43 Cercle de corrélation d'ACP -----	86
Figure 44 Les variogrammes selon les différentes directions des teneurs en SiO <sub>2</sub> . -----	88
Figure 45 Variogramme omnidirectionnel avec le variogramme théorique ajusté.-----	88
Figure 46 Variogrammes omnidirectionnels et directionnels avec leurs variogrammes théoriques ajustés (a- omnidirectionnel, b- 90°, c- 135°, d-45°). -----	89

<i>Figure 47 Carte iso-teneur "SiO<sub>2</sub>"</i>	91
<i>Figure 48 Carte iso-teneur "CaO"</i>	92
<i>Figure 49 Carte iso-teneur "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>"</i>	93
<i>Figure 50 Carte iso-teneur "Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>"</i>	93
<i>Figure 51 Carte iso-puissances.</i>	95
<i>Figure 52 Graphique en secteurs des teneurs SiO<sub>2</sub> en fonction de tonnage des différentes contraintes (a- contrainte gisement, b- contrainte inside_périmètre, c- contrainte sidam, d- contrainte sonarem_orgm).</i>	97
<i>Figure 53 Blocs de la contrainte "gisement" estimés par l'IDS.</i>	97
<i>Figure 54 Graphique en secteurs des teneurs SiO<sub>2</sub> estimé par la méthode du krigeage en fonction de tonnage des différentes contraintes (a- contrainte gisement, b- contrainte inside_périmètre, c- contrainte sidam, d- contrainte sonarem_orgm).</i>	99
<i>Figure 55 Blocs de la contrainte "gisement" estimés par krigeage.</i>	99
<i>Figure 56 Contrainte de qualité 2 de la classification de SIDAM avec le krigeage</i>	100

# *Liste des abréviations*

**Sidam** : bureau d'étude canadien.

**ORGM** : office national de recherche géologique et minière.

**Inside périmètre** : à l'intérieur du périmètre.

**Outside\_périmètre** : à l'extérieur du périmètre.

**Max dis** : la distance maximale.

**Min/Max** : minimum/maximum

---

## ***INTRODUCTION GENERALE***

---

L'Algérie, un pays vaste et riche, sa grande superficie assure une grande diversité des faciès géologiques, renfermant ainsi un grand potentiel en termes de ressources minérales. Cependant, les substances utiles non métalliques notamment argiles, sables et diatomite (kieselguhr)... sont utilisées dans de nombreux domaines et dans divers secteurs. L'importance des réserves de diatomite a conduit l'entreprise minière ENOF à réaliser plusieurs campagnes de prospection en utilisant des techniques pour les évaluer et les classer selon des qualités pour les différentes utilisations dans l'industrie.

Le présent travail porte sur l'étude du gisement de Tallait, qui représente une source de richesse pour l'activité minière en Algérie. Il est situé au Sud-Est de la ville de Sig (Mascara). La diatomite qui y est exploitée est une roche sédimentaire siliceuse de couleur blanche à grise, massive ou litée. Elle est formée essentiellement par l'accumulation en couches épaisses d'algues microscopiques à squelette siliceux. Les diatomites ont une forte teneur en silice (de 70 à 80 %). Elles sont utilisées comme matériaux de charge, absorbants et dans la filtration.

L'objectif principal de ce travail est dans un premier temps de modéliser le gisement de Tallait en 3D et dans un second temps d'estimer les réserves en minerais en utilisant des méthodes géostatistiques, afin d'assurer une classification optimale en fonction des teneurs et de cerner la disposition des couches minéralisées au sein des roches encaissantes.



Afin d'atteindre cet objectif ; il a été nécessaire d'effectuer les travaux suivants :

- L'étude de la géologie régionale et locale du massif DJ Tallait ;
- Faire la synthèse des travaux antérieurs effectués par les différentes compagnes sur le gisement de Tallait.
- L'étude analytique des méthodes géostatistiques linéaires et des conditions de leur mise en œuvre. Les fondements mathématiques ainsi que leurs démonstrations sont examinés.
- L'étude analytique statistique mono-variable, bi-variable, et multi-variable, ainsi que la réalisation des cartes de répartition des teneurs.
- L'application des méthodes déterministes et stochastiques, grâce au logiciel « Surpac », en vue de l'obtention d'un modèle de bloc et d'interpoler les variables étudiées, par la méthode de l'inverse de la distance (IDS) et par le krigeage.
- Classification et estimation des tonnages de différentes qualités pour déterminer l'utilisation de la substance utile du gisement de Tallait.
- La mise en évidence de l'efficacité et la précision du calcul des réserves en diatomite.

## I.1 Situation géographique du gisement

Le gisement de diatomite de Tallait, actuellement en exploitation par l'entreprise minière ENOF est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, au Nord-Ouest de la wilaya de Mascara.

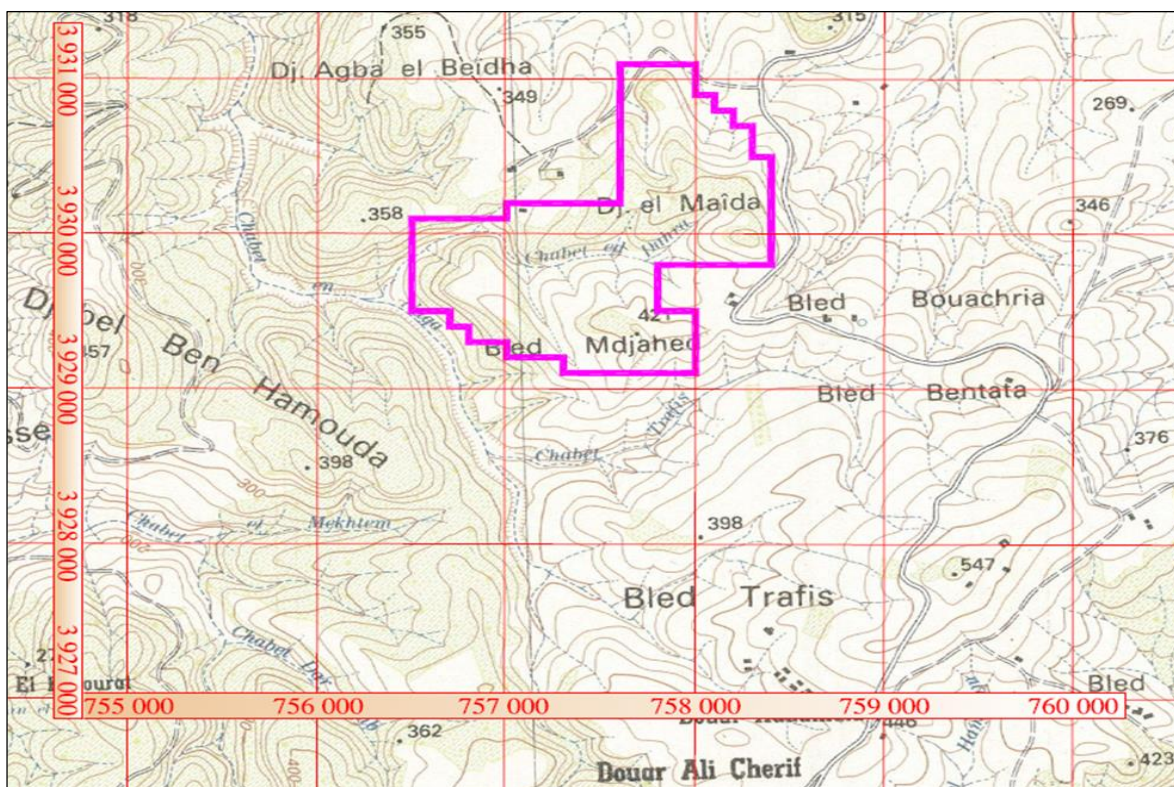


Figure 1 Situation géographique de la ville de Sig.

Le gisement de kieselguhr (diatomite) fait partie du massif de Grimez, Ce massif, dont le centre est situé à environ 5 km à vol d'oiseau au Sud-Est de la ville de Sig, à laquelle est relié par une route goudronnée. La distance séparant le gisement de la ville de Sig par la route est de 10 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

Du point de vue orographique le gisement de Tallait est associé à une hauteur accidentée de ravins et de vallées aux pentes assez raides. Les hauteurs absolues du gisement varient de 320 à 424m, il est constitué de plusieurs collines dont la dénivellation maximum atteint une centaine de mètres. Les couches de kieselguhr sont exposées sur les flancs de ces collines.



**Figure 2 Situation topographique du gisement de diatomite (Extrait de la carte topographique BOUHANIFIA NI-30-XXIV-6-EST, échelle 1/50 000, commune Chorfa, Daira Sig-w.Mascara).**

Les coordonnées UTM (zone Nord) du périmètre de permis d'exploitation sont représentées dans le tableau ci-dessous

**Tableau 1 Les coordonnées UTM du périmètre de permis d'exploitation.**

Coordonnées UTM (Nord Sahara fuseau 30)					
Point	X	Y	Point	X	Y
1	758 400	3 930 500	15	756 500	3 929 500
2	758 400	3 929 800	16	756 500	3 930 100
3	757 800	3 929 800	17	757 000	3 930 100
4	757 800	3 929 500	18	757 000	3 930 200
5	758 000	3 929 500	19	757 600	3 930 200
6	758 000	3 929 100	20	757 600	3 931 100
7	757 300	3 929 100	21	758 000	3 931 100
8	757 300	3 929 200	22	758 000	3 930 900
9	757 000	3 929 200	23	758 100	3 930 900
10	757 000	3 929 300	24	758 100	3 930 800
11	756 800	3 929 300	25	758 200	3 930 800
12	756 800	3 929 400	26	758 200	3 930 700
13	756 700	3 929 400	27	758 300	3 930 700
14	756 700	3 929 500	28	758 300	3 930 500



**Figure 3** Image satellite montrant le périmètre minier et l'unité de Sig (Google Earth)

Le gisement de TALLAIT de kieselguhr est réparti par quartier comme suit :

- Quartier GANA
- Quartier MORIN
- Quartier CHORBA
- Quartier GANA – MORIN

## **I.2 Cadre géologique régional**

Le massif DJ. Tallait est un relief collinaire, en général monoclinale avec des escarpements latéraux et falaises rocheuses qui continuent vers les côtés inférieurs avec des pentes qui deviennent moins abruptes sur les sols argileux-marneux.

Le réseau hydrographique est composé de cours d'eau ou incisions superficielles de cours d'eau de type éphémère, réglés par des précipitations généralement plus présentes pendant la saison d'hiver, au cours des mois de janvier et février.



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.

### **I.2.1 Stratigraphie**

Le gisement de kieselguhr de Tallait est constitué de strates formées au Miocène, Pliocène et Quaternaire qui appartiennent à l'ensemble structurale de Beni Chougrane qui constitue l'une des bordures de bassin de bas Chelif.

La structure Géologique de la région des travaux est présentée suivant les données du levé géologique au 1/50.000, effectué par MM. Z. Boulaine et A. Perrodon, ainsi que par résultats des travaux de prospection, réalisés en 1969-1970 et en 1977-1978 par l'unité SO.NA.R.E.M. De Sidi Bel Abbès.

- ❖ **Miocène** : Il est composé de 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 :

**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 de diatomite 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 4 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 en 8 assises décrites ci-dessous :

***Miocène marneux ( $m^m$ )*** : 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 ( $m^s$ ,  $m^d$ ,  $m^L$ )*** : 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 miocènes ( $m^t$ )*** : 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 ( $m^b$ ,  $m^a$ )*** : 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.

#### **❖ Pliocène**

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

**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.

**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.

### ❖ Quaternaires

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

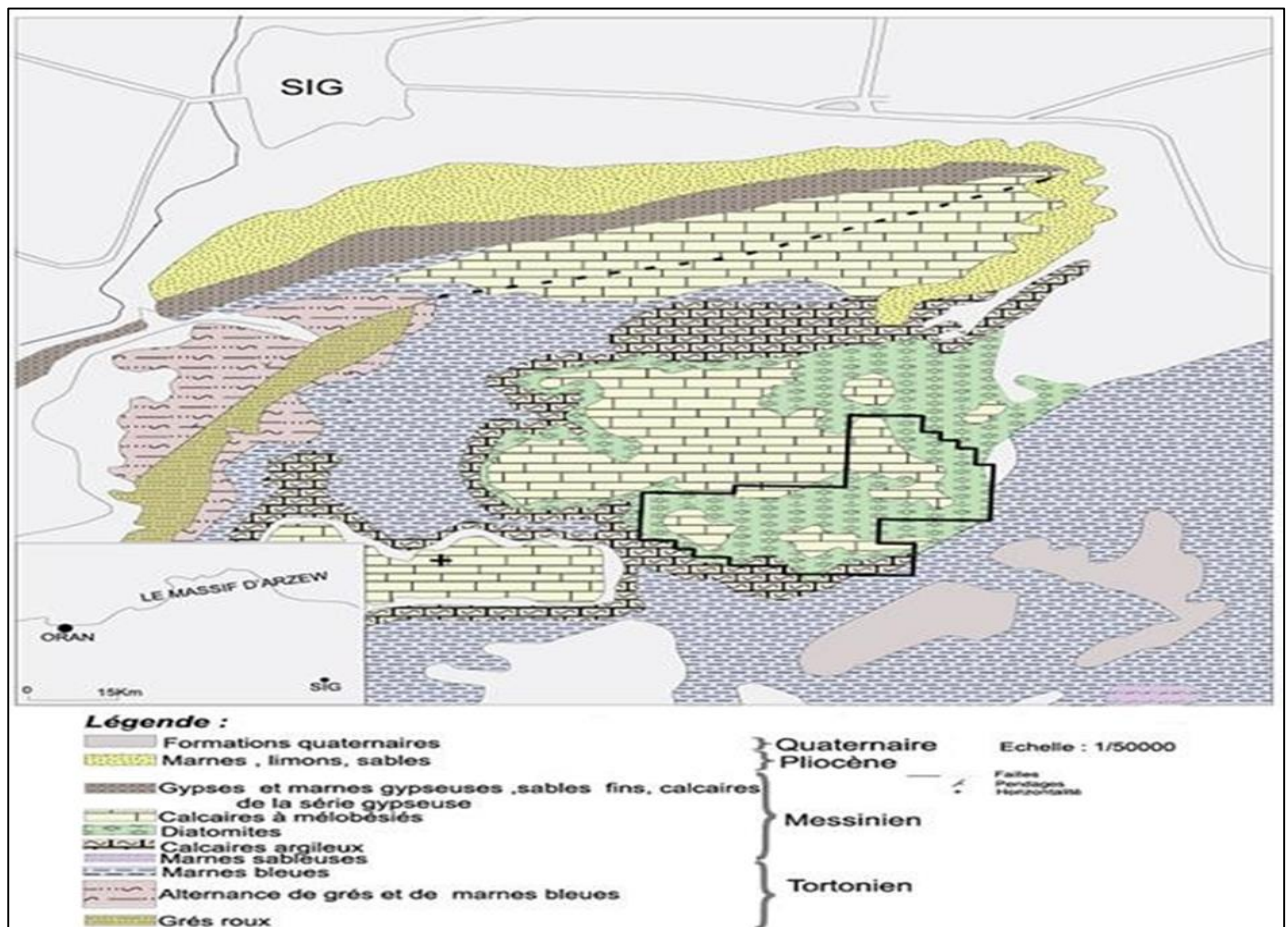


Figure 5 Carte géologique de la région Sud de la ville de Sig



## I.2.2 Tectonique

Sur le plan de la 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, et forment des structures anticlinales et synclinales dont les axes ont en général une orientation Nord-Est.

A part les dislocations en plis dans la région, on rencontre des accidents disjonctifs tectoniques. Au Sud de la ville de Sig, l'anticlinal d'orientation 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°.

## I.3 Géologie détaillée sur le gisement et ses environs

- *Stratigraphie*

La séquence stratigraphique aux environs du massif de Grimez où se trouve le gisement de kieselguhr de Sig, est constituée par une couche Quaternaire que surmonte des couches sédimentaire du Miocène supérieur composées de calcaire a lithothamniées, des argiles marneuses jaune pâle du kieselguhr avec inter-lits de marnes, du quartzite à ciment calcaire et un niveau calcaire. Toutes ces séries reposent sur des argiles marneuses vertes foncé. Normalement les niveaux de kieselguhr sont repérables à flanc des falaises, soit par leurs traces blanchâtres ou par la localisation qu'on en fait à l'aide de tranchées.

- **Structure géologique du gisement**

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 kieselguhrs (diatomite) :** Il repose en concordance sur des marnes et il est représenté par des couches et des inter-lits 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 inter-lits d'aleurolites de puissance de 2 à 3 m. La puissance de ce niveau atteint 30 m.

➤ **Les caractéristiques faciologiques des couches minéralisées**

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 :

**Couche 1 :** 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

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

**Couche 6** : C'est un kieselguhr gris, lité dont l'épaisseur est de 0.50m, et au sommet, il est recouvert par des marnes argileuses grises à vert foncé.

**Couche 7** : 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.

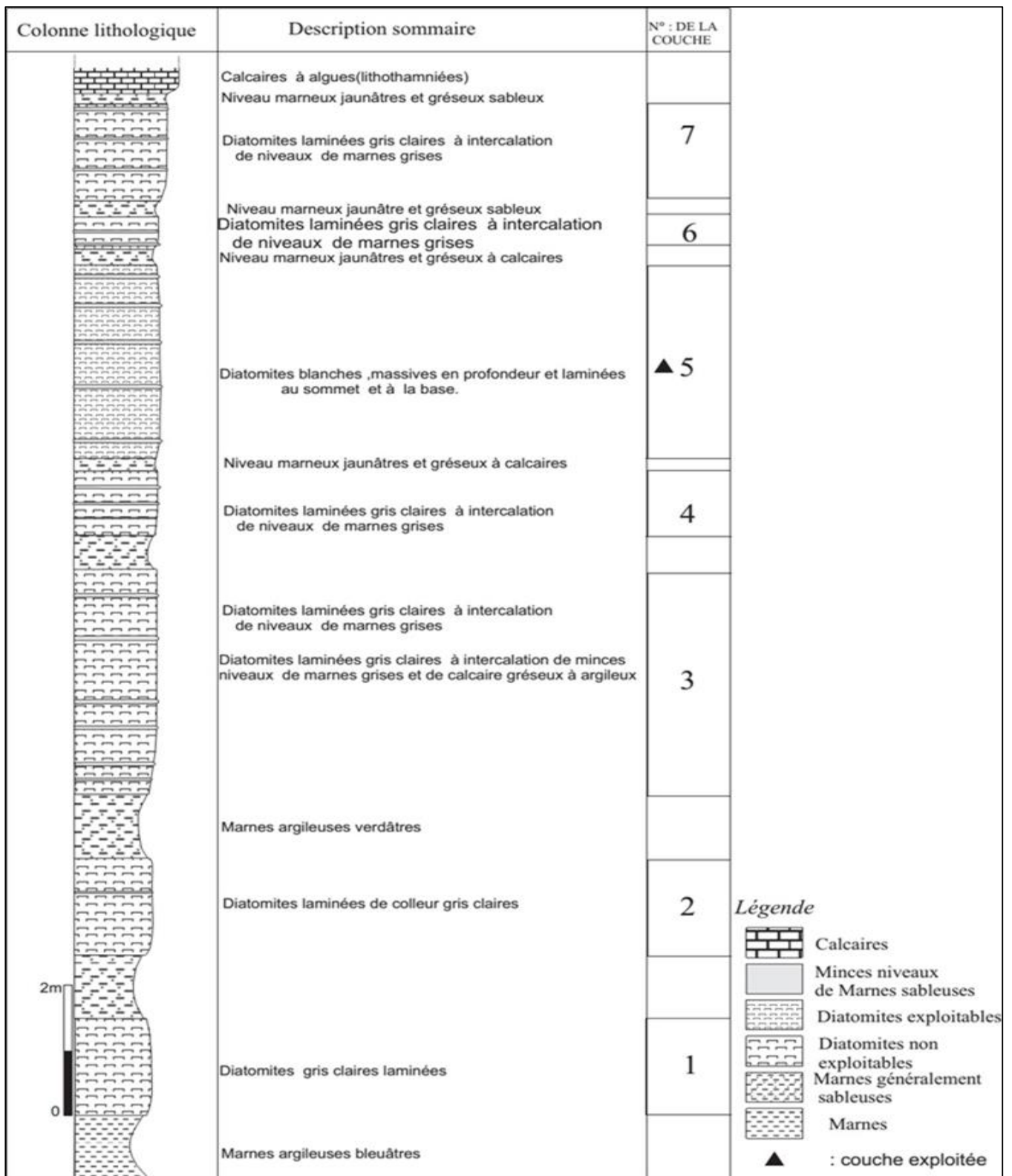


Figure 6 Caractéristiques des couches de diatomites dans le gisement de TALLAIT de Sig (Meguedad M, 2004).

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 cette figure.

**Tableau 2** Tableau récapitulatif des caractéristiques des couches minéralisées de diatomite.

N° de la couche	Puissance (mètre)	Couleur	Aspect	Teneur en SiO <sub>2</sub> (%)			Teneur en CaO (%)			Teneur en H <sub>2</sub> O (%)		
				Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
1	0.5 à 1.00	Gris	Lité	38.91	62.62	51.02	10	25.8	19.28	3.8	4.5	4.19
2	0.50 à 1.50	Gris	Lité	30.21	67.85	53.07	12.50	21.76	18.54	1.95	5.88	4.09
3	1.10 à 3.50 en moy 2.50 (0.5 du lité supérieur, 1.10 du massif et entre 1.00 et 1.35 du lité inférieur)	Diatomite blanche devenant grise à la base	Diatomite massive au centre, litée vers le sommet et vers la base.	55.6	68.64	58.56	9.16	15.00	12.87	2.72	5.16	3.70
4	1.00 à 2.00	Gris clair	Lité	44.34	62.75	52.93	11.30	24.32	20.47	2.88	6.05	4.01
5	2.00 à 5.00	Gris clair	Lité	47.44	65.9	55.85	10.25	21.31	15.80	1.12	6.98	4.14
6	0.50 à 1.50	Gris	Lité	42.51	65.9	55.41	12.21	24.82	15.47	2.72	5.66	4.19
7	0.50 et 1.50	Gris	Lité	42.88	69.8	56.02	9.35	25.00	13.90	1.9	5.88	4.35

## **I.4 Exploitation de la mine**

### **I.4.1 Principaux paramètres d'exploitation**

#### ***I.4.1.1 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 de découverte dépasse la norme (supérieure 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 le coefficient soit 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 de découverte est représenté par le rapport suivant :

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

$Q_s$  : quantité de stérile extraite.

$Q_m$  : quantité de minerai à extraire.

Dans le cas du gisement de TALLAIT 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. Donc le coefficient de découverte arrive jusqu'à 26.

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

#### ***1.4.1.2 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.

#### ***1.4.1.3 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.

#### ***1.4.1.4 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.

##### **✓ 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.

##### **✓ 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.

## **I.4.2 Méthode d'exploitation**

### ***1.4.2.1 Paramètres influençant sur 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.

#### **❖ 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 TALLAIT, 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.

#### **❖ Paramètres techniques**

L'exigence du client réside dans la teneur chimique pour le produit fini. Ces exigences sont formulées soit sur 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. La qualité de gisement influe sur le marché cible du produit fini.

### ***1.4.2.2 Choix de la méthode***

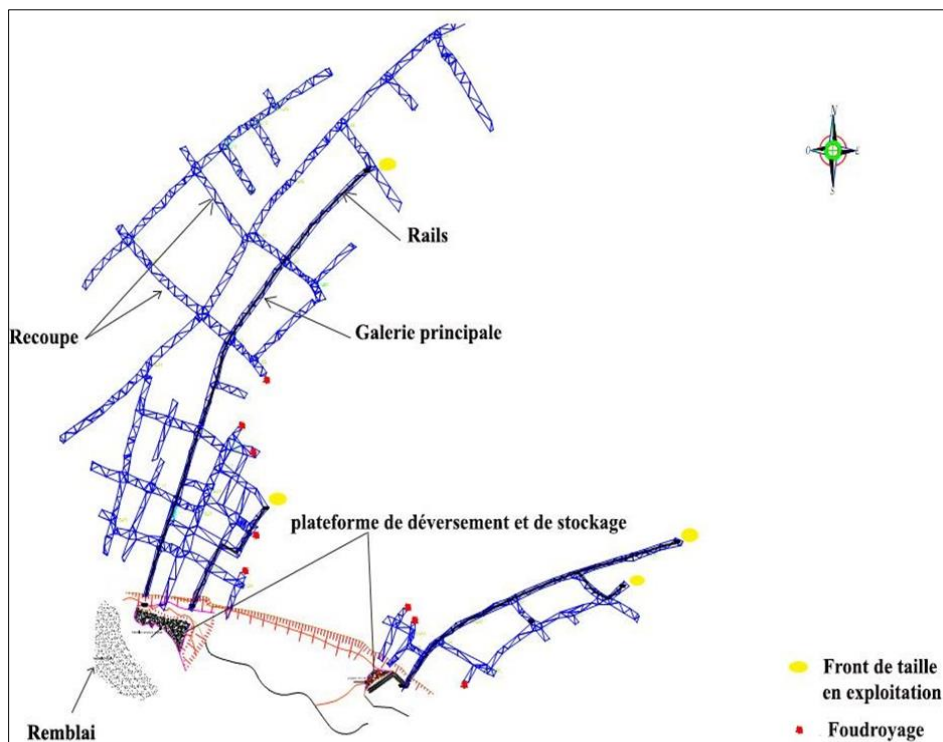
Le choix de la méthode d'exploitation est porté sur une combinaison de deux méthodes : celle des chambres et piliers abandonnés et celle dite par chambres et piliers avec foudroyage des piliers résiduelles (quilles résiduelles).



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. Elle a comme inconvénient la perte quantitative de 15% à 30% de minerai dans les quilles résiduelles.

### ***1.4.2.3 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 ci-dessous ;



**Figure 7 Plan d'exploitation du gisement (ENOF 2017)**



**Figure 8** *Opération du foudroyage*

#### ***1.4.2.4 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.

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 9 Opération d'abattage manuel**

#### ***1.4.2.5 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. 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.



**Figure 10 Opération du chargement**

Un camion à 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<sup>3</sup> 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.

## **I.5 Traitement du minerai**

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 (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 à 0/70 microns pour préserver la structure puis il est ensaché dans des sacs.

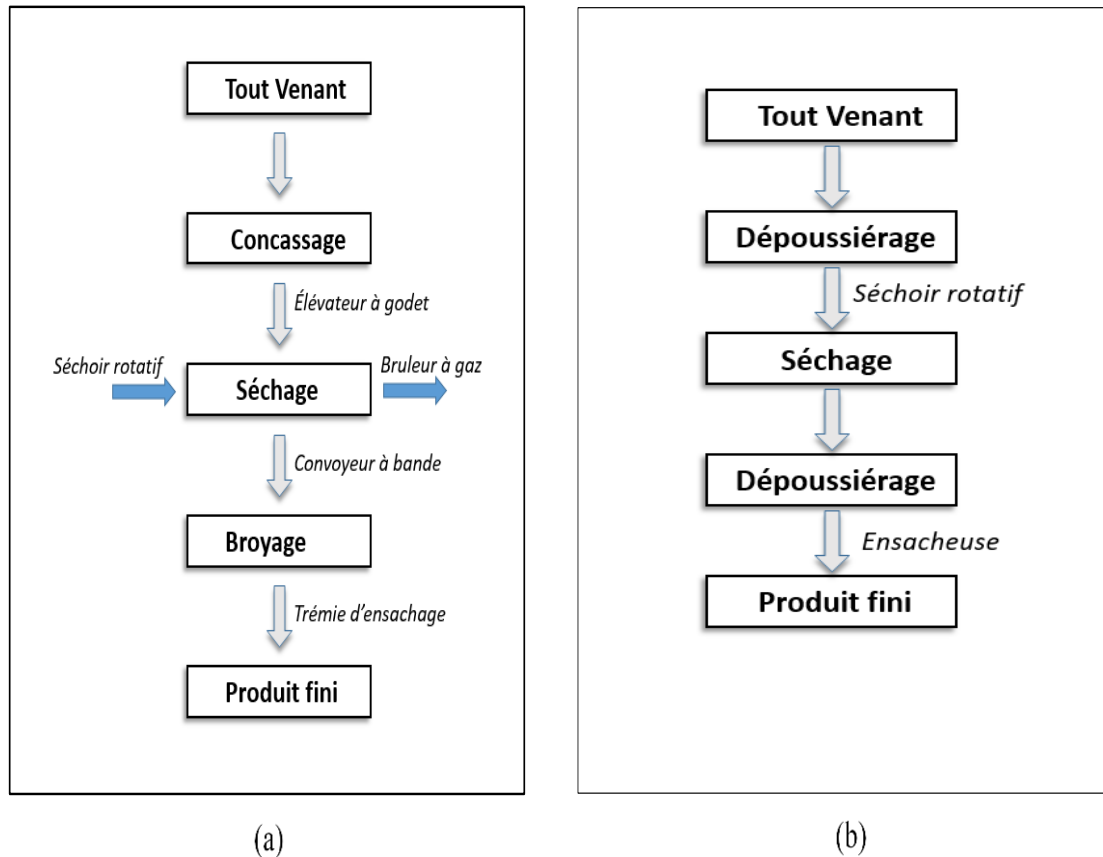


**Figure 11** *Opération de séchage*

- La dernière étape est celle du conditionnement, le produit fini est commercialisé en sacs de 25 kg

L'installation illustrée dans la figure ci-dessous est destinée pour la

production des produits de charge et industriels tout-venant de 1ère qualité et 2ème qualité.



**Figure 12 Schéma de production de produit de charge, Unité Sig (a) schéma de traitement de produit (b) schéma de production.**

Il existe également une autre installation de traitement secondaire pour les produits de filtration (Figure I 13). 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 1100°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 ci-dessous montre le processus de traitement du kieselguhr pour l’obtention de produit de filtration.

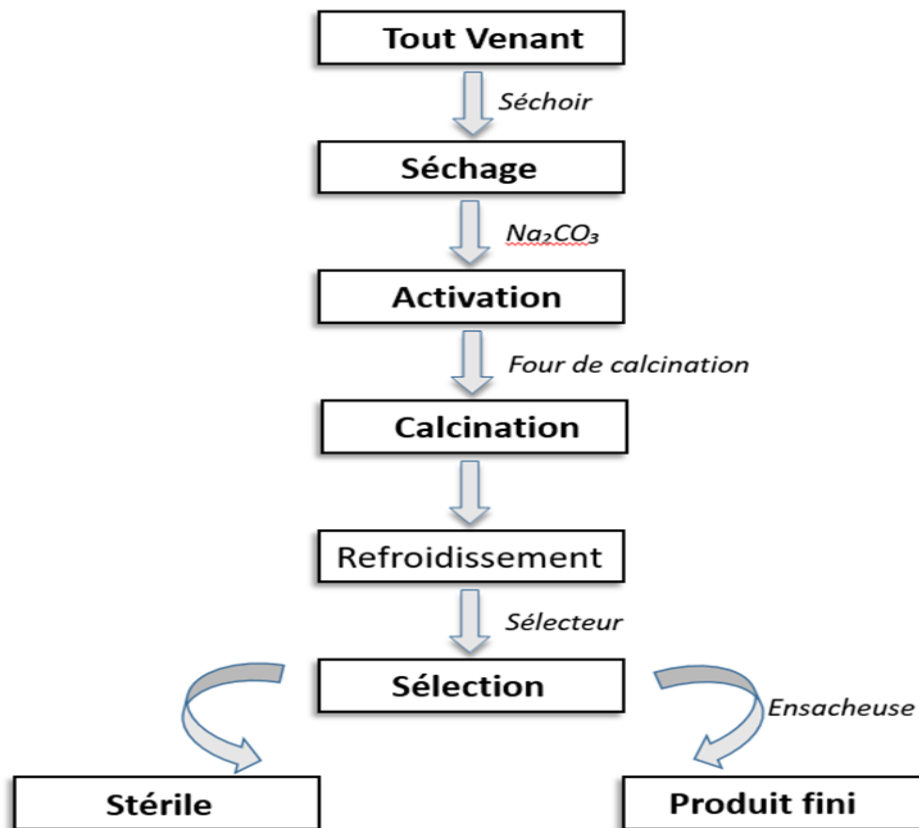


Figure 13 Schéma de production de produit de la filtration

## I.6 Conclusion

L'étude géologique est une étape importante dans tout projet minier. Son but est la détermination de mode de formation d'un gîte minéral, son dépôt et ses caractéristiques (morphologie, structures...).

Avant de procéder à l'exploitation d'un gisement, il est nécessaire de mettre en évidence la valeur industrielle de ce dernier. Pour ce faire, les ingénieurs procèdent le plus souvent à faire des estimations des réserves minières, à partir de l'interpolation spatiale des variables régionalisées.

Dans le chapitre suivant, on va exposer une méthode probabiliste des variables régionalisées qui permet de quantifier le potentiel d'un gisement.

### **II.1 Introduction**

On entend par méthodes conventionnelles, toutes les méthodes autres que la géostatistique. L'objectif est de fournir une estimation de la teneur pour tout élément de volume ou de surface à partir d'un échantillonnage limité. On applique ensuite les teneurs de coupure désirées à ces estimations. Toutes les méthodes conventionnelles (et même les méthodes géostatistiques) sont basées sur un calcul de moyenne pondérée qui attribue des poids aux observations en fonction de la position spatiale des observations par rapport à l'élément de volume ou de surface que l'on veut estimer.

### **II.2 Quelques notions théoriques**

#### **II.2.1 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.

#### **II.2.2 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%.

## II.3 Méthodes de calcul des réserves

### ➤ Méthodes conventionnelles

- ✓ Méthode des blocs géologiques.
- ✓ Pondération par inverse distance.
- ✓ Méthode des polygones (le plus proche voisin).
- ✓ Triangulation

➤ **Méthode géostatistique (probabiliste)** : le krigeage.

### II.3.1 Méthode des blocs géologiques

L'estimation des ressources minières consiste à donner un tonnage de minerai ou de métal à partir de la combinaison d'un certain nombre de données mesurées (sondages et échantillons). Il existe plusieurs méthodes, cependant, la plus utilisée est celle des blocs géologiques. Elle est basée sur le principe de la délimitation des blocs à partir des travaux de prospection et d'exploitation (tranchées, affleurements géologiques et sondages). Les ressources en minerai sont calculées pour chaque corps de minerai à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{\text{minerai}} = S \times P \times D \quad \text{Où}$$

S : la surface du corps de minerai ;

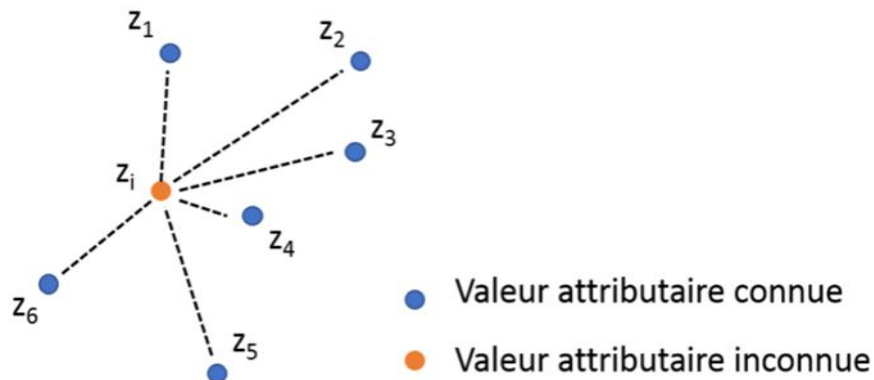
P : l'épaisseur du corps de minerai ;

D : la masse volumique qui varie en fonction des teneurs dans le corps de minerais

### II.3.2 Méthode de l'inverse de la distance

Comme le nom le laisse à penser, la technique permet de prédire la valeur attributive d'une variable à des positions où aucun échantillon n'est disponible en fonction de la distance spatiale entre cette position et d'autres positions où des échantillons ont été collectés.





**Figure 14 Pondération inverse à la distance.**

Dans cette méthode, la valeur à estimer en un point de la zone d'étude est déterminée à l'aide de la moyenne pondérée des valeurs des points les plus proches du point considéré. Au début, on mesure donc la distance entre le point recherché et les points connus aux alentours. Par la suite, le calcul du point recherché se fait grâce à la moyenne des valeurs des points environnants. Ainsi, plus le point à interpoler est proche d'un point dont on connaît la valeur, plus la valeur du point à interpoler sera proche de la valeur connue. Les caractéristiques de l'inverse distance sont donc :

- La distance séparant le point d'observation du point à estimer (même variable),
- Les facteurs de pondération : la somme des facteurs de pondération est 1.
- Le facteur de pondération est proportionnel à la distance. La formule de cette méthode est la suivante :

$$V_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_{mi}}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad \text{Où}$$

$V_m$  : valeur mesurée ;

$V_{in}$  : valeur inconnue ;

### II.3.3 Krigeage

On commence par définir la notion de variable régionalisée :

#### II.3.3.1 Variable régionalisée

On appelle variable, le caractère sur lequel porte une étude d'un ensemble d'individus et qui change d'individus à l'autre. Si le changement de ce caractère est imprévisible, alors la variable est appelée variable aléatoire. La teneur d'un échantillon, l'épaisseur d'une couche minéralisée ou d'un sol, la pluviométrie, sont des variables aléatoires.

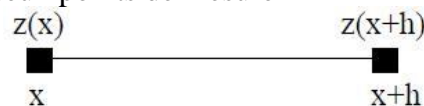
L'ensemble des variables aléatoires (teneurs mesurées sur des échantillons géologiques ou dans des sondages) implantées aux points  $X_i$  de coordonnées  $X_{1i}$ ,  $X_{2i}$ ,  $X_{3i}$  et notées  $z(x_i)$  forme la fonction aléatoire  $Z(X)$ . La teneur  $z(x_i)$  mesurée en  $x_i$  est une réalisation particulière de la variable aléatoire  $z(x_i)$  et l'ensemble des teneurs mesurées en différents points est interprété comme une réalisation particulière de la fonction aléatoire  $Z(X)$ .

Le terme de variable régionalisée a été choisi par Georges Mathéron pour souligner les deux aspects contradictoires de cette variable :

- Un aspect aléatoire (explique les irrégularités locales).
- Un aspect structuré (reflète les tendances du phénomène à grande échelle).

En géostatistique toute variable régionalisée possède une structure de variabilité particulière : la quantité  $Z(x)$  et  $Z(x+h)$  d'un même élément en deux points  $x$  et  $x+h$  d'un domaine sont auto-corrélées.

Cette structure d'autocorrélation dépend du module et de la direction du vecteur séparant les deux points de mesure



#### II.3.3.2 Notion des moments

En géostatistique appliquée d'estimation, on s'intéresse essentiellement aux premiers moments de la variable régionalisée  $Z(x)$ .

- **Moment d'ordre 1**

On parle de moment d'ordre 1 quand l'espérance de la variable  $z$  existe et reste constante sur tout le domaine étudié :

$$E\{Z(x)\} = m(x)$$

- **Moment d'ordre 2**

On parle de moment d'ordre 2, si la covariance entre tout paire  $Z(x)$  et  $Z(x+h)$  existe et ne dépend que du vecteur de translation  $h$ . Cette propriété implique l'existence de la variance et de leur indépendance de  $x$  :

$$C\{x, x+h\} = C(h) = E\{Z(x), Z(x+h)\} - m.m$$

A partir de la covariance, on définit le corrélogramme qui exprime les variations des corrélations spatiales entre les valeurs (teneurs) mesurées au point  $x$  et celles observées au point  $(x+h)$ .

L'équation ci-dessus suppose l'existence et la constance de l'espérance  $m$ , ce qui n'est pas toujours possible dans la réalité. C'est pourquoi on préfère souvent une autre fonction, moins exigeante que la covariance, il s'agit du semi-variogramme. Le semi-variogramme, ou variogramme, mesure la variance des incréments  $[Z(x) - Z(x+h)]$ .

La fonction variogramme s'écrit :

$$2\gamma(x, x+h) = \text{Var} [z(x) - z(x+h)]$$

La fonction  $\gamma(x, x+h)$  est appelée semi-variogramme.

### **II.3.3.3 Hypothèse stationnaire et intrinsèque**

#### **II.3.3.3.1 Hypothèse stationnaire**

On dit qu'un processus est stationnaire, si la loi de probabilité de la fonction aléatoire est invariante par translation ; c'est-à-dire qu'elle ne dépend pas de l'origine du domaine étudié, elle dépend seulement des positions relatives des sites en lesquels ces mesures sont effectuées et non de la localisation de ces sites.

La moyenne de la fonction  $Z(x)$  est constante et ne dépend pas de point  $x$  :

$$E [Z(x)] = m(x) = m$$

- La fonction de covariance entre deux points  $x$  et  $x+h$  est indépendante du point  $x$ . Elle ne dépend que du vecteur  $h$  :

$$C(h) = E [(Z(x), Z(x+h)) - m^2]$$

Si la covariance est stationnaire alors la variance et le variogramme le sont aussi :

$$Var\{Z(x)\} = E\{(Z(x) - m)^2\} = C(0) \quad \forall x \in D$$

$$2\gamma(h) = E\{(Z(x+h) - Z(x))^2\} = C(0) - C(h) \quad \forall x \in D$$

### II.3.3.3.2 Hypothèse intrinsèque

Sous Hypothèse intrinsèque, on suppose que les accroissements de la fonction sont stationnaires d'ordre 2 : c'est-à-dire que la moyenne et la variance des accroissements  $Z(x+h) - Z(x)$  existent et sont indépendants du point  $x$  :

$$E [Z(x+h) - Z(x)] = 0$$

$$Var [Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h)$$

Le semi-variogramme  $\gamma(h)$  est indépendant de la localisation de  $x$ , seulement de  $h$  (soit en module, soit en module et en direction).

Les variables régionalisées qui sont stationnaires vérifient toujours l'hypothèse intrinsèque, mais la réciproque n'est pas vraie. En effet ; Certains fonctions aléatoires sont stationnaires intrinsèques mais non stationnaire du deuxième ordre. L'hypothèse intrinsèque est donc plus générale. Elle est beaucoup plus faible que l'hypothèse de stationnarité.

### II.3.3.4 Introduction à la notion du variogramme

Soit deux variables aléatoires,  $Z(x)$  et  $Z(x+h)$  mesurées en 2 points  $x$  et  $x+h$ , la variabilité entre ces deux points se caractérise par une fonction notée  $2\gamma(x+h)$  appelée variogramme (Journel et Huijbregts, 1978).



Figure 15 : Représentation schématique des points de mesure de la variable.

Le semi-variogramme est un outil servant à décrire la continuité spatiale d'un phénomène. Il repose sur l'idée que deux observations séparées par une faible distance, se ressemblent davantage en moyenne que deux observations séparées par une plus grande distance.

### II.3.3.5 Semi-variogramme théorique

Le variogramme théorique est défini comme étant l'espérance quadratique de la variable aléatoire  $[Z(x) - Z(x+h)]$  soit :

$$\gamma(h)_{th} = \frac{1}{2} Var[Z(x) - Z(x + h)] - \frac{1}{2} E [(Z(x) - Z(x + h))^2]$$

Où

x : est le vecteur de coordonnées

h : est le vecteur distance.

Cette fonction, habituellement croissante en fonction de h, synthétise beaucoup d'informations concernant le comportement conjoint des variables aléatoires et concernant « La continuité » de la minéralisation.

On peut schématiser l'ensemble des modèles théoriques de semi-variogramme par le graphique de **la figure 16**. Ce graphique met en avant 3 paramètres fondamentaux :

L'effet de pépite, le seuil, et la portée. Ces trois paramètres sont brièvement décrits ci-après

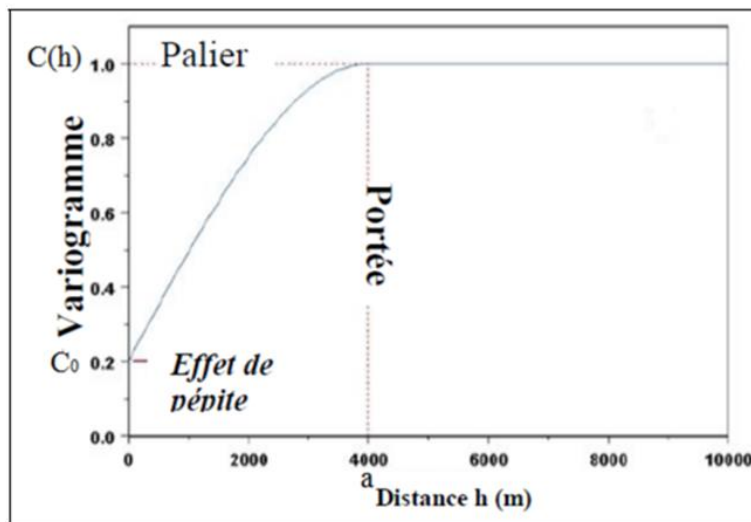


Figure 16 Schéma type d'un variogramme.

**Remarque :** *plus la fonction croît, moins les observations se ressemblent.*

- **Effet de pépite ( $C_0$ ) :** Il représente une discontinuité de variogramme à l'origine et traduit une forte irrégularité du processus des variations locales. Un effet de pépite s'explique par des variations non détectées à une très faible échelle.
- **Portée ( $h$ ) :** Elle représente la valeur  $h$  pour laquelle le variogramme atteint une limite et caractérise la distance entre sites de mesures au-delà de laquelle les dépendances entre mesures du processus sont nulles. Elle représente l'échelle de l'hétérogénéité du processus.
- **Palier ( $C(h)$ ) :** Il s'agit de la valeur limite du variogramme pour de grandes valeurs de  $h$ .

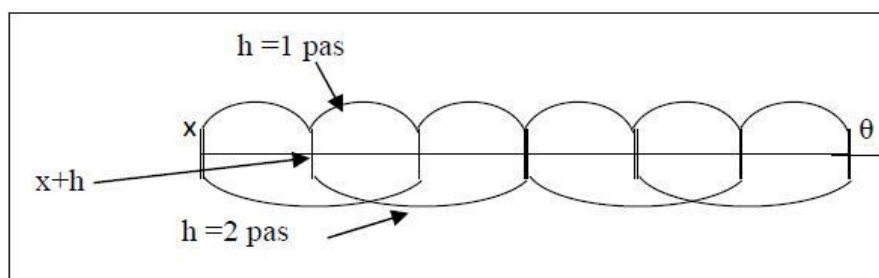
Comme le palier n'est atteint qu'asymptotiquement alors la portée réelle est infinie. C'est pour cela qu'on désigne une portée pratique.

### II.3.3.6 Variogramme expérimental

Nous avons vu que le variogramme théorique :

- Nécessite la connaissance des variables  $Z(x)$  entièrement pour être calculé.
- Nous n'avons qu'une valeur de celle-ci, c'est-à-dire les observations.
- C'est pourquoi en pratique, nous pouvons seulement estimer le variogramme théorique à l'aide du variogramme expérimental qui s'écrit alors :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$



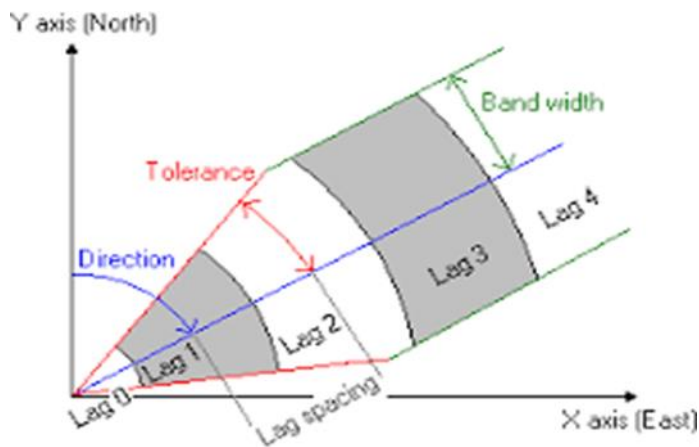
**Figure 17** Schéma de calcul du variogramme expérimental.

On peut aussi calculer le variogramme selon certaines directions spécifiques à l'aide d'une expression particulière du variogramme :

$$\gamma(h, \theta) = \frac{1}{2N(h, \theta)} \sum_{i=1}^{N(h, \theta)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

En pratique, La création du variogramme expérimental nécessite certains paramètres d'entrés (inputs) qui sont :

1. **Azimut (direction)** : angle entre la direction d'un objet et le nord géographique dans le plan horizontal à partir des coordonnées géographiques.
2. **Plunge** : déplacement angulaire de l'axe du cône ou du cylindre par rapport à l'horizontale et a une valeur de -90 à 90.
3. **Spread (tolérance)** : est le déplacement angulaire du bord du cône par rapport à son axe et a une de 0 à 90
4. **Spread limit (band Width)** : est le déplacement angulaire du bord du cône de son axe où la fenêtre de recherche deviendra un cylindre.
5. **Distance maximale de recherche** : représente la distance au-delà de laquelle il n'y a plus de paires d'échantillons (après plusieurs scénarios, la distance maximale de recherche est 40).
6. **Lag** : différence de valeur entre deux échantillons séparés par une distance donnée.



*Figure 18 Schéma des paramètres du variogramme expérimental.*

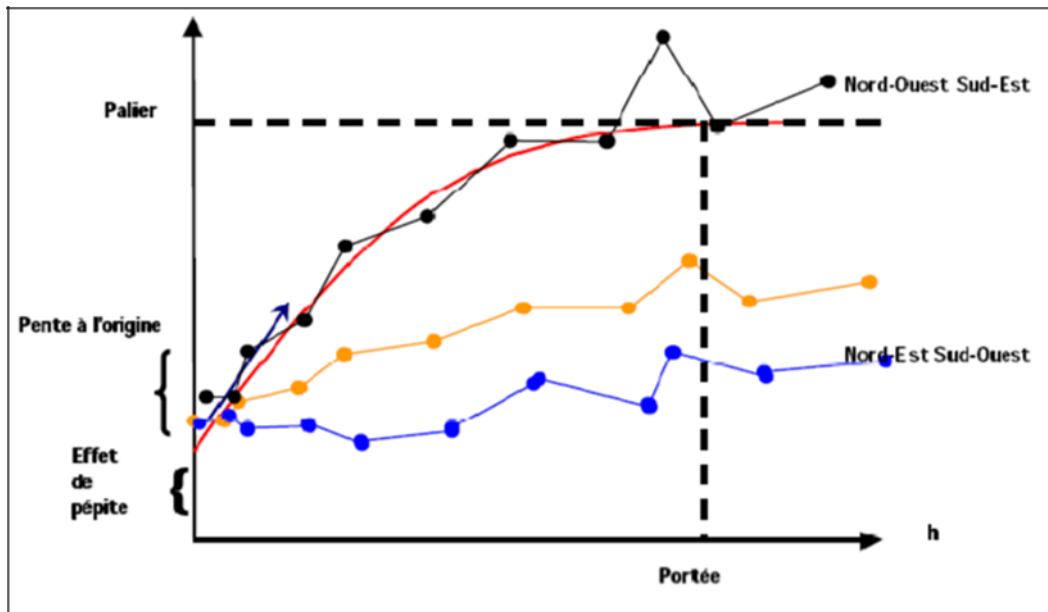


Figure 19 Exemple de variogramme multidirectionnel.

### II.3.3.7 Schémas théoriques et ajustement des variogrammes :

Une fois le variogramme expérimental est calculé, il faut alors déterminer un modèle mathématique qui lui correspond et qui doit être opérationnel et simple à l'emploi : c'est l'ajustement du variogramme expérimental.

Les schémas théoriques d'usage courant sont l'effet de pépité, le modèle linéaire, le modèle sphérique, le modèle puissance, le modèle gaussien et le modèle exponentiel. Une combinaison de deux de ces modèles ou plus est également faisable.

- L'effet de pépité :

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= 0 & \text{si} & \quad h = 0 \\ \gamma(h) &= C & \text{si} & \quad h > 0 \end{aligned}$$

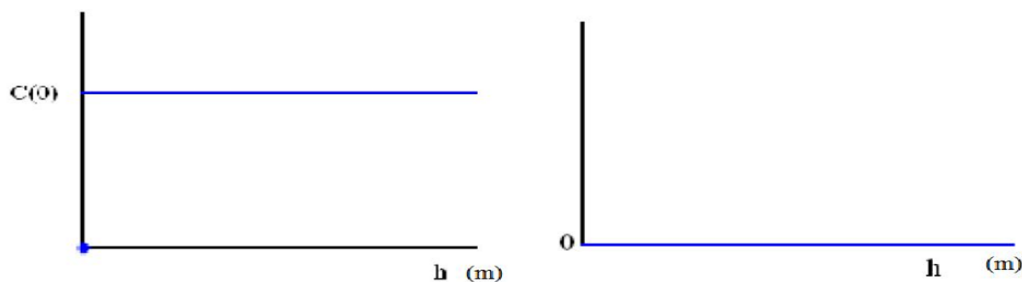


Figure 20 Schéma type d'un variogramme avec effet pépité



Ce modèle correspond à un phénomène purement aléatoire sans corrélation entre les données, quelle que soit la distance qui les sépare.

- **Le modèle sphérique** : Le modèle sphérique est probablement celui qui est le plus couramment utilisé. Il a une expression polynomiale simple et sa forme correspond bien à ce qui est souvent observé : une croissance presque linéaire jusqu'à une certaine distance, puis une stabilisation.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left( \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) & 0 < h < a \\ C + C_0 & h > a \end{cases}$$

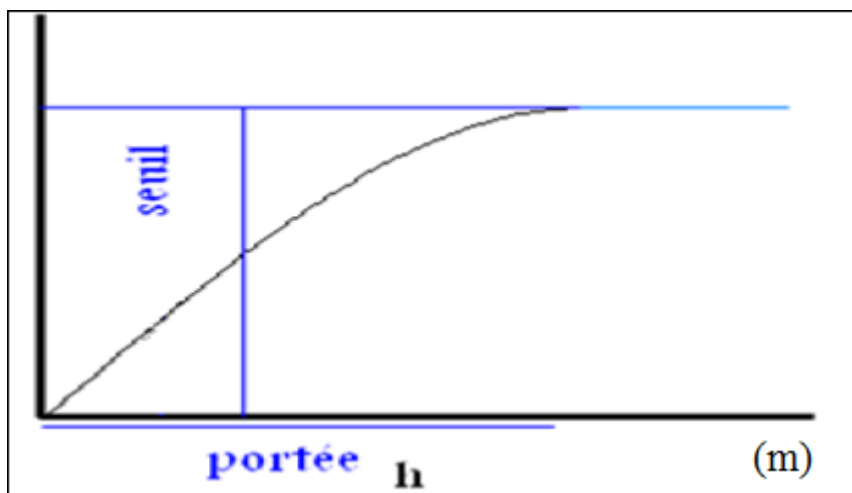


Figure 21 Schéma type d'un variogramme sphérique.

- **Le modèle gaussien** :  $\gamma(h) = \gamma_0 + \sigma^2 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right]$

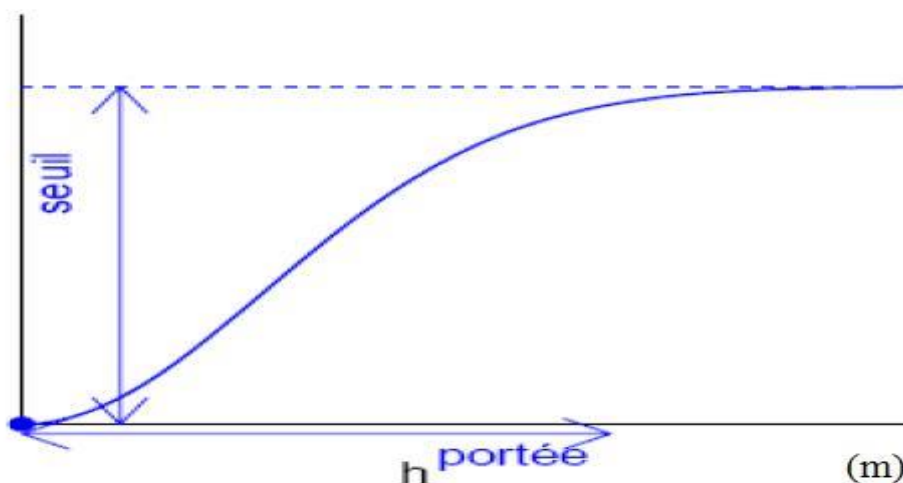


Figure 22 Schéma type d'un variogramme gaussien.

- Le modèle exponentiel :  $\gamma(h) = \gamma_0 + \sigma^2 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h}{a}\right) \right]$

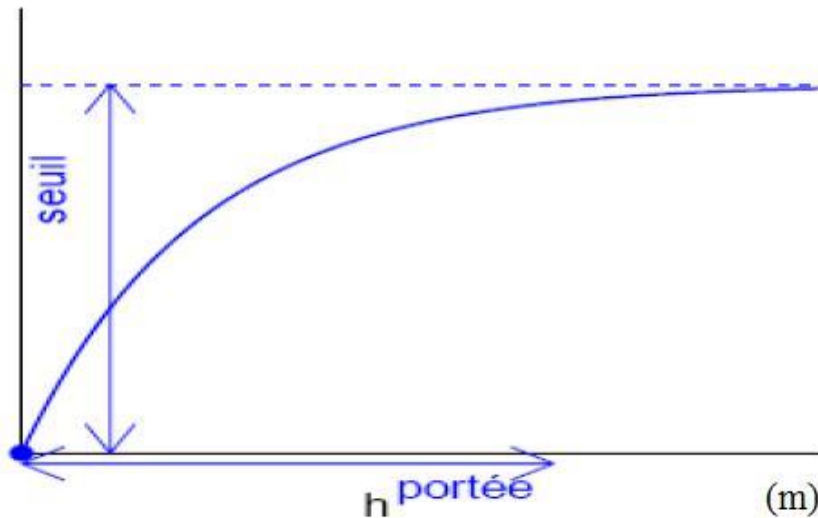


Figure 23 Schéma type d'un variogramme exponentiel.

### II.3.3.8 Isotropie et anisotropie

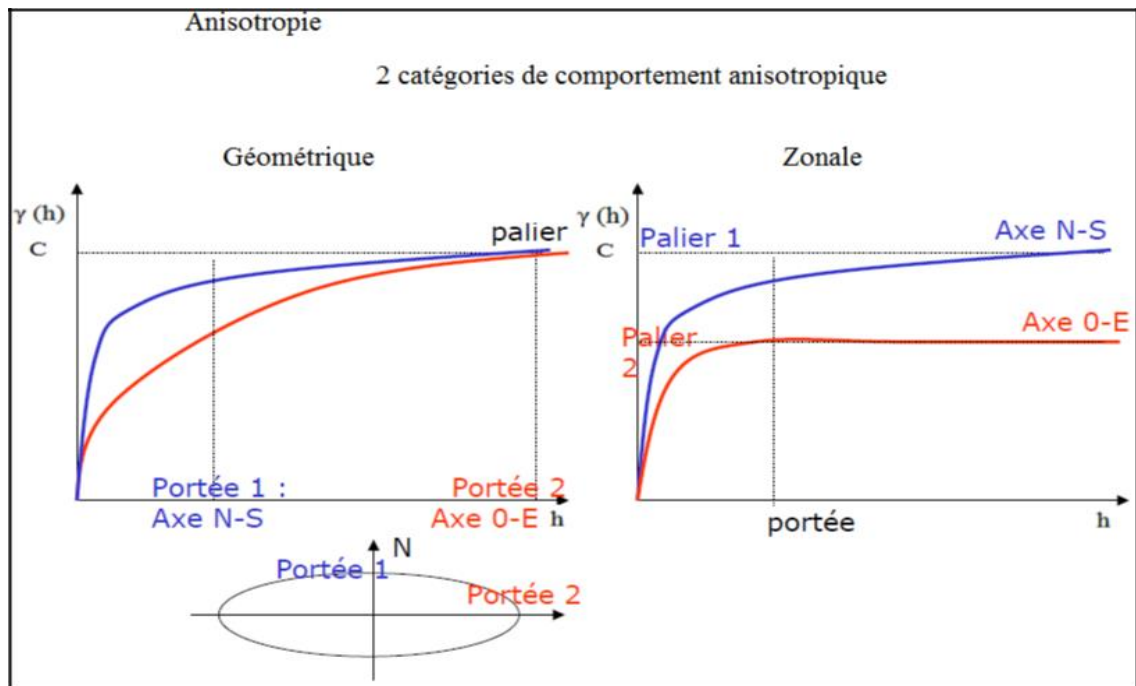
Lorsque le variogramme est calculé pour tout couple de points dans certaines directions comme Nord-Sud ou Est-Ouest, il révèle parfois des différences de comportement (c'est-à-dire une anisotropie). Si cela ne se produit pas, le variogramme ne dépend alors que de la distance entre les points, et on parle alors d'isotropie. On distingue deux principaux types d'anisotropie : l'anisotropie géométrique et l'anisotropie zonale.

#### II.3.3.8.1 Anisotropie géométrique

Il y a anisotropie géométrique quand les variogrammes présentent la même variabilité globale et en particulier le palier mais ont des portées différentes. (Portées différentes, même palier selon la direction)

#### II.3.3.8.2 Anisotropie zonale

L'anisotropie zonale, cas le plus fréquent en pratique, affecte l'ensemble du variogramme ; les paliers sont différents. (Même portée, paliers différents selon la direction).



**Figure 24: Schéma des variogrammes représentant l'anisotropie géométrique et zonale.**

Pour revenir à une situation isotrope, le principe consiste à effectuer une transformation linéaire des coordonnées spatiales c'est-à-dire une rotation en suivant les directions de plus petite et plus grande continuité.

### **II.3.3.9 Le krigeage**

Le krigeage doit son nom au professeur D. Krige, un ingénieur des mines Sud-Africain, qui a développé une technique simple de régression permettant d'estimer les teneurs en Or sans biais. Le professeur Matheron l'a amélioré et lui a donnée la dénomination de krigeage.

Le krigeage est un interpolateur exact (la valeur estimée sur un point de mesure est égale à la valeur du point de mesure) et optimal (il minimise la variance sur l'erreur d'estimation).

Il existe trois types de krigeage univarié (i.e. à une seule variable) : le krigeage simple, le krigeage ordinaire et le krigeage universel. La différence entre ces types d'estimation réside dans la connaissance de la statistique de la variable à interpoler :

- Krigeage simple : variable stationnaire de moyenne connue ;
- Krigeage ordinaire : variable stationnaire de moyenne inconnue ;

- Krigeage universel : variable non-stationnaire (qui contient une tendance).

Le problème est le suivant : nous disposons de  $N$  valeurs  $z(x_1), \dots, z(x_N)$  et nous souhaitons estimer la variable  $Z(x)$  par une combinaison linéaire de ces données. Par exemple nous voulons estimer la valeur de cette variable en un point particulier  $Z(x_0)$ , ou bien sa moyenne dans un bloc  $V$ , notons la quantité à estimer :

$$Z(V) = \frac{1}{V} \int Z(X) dx$$

Où le volume  $V$  se réduit à un seul point dans le cas d'une estimation ponctuelle. Pour mener à bien cette estimation, nous considérons une moyenne pondérée des données :

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Les poids  $\lambda_i$  sont les inconnues du problème.

Le problème réside dans le choix des meilleurs facteurs de pondérations  $\lambda_i$  possibles. C'est ici que nous avons recours au modèle géostatistique. Considérons la fonction aléatoire  $Z(x)$  liée à la variable régionalisée

On définit de même :

$$Z_x^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Choisissons les facteurs de pondération de telle sorte que l'estimation soit :

- Sans biais :  $E [Z^*(x) - Z(x)] = 0$
- Et de variance minimum :  $\text{Var} [Z^*(x) - Z(x)]$

On définit l'erreur d'estimation comme étant la différence entre la valeur réelle et la valeur estimée :

$$e = Z(x) - Z^*(x)$$

Le meilleur estimateur est celui qui fournit l'erreur  $e$  la plus petite possible au point estimé. Pour l'ensemble des estimations réalisées, la variance de cette erreur doit être la plus petite possible.

La variance de cette erreur est la variance d'estimation  $\sigma_e^2$  :

$$\text{Var}(e) = \text{Var}(Z(x)) + \text{Var}(Z^*(x)) - 2 \text{Cov}(Z(x), Z^*(x))$$

Substituant  $Z^*(x)$  par son expression, en fonction des  $Z(x_i)$ , on obtient :

$$\sigma_e^2 = \text{Var}(Z(x)) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \text{Cov}(Z(x_i), Z(x_j)) - 2 \sum_i \lambda_i \text{Cov}(Z(x_i), Z(x))$$

Qui peut être réécrit en fonction du variogramme :

$$\sigma_e^2 = (\sigma^2 - \bar{\gamma}(x, x)) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j (\sigma^2 - \gamma(x_i - x_j)) - \sum_i \lambda_i (\sigma^2 - \bar{\gamma}(x_i, x))$$

Puis finalement, puisqu'on a habituellement  $\sum \lambda_i = 1$ , par simplification on arrive à

$$\sigma_e^2 = 2 \sum_i \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, x) - \bar{\gamma}(x, x) - \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j)$$

Comme on vient de voir, on peut calculer la variance d'estimation soit en utilisant le covariogramme, soit le variogramme ;

Rappelons que pour avoir la meilleure estimation, on doit avoir la plus petite variance d'estimation possible ; c'est-à-dire qu'on doit minimiser  $\sigma_e^2$  :

$$\sigma_e^2 = \text{Var}[Z - Z^*] = \text{Var}[Z] + \text{Var}[Z^*] - 2 \text{Cov}[Z, Z^*]$$

Rappelons que, ce qui nous intéresse ici est de calculer les poids  $\lambda_i$  qui sont les inconnues. Pour minimiser la variance d'estimation on doit calculer les dérivées partielles  $\frac{d\sigma_e^2}{d\lambda_i}$  qui doivent être égales à zéro :

$$\frac{d\sigma_e^2}{d\lambda_i} = 0, \quad i = 1 \dots n$$

Cela représente un système d'équation à  $n$  inconnues (les  $n$  poids) qui donnera la variance la plus petite possible, mais dont la somme des poids ne sera pas nécessairement égale à 1 puisqu'il n'y a aucune contrainte dans ce sens. Pour que l'estimateur soit sans biais (équilibré), il faut que

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

En effet, dans ce cas, on a :

$$E[Z^*] = \sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z_i] = \sum_{i=1}^n \lambda_i m = m$$

Pour obtenir le meilleur estimateur linéaire sans biais, nous devons donc résoudre le système à  $n+1$  équations mais seulement  $n$  inconnues :

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_e^2}{d\lambda_i} = 0, & i=1\dots n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}$$

Pour équilibrer le système nous devons introduire une nouvelle inconnue sous forme du multiplicateur de Lagrange  $\mu$  et on forme le Lagrangien qui doit être minimisé pour trouver les  $n$  inconnues :

$$\begin{aligned} L(\lambda) &= \sigma_e^2 + 2\mu \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \\ &= \text{Var}[Z_v] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \text{Cov}[Z_i, Z_j] - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{Cov}[Z_v, Z_i] + 2\mu \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \end{aligned}$$

Où  $\mu$  est le multiplicateur de Lagrange. Le minimum est atteint lorsque toutes les dérivées partielles par rapport à chacun des  $\lambda_i$  et par rapport à  $\mu$  s'annulent. Ceci conduit au système de krigeage ordinaire.

Ici, nous nous restreindrons au krigeage ordinaire, aussi appelé krigeage ponctuel par certains auteurs, qui est le plus fréquemment utilisé et qui répond aux besoins de notre problématique.

#### ❖ **Krigeage ordinaire : (ou à moyenne inconnue)**

La méthode de krigeage a été développée par Matheron. G. dans cette méthode, la moyenne est supposée inconnue mais utilise l'invariante sur le voisinage de point d'estimation. Cette méthode ne réclame que l'hypothèse de stationnarité intrinsèque :

$$\begin{cases} \sum_j^n \lambda_j \text{Cov}[Z_i, Z_j] + \mu = \text{Cov}[Z_i, Z_j] \\ \sum_j^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad \forall i = 1 \dots n$$

La variance d'estimation minimale, appelée variance de krigeage, est obtenue en substituant les équations de krigeage dans l'expression générale pour la variance d'estimation

$$\sigma_k^2 = \sigma_e^2 = \text{Var}(z_v) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{Cov}(Z_v, Z_i) - \mu$$

Comme la variance d'estimation s'écrit aussi en termes de variogramme, on peut aussi réécrire le système de krigeage en fonction du variogramme. Ceci tient au fait que

$$C(h) = \sigma^2 - \gamma(h) \quad \text{et que } \sum \lambda_i = 1$$

$$\begin{cases} \sum_j^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \mu = (v, x_i) \bar{\gamma} \\ \sum_j^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad \forall i = 1 \dots n$$

Et alors :

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}(v, x_i - \bar{\gamma}(v, v) - \mu$$

Il est intéressant de visualiser le système de krigeage ordinaire et la variance de krigeage ordinaire sous forme matricielle :

$$K \cdot \lambda = k$$

$$\sigma_k^2 = \sigma^2 - \lambda \cdot k$$

$$K = \begin{pmatrix} \sigma^2 & Cov(Z_1, Z_2) & \cdot & Cov(Z_1, Z_n) & 1 \\ Cov(Z_2, Z_1) & \sigma^2 & \cdot & Cov(Z_2, Z_n) & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Cov(Z_n, Z_1) & Cov(Z_n, Z_2) & \cdot & \sigma^2 & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$k = \begin{pmatrix} Cov(Z_1, Z_v) \\ Cov(Z_2, Z_v) \\ \cdot \\ Cov(Z_n, Z_v) \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{et } \lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix}$$

## **Chapitre III : Synthèse des travaux antérieurs.**

**[10] [11] [4]**

Le gisement de diatomite est exploité par la méthode des chambres et piliers foudroyés depuis 1958. Le tableau suivant résume l'ensemble des travaux de recherche menés sur ce site :

**Tableau 3 Tableau récapitulatif des documents et recherches effectués**

Année	Auteur	Titre
De 1970 à 1979	<b>SONAREM</b>	<p><b>1970</b> : Rapport sur les travaux géologiques de prospection effectués par la division de recherches avec l'assistance des spécialistes soviétiques en 1968 – Contrat n.1675.</p> <p><b>1973</b> : Rapport concernant les possibilités d'exploitation à ciel ouvert du gisement de Grimez, suite à la mission de M.Vincenzo Coccolo, géologue de la société AMI, France. Auteur K.Kostov.</p> <p><b>1977</b> : Projet de recherches et de prospection sur les substances utiles dans les régions situées au nord-ouest de l'Algérie en 1978. Auteurs : Litovtchenko N.I., Eret V.V., Sanakoev O.A., Karpov L.V.</p> <p><b>1977-1979</b>: Rapport sur les travaux de prospection détaillée effectuées sur le gisement de kieselguhr de Tallait dans la région de Sig – tome I.</p> <p><b>1977-1979</b> : Rapport sur les travaux de prospection détaillée effectuées sur le gisement de kieselguhr de Tallait dans la région de Sig – tome II – calcul et état des réserves du gisement de kieselguhr de Tallait dans la région de Sig.</p>
AOUT 1979	<b>SIDAM</b>	Etude de développement de l'industrie algérienne de bentonite, kieselguhr, argile activées et perlite expansée – phase I – vol. 2 : kieselguhr.
FEVRIER 1994		Etude de développement du kieselguhr de la région de Sig.
De 2012 à 2013	<b>Geofield srl</b>	<p>Études de Faisabilité Technique et Economique pour la valorisation des gisements de Feldspath de Ain Barbar, Diatomée de Sig, Baryte de Draissa, Dolomie de Teiouelt, Carbonate de calcium de Béni Saf et d'Oggaz.</p> <p><b>Avril 2012</b> : volet 1, recueil et expertise des données de bases existantes sur le gisement de kieselguhr de Sig.</p> <p><b>Septembre 2013</b> : volet 2, Travaux de reconnaissance complémentaires.</p> <p><b>Octobre 2013</b> : volet 3, essais technologiques de traitement.</p>
2017	<b>ORGM</b>	Rapport d'exploration non disponible



### III.1 Les travaux de SONAREM (1970-1979)

Les travaux de recherche sur le gisement de Tallait ont été effectués par l'unité Sidi Bel Abbès, qui appartient à la division de recherche de SO.NA.RE.M.

L'exécution des travaux s'est appuyée sur les projets de recherche et de prospection de substances utiles des régions du Nord-Ouest algérien.

Les travaux de prospection géo-minière du gisement de Kieselguhr ont été planifiés selon un programme réalisé par :

- Prospection détaillée du chantier II ;
- Prospection préliminaire du chantier III ;
- Travaux d'exploration et de prospection au sud-ouest des chantiers II et III.

#### III.1.1 Volume des travaux

Une série de travaux de recherche (sondages carottant, fouilles, tranchées et galeries) ont été réalisés au cours de cette activité d'exploration. Les distances pratiques utilisées entre les ouvrages ont été les suivantes :

- Chantier 2 : 100x100 ~ 100x160
- Chantier 3 : 150x250 ~ 180x300

Un total de 63 ouvrages a été réalisé : 33 sondages (durant l'année 1977-1978), 22 tranchées et 8 galeries.

Le volume de travaux réalisés est présenté dans le tableau suivant :

*Tableau 4 Volume des travaux réalisés par SONAREM entre 1977 et 1978.*

Type des travaux	Unité	Quantité
<b>Itinéraires de recherches</b>	<b>Km</b>	<b>32,5</b>
<b>Forages mécaniques (31sondages)</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1908,3</b>
<b>Tranchées</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1538,6</b>
<b>Puits</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>29,5</b>
<b>Echantillonnage</b>	<b>Ech</b>	<b>641</b>
<b>Analyses et essais</b>	<b>Anal</b>	<b>657</b>
<b>Levé topographique au 1/ 2 000</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>2,65</b>

**Tableau 5 Les sondages réalisés par SONAREM.**

N° sondages	Profondeur (m)		% recuperation moyenne de carottes dans la couche sterile			% recuperation moyenne de carottes dan l'assise utile	Diametre de la carotte (mm)
	min	max	Min	Max	moy	moy	
33	29.7	83.8	70	90	80	95	De 91, 112 ou 32

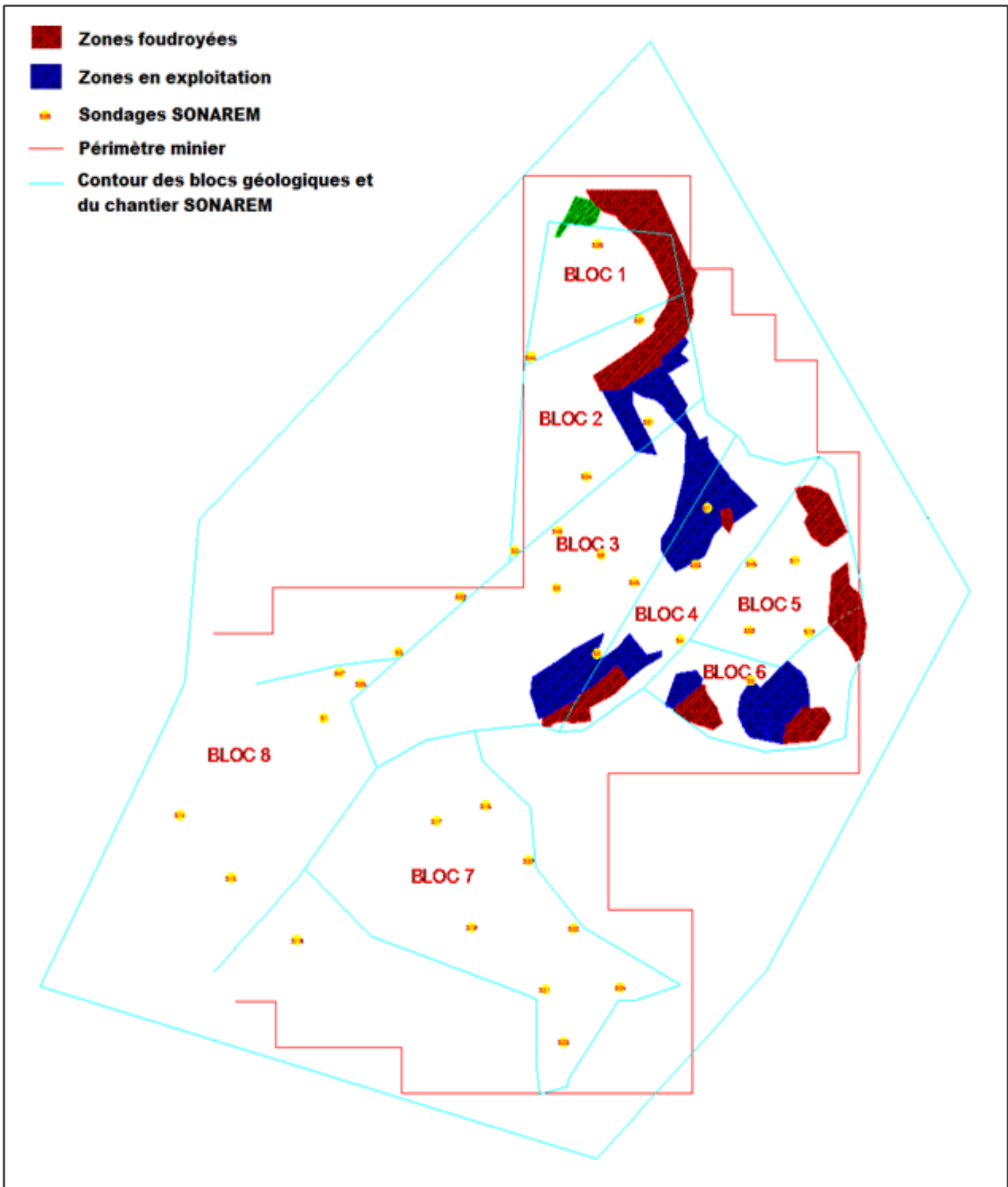
### **III.1.2 Réserves calculées**

Les réserves sont estimées en divisant le gisement en 8 blocs en utilisant la méthode des blocs géologiques. La composition chimique et l'épaisseur des minéraux utiles sont évaluées pour chaque bloc.

Le volume de chaque bloc est calculé en multipliant la puissance moyenne de l'assise utile par la surface du bloc.

Pour le calcul des réserves, seules les couches de puissance supérieure à 1,2 m ont été prises en compte.

Le plan montrant le chantier de la SONAREM, les contours des blocs géologiques et l'implantation des sondages est représenté ci-dessous :



*Figure 25 Travaux de recherche de la SONAREM*

En utilisant le système de classification russe, deux catégories de réserves ont été considérées : C1 et C2. Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 6 Réserves totales (géologiques) du gisement de Dj.Tallait calculées par SONAREM (avec une densité de 0,95 T/m<sup>3</sup>).**

Bloc	N° sondage	N° tranchées	catég	Dimension du bloc		Superficie (m <sup>2</sup> )	Mass e Vol (T/m <sup>3</sup> )	Réserves en Tonnes
				Epais moy (m)	Volume (m <sup>3</sup> )			
<b>B1</b>	44, 27, 26	9, 25, 52	C2	4,8	363 514	75732	0,95	<b>345 338</b>
<b>B2</b>	3, 49, 54, 51, 44	52	C2	3,9	544 959	139733	0,95	<b>517 711</b>
<b>B3</b>	1, 55, 2, 50, 47, 9, 49, 54, 51, 53, 56, 8, 45, 7	53, 19, 28, 13, 58, 47, 57, galerie V et affleurement 335	C1	4,9	1 447 960	295502	0,95	<b>1 375 562</b>
<b>B4</b>	8, 45, 7, 4, 48, 53	12, 19	C1	3,9	406 637	9161	0,95	<b>386 306</b>
<b>B5</b>	52, 11, 10, 4, 48	10, 54, 45, 55	C1	5,0	458 090	91618	0,95	<b>435 186</b>
<b>B6</b>	9, 10	55, 30, 56 et carrière 1	C1	5,2	213 148	40990	0,95	<b>202 491</b>
<b>B7</b>	17, 18, 19, 30, 21, 22, 23, 24	17, 14, 61, 21, 59	C2	6,8	1 762 922	40990	0,95	<b>1 674 776</b>
<b>B8</b>	14, 15	62, 26 et Affleurements 335, 369, 370, 240	C2	6,8	1 725 500	253750	0,95	<b>1 639 225</b>
<b>TOTAL en C1</b>								<b>2 399 500</b>
<b>TOTAL en C2</b>								<b>4 177 000</b>
<b>TOTAL</b>								<b>6 575 500</b>

Les analyses effectuées par la SONAREM ont permis de définir pour chaque bloc (de I à VIII) la composition moyenne en éléments chimiques, le tableau ci-après résume les résultats obtenus :

**Tableau 7 Composition moyenne de chaque bloc du gisement (données SONAREM).**

N° bloc	N° sondage	N° tranchées	Composition chimique moyenne					Puissance moy.
			SiO <sub>2</sub> %	CaO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	H <sub>2</sub> O %	
<b>B1</b>	44, 27, 26	9, 25, 52	59.05	14.35	1.41	4.84	-	<b>4.8</b>
<b>B2</b>	3, 49, 54, 51, 44	52	58.70	14.28	1.29	2.94	5.05	<b>3.9</b>
<b>B3</b>	1, 55, 2, 50, 47, 9, 49, 54, 51, 53, 56, 8, 45, 7	53, 19, 28, 13, 58, 47, 57, galerie V et affleurement 335	57.00	13.85	1.41	3.38	4.41	<b>4.9</b>
<b>B4</b>	8, 45, 7, 4, 48, 53	12, 19	58.63	14.01	1.41	3.14	3.90	<b>3.9</b>
<b>B5</b>	52, 11, 10, 4, 48	10, 54, 45, 55	58.99	13.32	2.08	3.32	4.65	<b>5</b>
<b>B6</b>	9, 10	55, 30, 56 et carrière 1	64.49	11.11	1.54	3.14	5	<b>5.2</b>
<b>B7</b>	17, 18, 19, 30, 21, 22, 23, 24	17, 14, 61, 21, 59	62.60	11.39	1.67	3.71	4.90	<b>7.1</b>
<b>B8</b>	14, 15	62, 26 et Affleurements 335, 369, 370, 240	59.57	12.08	1.44	3.02	4.94	<b>6.8</b>
<b>TOTAL</b>	<b>33 sondages</b>	<b>22 tranchées, 1 galerie, et 4 affleurements</b>	<b>59.36</b>	<b>12.8</b>	<b>1.5</b>	<b>3.32</b>	<b>4.73</b>	<b>5.2</b>

Selon ces analyses on peut distinguer 3 qualités différentes :

**Tableau 8 Qualités de diatomite selon la composition chimique selon SONAREM.**

COMPOSANTS	Q1	Q2	Q3
<b>SIO2</b>	+80%	+62%	+51%
<b>CAO</b>	-9%	-11%	-17%
<b>H2O</b>	-25%	-25%	-25%

Les réserves estimées selon la qualité du minerai sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 9 Les réserves géologiques selon les différentes catégories et qualités ( $d=0,95T/m^3$ ).**

Bloc	Catégorie	Q2 (TONNES)	Q3 (TONNES)
B1	C2	32462	312875
B2	C2	71962	445748
B3	C1	108669	1266893
B4	C1	73398	312907
B5	C1	103139	332046
B6	C1	63582	138908
B7	C2	375150	1299625
B8	C2	293421	134804
	C1	348788	2050754
	C2	772995	3404052
<b>TOTAL</b>		<b>1121783</b>	<b>5454806</b>

### III.1.3 Etat de réserves en 2016

Les réserves géologiques du gisement de TALLAIT de Sig ont été estimées à 6 576 589 tonnes, selon le rapport géologique de la SONAREM après les travaux réalisés par eux entre 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. Ci-après un tableau qui illustre l'état de réserves en 2016 :

**Tableau 10 Les réserves géologiques et exploitables au 30 Juin 2016 par 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
<b>Total</b>	<b>130 067</b>	<b>2 170 730</b>	<b>4 109 510</b>	<b>6 410 307</b>	<b>90 790</b>	<b>257 372</b>	<b>731 664</b>	<b>1 079 826</b>

## **Observations**

La répartition des réserves par qualités révèle que les réserves de minerais riches sont nulles, les réserves de qualité moyenne sont estimées à 17% de la totalité des réserves et que les réserves de basses qualités dominent.

Le volume et la qualité des travaux de recherche (carottage, excavations, tranchées et galeries) et les travaux d'analyse entrepris lors de la campagne de prospection entreprise par SONAREM permettent de caractériser le gisement et de calculer les réserves avec un degré de certitude acceptable. La connaissance du gisement est donc quantitativement et qualitativement bonne.

## **III.2 Les travaux de SIDAM**

L'enquête menée par SIDAM visait à déterminer les réserves de terre de diatomées en échantillonnant des sondages et des tranchées, pour déterminer quantitativement les réserves et définir les paramètres qualitatifs pour cerner ce gisement.

La mission SONAREM débutait et devrait couvrir presque la totalité du massif. Le promontoire, situé au sud-ouest de l'exploitation étant exclu de l'étude soviétique (SONAREM), fut nommé chantier SKB et devint le choix de l'évaluation de SIDAM. A cet endroit, aucune exploitation minière n'y avait été pratiquée.

### **III.2.1 Volume des travaux**

Au cours des missions de juillet et août 1977, 9 trous ont été forés (689,5 m au total), les résultats n'étant pas concluants, une deuxième campagne a eu lieu au sud en décembre 1977, un total de 4 trous ont été forés et un total de 308 m a été exécuté. (1a-c, 2a-c, 3a-c, 4-a-c)

Au cours de son étude, SIDAM a visité presque toutes les tranchées et les galeries d'exploration qui avaient été excavées autrefois par SONAREM, ces visites visaient à obtenir le plus de renseignements possibles au sujet de la présence de diatomite. Ce chantier fut nommé chantier DR-1978. Plusieurs échantillons ont été prélevés dans cet endroit.

### III.2.2 Réserves calculées

La méthode de calcul de réserve qu'a utilisé SIDAM ne fait pas référence à une norme, les réserves ne sont donc pas catégorisées en fonction du degré de précision des travaux utilisés. Les blocs de réserves sont délimités par la zone d'influence de chaque sondage, d'où un bloc par sondage, et une catégorie de réserve assimilée à C1. Le tableau suivant résume les réserves calculées par cette compagnie :

**Tableau 11 Réserves calculées par SIDAM (avec une densité de 0,8 T/m**

Désignation		Classification	Réserves (T)	Epaisseur moyenne (m)	Qualité	Densité T/m <sup>3</sup>
Chantier SKB		Probables	Max 30000	1.5	Q1	0,8
		Possibles (géologiques)	195000	1.5	Q2 à Q4	0,8
Chantier DR-1978	Bloc					
	A	Prouvées	64000	3.3	Q3, Q2	0,8
	B	Prouvées	76000	1.75	Q4	0,8
	C	Prouvées	115000	2.3	Q4	0,8
	Total		255000			0,8
	Autres	Possibles (S-14, 18,19,54)	>20000	<1.2	Q4	0,8

La composition moyenne des chantiers étudiés par SIDAM a donné les teneurs en éléments chimiques suivantes (analysés par la SONAREM) :

**Tableau 12 Composition chimique moyennes des échantillons provenant des 9 premiers sondages de SIDAM.**

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	PAF	Solubilité H <sub>2</sub> O	Solubilité HCl
54.09	1.99	1.56	0.29	16.58	1.54	0.13	0.56	19.57	1.13	51.86

**Tableau 13 Composition chimique moyenne des échantillons provenant des 4 derniers sondages de SIDAM.**

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	H <sub>2</sub> O	PAF
50,18	1,26	3,33	15,52	2,86	0,23	0,70	23,71



Selon ces analyses, SIDAM a proposé une nouvelle approche des réserves en distinguant quatre qualités de minerais, le tableau suivant résume les critères de classification :

**Tableau 14** *Qualités de diatomite selon la composition chimique de SIDAM.*

Catégorie	SiO <sub>2</sub> %	CaO%
<b>Première (Q1)</b>	<b>&gt;75</b>	<b>&lt;7</b>
<b>Deuxième (Q2)</b>	<b>70-75</b>	<b>7-8</b>
<b>Troisième (Q3)</b>	<b>65-70</b>	<b>&lt;10</b>
<b>Quatrième (Q4)</b>	<b>60-65</b>	<b>&gt;10</b>

Les réserves estimées selon la qualité du minerai sont résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 15** *Les réserves exploitables estimées selon les différentes qualités (d=0,8 T/m3).*

Bloc	Qualité 1	Qualité 2	Qualité 3	Qualité 4	Total
DR78-A		417866	849568	288851	<b>1556285</b>
DR78-B	51619	216219	345717	127482	<b>741037</b>
DR78-C		351979	4095	97470	<b>453544</b>
DR78-D		29941	133614		<b>163555</b>
DR78-E		108980	56448		<b>165428</b>
DR78-F				39225	<b>39225</b>
SKB		138921	190062	39255	<b>368208</b>
<b>Totaux</b>	<b>51619</b>	<b>1124985</b>	<b>1389442</b>	<b>553028</b>	<b>3119074</b>

SIDAM a aussi effectué des tests technologiques dans le but d'identifier le potentiel d'utilisation de la diatomite. Les tests ont montré qu'on pourra améliorer la qualité de la diatomite en appliquant un lavage à l'acide chlorhydrique ou bien l'acide sulfurique pour avoir un taux moins élevé en CaO, les basses qualités deviennent donc équivalentes ou meilleures que la première qualité.

Exemple : une diatomite Q1 avec un taux de CaO supérieur à 6,6% devient une diatomite de Q1 avec un taux de 1% de CaO par un lavage à HCl.

### **III.2.3 Utilisations du minerai selon sa qualité**

Pour classer les réserves, la SONAREM et SIDAM ont définis deux classifications des types de kieselguhr selon la composition chimique et en

comparaison aux possibles applications technologiques. La classification proposée est synthétisée dans le tableau ci- après :

**Tableau 16 Composition des catégories classifiées par SONAREM et SIDAM dans les années 1977-1978.**

Classification	Catégorie	SiO <sub>2</sub> %	CaO %	Domaine d'utilisation
<b>SONAREM</b>	Première (Q1)	>75	<7	<b>Filtration</b>
	Deuxième (Q2)	60-75	7-14	<b>Matériaux de charge, agrégats 1e qualité</b>
	Troisième (Q3)	<60	>14	<b>Matériaux de charge, agrégats 2e qualité</b>
<b>SIDAM</b>	Première (Q1)	>75	<7	<b>Filtration standard international</b>
	Deuxième (Q2)	70-75	7-8	<b>Filtration –seconde qualité</b>
	Troisième (Q3)	65-70	<10	
	Quatrième (Q4)	60-65	>10	<b>Matériaux de charge, absorbant, agrégats</b>

### **Observations**

Les travaux effectués par SIDAM viennent renforcer ce qui a été fait par la SONAREM.

Une plus grande connaissance du gisement quantitativement et qualitativement vu le nombre de sondages et d'analyses chimiques complémentaires.

Une méthode de traitement (attaque à l'HCl et lavage à l'acide sulfurique) a été proposée et testée par SIDAM. Elle a donnée de bons résultats en termes de diminution de la teneur en CaO.

Une classification des types de kieselguhr a été définie pour les différentes utilisations du produit.

### **III.3 Les travaux de l'ORGM (2017)**

Le bureau d'étude ORGM a lancé une campagne de prospection en 2017 dans le bloc 7, au total 10 sondages ont été réalisés, les logs de sondages sont accessibles mais le rapport d'exploration n'a pas été transmis à l'ENOF.

# *Chapitre IV : Modélisation et estimation des réserves et étude statistique.*

---

[5] [6] [12]

## **IV.1 Introduction**

L'utilisation du numérique dans le domaine Minier a connu des évolutions et a facilité le travail aux ingénieurs miniers dans toutes les phases d'un projet Minier (Exploration, planification, production, etc...). L'estimation des réserves se faisait avant par l'utilisation des méthodes manuelles telles que :

- Méthode des sections ;
- Méthode des polygones ;
- Méthode des triangles ;
- Méthode de pondération de distance inverse etc...

Si l'étude des phases (planification) d'un projet Minier prenait beaucoup de temps auparavant, aujourd'hui grâce à l'avancement du numérique ça prend beaucoup moins de temps

L'application de ces logiciels (de planification) varie d'une entreprise à une autre. Parmi ceux-ci, on peut citer : Surpac, Surfer, Whittle, Minesight, Datamine, Minex, CSMine etc....

Dans ce chapitre nous utiliserons les logiciels Surpac, Surfer et Statistica, afin de modéliser le gisement, construction des cartes thématiques et étudier et analyser toutes les données relatives au gisement.

## **IV.2 Présentation des logiciels**

### **IV.2.1 Surpac**

Surpac est un logiciel de planification géologique et minière largement utilisé dans le monde entier. Il prend en charge les opérations à ciel ouvert et souterraines ainsi que les projets d'exploration dans plus de 120 pays. Il offre efficacité et précision grâce à sa facilité d'utilisation, ses puissants graphiques

3D et l'automatisation des workflows qui peuvent être alignés avec les processus et flux de données propres à l'entreprise.

Surpac répond à toutes les exigences des géologues, géomètres et ingénieurs des mines en matière de ressources. Il s'avère suffisamment flexible pour s'adapter à n'importe quel gisement de minerai, matière première ou méthode d'exploitation. Ses fonctionnalités multilingues permettent aux sociétés internationales d'utiliser une solution commune dans toutes leurs opérations.

Dans ce chapitre nous utiliserons le logiciel Surpac afin d'estimer les réserves du gisement par l'application de deux méthodes d'estimation qui sont :

- Estimation par la méthode de l'inverse de la distance au carrée.
- Estimation par la méthode du krigeage.

#### **IV.2.2 Surfer**

Surfer est un logiciel de cartographie basé sur une grille qui interpole des données XYZ irrégulièrement espacées dans une grille régulièrement espacée. Les grilles peuvent également être importées d'autres sources, telles que Surpac data. La grille est utilisée pour produire différents types de cartes, notamment des cartes de contour, de relief et de surface 3D. De nombreuses options de quadrillage et de cartographie sont disponibles, permettant de produire la carte qui représente le mieux les données.

Dans ce chapitre nous utiliserons le logiciel Surfer pour réaliser :

- Des cartes iso-teneurs 2D.
- Des cartes iso-puissance 2D.
- Des cartes topographiques.

#### **IV.2.3 Statistica**

STATISTICA est un système complet et intégré d'analyse de données, de graphiques, de gestion de bases de données et de développement d'applications personnalisées comprenant une large sélection de procédures analytiques de base et avancées pour l'exploration de données de science et d'ingénierie.

Dans ce chapitre, ce logiciel nous servira à faire l'étude de corrélation entre les différentes variables mises en jeu.

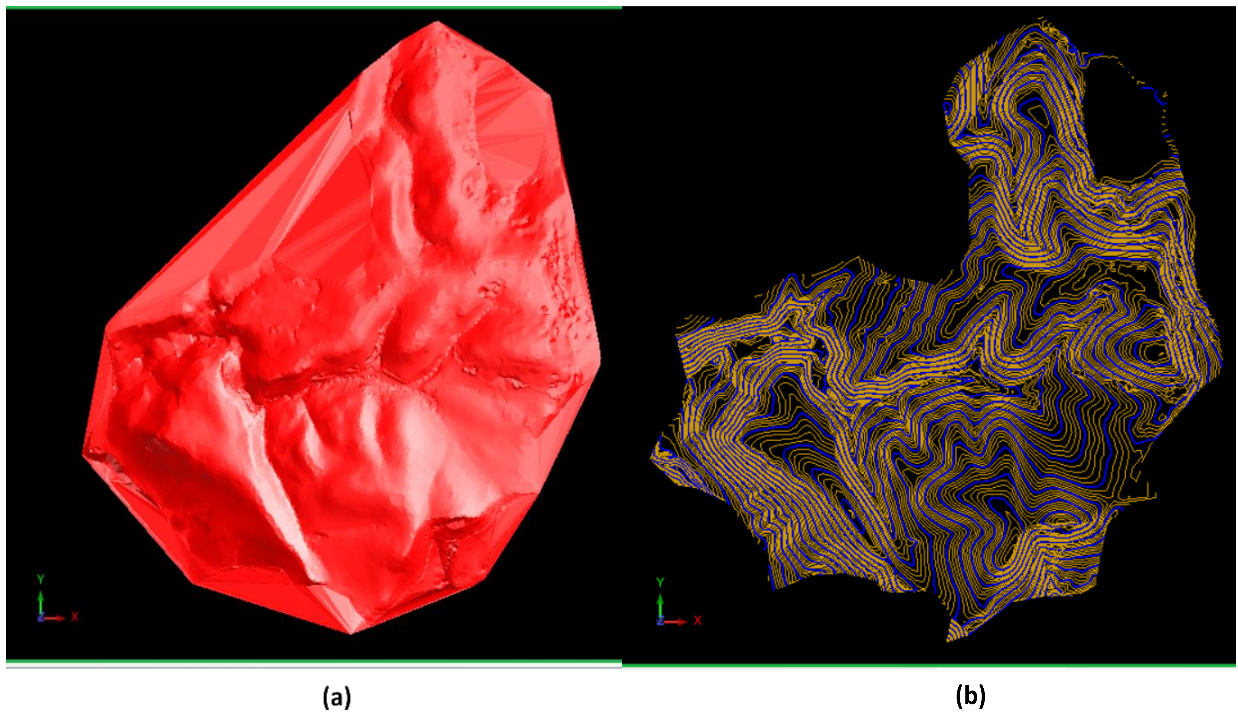
### **IV.3 Modélisation du gisement**

À partir des données récoltées à partir de diverses campagnes de prospections et de reconnaissances, une base de données géologique est créée pour délimiter l'étendue du dépôt de minerai et ses caractéristiques lithologiques de base. Les forages sont affichés en fonction des valeurs du collier qui comporte les coordonnées (x,y,z), la profondeur maximale, l'azimut et l'inclinaison de chaque forage présent dans la base de données. Une fois la base de données géologique créée, le volume total du corps minéralisé peut être estimé en développant un modèle solide comprenant toutes les données de forage. Afin d'obtenir le modèle solide, les trous de forages sont délimités par les couches minéralisées du toit et du mur respectivement.

Le modèle solide ainsi développé est ensuite intercepté par un modèle de bloc de taille prédéfini pour générer un modèle de blocs de contraintes. Le paramètre économique (teneur moyenne) du bloc est ensuite calculé en utilisant une méthode d'interpolation choisie en fonction du contexte géologique de la zone d'étude.

#### **IV.3.1 Topographie**

La direction de l'ENOF dispose d'un fichier de levé topographique avec une échelle de 1/2000 réalisé par les topographes de l'unité Sig en 2017. Ces données ont été importées sous forme d'un fichier .csv sous Microsoft EXCEL pour la création de la surface topographique. La figure ci-dessous représente la surface topographique sur le plan XY.



*Figure 26 Modélisation du levé topographique (a- plan avec l'extension .dtm, b- les courbes de niveau de la surface topographique)*

#### **IV.3.2 Données des trous de forage**

Les données d'exploration nous ont été présentées sous forme de log de sondage (format papier). Ces données sont organisées en fichiers .csv utilisant Microsoft Excel dans un format gérable dans la base de données du logiciel Surpac afin de faciliter le processus de modélisation, et sont utilisées comme entrée principale (input) pour la modélisation du bloc. Les données ont été structurées en 4 tables thématiques : collar, survey, sample et geology (**voir annexe**).

- Table collar : contient les coordonnées X, Y et Z, le nom du trou de sondage, et la profondeur maximale.
- Table survey : contient le nom du trou de forage, sa profondeur, son azimut et son inclinaison « dip ».
- Table sample : contient le nom du sondage, le numéro d'échantillon, les altitudes des extrémités (depth\_from et depth\_to) et les teneurs des différents éléments.
- Table geology : contient le nom du sondage, le numéro d'échantillon, les altitudes des extrémités (depth\_from et depth\_to) et le type de roche.

### IV.3.3 Création d'une base de données Surpac

La base de données Surpac est une collection organisée de données sous forme de tableau de champs et d'enregistrements. Après avoir chargé les fichiers .csv dans la base de données Surpac, la disposition des trous de forages extraits de la base de données pourrait être tracée et affichée.

L'affichage des trous de forage sur le plan permet de visualiser et de remplir deux fonctions importantes :

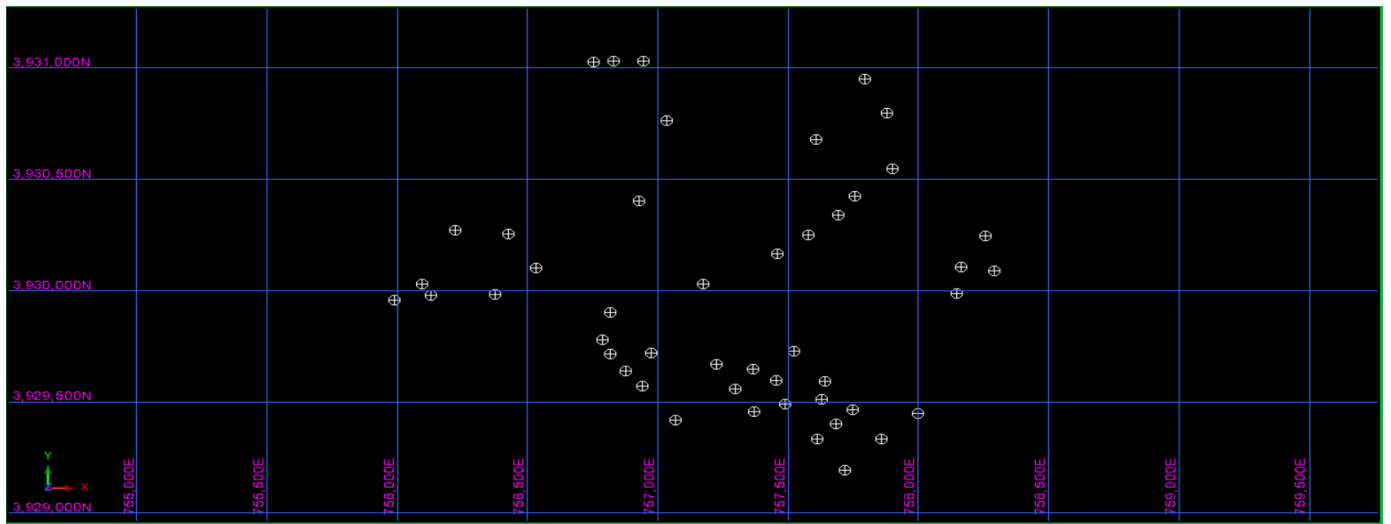
- Aider les ingénieurs à étudier la disposition des trous de forage sur le plan et à décider des plans à travers lesquels faire passer les sections.
- Aider les ingénieurs des mines et les géologues à vérifier les coordonnées du collier du trou de forage par rapport à des cartes préparées manuellement afin de valider les données.

Pour notre cas, on a créé la Database en s'aidant d'Access à travers les quatre (4) fichiers Excel et par la suite nous avons importé cette dernière vers Surpac afin d'afficher les trous.

### IV.3.4 Affichage de modèle des trous et correction

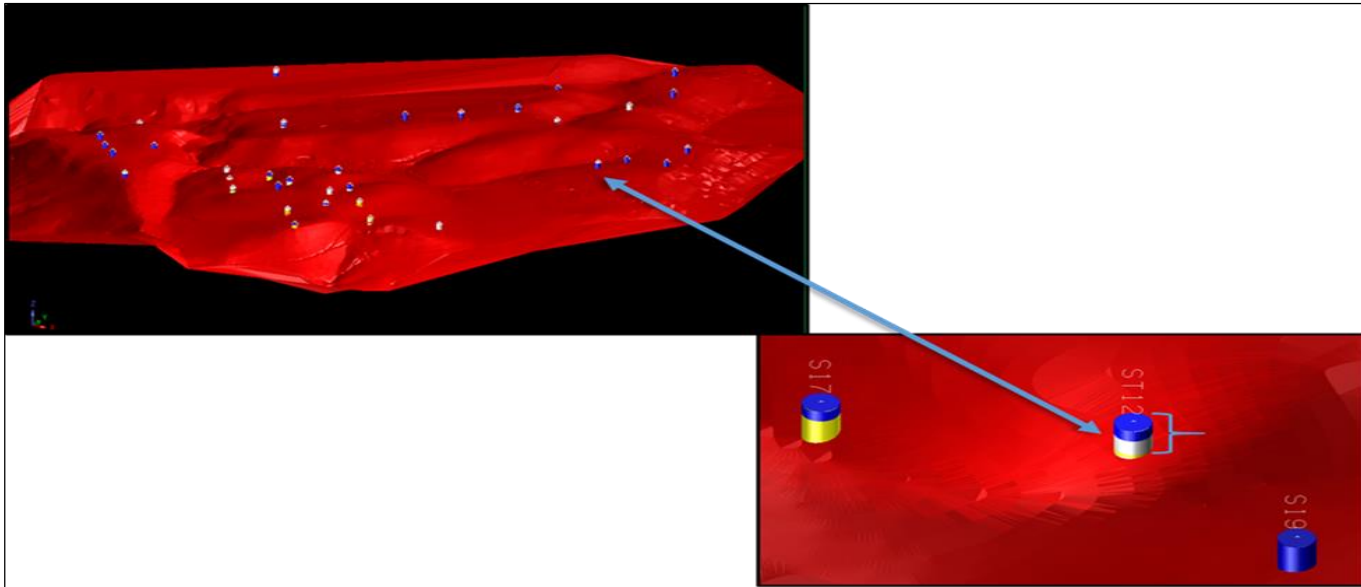
Après avoir créé cette Database dans Surpac, on utilisera les commandes d'affichage afin d'afficher les trous sur le plan Nord-Est avec un facteur d'échelle de 100m. Les coordonnées de références sont 3929500N (suivant le Nord ou Y) et 755000E (suivant l'Est ou X). Sur ce plan (Nord-Est), sont représentés 47 trous de sondages (des trois compagnes d'exploration).

Après avoir affiché les trous de sondage et la surface topographique simultanément, On a constaté un décalage entre l'altitude des colliers des trous de sondage et celui du levé topographique (**figure 29**) pour cela on a effectué une correction des altitudes en utilisant une commande sous Surpac pour obtenir une nouvelle table collar ( **voir annexe**), à partir de laquelle une nouvelle base de données a été créé. (**Figure 30**)

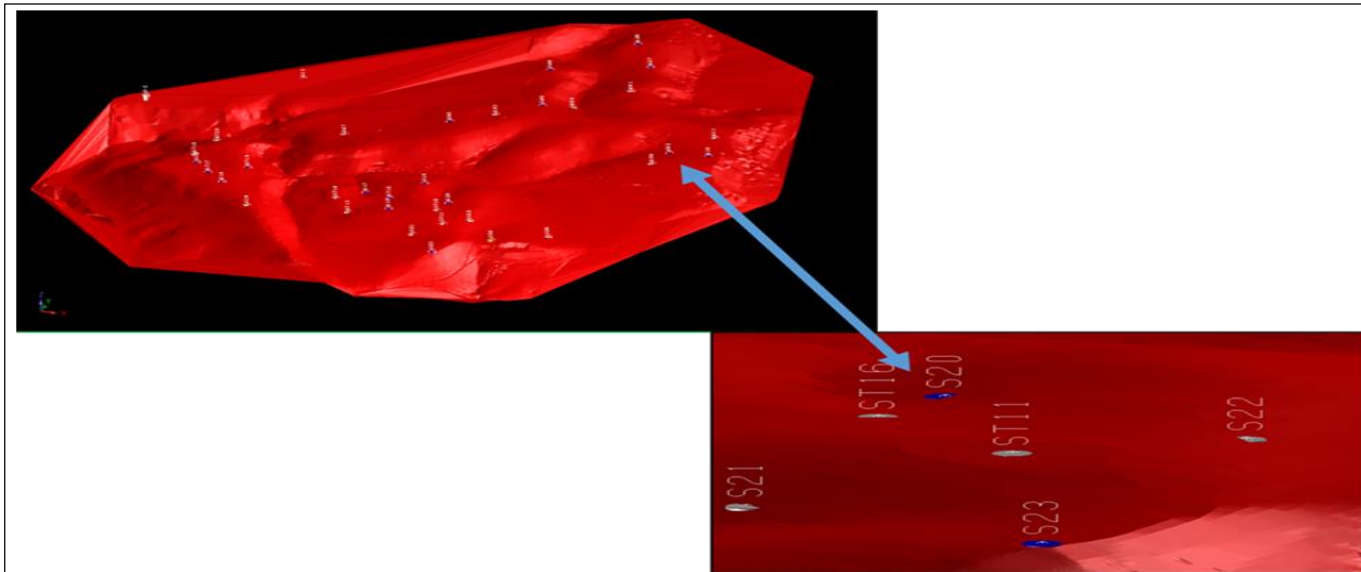


**Figure 27 Trous de forage sur le plan Nord-Est**





*Figure 28 Implantation des trous de forage avec le levé topographique avant la correction des altitudes*



*Figure 29 Implantation des trous de forage avec le levé topographique après la correction des altitudes*

#### IV.3.5 Coupes de section verticale (Nord-Sud) et (Est-Ouest)

Les coupes de sections verticales Nord-Sud sont faites à partir de l'Est de 756000 à 758000 avec un intervalle de section de 100 m tout en prenant 100 m avant et après le plan.

Les sections Nord-Sud sont représentées sur une grille de 100\*100 (c'est-à-dire 100 m suivant Z et 100m suivant le Nord ou Y) et au total nous avons 21 sections.

Les coupes de sections verticales Est-Ouest sont faites à partir du Nord 3929200 à 3931000 avec une largeur de section de 100m tout en prenant 100 m avant et après le plan.

Les sections Est-Ouest sont représentées sur une grille de 100\*100 (c'est-à-dire 100 m suivant Z et 100m suivant l'Est ou x) et au total nous avons 19 sections.

**Tableau 17 Les coupes de sections verticales Est-Ouest et Nord-Sud.**

Section Nord-Sud	Sondage	Section Est-Ouest	Sondage
756000E	5-C	3929200N	S23
756100E	6-C et 4-C	3929 300N	S24 et S21
756200E	10-C	3929400N	S25, ST11 et S16
756300E	Aucun trou	3929500N	S22, ST16, S19 et ST13
756400E	7-C et 11-C	3929600N	S20, ST12, S17, ST14, S15 et ST17
756500E	8-C	3929700N	S18, ST15, ST19 et S14
756600E	Aucun trou	3929800N	ST18
756700E	3-a-c	3929900N	ST20
756800E	S14, ST18 et ST20	3930000N	S09, S47, 7-C ,6-C ,4-C et 5-C
756900E	S15, ST17, S13 et 1-a-c	3930100N	8-C, S52 et S10
757000E	ST19 et 4-a-c	3930200N	S50 et S11
757100E	S16	3930300N	10-C ,11-C, S03 et S49
757200E	ST15 et S47	3930400N	S54 et S13
757300E	ST14	3930500N	S51
757400E	ST13 et S17	3930600N	Aucun trou
757500E	S19, ST12, S18, et S50	3930700N	S44
757600E	S21, ST16, S20 et S03	3930800N	S27 et 4-a-c
757700E	S23, ST11, S22 et S49	3930900N	Aucun trou
757800E	S54 et S26	3931000N	S26 ,1-a-c ,2-a-c et 3-a-c
757900E	S24, S51 et S27		
758000E	S25		

Nous représentons ci-dessous une section Est-Ouest et une section Nord-Sud

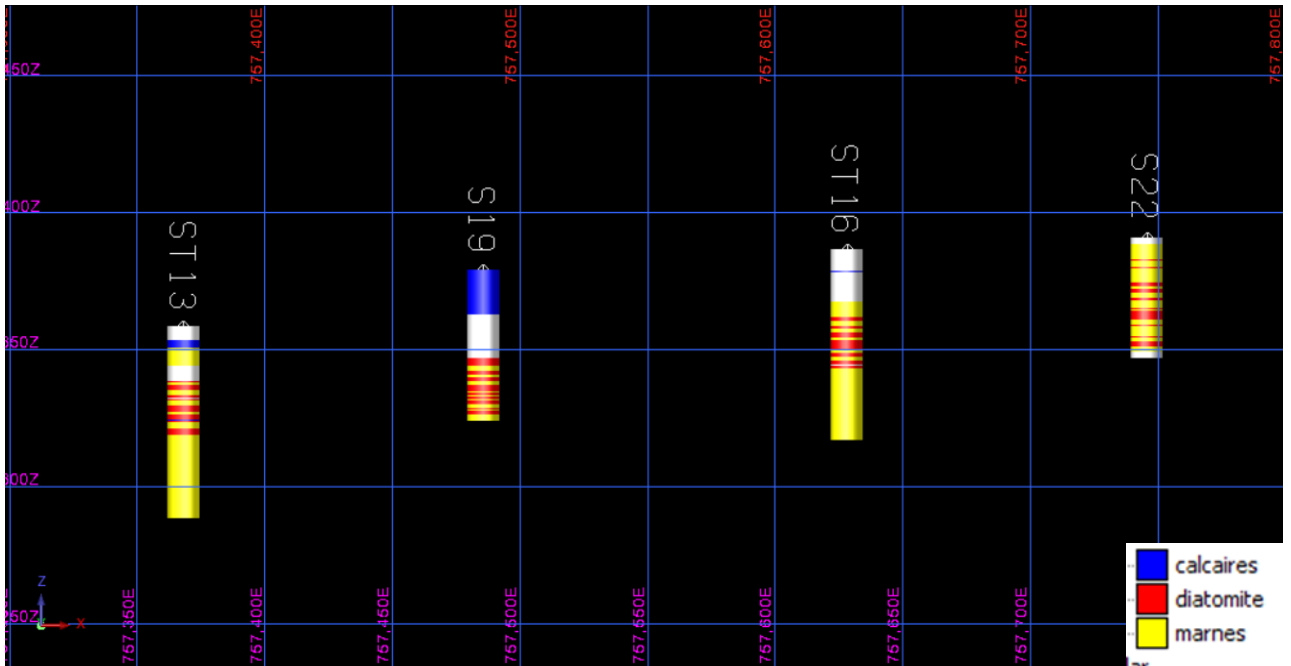


Figure 30 Représentation de la section Est-Ouest à partir du Nord 3929500

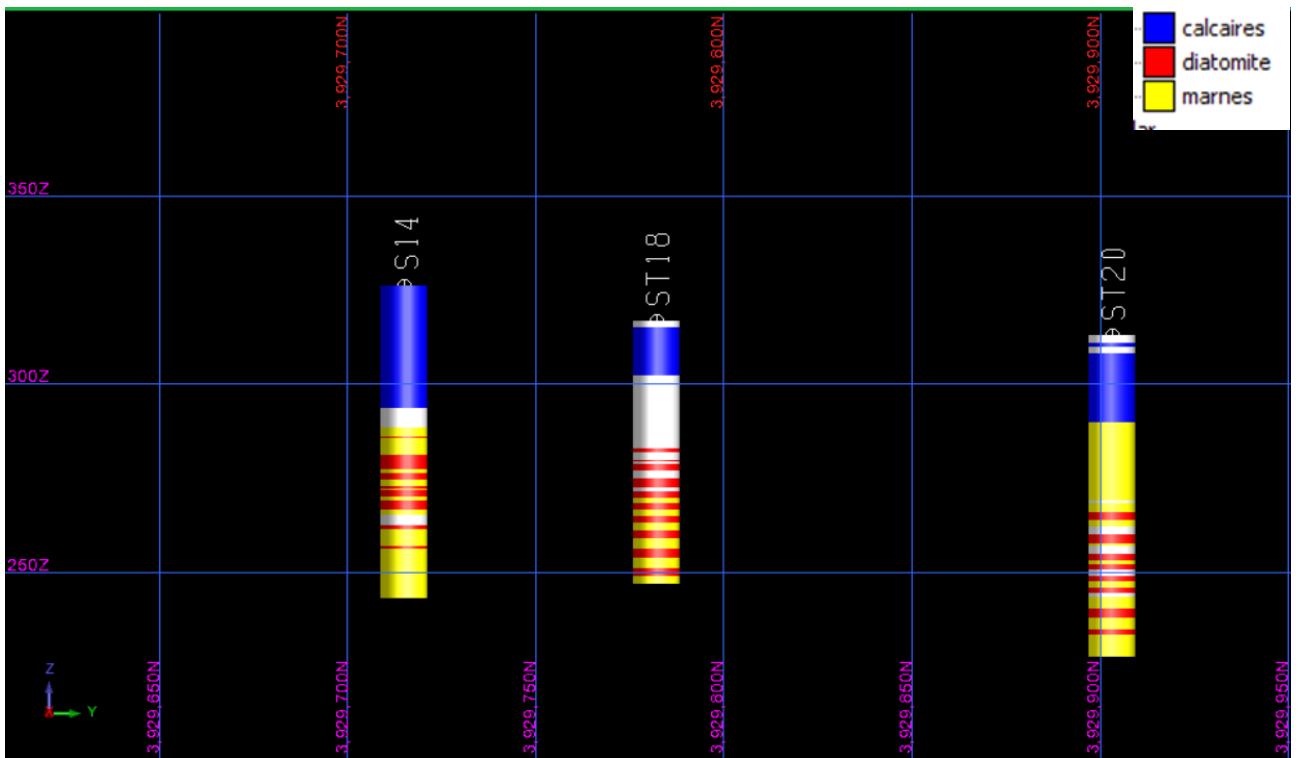


Figure 31 Représentation de la section Nord-Sud à partir de l'Est 756800

## **Commentaire**

Ces coupes de sections verticales nous permettent de visualiser le nombre de trous de sondage dans chaque section, variation de l'épaisseur, la lithologie (couches de stratification) ainsi que la variation des teneurs d'un trou à un autre.

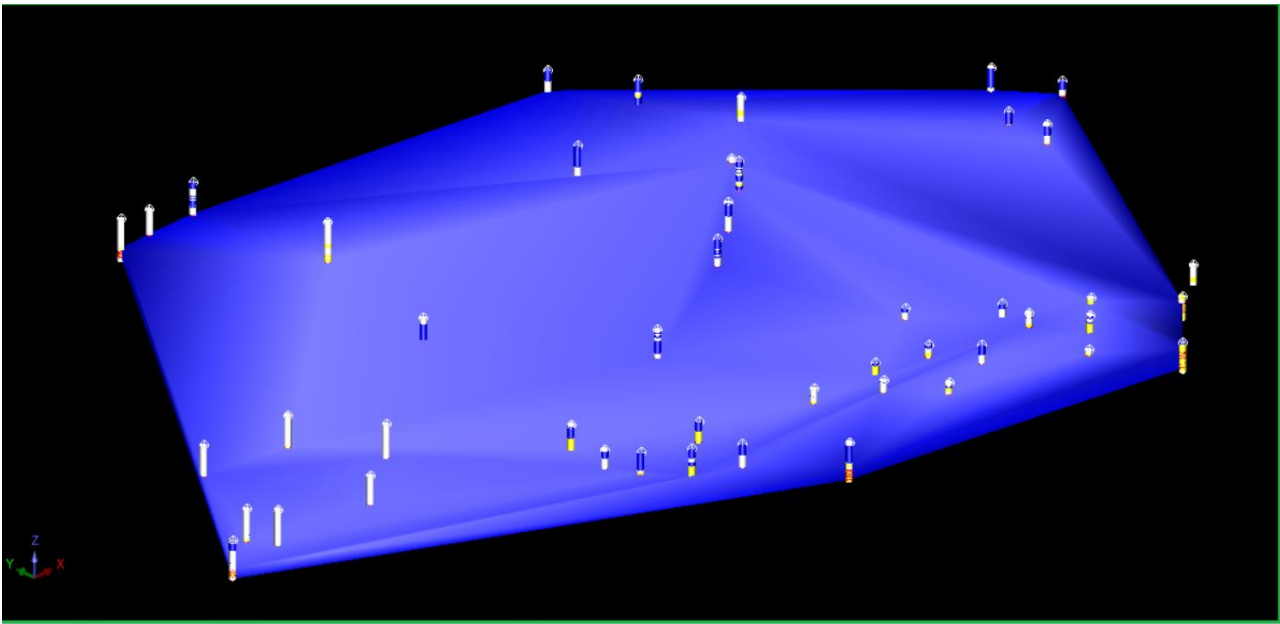
Par exemple pour la section Est-Ouest à partir du Nord 3929500 les couches de diatomite et de marne sont intercalées dans tous les trous de forage.

D'Est en Ouest, les épaisseurs des intercalations de diatomite et de marne sont respectivement de : 10.5, 18.8, 20.4 et 19.8 m dans les trous S22, ST16, S19 et ST13.

En conclusion pour cette section, nous pourrions retenir que l'épaisseur de l'intercalation diatomite-marne varie de 10.5 à 20.4 m entre les deux sondages extrêmes (ST13 et S22) et donc d'une variation de 9.9 m avec une distance horizontale de 377.606 m.

### **IV.3.6 Construction du solide modèle**

Dans le massif de Grimez, le minerai de diatomite est intercalé avec la marne, la modélisation de cette intercalation se fait en commençant par créer d'abord la surface du toit et du mur de la couche de diatomite et ensuite faire l'interconnexion entre ces deux surfaces. Le solide en 3D est représenté sur la figure suivante :



**Figure 32** Modélisation du corps minéralisé (solide modèle).

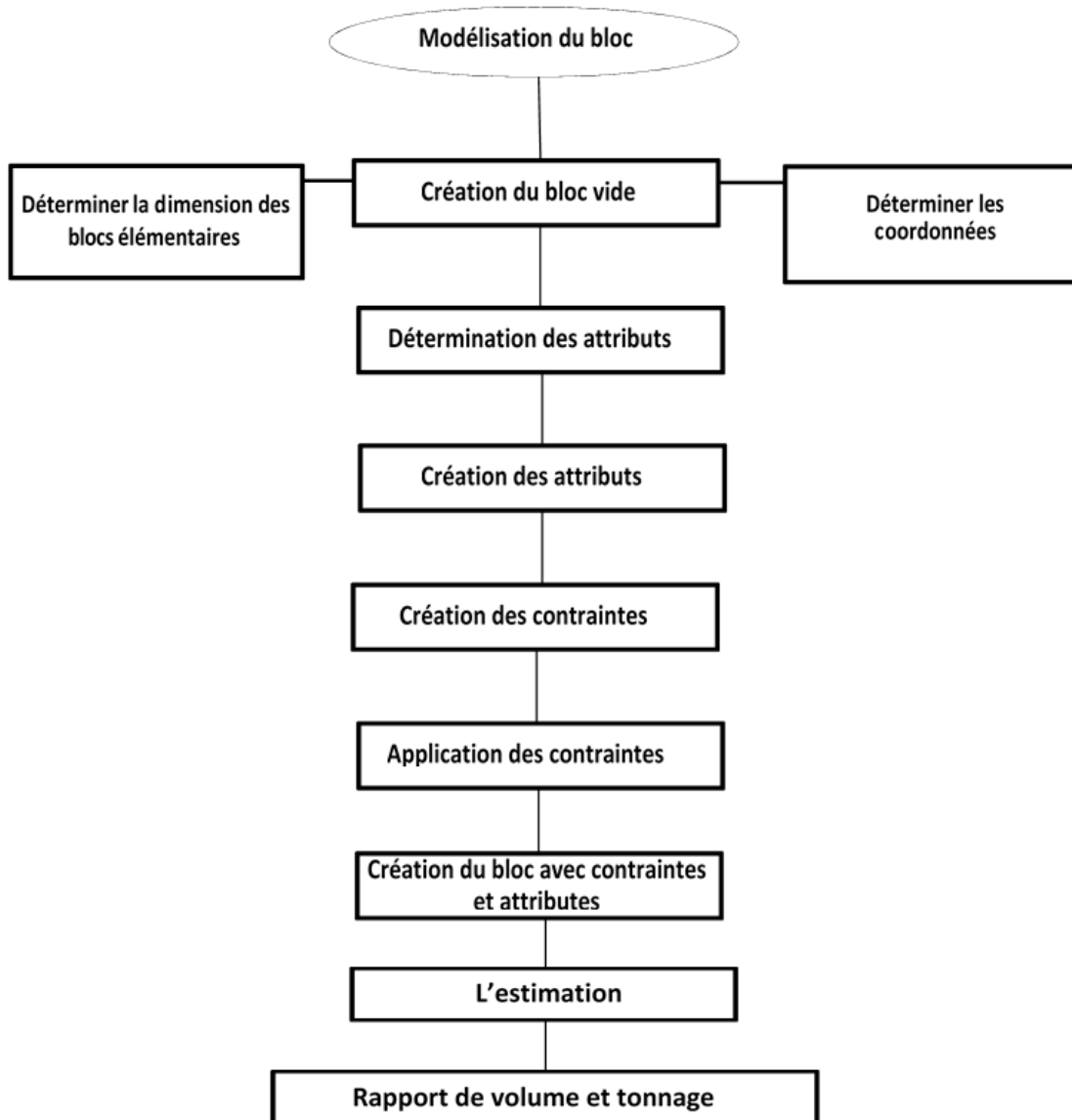
En effectuant le rapport du solide, on aura les informations suivantes :

**Tableau 18** Les caractéristiques du solide modèle.

X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>max</sub>	Z <sub>min</sub>	Z <sub>max</sub>	Volume (m <sup>3</sup> )	Surface (m <sup>2</sup> )
755986.880	758288.740	3929193.540	3931033.560	233.614	394.950	52954112	5652615

#### IV.3.7 Construction du bloc modèle

Le schéma ci-dessous représente les étapes de création d'un modèle de bloc lors de l'utilisation du logiciel Surpac :



**Figure 33 Schéma représentatif des étapes de construction du bloc modèle.**

#### ***IV.3.7.1 Création du bloc vide***

La création d'un modèle de bloc vide nécessite le choix de certains paramètres tels que :

- ✓ Dimensions du bloc élémentaire ;
- ✓ Les coordonnées minimales et maximales suivant le Nord, l'Est et RL (Z).

#### **IV.3.7.2 Choix des dimensions du bloc élémentaire**

La taille du bloc doit être déterminée en fonction de l'espacement des données des trous de forage et d'autres considérations techniques. Les blocs les plus grands sont plus faciles à estimer que les plus petits en ce sens que les teneurs prévues sont plus susceptibles d'être proches de la teneur réelle du bloc. D'autre part, une taille de bloc trop grande n'est pas utile pour l'optimisation de la géométrie et la planification de la mine.

La taille du bloc doit être inférieure à l'espacement des données (trous de sondage). On préconise une taille comprise entre 1/3 et 1/2 de l'espacement des données des trous de forage.

Cependant, la maille des trous de forages dans notre présente étude est irrégulière elle est entre 100 et 150 m

En se basant sur l'hypothèse citée ci-dessus relative au dimensionnement du bloc élémentaire pour l'optimisation de la géométrie et la planification,

On prendra comme dimension du sous bloc : 25m\*25m\*12.5m et pour le bloc : 50m\*50m\*25m.

**Tableau 19 Paramètres de création du bloc vide.**

	Coordonnées minimales	Coordonnées maximales	Dimensions du bloc	Dimensions du sous bloc
Y (m)	<b>3929193.540</b>	<b>3931033.560</b>	<b>50</b>	<b>25</b>
X (m)	<b>755986.880</b>	<b>758288.740</b>	<b>50</b>	<b>25</b>
Z (m)	<b>233.614</b>	<b>394.950</b>	<b>25</b>	<b>12.5</b>

#### **IV.3.7.3 Attributs**

Le corps de minerai ou gisement modélisé est localisé dans un espace avec des coordonnées minimales et maximales dans chacune des trois directions.

Chaque bloc contient des attributs et /ou propriétés et qui peuvent donc varier d'un bloc à un autre. Les propriétés ou attributs peuvent contenir des valeurs de caractères numériques sur teneurs, densité ; aussi le type de roche, l'air, les stériles. (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 20 Listes des attributs introduits dans le bloc vide.

Attribut	Valeur /Description
Densité	0.95
SiO <sub>2</sub> _ok	SiO <sub>2</sub> estimée par le krigeage ordinaire
SiO <sub>2</sub> _id	SiO <sub>2</sub> estimée par la méthode de l'inverse de distance
CaO_ok	CaO estimée par le krigeage ordinaire
CaO_id	CaO estimée par la méthode de l'inverse de distance

#### IV.3.7.4 Ajout des contraintes au modèle de bloc

Une contrainte est une combinaison logique d'un ou plusieurs objets spatiaux sur des blocs sélectionnés.

L'ajout de contraintes vise principalement à contrôler la sélection des blocs à partir desquels des interpolations sont effectuées ou à partir desquels des informations sont obtenues.

Dans notre cas d'étude notre contrainte principale est la contrainte de tout le gisement (modélisé à partir des sondages des trois compagnes) comme le montre la figure ci-dessous :

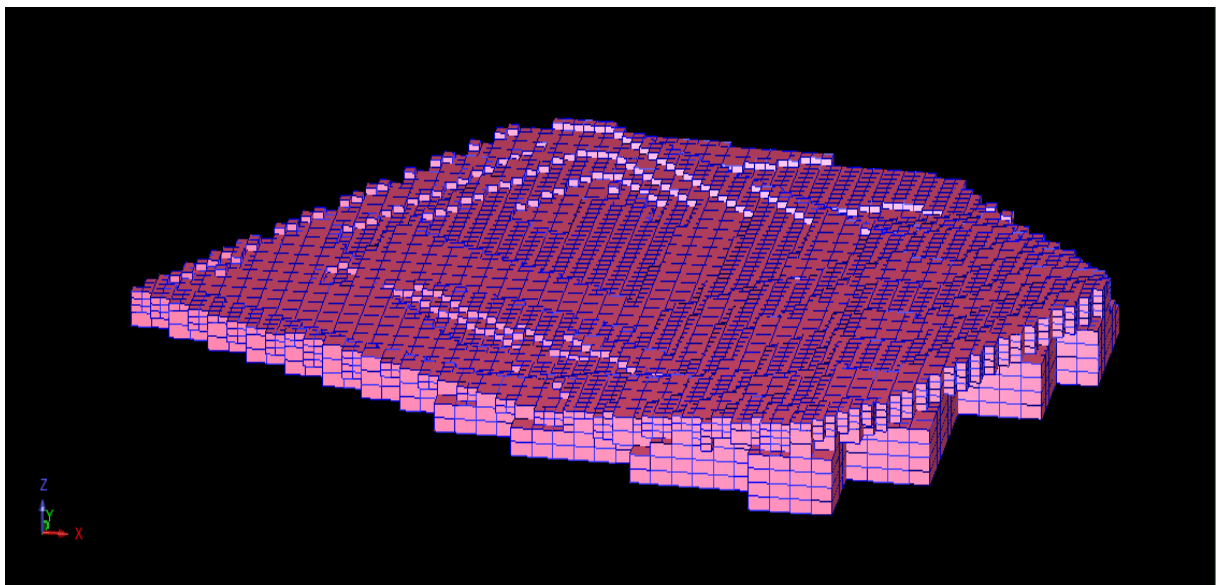


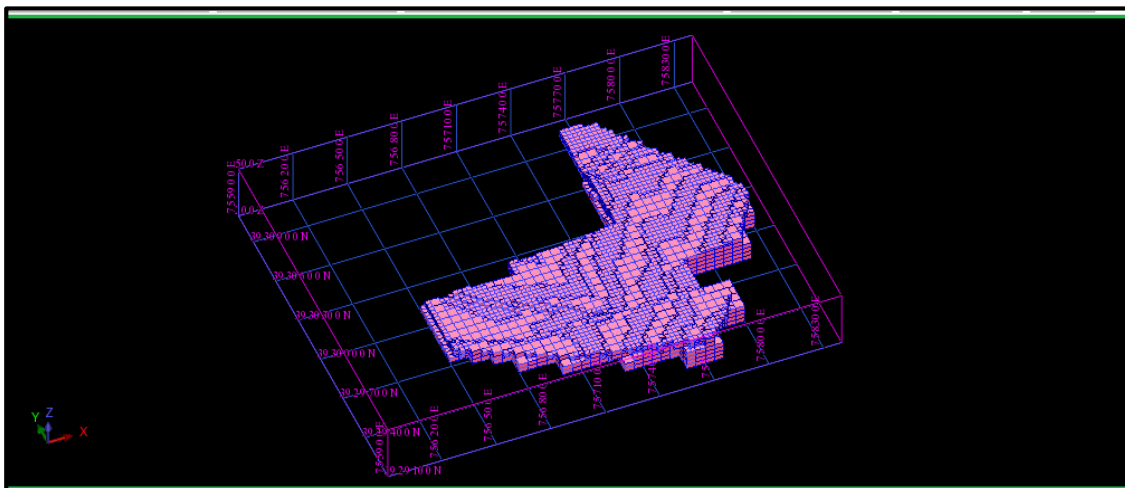
Figure 34 Bloc modèle avec la contrainte « Gisement »



Rappelons que les sondages de la compagnie de SIDAM ont été réalisés hors le périmètre du permis d'exploitation, pour cela on a appliqué quatre autres contraintes pour cerner notre étude.

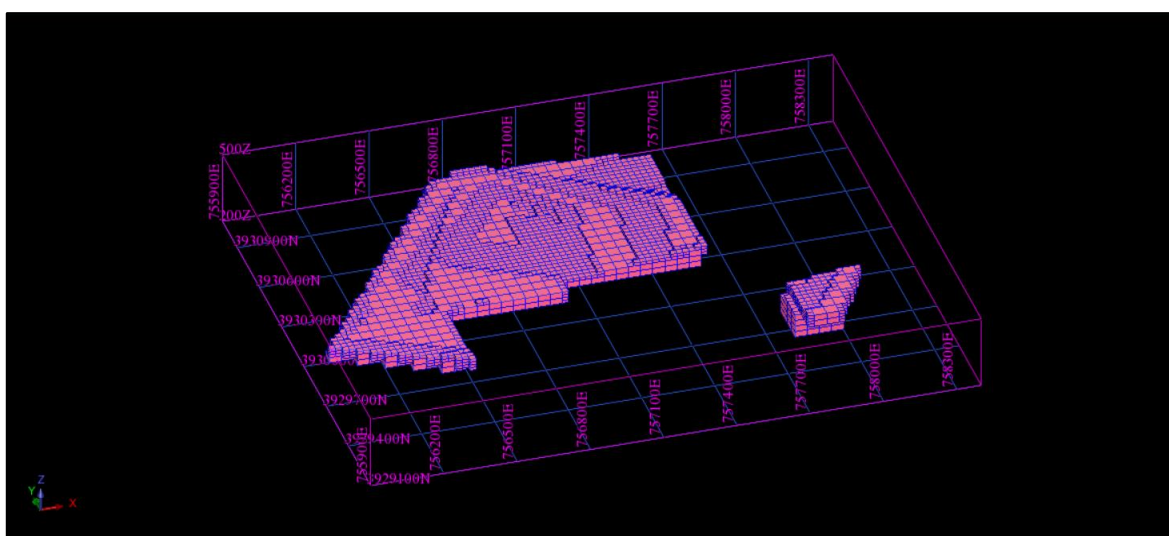
Ces contraintes sont les suivantes :

- Contrainte à l'intérieur du périmètre du permis d'exploitation nommée « Inside périmètre » : réalisé à partir de la modélisation 3D de la portion située à l'intérieur du périmètre.



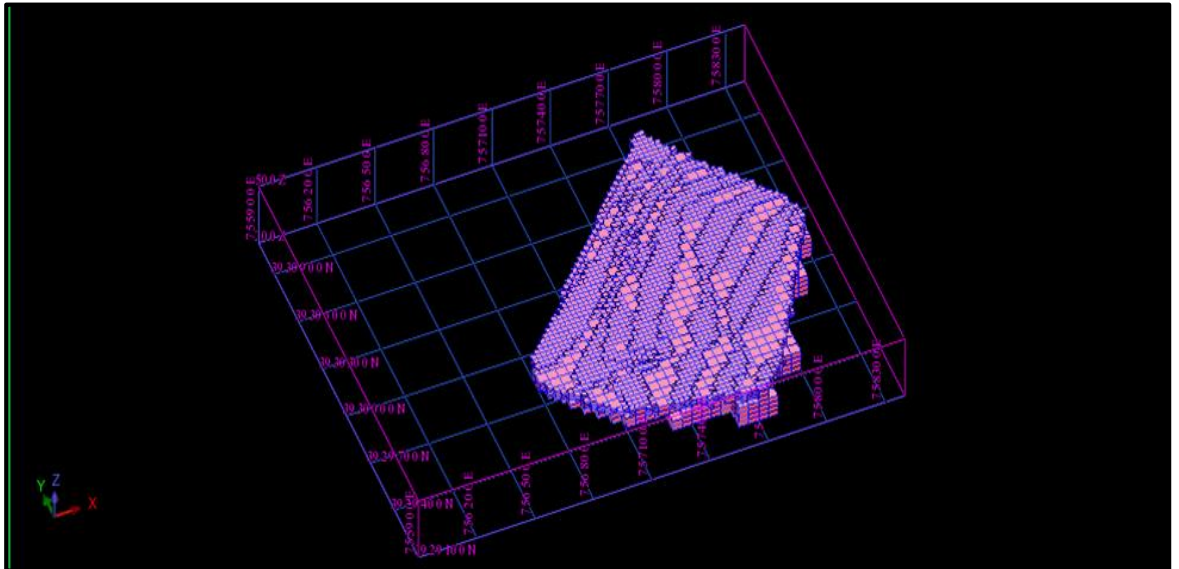
**Figure 35 Bloc modèle avec la contrainte « Inside périmètre ».**

- Contrainte à l'extérieur du périmètre du permis d'exploitation nommée « outside perimetre » : réalisé à partir de la modélisation 3D de la portion située à l'extérieur du périmètre.



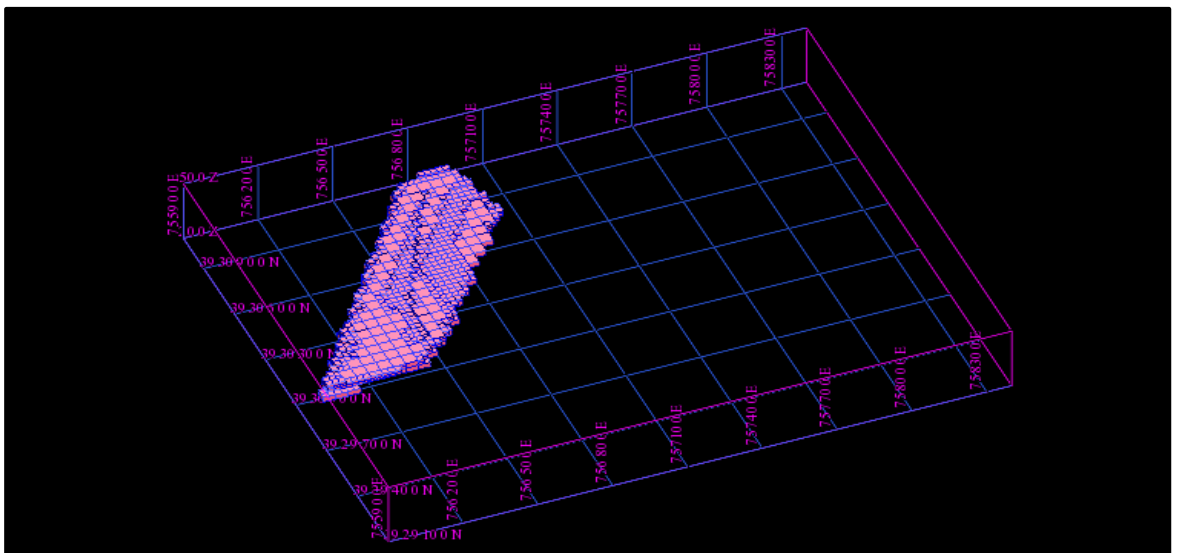
**Figure 36 Bloc modèle avec la contrainte « Outside\_périmètre »**

- Contrainte dans le chantier des deux compagnes SONAREM et ORGM nommée « sonarem\_ormg » : réalisée à partir de la modélisation 3D (solide model) des sondages des deux compagnes.



**Figure 37 Bloc modèle avec la contrainte « sonarem\_ormg ».**

- Contrainte dans le chantier SKB de SIDAM nommée « sidam » : réalisée à partir de la modélisation 3D (solide model) des sondages de cette compagne.



**Figure 38 Bloc modèle avec la contrainte « sidam ».**

## **IV.4 Etude statistique**

En géologie, on utilise généralement des données géophysiques et surtout géochimiques, comme on envisage de faire dans la présente étude, pour les estimations des réserves, mais ces données sont inutilisables dans l'état brut et doivent être soumises à des études statistiques pour en tirer des conclusions, ces études permettent essentiellement de décrire les liens entre les variables.

### **IV.4.1 Etude de la distribution normale des teneurs**

L'étude de la distribution normale d'un échantillon se fait à l'aide des données statistiques, Histogramme, paramètres statistiques (position et dispersion). Le paramètre statistique « coefficient de variation » permet de confirmer si une distribution est normale ou non.

Le coefficient de variation  $C$  (écart type / moyenne) est souvent utilisé pour décrire la variabilité des teneurs dans un gisement.

Koch et Link (1970) suggèrent que, pour qu'une population de données soit considérée comme normale, le coefficient de variation devrait être inférieur à 0,5%.

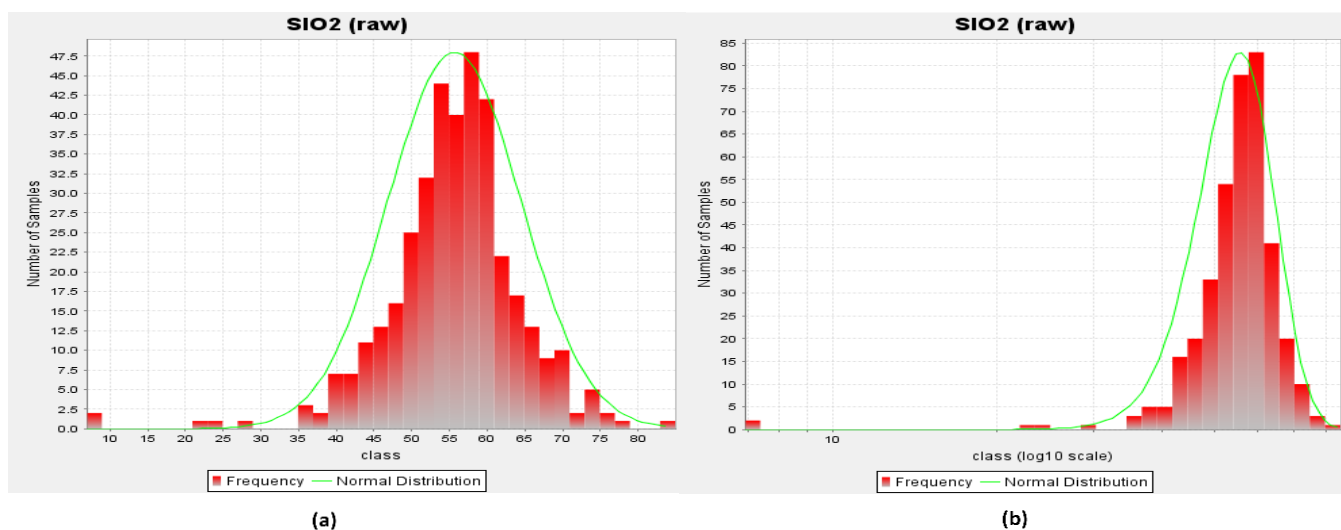
Les mesures statistiques récapitulatives de l'histogramme incluent généralement la moyenne, la variance (ou écart type), le coefficient de variation (le rapport entre l'écart type et la moyenne), les valeurs minimale et maximale des données et la médiane ;

Les valeurs du coefficient de variance inférieures à 0,5 sont susceptibles d'approcher une distribution normale, alors que les valeurs supérieures à 0,5 sont asymétriques et peuvent être mieux décrites par une distribution log-normale ou une combinaison de distributions.

Toutes les hypothèses mentionnées ci-dessus, nous permettront de conclure la normalité de la distribution de la teneur du minerai de diatomite dans le gisement. Le tableau ci-dessous récapitule les paramètres statistiques du gisement pour normale, le log-normale.

**Tableau 21 Paramètres statistiques de l'étude de la distribution de teneur SiO2.**

	Moyenne	Médiane	Mode	Variance	Ecart-type	Coefficient de variance
Distirbution normale	<b>55.65</b>	<b>56.16</b>	<b>58.49</b>	<b>77.83</b>	<b>8.82</b>	<b>0.1585238</b>
Distribution log-normale	<b>1.74</b>	<b>1.75</b>	<b>1.76</b>	<b>0.0088</b>	<b>0.094</b>	<b>0.0542139</b>



**Figure 39 Histogramme (a- distribution normale, b- distribution log-normale)**

### Commentaire

Les deux histogrammes affichés sur la figure ci-dessus donnent une idée sur la distribution des teneurs et en conséquence, nous pouvons affirmer que la distribution de la teneur est lognormale avant même de faire recourt au coefficient de variation C.

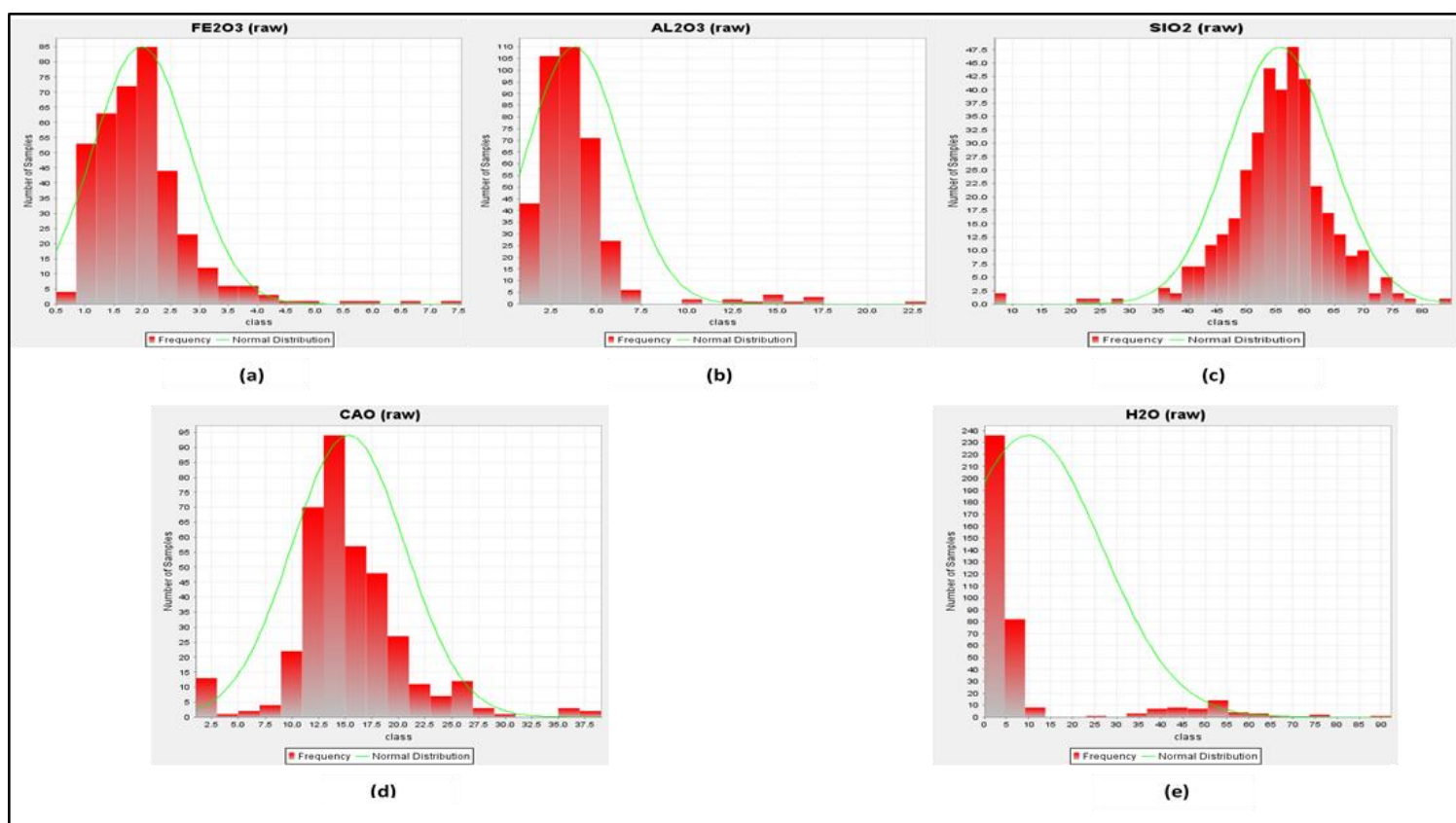
Dans le tableau, le plus petit coefficient de variation parmi les deux cas est celui de la distribution lognormale et cela nous confirme que la distribution de teneur est bien lognormale.

## IV.4.2 Statistique descriptive

Les paramètres statistiques de distribution des teneurs ont été calculés pour tous les éléments qui constituent le minerai de diatomite ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{H}_2\text{O}$ ). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous, et leurs histogrammes respectifs sur la figure qui suit :

**Tableau 22 Paramètres statistiques de la distribution des teneurs**

Variable	Moyenne	Médiane	Variance	Ecart type	Min	Max
$\text{SiO}_2$	55.65	56.16	77.626	8.81	6.91	83.62
$\text{CaO}$	15.31	14.60	28.32	5.32	0.982	38.96
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3.78	3.21	6.76	2.6	0.73	23.19
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.98	1.90	0.69	0.83	0.50	7.54
$\text{H}_2\text{O}$	10.06	4.09	276.44	16.62	0	92.16



**Figure 40 Histogrammes (a-  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , b-  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , c-  $\text{SiO}_2$ , d-  $\text{CaO}$ , e-  $\text{H}_2\text{O}$ )**

## Interprétation

D'après les analyses des histogrammes et les paramètres extraits des rapports de chacun, et en comparant la moyenne avec la médiane de chacun des éléments SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, On constate qu'elles sont très proches les unes aux autres et cela revient à dire que les teneurs sont réparties de manière symétrique autour de la moyenne.

Quant aux teneurs en H<sub>2</sub>O, leur médiane est très loin de leur moyenne, ces teneurs ont donc une répartition asymétrique autour de la moyenne.

L'analyse des paramètres de dispersion (variance et écart type) nous montre que les teneurs en SiO<sub>2</sub> sont les plus dispersées avec la plus grande variance qui atteint 77.626, l'élément le moins dispersé est le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> avec une variance de 0.69.

**Remarque** : l'interprétation relative de la variance se fait uniquement sur les variables qui sont réparties d'une manière symétrique, cela veut dire que le H<sub>2</sub>O n'est pas concerné par cette étude.

### IV.4.3 Etude bi-variée et multi-variée

#### IV.4.3.1 Etude bi-variée : matrice de corrélation

Sur le logiciel STATISTICA, La matrice de corrélation a été calculée pour les éléments chimiques analysés. Elle a permis de démontrer que le SiO<sub>2</sub> est corrélé négativement au CaO, très faiblement corrélé avec Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ils tendent vers l'indépendance), et indépendant des deux éléments H<sub>2</sub>O et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

*Tableau 23 matrice de corrélation entre les éléments chimiques.*

	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
SiO <sub>2</sub>	1				
CaO	-0.72	1			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	-0.55	1		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	-0.40	0.66	1	
H <sub>2</sub> O	0	0.07	-0.24	0.08	1

#### IV.4.3.2 Etude multi-variée par la méthode d'ACP

L'ACP (analyse de composantes principales) crée un jeu de données artificielles avec un nombre de dimensions égal à celui du premier jeu. La seule différence est que les premières dimensions concentrent la majeure partie de l'information, ces dimensions sont appelés facteurs ; les coordonnées factorielles des variables sont représentées dans la figure ci-dessous ;

Variable	Factor coordinates of the variables, based on correlations				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
sio2	-0,536115	0,812337	0,063073	-0,150302	0,161615
cao	0,894312	-0,363860	-0,023902	-0,160023	0,204043
al2o3	-0,797195	-0,501081	0,069100	0,294968	0,147025
fe2o3	-0,709301	-0,464716	-0,364495	-0,384024	-0,024508
h2o	0,155683	0,204443	-0,952323	0,162447	0,025631

Figure 41 Table des coordonnées factorielles des variables

Quant au cercle de corrélation ACP, il est constitué de deux axes principaux qui représentent les facteurs F1 et F2 où se concentre la majeure partie de l'information (l'inertie) ; les variables sont représentées par des vecteurs, ces vecteurs forment des angles entre eux ; Quand l'angle est aigu, ça reflète une corrélation positive, quand il est droit, les deux variables sont indépendantes et quand l'angle est obtus, on a une corrélation négative entre les deux variables ;

Les tailles des vecteurs reflètent la qualité de représentation des variables sur les dimensions de l'ACP exploitée ;

Le cercle de corrélation d'ACP de notre étude est représenté sur la figure au-dessous :

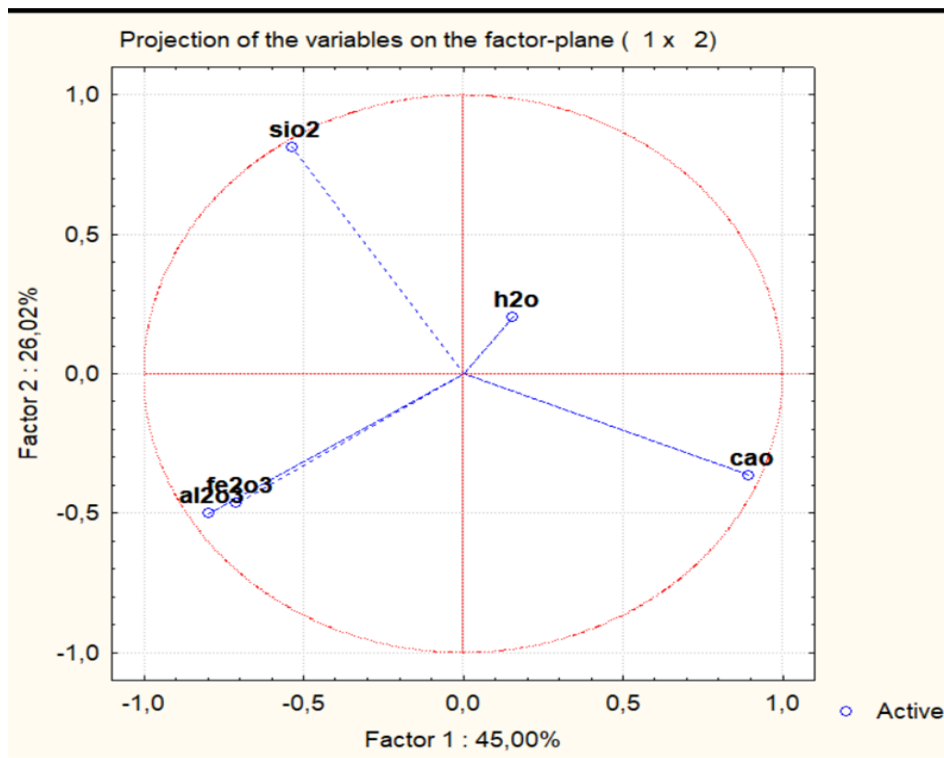


Figure 42 Cercle de corrélation d'ACP

### Interprétation

D'après l'analyse du cercle de corrélation, on constate que la majorité de l'information a été récoltée dans la première dimension, c'est-à-dire le facteur F1 (45%) tandis que le facteur F2 récolte 26.02% de l'information ; au total, l'inertie cumulée des deux facteurs est de 71.02% (cela signifie que si on résume les variables initiales du jeu de données par 2 dimensions, on récupère 71.02% de l'information contenue dans tous le tableau).

L'angle entre le vecteur  $\text{SiO}_2$  et le vecteur  $\text{CaO}$  est obtus, cela signifie que la corrélation entre ces deux variables est négative, c'est à dire l'augmentation de  $\text{SiO}_2$  implique la diminution de  $\text{CaO}$ .

L'angle entre le vecteur  $\text{SiO}_2$  et le vecteur  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  est presque droit, la corrélation est donc très faible.

Le vecteur de  $\text{H}_2\text{O}$  est court, on ne peut pas l'interpréter sur le plan (F1, F2) car il est mal représenté.

L'angle entre les deux vecteurs de  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  est droit, les deux variables sont donc indépendantes.

En projetant les vecteurs sur les deux axes, on retient :



La variable SiO<sub>2</sub> est fortement et positivement liée au facteur F1, fortement et négativement liée au facteur F2, tandis que la variable CaO est positivement liée au facteur F2 et négativement liée au facteur F1. Quant aux variables Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, elles sont négativement liées aux deux facteurs F1 et F2.

Puisque le vecteur SiO<sub>2</sub> est plus proche de l'axe F1, le facteur F1 contient plus d'information sur la variable SiO<sub>2</sub>, de même pour le vecteur CaO est plus proche de l'axe F2 ce qui implique que le facteur F2 contient plus d'information sur la variable CaO.

#### IV.4.4 Etude variographique

Dans cette étude géostatistique, nous allons représenter d'abord le variogramme expérimental (obtenu à partir des données d'échantillonnage), ensuite étudier l'anisotropie et l'isotropie tout en déterminant les paramètres nécessaires et enfin choisir un variogramme de modèle mathématique qui sera plus adéquat avec le variogramme expérimental.

##### IV.4.4.1 Variogrammes expérimentaux

###### ➤ Création du variogramme expérimental

Le calcul du variogramme expérimental fait intervenir plusieurs paramètres, qui relèvent du choix de l'utilisateur : direction de calcul, pas et tolérance. Une modélisation maladroite de ces paramètres peut conduire à des artefacts sans relation avec le phénomène régionalisé, et avoir des conséquences non souhaitables dans la modélisation et sur les résultats ultérieurs.

Dans le cas de notre étude, les paramètres utilisés pour construire les variogrammes sont donnés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 24 Les paramètres des variogrammes expérimentaux.**

	Azimuth	Plange	Spread	lag	Max dis
<b>Omnidirectionnel</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>90</b>	<b>160</b>	<b>3000</b>
<b>Directionnel (45°)</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>22.5</b>	<b>160</b>	<b>3000</b>
<b>Directionnel (90°)</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>22.5</b>	<b>160</b>	<b>3000</b>
<b>Directionnel (135°)</b>	<b>135</b>	<b>0</b>	<b>22.5</b>	<b>160</b>	<b>3000</b>

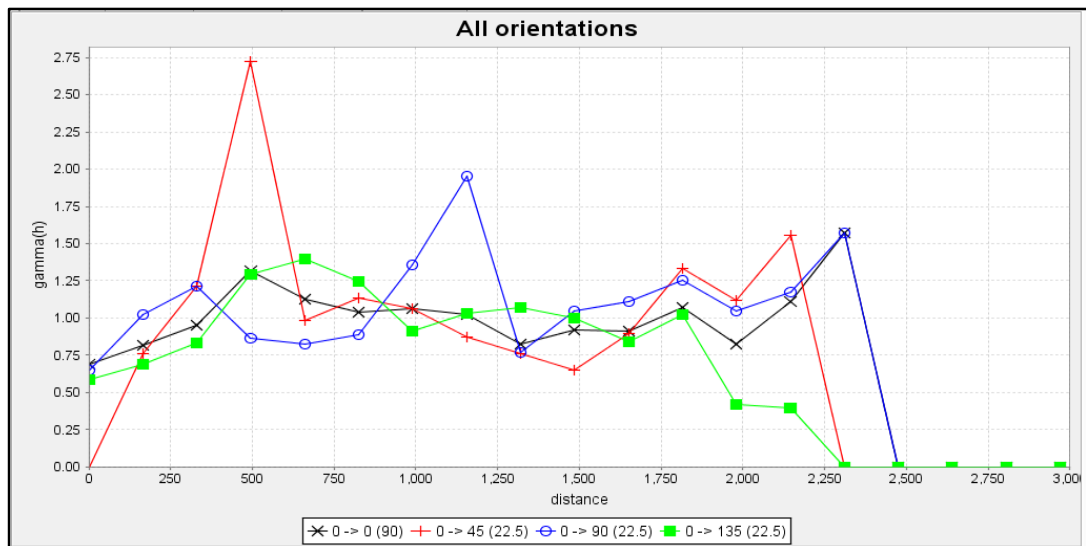


Figure 43 Les variogrammes selon les différentes directions des teneurs en  $SiO_2$ .

#### IV.4.4.2 Modélisation du variogramme théorique

Généralement, La modélisation des variogrammes comprend deux étapes. Premièrement, il convient de déterminer le type de modèle de variogramme (ex. linéaire, sphérique, exponentiel, etc...), le nombre de structures (ex. un effet de pépite, une structure sphérique ou une structure exponentielle) et la présence possible d'anisotropie dans le modèle. Ensuite, les paramètres du modèle (effet de pépite, palier et portée) sont estimés.

Concernant la modélisation de notre structure, nous avons opté pour un modèle de variogramme : sphérique

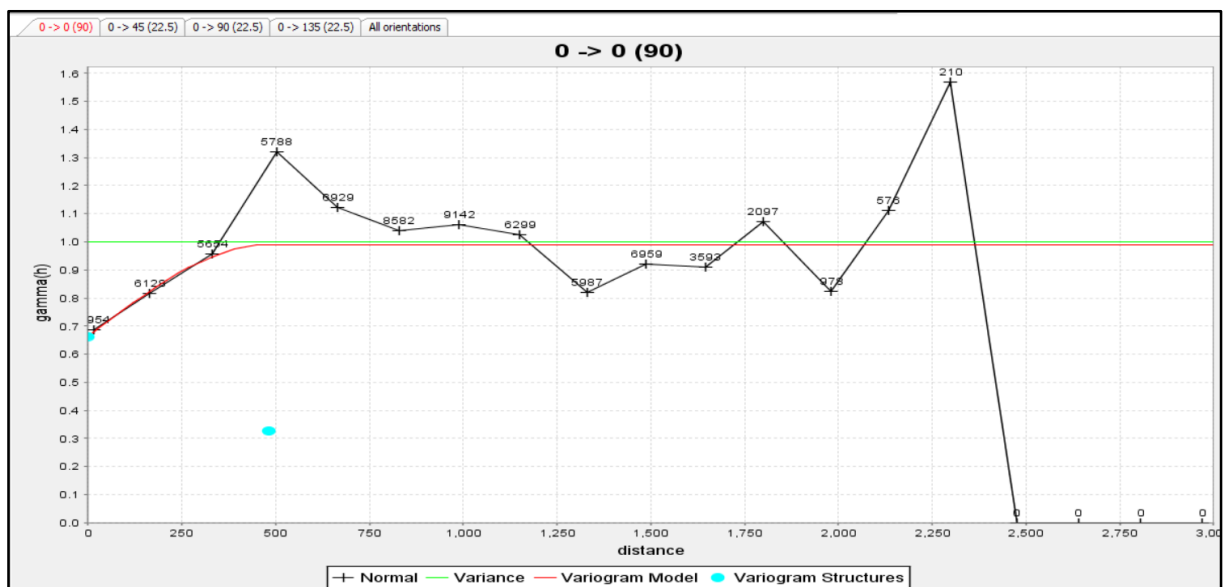


Figure 44 Variogramme omnidirectionnel avec le variogramme théorique ajusté.

Les paramètres du modèle du variogramme appropriés au variogramme expérimental de SiO<sub>2</sub> sont les suivants :

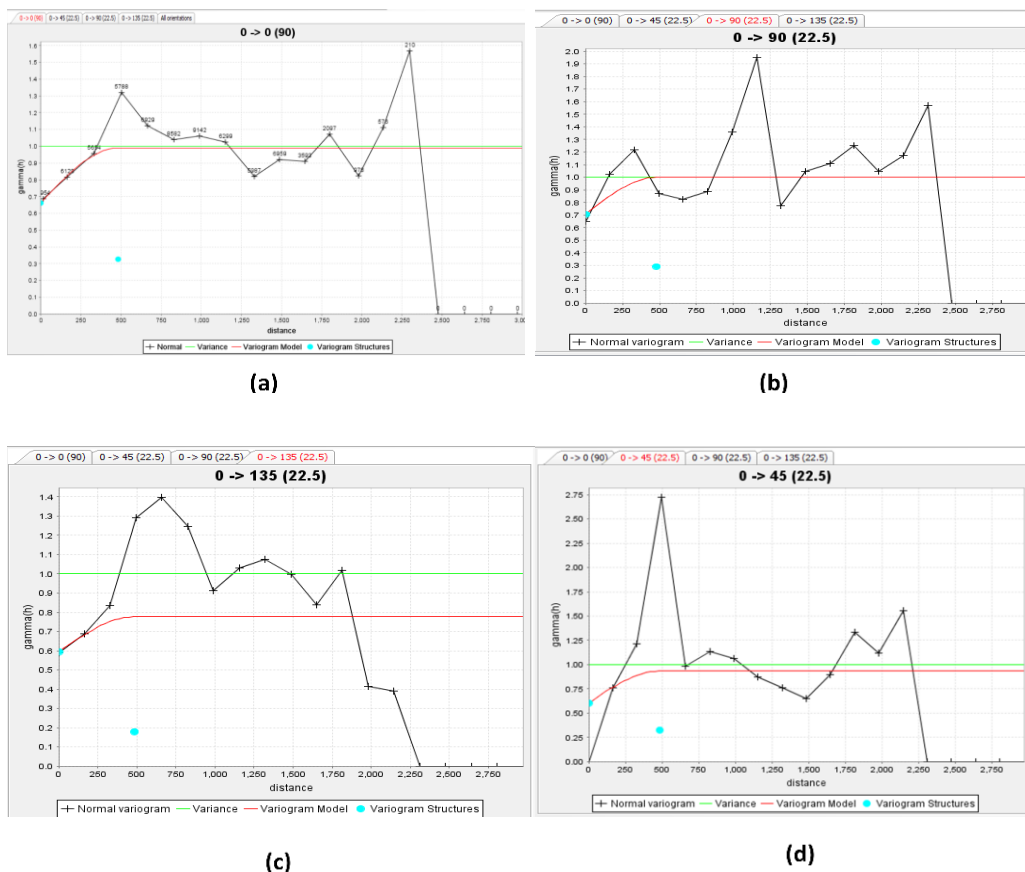
**Tableau 25 Paramètres du modèle du variogramme**

<b>Nugget effect (effet pépité)</b>	<b>0.66</b>
<b>Sill (palier)</b>	<b>0.32</b>
<b>Range (porté)</b>	<b>482.476</b>

Le variogramme expérimental et théorique de CaO ainsi que les paramètres du model du variogrammes sont représentés dans l'annexe.

#### IV.4.4.3 Etude d'anisotropie

Pour effectuer l'étude de l'anisotropie, on ajuste les variogrammes expérimentaux selon toutes les directions comme la montre la figure ci-dessous



**Figure 45 Variogrammes omnidirectionnels et directionnels avec leurs variogrammes théoriques ajustés (a- omnidirectionel, b- 90°, c- 135°, d-45°).**

Les paramètres des modèles des variogrammes appropriés au variogrammes expérimentaux de SiO<sub>2</sub> selon les différentes directions sont les suivants :

**Tableau 26** Les paramètres des modèles des variogrammes appropriés au variogrammes expérimentaux de SiO<sub>2</sub> selon les différentes directions.

Direction (°)	Portée (Range)	Palier (Sill)	Effet de pépite (Nugget effect)
Omnidirectionnel	482.676	0.32	0.66
45	483.922	0.32	0.60
90	480.166	0.29	0.7
135	485.784	0.18	0.59

### Commentaires

On observe que les paliers diffèrent selon les directions de calcul, mais les portées restent presque identiques, ce qui explique la présence d'anisotropie zonale. Rappelons que le gisement de Tallait est un gisement stratifié, ce qui confirme le résultat obtenu.

### IV.4.5 Cartographie 2D

Pour l'élaboration d'un modèle représentant des cartes d'iso-teneurs et d'iso-puissance des divers éléments chimiques des différents sondages on a eu recours à l'utilisation du logiciel Surfer.

La méthode utilisée est la méthode de krigeage, pour cela on a construit un variogramme pour tester la continuité spatiale de nos données dans le but de choisir le modèle approprié pour mailler avec l'algorithme de krigeage.

Une fois le variogramme établi, et son modèle ajusté, on peut faire une carte des valeurs par krigeage, c'est à dire par interpolation des valeurs entre les points de mesure.

#### IV.4.5.1 Cartes iso-teneurs

##### ➤ Carte iso-teneur en SiO<sub>2</sub>

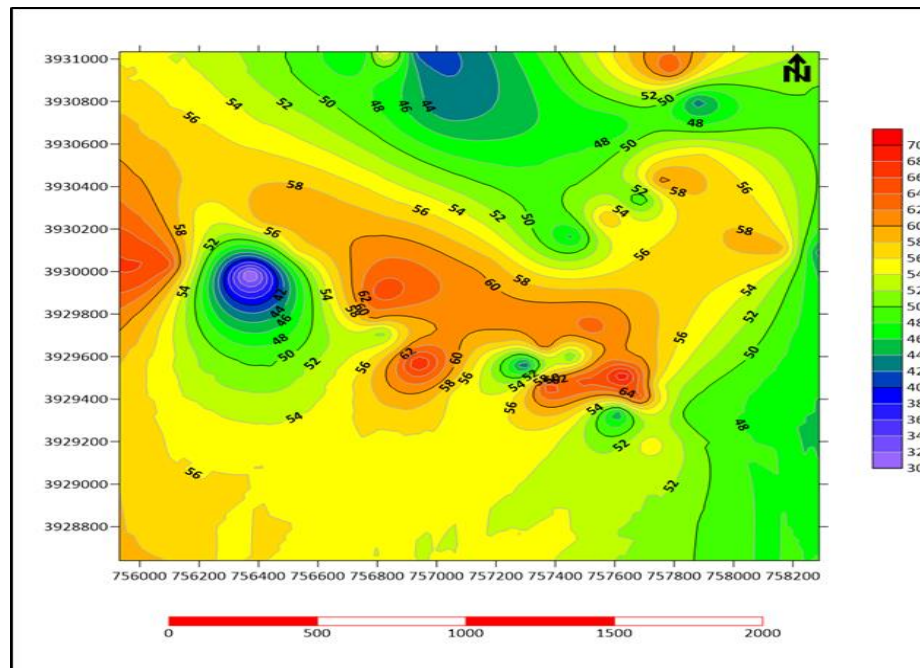
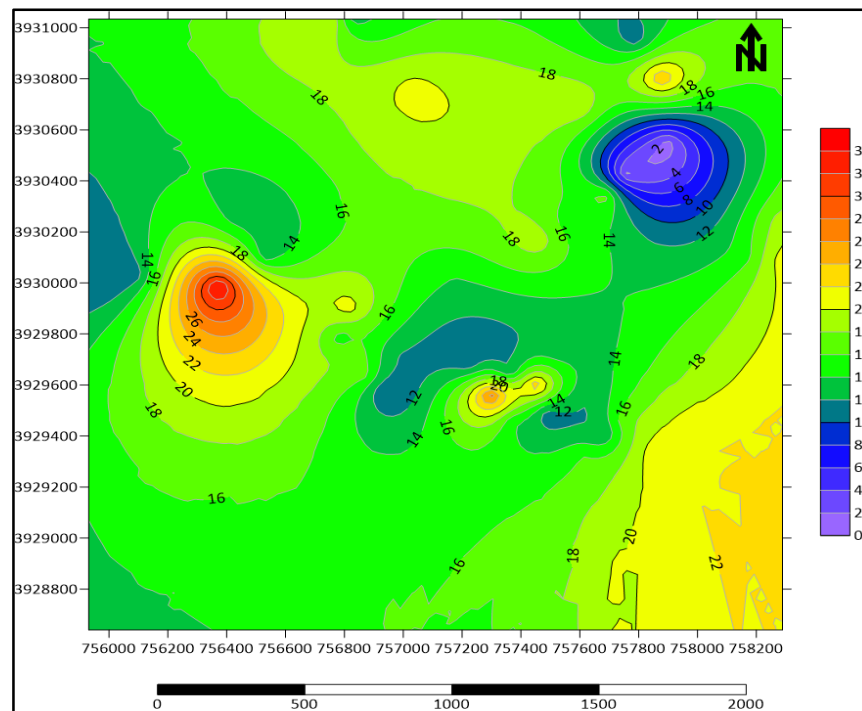


Figure 46 Carte iso-teneur "SiO<sub>2</sub>"

#### Observation

Sur la carte de la distribution des teneurs en SiO<sub>2</sub> nous observons que le gisement est concentré au centre avec des teneurs supérieures à 60 % avec un maximum de plus de 68 %, tandis que sur la périphérie de la carte les teneurs sont inférieures à 50%. On distingue également une anomalie négative à l'Ouest du gisement avec des teneurs allant jusqu'à moins de 40 %. On signale également à l'extrême Ouest un début d'anomalie positive où les teneurs sont supérieures à 60 % et une seconde à l'extrême Nord-Est-Nord avec un pic de teneur en SiO<sub>2</sub> de plus de 62%.

## ➤ Carte iso-teneur en CaO



### Observation

Sur la carte de distribution des teneurs en CaO, nous remarquons que les teneurs minimales en CaO se concentrent au centre et au Nord-Est du gisement allant jusqu'à 2%, on constate également une anomalie positive à l'ouest qui atteint 32%, on signale à l'extrême Sud-Est une concentration de teneur moyenne entre 20 et 22% et à l'extrême Ouest un début d'une anomalie négative, tandis que sur la périphérie la teneur varie entre 12 et 20%.

➤ Carte iso-teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$

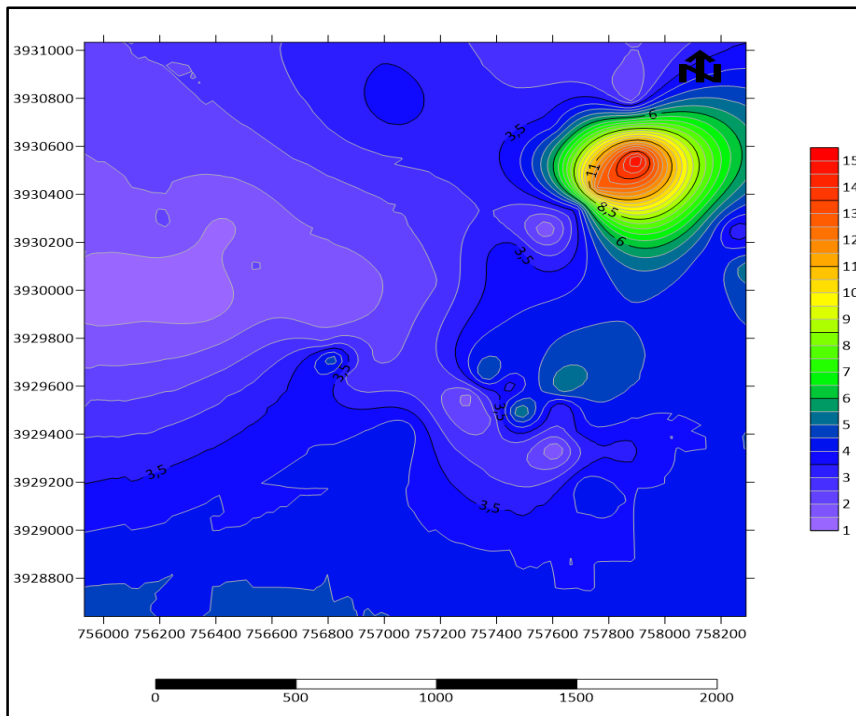


Figure 48 Carte iso-teneur " $\text{Al}_2\text{O}_3$ "

**Observation**

D'après la carte iso-teneur d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ , nous observons que les teneurs sur tout le gisement varient entre 1 et 5%, on remarque une anomalie positive au Nord-Est qui atteint 13%.

➤ Carte iso-teneur en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

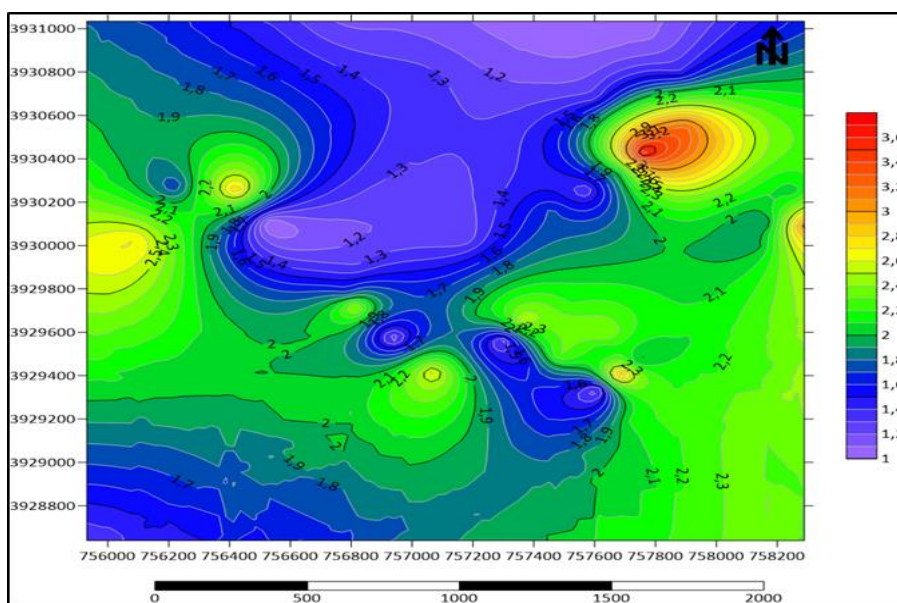


Figure 49 Carte iso-teneur " $\text{Fe}_2\text{O}_3$ "

## **Observation**

Sur la carte iso-teneur de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , nous observons de faibles teneurs du centre au nord entre 1 et 1.6% ainsi qu'au Sud-Ouest, nous constatons aussi une anomalie positive au Nord-Est ; aux extrêmes Est et Ouest, les teneurs sont moyennes et comprises entre 2 et 2.4%.

### **✓ Interprétation des résultats**

D'après les observations faites sur les cartes isoteneurs, on peut dire que là où on remarque une augmentation en  $\text{SiO}_2$ , une diminution de  $\text{CaO}$  apparait et cela confirme les résultats de corrélation entre les deux variables (négativement corrélées)

A l'extrême Nord-Est, là où le pic de  $\text{SiO}_2$  apparait, une anomalie négative de  $\text{CaO}$  se présente accompagnée d'une augmentation en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .



#### IV.4.5.2 Carte iso-puissances

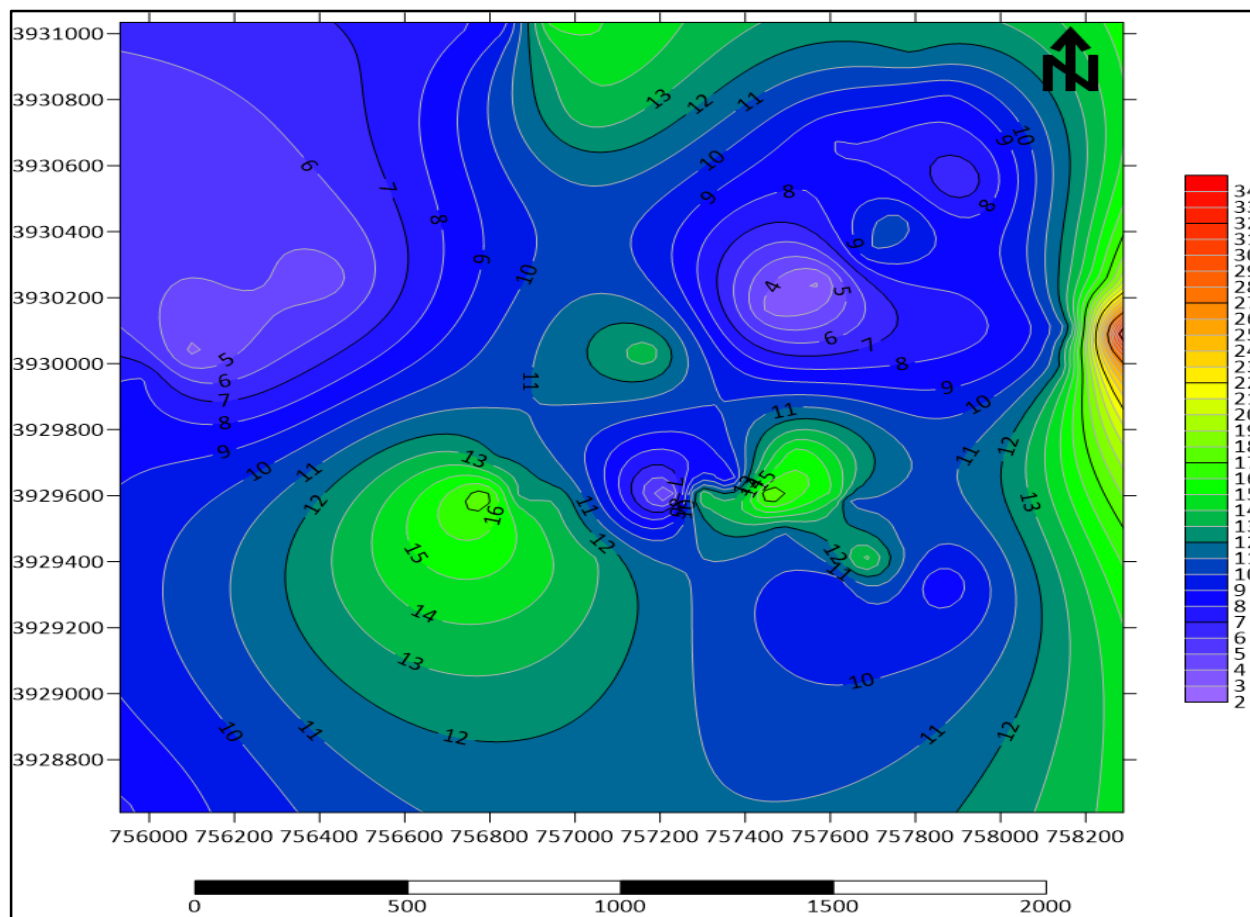


Figure 50 Carte iso-puissances.

#### Interprétation

Sur la carte iso-puissance, nous remarquons trois anomalies positives au centre du gisement et à l'extrême Est qui atteignent les 16 m. tandis que sur la périphérie les puissances sont relativement faibles avec une puissance minimale de 4 m, On remarque aussi un début d'anomalie importante à l'extrême Est du gisement.

## IV.5 Estimation des réserves

Dans le présent chapitre, les méthodes d'estimation appliquées pour le calcul des réserves sont :

- Méthode de l'inverse de distance.
- Méthode géostatistique de krigeage.

### IV.5.1 Méthode de l'inverse de distance

Après avoir ajouté les contraintes dans le bloc modèle comme il a été montré dans le présent chapitre, on vient maintenant estimer le tonnage et le volume par la méthode de l'inverse de distance sur la contrainte principale « gisement ».

Pour cela, il a fallu introduire des paramètres d'interpolation pour effectuer cette estimation.

*Tableau 27 Paramètres calculés pour l'estimation par l'inverse de la distance.*

Paramètre	Type de recherche	Minimum d'échantillon	Maximum d'échantillon	Rayon de recherche maximale (m)	Distance maximale de recherche verticale (m)
Valeur	Ellipse	7	17	543	999

**Remarque :** L'exposant  $n=2$  est le plus généralement utilisé (inverse de distance au carré IDS) ;

Les résultats (tonnage et teneur) de l'interpolation par IDS selon l'ensemble des contraintes appliquées sur le bloc sont présentés dans le tableau qui suit. Ces résultats seront utilisés pour tracer le graphique en secteurs.

*Tableau 28 Résultats de l'interpolation par l'IDS pour l'ensemble des contraintes.*

	Volume	Tonnage	SiO <sub>2</sub> moy
Gisement	195.226.563	185.465.232	53,77
Chantier SONAREM/ORGM	132.148.438	125.541.014	56,5
Chantier SKB (SIDAM)	19.851.563	18.858.984	40,65
Inside périmètre	132.695.313	126.060.545	56,55

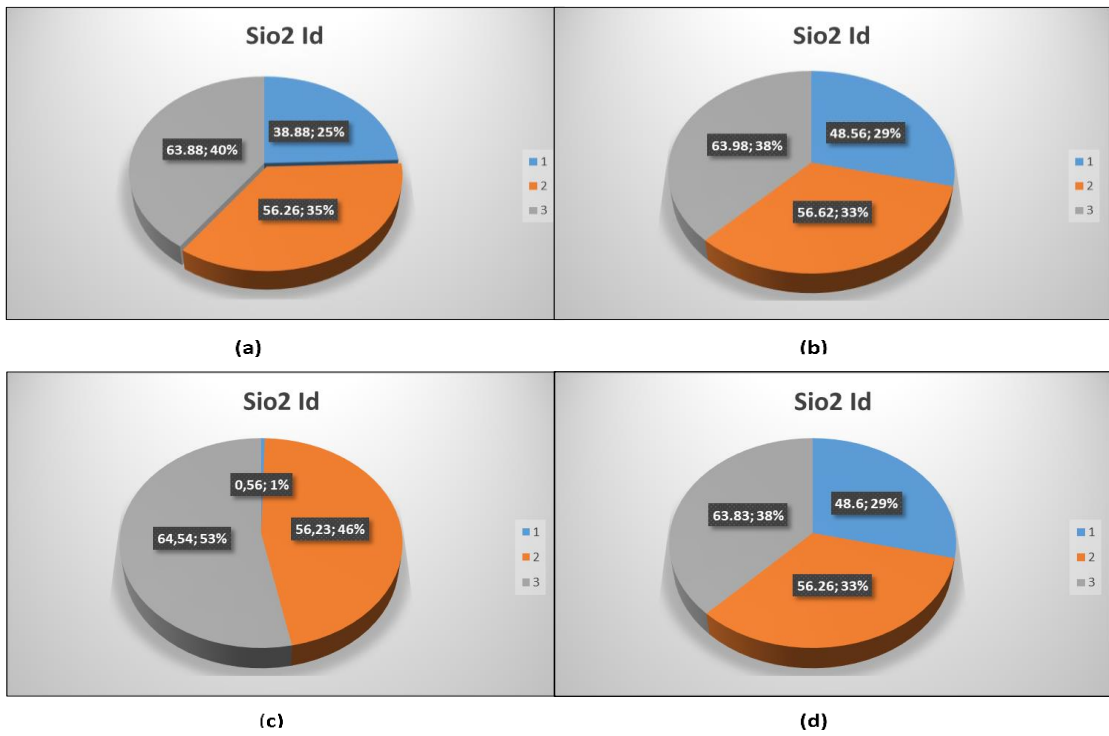


Figure 51 Graphique en secteurs des teneurs SiO<sub>2</sub> en fonction de tonnage des différentes contraintes (a- contrainte gisement, b- contrainte inside\_périmètre, c- contrainte sidam, d- contrainte sonarem\_orgm).

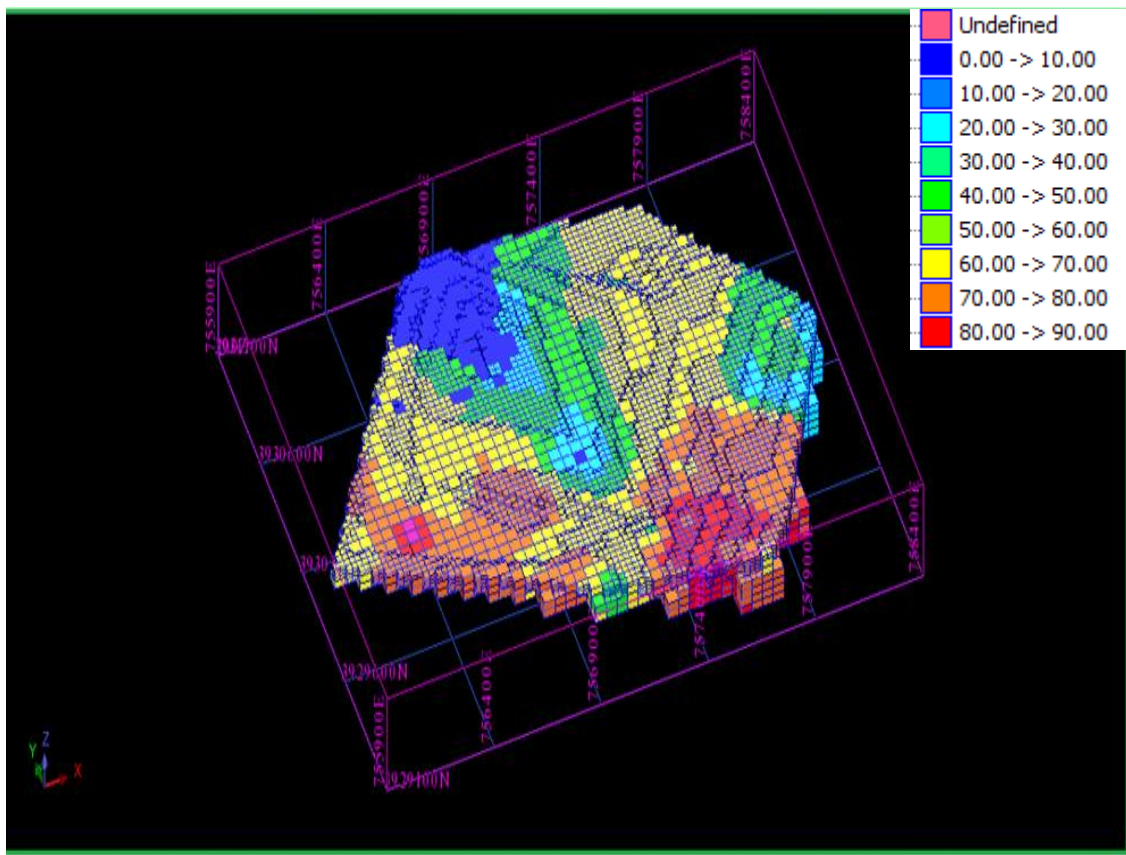


Figure 52 Blocs de la contrainte "gisement" estimés par l'IDS.

#### IV.5.2 Krigeage ordinaire

L'application du krigeage ordinaire nécessite les paramètres d'un modèle de variogramme analytique approprié à l'expérimental.

Les paramètres introduits pour effectuer l'estimation par krigeage sont représentés dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 29 Paramètres calculés pour l'estimation par l'inverse de la distance.*

Paramètre	Type de recherche	Minimum d'échantillon	Maximum d'échantillon	Rayon de recherche maximale (m)	Distance maximale de recherche verticale (m)
Valeur	Ellipse	7	17	543	999

Les résultats donnés par cette méthode sont présentés dans le tableau ci-dessous

*Tableau 30 Résultats d'estimation par le krigeage pour l'ensemble des contraintes.*

	Volume	Tonnage	SiO <sub>2</sub> <sub>moy</sub>
Gisement	195.226.563	185.465.232	54,39
Chantier SONAREM/ORGM	132.148.438	125.541.014	55,83
Chantier SKB (SIDAM)	19.851.563	18.858.984	49,79
Inside périmètre	132.695.313	126.060.545	55,9

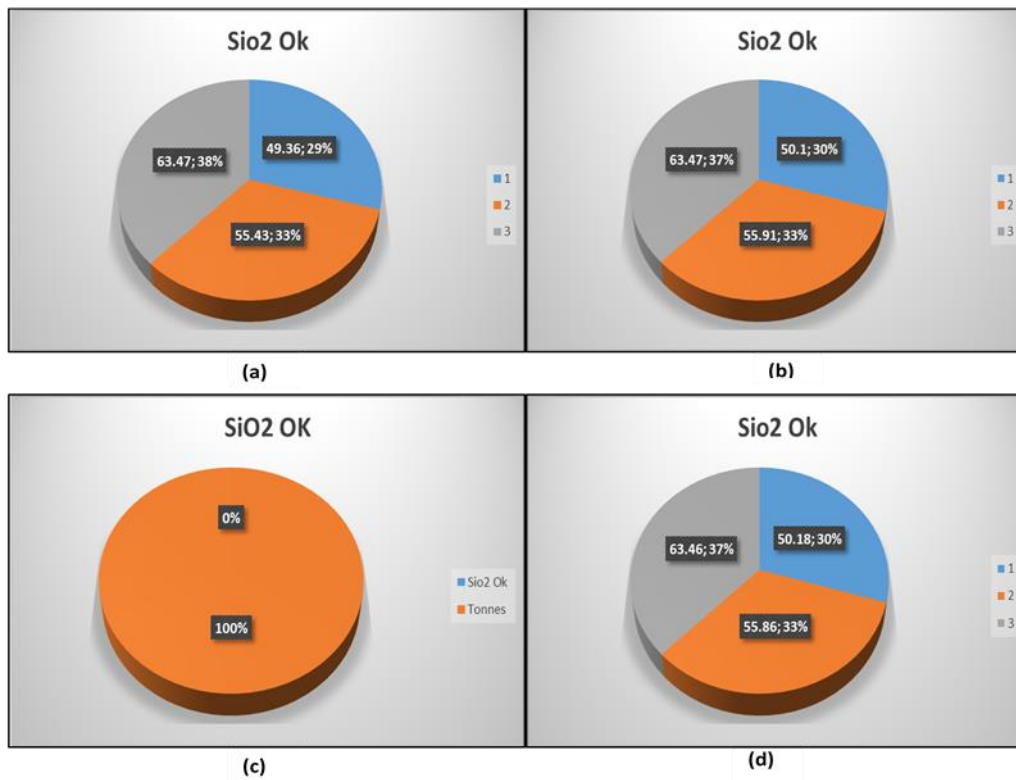


Figure 53 Graphique en secteurs des teneurs SiO2 estimé par la méthode du krigeage en fonction de tonnage des différentes contraintes (a- contrainte gisement, b- contrainte inside\_périmètre, c- contrainte sidam, d- contrainte sonarem\_orgm).

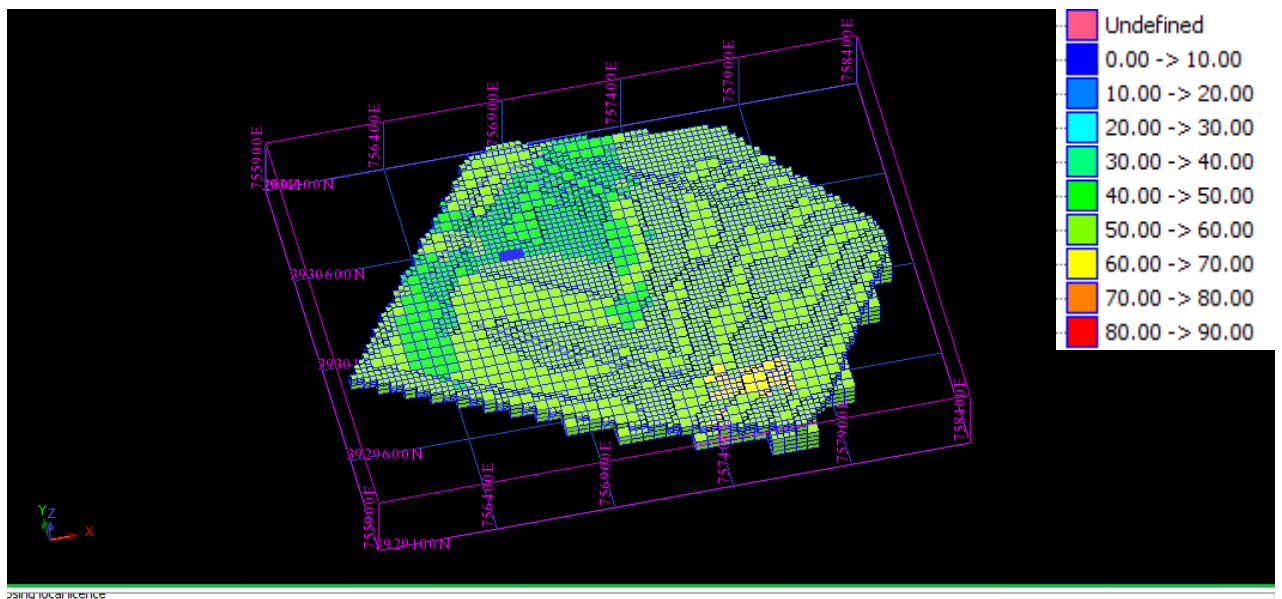


Figure 54 Blocs de la contrainte "gisement" estimés par krigeage.

On procède de la même manière pour estimer les teneurs moyennes en CaO avec les trois méthodes d'interpolation afin de classer les réserves du gisement de Tallait dans la partie qui suit.

## IV.6 Classification des réserves

Pour l'évaluation de la qualité des Kieselguhrs du massif de Grimez, on a tenu compte de 47 sondages. Trois classifications ont été établies par les compagnes de prospection SONAREM et SIDAM (voir chapitre III).

Pour effectuer cette évaluation, on a introduit des contraintes des différentes qualités dans le bloc, ces contraintes regroupent à la fois les critères de classification de SiO<sub>2</sub> et CaO déjà estimés pour chaque qualité.

Un exemple de contrainte de qualité est représenté dans la figure ci-dessous :

**Figure 55** Contrainte de qualité 2 de la classification de SIDAM avec le krigeage

Dans les tableaux suivants, on regroupe les tonnages selon chaque qualité calculés avec les deux méthodes d'estimation des trois contraintes : gisement, Inside périmètre et outside périmètre.

#### IV.6.1 Classification selon SIDAM

Tableau 31 Résultat de tonnage pour chaque qualité selon la classification SIDAM.

contraintes	Méthode d'estimation	Paramètre	Q1	Q2	Q3	Q4	TOTAL
Gisement	Inverse de distance	SIO2 MOY	0	0	0	62.46	37769921
		VOLUME	0	0	0	39757813	
		TONNAGE	0	0	0	37769921	
	Krigeage ordinaire	SIO2 MOY	0	0	0	61.61	8720703
		VOLUME	0	0	0	9179688	
		TONNAGE	0	0	0	8720703	
Inside périmètre	Inverse de distance	SIO2 MOY	0	0	0	62.6	29583593
		VOLUME	0	0	0	31140625	
		TONNAGE	0	0	0	29583593	
	Krigeage ordinaire	SIO2 MOY	0	0	0	61.61	8720703
		VOLUME	0	0	0	9179688	
		TONNAGE	0	0	0	8720703	
Outside périmètre	Inverse de distance	SIO2 MOY	0	0	0	61.94	8186328
		VOLUME	0	0	0	8617188	
		TONNAGE	0	0	0	8186328	
	Krigeage ordinaire	SIO2 MOY	0	0	0	0	0
		VOLUME	0	0	0	0	
		TONNAGE	0	0	0	0	

## IV.6.2 Classification SONAREM

*Tableau 32 Résultat de tonnage pour chaque qualité selon la classification SONAREM.*

Contrainte	Méthode d'estimation	Paramètre	Q1	Q2	Q3	TOTAL
Gisement	Inverse de la distance	SIO2 MOY	0	63.62	53.6	
		VOLUME	0	32007813	112164063	
		TONNAGE	0	30407421	106555858	
	Krigage ordinaire	SIO2 MOY	0	62.04	53.92	
		VOLUME	0	6726563	144507813	
		TONNAGE	0	6390234	137282420	
Inside périmètre	Inverse de la distance	SIO2 MOY	0	64.01	53.5	
		VOLUME	0	23851563	73507813	
		TONNAGE	0	22658984	69832421	
	Krigage ordinaire	SIO2 MOY	0	62.04	55.57	
		VOLUME	0	6726563	93062500	
		TONNAGE	0	6390234	88409374	
Outside périmètre	Inverse de la distance	SIO2 MOY	0	62.49	53.78	
		VOLUME	0	8156250	38656250	
		TONNAGE	0	7748437	36723437	
	Krigage ordinaire	SIO2 MOY	0	0	50.94	
		VOLUME	0	0	51445313	
		TONNAGE	0	0	48873046	



## Commentaires

Les réserves calculées par les deux méthodes d'estimation sont les mêmes tandis que les teneurs moyennes en SiO<sub>2</sub> sont différentes mais du même ordre (53.77% par IDS et 54.39% par le krigeage).

Le calcul des réserves en terme de qualité a montré que le gisement est riche en minerai de la 4<sup>ème</sup> qualité selon la classification de SIDAM qui sert en tant que matériau-de charge, absorbant et agrégat , et en minerai de la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> qualité selon la classification de SONAREM qui est destiné à être utilisé en tant que matériau de charge et agrégats 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> qualité respectivement.

Enfin, les réserves de la 1<sup>ère</sup> qualité selon les deux classifications sont absentes.

### IV.6.3 Comparaison entre les résultats de krigeage et de l'IDS

Parmi les deux méthodes d'estimation utilisées dans ce travail (IDS et krigeage), afin de choisir la méthode d'estimation la plus adaptée, on procède au calcul du gain en métal et celle qui donnera la plus forte valeur sera la méthode adéquate au cas d'étude.

$$\text{Gain en métal} = \text{teneur moyenne} \times \text{tonnage}$$

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus :

*Tableau 33 Gains en métal selon les deux méthodes d'estimation*

<b>Gain en métal avec l'inverse de la distance</b>	<b>9.972.465.525</b>
<b>Gain en métal avec le krigeage</b>	<b>10.087.453.968</b>

Le gain en métal obtenu pour la méthode du krigeage est plus important, ce qui implique que la meilleure méthode d'estimation pour le gisement de diatomite de Sig est le krigeage.

#### **IV.7 Conclusion**

L'utilisation des méthodes classiques (interpolation linéaires entre les sondages) et géostatistiques pour l'évaluation des réserves donnent des résultats plus ou moins équivalents. Néanmoins, Les études statistiques et géostatistiques ont été faites dans le but de connaître la distribution des teneurs et leur variation spatiale.

---

## *CONCLUSION GENERALE*

---

L'objectif qu'on s'est posé dans ce travail est l'estimation des réserves du gisement de diatomite dans le massif de Grimez dans la région de Tallait. Cette estimation du gisement consiste à faire une série de travaux entre les sondages et collecter les données, ce qui constitue une partie importante de l'étude.

Pour arriver à terme de notre travail, nous avons utilisé la branche des mathématiques qui correspond le mieux à notre thématique : la géostatistique. En effet, grâce à cet outil, on a pu montrer le modèle mathématique correspondant à la minéralisation du gisement. On a pu conclure que la distribution des teneurs dans le gisement de Tallait est lognormale et qu'il existe une corrélation négative entre les deux composants principaux du gisement, le SiO<sub>2</sub> et le CaO, cela nous mène à dire que l'augmentation de SiO<sub>2</sub> implique la diminution de CaO.

De plus, d'après l'étude variographique, le modèle sphérique est mis en évidence car c'est le plus adéquat dans notre cas, c'est le modèle qui décrit le mieux les variogrammes expérimentaux, et ce, selon toutes les directions de l'espace. De plus c'est le modèle le plus fréquemment utilisé dans presque tous les problèmes miniers. Aussi, pour minimiser l'erreur d'estimation on a aussi employé la méthode du krigeage. Plus simple à utiliser, le krigeage est la méthode d'interpolation optimale, au sens statistique. Comparée aux autres méthodes d'estimation c'est celle qui donne les meilleurs résultats.

Les résultats finaux nous donnent un tonnage total du gisement en intégrant les 3 compagnes de prospection est de 185 465 232 tonnes et son volume en termes de substance utile est de 195 226 563 m<sup>3</sup>, tandis que le tonnage et le volume du minerai compris à l'intérieur du périmètre d'exploitation sont de : 126 060 545 tonnes et 132 695 313 m<sup>3</sup> respectivement.

La présente étude nous permet d'affirmer que le gisement de Tallait est riche en matériaux de charge, absorbant et agrégats avec 143 672 654 tonnes selon la classification SONAREM et 8 720 703 tonnes selon la classification SIDAM (estimation avec krigeage).

La différence remarquable entre les réserves calculées par le logiciel et celles calculées par SONRAEM et Sidam est due à plusieurs raisons, on en cite :

- SONAREM et SIDAM ont calculé les réserves de la 3ème couche (la couche exploitable) seulement tandis que notre étude sur l'estimation de toutes les couches présentes dans le gisement.
- SIDAM a défini une densité de 0.8 pour calculer les réserves.
- Dans la présente étude, le chantier situant à l'intérieur du périmètre du permis d'exploitation a été évaluant en se basant sur les logs des deux compagnes de prospections faites par SONAREM et ORGM.

Tout cela nous mène à dire que nos résultats et les résultats des travaux antérieurs sont incomparables.

## ***Bibliographie***

- Djamel, B. (2015). **Cractérisation et valorisation de la diatomite de Sig.** [1]
- ENOF. (2012). ***Etude de faisabilité technique et économique pour la valorisation des gisement de feldspath de Ain Barbar, diatomie de Sig, barite de Drissa, dolimoe de Teiouelt, carbonate de calcium de Beni saf et de Oggaz.*** [2]
- ENOF. (2016). ***Exploitation du gisement de Tallait .*** [3]
- ENOF. (2017). ***Projet diatomite de Sig.*** [4]
- François, H. (s.d.). ***<https://www.youtube.com/watch?v=8qw0bNfK4H0>***. [5]
- GEOVIA surpac. (s.d.). **Tutoriel.**[6]
- Hamide, M. (2018, janvier ). **Estimation des ressources d'un gisement kartique par méthode géostatistique, cas du gisement de fer d'Anini, Nord-Est algerien.**[7]
- Hamza, D. C. (s.d.). **Goéostatistique .**[8]
- Lila, Y. (2011). ***Utilisation des SIG pour la réalisation des cartes de qualité du gisement de kieslguhrs de Sig Mascara.*** [9]
- SIDAM. (1979). ***Létude de developpement de l'industrie algerienne de bentonite, kieselguhr ( tome 1).*** [10]
- SONAREM. (1979). ***Calcul et état de réserves du gisement de keselguhrs de Tallait (tome 1 et 2).*** [11]
- ENOF (2017). ***Levé topographique 1/20000.*** [12]

# 1 ANNEXE

## 1. Tables

Tableau 1-1: table collar avant correction.

hole_id	max_depth	x	y	z
S10	68	758288.74	3930091.94	423
S11	77.4	758256.2	3930248.03	409.7
S52	59.1	758161.46	3930105.18	404.8
S09	66.8	758146.06	3929987.4	427.3
S13	66	756923.78	3930402.46	333.6
S25	36.7	757996.16	3929448.78	391.3
S17	37.6	757362.39	3929649.08	352.7
S18	50.3	757521.01	3929731.09	371.8
S19	55	757485.45	3929491.24	394.1
S20	45.5	757638.53	3929592.78	388.7
S21	29.7	757609.49	3929333.86	398.6
S22	44.3	757745.56	3929465.88	405
S23	56	757716.69	3929193.54	418
S24	42	757856.34	3929336.39	416.7
S26	70.6	757790.26	3930950.9	323.8
S27	68.4	757877.61	3930800.4	327
S44	77.7	757603	3930682.17	323
S49	79.8	757689.21	3930341.14	390.3

S03	60.8	757573.28	3930252.4	380.2
S50	61.1	757458.1	3930164.5	380.3
S14	82.8	756813.22	3929714.97	341.5
S15	61.8	756938.46	3929571.49	360.7
S16	71.6	757067.42	3929419	373
S47	81.8	757171.65	3930032.75	346.7
S51	62.7	757898.65	3930549.01	371.1
S54	42.7	757754.97	3930427.17	340
ST11	70.2	757682	3929404	407
ST12	70	757453	3929600	370
ST13	70.2	757368	3929460	374
ST14	70	757297	3929561	355
ST15	70	757222	3929670	335
ST16	70	757628	3929511	400
ST17	80	756873	3929640	348
ST18	70	756786	3929782	310
ST19	70	756971	3929721	339
ST20	85.5	756817	3929903	318

Tableau 1-2: Table Collar après correction.

hole_id	max_depth	x	y	z
S10	68	758288.74	3930091.94	410
S11	77.4	758256.2	3930248.03	390
S52	59.1	758161.46	3930105.18	319.829
S09	66.8	758146.06	3929987.4	410.082
S13	66	756923.78	3930402.46	311.557
S25	36.7	757996.16	3929448.78	376.605
S17	37.6	757362.39	3929649.08	336.308
S18	50.3	757521.01	3929731.09	357.02
S19	55	757485.45	3929491.24	378.875
S20	45.5	757638.53	3929592.78	373.299
S21	29.7	757609.49	3929333.86	382.002
S22	44.3	757745.56	3929465.88	390.847
S23	56	757716.69	3929193.54	400
S24	42	757856.34	3929336.39	400
S26	70.6	757790.26	3930950.9	306.926
S27	68.4	757877.61	3930800.4	310
S44	77.7	757603	3930682.17	315.245
S49	79.8	757689.21	3930341.14	373.221
S03	60.8	757573.28	3930252.4	364.404
S50	61.1	757458.1	3930164.5	363.514
S14	82.8	756813.22	3929714.97	326.348
S15	61.8	756938.46	3929571.49	345.251

S16	71.6	757067.42	3929419	357.325
S47	81.8	757171.65	3930032.75	330.613
S51	62.7	757898.65	3930549.01	352.929
S54	42.7	757754.97	3930427.17	329.305
1-a-c	85	756943.79	3931033.56	348.81
2-a-c	63	756829.55	3931032.92	336.03
3-a-c	77	756749.68	3931027.27	345.867
4-a-c	83	757030.66	3930763.94	335.987
4-C	74	756093.94	3930030.78	350.131
5-C	73.5	755986.88	3929958.39	351.661
6-C	73.05	756127.88	3929981.63	354.306
7-C	76.8	756372.29	3929984.82	336.362
8-C	72.75	756529.85	3930102.26	342
10-C	64.5	756221.15	3930273.75	346.697
11-C	76.6	756423.7	3930255.47	342.73
ST11	70.2	757682	3929404	400
ST12	70	757453	3929600	355.90679
ST13	70.2	757368	3929460	358.97049
ST14	70	757297	3929561	350
ST15	70	757222	3929670	326.552025
ST16	70	757628	3929511	386.49056
ST17	80	756873	3929640	337.44
ST18	70	756786	3929782	310
ST19	70	756971	3929721	329.976
ST20	85.5	756817	3929903	313.151

Tableau 1-3: Table Survey.

hole_id	depth	azimuth	dip
S10	68	0	-90
S11	77.4	0	-90
S52	59.1	0	-90
S09	66.8	0	-90
S13	66	0	-90
S25	36.7	0	-90
S17	37.6	0	-90
S18	50.3	0	-90
S19	55	0	-90
S20	45.5	0	-90
S21	29.7	0	-90
S22	44.3	0	-90
S23	56	0	-90
S24	42	0	-90
S26	70.6	0	-90
S27	68.4	0	-90
S44	77.7	0	-90
S49	79.8	0	-90
S03	60.8	0	-90
S50	61.1	0	-90
S14	82.8	0	-90
S15	61.8	0	-90
S16	71.6	0	-90
S47	81.8	0	-90
S51	62.7	0	-90
S54	42.7	0	-90
1-a-c	85	0	-90
2-a-c	63	0	-90
3-a-c	77	0	-90
4-a-c	83	0	-90
4-C	74	0	-90
5-C	73.5	0	-90
6-C	73.05	0	-90
7-C	76.8	0	-90
8-C	72.75	0	-90
10-C	64.5	0	-90
11-C	76.6	0	-90
ST11	70.2	0	-90
ST12	70	0	-90
ST13	70.2	0	-90
ST14	70	0	-90
ST15	70	0	-90
ST16	70	0	-90
ST17	80	0	-90
ST18	70	0	-90
ST19	70	0	-90
ST20	85.5	0	-90



Tableau 1-4:Table Sample.

hole_id	samp_id	depth_from	depth_to	SiO2	CaO	Al2O3	Fe2O3	H2O
S10	160	25.1	26.8	42.8	21.11	5.42	3.05	4.03
S10	161	26.8	28.8	39	25.81	4.13	1.67	3.3
S10	162	28.8	30.9	38.82	25.54	4.25	2.14	3.75
S10	163	31.1	32.2	59.55	14.21	3.67	2.12	5.01
S10	164	32.2	33	50.13	21.27	2.16	1.75	4.21
S10	165	33.4	36	56.6	16.26	3.15	2.14	4.66
S10	166	36	38	36.77	28.96	2.23	1.94	3.73
S10	167	38	40	42.68	25.13	2.54	1.75	3.3
S10	168	40	41.5	40.42	25	3.47	1.17	3.65
S10	169	41.5	42.2	47.57	17.62	5.86	2.82	5.01
S10	170	42.2	42.8	54.57	13.52	5.39	2.72	5.43
S10	171	42.8	45	39.22	20.76	7.09	3.3	5.43
S10	172	45	45.8	58.63	12.65	4.77	2.24	5.53
S10	149	45.8	46.5	40.37	17.82	5.31	3.69	5.44
S10	150	46.5	47.5	53.26	13.86	4.27	2.33	5.21
S10	151	47.5	49.5	36.38	21.1	3.69	3.01	4.44
S10	152	49.5	51	31.04	18.1	6.43	4.66	5.36
S10	153	51	52.5	57.23	11.99	5.69	2.56	4.49
S10	154	52.5	54	37.26	21.53	4.69	2.76	3.53
S10	155	54	55	35.88	20.42	7.59	3.45	4.58
S10	156	55.5	56.5	38.11	19.45	8.11	3.94	5.43
S10	157	56.5	57.8	52.15	14.27	6.26	2.76	5.26
S10	158	57.8	59	44.6	22.22	6.73	3.35	4.8
S10	159	63	64.2	36.69	20.14	5.02	2.17	3.97
S11	173	42.5	43.2	50.2	18.17	2.99	2.04	4.32
S11	174	43.2	45.1	52.52	19.95	3.45	1.56	4.09
S11	175	45.7	46	55.2	14.7	3.39	1.14	4.36
S11	176	46	46.8	55.35	14.62	3.79	1	5.04
S11	177	47	48.5	47.36	20.08	2.93	1.45	4.1
S11	178	48.5	50.3	64.1	11.2	2.82	1.56	5
S11	179	50.3	50.8	55.3	15.85	2.88	1.75	4.3
S11	180	50.8	52.3	50.64	18.51	2.88	1.75	4.05
S11	181	52.5	54	59.1	12.57	2.71	1.65	6.98
S11	182	55	56	54.14	13.32	5.4	2.04	5.56
S11	183	56	56.5	31.15	26.7	3.97	1.94	4.01
S11	184	57.7	58.2	47.48	15.98	6.54	2.04	5.83
S11	185	58.2	59	64.79	9.56	2.64	1.36	5.49
S11	186	59	59.3	44.56	17.55	4.84	1.84	4.62
S11	187	61.6	62.5	54.5	14.14	4.6	1.94	5.24
S11	188	62.5	63	47.94	13.84	6.82	3.33	6.52
S11	189	65.2	65.8	47.15	15.91	6.65	3.3	6.3
S11	190	65.8	66.4	54.28	14.41	5.22	2.13	5.36
S11	191	69	69.4	51.16	15.09	5.88	2.69	5.84
S11	192	70.7	71.2	48.62	15.5	6.32	3.11	6.03
S11	193	71.8	72.2	55.39	13.32	4.36	2.24	4.5

S52	292	23	23.3	59	15.1	4.06	1.9	4.38
S52	293	24.2	25	40.85	27.26	3.11	1.2	2.72
S52	294	27.2	27.6	53.62	17.84	5.19	1.9	4.86
S52	295	28	28.2	58.7	16.3	3.46	1.6	3.88
S52	296	28.4	29.2	53.4	18.87	4.4	1.25	4.44
S52	297	29.2	30.6	62.32	13.2	4.35	1.55	5.19
S52	298	30.9	31.2	46.21	21.74	5.05	2	4.29
S52	299	32	32.7	67.85	9.16	4.9	2.2	5.85
S52	300	33	33.4	56.21	17.24	4.48	1.44	4.07
S52	301	34.2	34.8	57.56	26	3.69	1.77	4.87
S52	302	35	35.4	50.07	18.33	5.89	2.2	5.02
S52	303	35.8	37	57.2	13.98	5.56	2.1	5.43
S52	304	38.4	39	63.1	11.8	5.07	1.77	5.48
S52	305	39	39.5	50.74	19.26	3.94	2.1	4.74
S52	306	42.2	42.8	55.71	16.15	4.43	1.44	5.01
S52	307	43.4	43.8	60	12.11	5.66	2.1	5.27
S52	308	47	47.8	59.16	12.74	5	2.47	4.97
S52	309	48.5	49	60.77	12.59	4.1	2.42	4.68
S52	310	51.6	51.8	55.17	15.61	4.57	2.06	4.52
S52	311	52	52.4	53.95	15.23	4.24	2.06	4.56
S09	119	35.8	36.9	52.69	17.14	4.12	2	5.55
S09	120	37.7	38.8	54.33	17.83	3.17	1.75	3.31
S09	121	38.8	41.2	47.38	21.17	3.21	1.26	3.5
S09	122	41.5	44	47.55	19.95	3.1	1.65	3.36
S09	123	44.4	46	51.37	16.65	2.42	1.55	3.2
S09	124	47.9	48.4	62.04	10.3	5.05	2.33	5.2
S09	125	54.9	56	58.07	12.7	4.47	1.94	5.05
S09	126	59	61	49.09	14.35	4.93	2.23	4.34
S17	601	22.3	22.8	61.95	12.09	5.19	2.5	5.84
S17	602	22.8	23.1	58.3	16.52	3.1	1.6	4.22
S17	603	25	25.6	59.88	14.9	4.17	2.2	4.92
S17	604	25.6	26.5	56.46	12.8	3.37	1.88	6.6
S17	605	28.5	29.6	65.9	10.25	4.08	1.66	4.94
S17	606	30.3	31.2	66.6	9.78	3.7	1.77	5.15
S17	607	31.2	31.8	53.39	15.76	3.7	2.54	4.94
S17	608	32.8	33.8	64.65	10.95	4.08	2.2	5.27
S17	609	34.2	35.4	59.83	13.2	3.37	1.88	4.88
S17	610	36.3	37	61.56	14.52	2.3	1.55	4.13
S18	707	18.6	19	63.3	12.51	4.23	2.2	4.77
S18	708	19.5	19.8	59.24	14.45	4.53	2.42	4.55
S18	710	20.6	21.8	66.28	10.51	4.3	2.2	4.48
S18	711	21.8	23.3	45.27	24.72	2.65	1.49	3.15
S18	712	23.3	24.7	48.47	21.07	3.68	1.94	3.45
S18	713	26.3	27.5	53.7	19.2	3.74	1.7	3.9
S18	714	30.1	31.4	63.39	11.9	4.69	1.9	4.75
S18	715	31.8	32.3	54.81	17.78	3.66	1.8	4.05
S18	716	32.3	33.3	63.57	12.5	3.35	1.6	4.48
S18	717	33.3	34.2	39.01	29.39	1.97	1.38	2.4

S18	718	34.7	36.5	63.12	13.09	3.8	1.9	3.26
S18	719	38.8	39.4	46.3	22.77	3.66	1.48	2.97
S18	720	40	42.4	65.02	11.16	4.04	1.48	3.95
S18	721	42.8	43.8	69.34	8.78	3.72	1.48	4.22
S19	679	33.9	34.7	64.81	11.23	5.71	2.32	4.54
S19	680	36.8	38.1	54.2	17.85	5.71	1.9	2.24
S19	681	39	40.7	61.34	12.5	5.71	2.11	3.69
S19	682	42	44	63.7	11.3	4.28	1.93	3.53
S19	683	44.5	45.5	54.79	14.75	4.35	1.32	3.77
S19	684	46	46.8	59.97	13.75	2.97	1.1	3.69
S19	685	47.5	48.7	52.44	15.37	4.2	1.43	3.59
S19	686	50.2	50.8	54.61	15.6	4.8	1.87	3.52
S19	687	51.1	51.4	58.11	13.98	4.53	1.98	4.13
S19	688	51.4	52.6	62.92	11.9	3.22	1.54	3.46
S20	667	23.4	23.8	60.45	12.72	5.46	2.41	3.93
S20	668	24.7	25.5	57.48	15.47	4.8	2.41	3.51
S20	669	26.2	26.7	51.52	16.22	6.69	3.06	4.67
S20	670	26.9	27.9	71.43	7.74	4.36	2.08	4.48
S20	671	27.9	28.5	61.45	12.2	5.21	2.52	3.85
S20	672	29	31	59.68	14.58	3.58	2.15	2.8
S20	673	31	31.4	58.02	13.76	5.35	2.75	4.05
S20	674	31.4	32	56.41	13.36	3.78	1.9	3.63
S20	675	32.5	34	58.41	16.21	3.46	1.69	2.89
S20	676	36	36.6	53.63	16.21	5.12	2.75	4.34
S20	677	37	38.5	55.85	14.73	3.27	2.11	4.73
S20	678	40.2	41	60.07	13.09	4.55	2.11	3.93
S21	402	8	8.6	43.44	15.88	1.42	1.2	1.01
S21	403	9.1	9.6	55.6	15.31	5.76	2.3	3.92
S21	404	12.5	13	44.57	26.01	2.9	1.7	2.32
S21	405	13.5	13.8	42.7	25.59	4.33	2.2	3.59
S21	406	15.2	16.8	58.04	13.29	6.42	2.4	4.91
S21	407	18	19.6	54.04	13.36	4.55	2.2	4.18
S21	408	20.3	20.6	56.62	12.23	4.45	3.6	5.3
S21	409	20.6	21	52.33	19.06	4.33	2	3.52
S21	410	21	22.8	62.64	4.09	4.09	2	3.84
S21	411	24.6	26	58.87	11.08	6.53	4	6.31
S22	455	8	8.6	54.8	17	4.32	1.97	5.4
S22	456	11	11.6	62.62	10.58	4.92	2.5	5.14
S22	457	16.8	17.8	55.57	16.53	3.34	1.68	4.4
S22	458	19	19.7	60.34	11.43	5.29	2.3	4.97
S22	459	19.7	20.5	55.68	13.9	5.05	2	5.03
S22	460	22	23	50.92	13.75	7.12	2.94	6.05
S22	461	26	26.6	58.63	12.2	4.17	1.89	4.68
S22	462	27	29	55.6	13.28	4.78	2.1	4.68
S22	463	29	30	58.14	11.82	4.09	2	4.8

S22	464	32	32.5	53.93	13.98	5.06	2.3	4.06
S22	465	36	36.5	62.97	10.27	4.48	2.1	4.71
S22	466	37	37.1	46.94	20.08	4.83	2.1	3.84
S22	467	38	39.8	59.2	12.2	4.53	2.31	5.095
S23	653	13.7	14.2	55.39	18.37	4.39	2.12	4.06
S23	654	16.5	16.8	54.29	15.55	4.98	2.54	3.92
S23	655	17	17.7	56.65	14.28	3.92	2.43	4.09
S23	656	17.7	18.3	49.43	16.81	6.27	2.54	4.62
S23	657	18.3	19	46.31	19.56	4.83	2.33	3.49
S23	658	19.2	19.6	52.97	16.52	5.06	3.49	4.44
S23	659	24	25	58.12	13.17	4.67	2.12	3.73
S23	660	27	28.4	53.52	18.82	4.15	2.012	4.05
S23	661	29	29.4	47.49	16.22	3.8	1.27	3.63
S23	662	30.7	31	53.07	14.32	4.64	1.78	4.17
S23	663	41.5	42.5	54.23	16.89	3.68	1.97	3.21
S23	664	44.5	45.5	56.52	12.94	5.98	2.84	4.4
S23	665	46	46.5	50.42	19.05	4.81	2.08	3.62
S23	666	48.3	49.3	54.58	15.18	5.41	2.84	3.86
S24	643	10	11	48.58	21.37	3.25	2.2	3.27
S24	644	11	11.6	53.63	16.87	4.31	2.4	3.82
S24	645	11.8	13	60.23	13.01	3.61	2.2	4.12
S24	646	14.8	15.8	58.19	13.58	4.56	2.8	4.19
S24	647	18	18.5	59.85	11.67	4.08	2.7	4.83
S24	648	21.5	22.3	63.44	10.05	3.98	3	3.66
S24	649	22.3	23.2	60.88	12.3	3.3	2.2	4.04
S24	650	26.1	27.6	56.16	11.74	5.28	2.9	4.92
S24	651	27.7	28.1	50.47	14.83	6.31	3.4	5.06
S24	652	30	30.2	55.81	14.21	4.38	2.12	4.1
S26	245	38.6	38.8	64.16	10.9	2.78	1.1	4.34
S26	246	40.5	42.6	52.72	17.98	2.63	1.8	3.9
S26	247	43.3	44.2	52.06	17.45	2.52	1.7	3.63
S26	248	44.2	46	53.76	17.77	2.72	1.4	4.15
S26	249	46	46.3	55.06	17.63	1.83	1.1	3.52
S26	250	47.1	48.7	60.2	13.59	2.66	1.3	4.58
S26	251	48.9	49.3	36.48	26.13	1.87	1.5	2.86
S26	252	52.5	53.3	69.88	9.35	0.83	1.7	3.57
S26	253	53.3	53.8	62.4	12.75	3.35	1.8	2.6
S26	255	53.8	54.8	51.48	20.8	3.67	1.1	2.3
S26	256	54.8	56	61.14	13.2	4.28	1	2.55
S26	256	56.5	57.9	58.86	13.67	4.28	1	2.55
S27	270	44.8	45.5	42.47	24.07	2	1.4	3.09
S27	271	45.5	46.5	63.56	11.97	2.35	1	3.96
S27	272	48	48.2	48.72	19.12	3.93	2	3.52
S27	273	48.6	49	48.92	20.6	2.85	1.2	3.21
S27	274	49	49.4	49.2	20.74	2.9	1.4	3.26

S27	275	49.4	49.7	52.47	17.43	3.15	1.4	4
S27	276	49.7	50	47.94	21.09	3.02	1.4	2.52
S27	277	50	50.4	46.52	21.81	3.23	1.2	3.8
S27	278	50.7	51.2	62.1	10.83	3.63	1.6	4.7
S27	279	51.2	51.7	63.1	11.04	3.16	1.8	4.64
S27	280	51.7	52.6	64.09	11.73	3	1.6	5.5
S27	281	52.6	53.5	59.33	14.75	2.52	1.6	5.12
S27	282	53.5	54	42.41	13.75	2.55	1.2	2.62
S27	283	56.8	57.1	67.26	11.94	2.75	1.2	4.82
S27	284	57.3	57.9	57.22	14.19	2.57	1.8	4.08
S27	285	58.1	58.5	45.56	20.65	2.66	1	2.62
S44	1206	56.8	58.6	46.6	19.39	3.92	1.36	0
S44	1207	61.3	63	50.74	18.23	3.04	0.76	0
S44	1208	63.8	65.6	56.94	14.05	2.72	1.16	0
S44	1209	66.1	67.7	60.53	12.5	3.28	1.12	0
S44	1210	67.7	68.8	50.58	18.11	3.68	1	0
S49	1237	56.9	57.3	47.66	16.6	3.76	2.1	0
S49	1238	57.3	60.7	60.55	13.56	2.6	1.16	0
S49	1239	60.8	63.8	51.36	16.47	2.36	1.14	0
S49	1240	63.8	64.3	40.94	33.32	3.36	1.6	0
S49	1241	66.1	67.6	42.51	24.82	2.62	1.1	0
S49	1242	67.8	69	56.78	13.74	3.12	1.45	0
S03	67	52.4	53.6	58.56	14.27	1.52	1.31	4.09
S03	68	54.2	55	47.44	22.55	2.74	1.31	2.27
S03	69	57.9	58.7	54.04	19.45	2.33	1.01	2.79
S50	1243	51.8	52.4	45.04	19.24	3.95	1.72	0
S50	1244	52.4	54.4	62.96	12.73	2.76	1.07	0
S50	1245	54.4	55.4	49.03	19.75	3.15	1.12	0
S50	1246	55.75	58.6	53.89	15.92	2.78	1.32	0
S14	384	40	40.4	50.66	18.13	5.02	2.51	2.23
S14	385	41	41.2	58.49	12.97	5.45	3.67	4.69
S14	386	45	45.7	52.92	17.88	3.21	1.97	3.54
S14	387	45.7	46	55.89	17.19	2.64	1.61	2.66
S14	388	46	46.6	52.4	18.26	3.55	1.79	3.89
S14	389	46.6	47.2	42.51	23.45	3.43	2.2	2.86
S14	390	47.2	48.8	52.15	19.72	4.25	2.65	3.39
S14	391	49.8	50.3	52.09	18.01	4.19	2.43	3.46
S14	392	50.5	51.5	53.15	17.55	3.4	2.65	3.57
S14	393	53.2	53.8	52.78	16.77	3.64	3.3	3.58
S14	394	54.2	55.8	51	18.17	3.61	2.42	3.13
S14	395	57	58.3	50.15	16.46	6.12	3.4	3.76
S14	396	58.4	59.2	53.64	15.22	5.41	3.32	4.12
S14	397	60	60.2	47.68	18.33	5.84	2.3	3.77
S14	398	63.5	64.4	56.79	15.22	4	2.2	3.24
S14	399	69	69.7	51.26	16	4.22	2.42	3.5
S15	357	41.4	42.6	68.88	9.7	3.01	1.2	4.02
S15	358	42.6	43.3	68.39	11.1	2.5	1.2	3.95

S15	359	43.4	43.8	45.88	25.17	2.5	1	2.97
S15	360	44.9	45.7	58.15	13.64	4.4	1.8	4.67
S15	361	46	46.2	50.66	18.56	3.94	2.1	3.91
S15	362	47.5	49	62.75	11.67	4.15	2	4.28
S15	363	49	49.7	57.47	13.92	2.75	1.6	3.85
S15	364	51.2	52.2	64.13	10.9	2.73	1.36	3.85
S15	365	52.2	53.4	60.59	11.26	3.6	1.66	4.08
S15	366	55	56.8	54.14	13.59	3.55	1.77	3.53
S15	367	58.5	60.8	61.09	13.43	4.33	2	4.36
S16	369	48.8	50.7	54.8	14.05	4.43	2.65	2.81
S16	370	50.9	51.4	24.29	38.59	1.8	0.88	1.52
S16	371	52.4	53.1	55.91	15.61	4.1	2.21	4.09
S16	372	54	55.5	58.94	14.52	3.57	2	3.84
S16	373	56.2	57.2	53.65	16.85	3.82	1.44	3.25
S16	374	57.5	58.1	56.76	17.16	2.71	1.33	2.5
S16	375	58.2	58.4	68.17	9.71	3.24	4.33	2.12
S16	376	58.8	59.2	58.15	15.17	2.97	1.34	3.24
S16	377	59.8	60	55.19	16.49	3.21	1.7	4.12
S16	378	60.2	61	52.37	14.29	5.36	2.42	5.46
S16	379	61.8	63.8	49.82	17.75	2.82	1.52	4
S16	380	65.5	66	50.97	14.98	4.09	1.88	4.35
S16	381	66.2	68	48.37	18.51	2.03	1.88	3.92
S16	382	69.3	70	46.63	19.01	3.72	1.88	3.69
S51	1260	44	45.45	56.24	1.2	15.2	3.21	0
S51	1261	45.45	45.9	46.62	0.56	22.55	2.24	0
S51	1262	45.9	46.3	62.16	0.88	17.1	2.48	0
S51	1263	46.3	47.1	66.08	0.96	10.77	3.2	0
S51	1264	47.1	48.3	44.02	1.22	23.19	3.53	0
S51	1265	61	61.2	47.06	2.12	16.6	3.68	0
S51	1266	61.2	62.65	67.74	1.46	9.88	3.76	0
S47	1224	59.2	62.4	59.16	14.14	2.4	1.22	0
S47	1225	63.1	65.5	6.91	36.48	0.94	1.04	0
S47	1226	66.3	68.7	50.6	19.32	1.92	1	0
S47	1227	69.1	70.8	56.52	13.3	2.36	1.12	0
S47	1228	72	73.1	57.68	12.09	2.6	1.68	0
S47	1229	75	76.3	55.56	12.54	3.12	1.56	0
S47	1230	79	80.6	46.58	17	3	1.44	0
S54	332	7.4	8.4	60.85	1.8	12.5	3.67	5.16
S54	333	9.4	11	44.34	1.66	17.48	3.67	4.3
S54	334	13	14	59.7	1.8	15.28	3.27	3.4
S54	335	14.6	15	62.08	1.8	13.66	4.21	3.36
S54	336	16	17.3	61.38	12.34	12.34	5.82	3.66
S54	337	19	19.2	45.93	2.8	17.1	7.54	4.51
S54	338	19.6	20.3	52.64	2.9	14.5	6.76	4.28
S54	339	24	24.8	56.12	2.3	14.44	5.06	3.86
S54	340	28.8	29.4	66.68	1.83	9.06	4.11	4.11
S54	341	29.4	30.4	63.96	1.6	11.01	4.58	3.74

S54	342	33.4	34.4	50.79	2.11	15.66	5.58	3.94
S54	343	34.4	35.4	56.03	2.19	13.67	5.33	4.01
1-a-c	24	58.7	60	40.1	14.5	3.44	1.18	0.68
1-a-c	25	61.5	61.65	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	25	61.65	62.82	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	25	62.82	62.88	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	25	62.88	63.63	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	25	63.63	63.93	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	25	63.93	64.63	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	25	64.63	66	48.7	18.83	3.13	1.15	0.61
1-a-c	26	66.5	67.3	57.9	14.1	3.19	1.24	0.63
1-a-c	27	67.6	69.2	58.4	13.39	2.81	1.01	0.5
1-a-c	28	70	70.1	53.8	14.69	3.02	1.12	0.6
1-a-c	29	72.3	75.5	54.6	13.6	3.01	1.11	0.63
1-a-c	29	75.5	76	54.6	13.6	3.01	1.11	0.63
1-a-c	29	76	76.4	54.6	13.6	3.01	1.11	0.63
1-a-c	29	76.4	77.5	54.6	13.6	3.01	1.11	0.63
1-a-c	29	77.5	78.75	54.6	13.6	3.01	1.11	0.63
1-a-c	30	81.25	81.8	46.4	16.96	5.26	2.23	1.26
2-a-c	31	45.85	47.5	56.9	13.24	3.14	1.17	0.61
2-a-c	31	47.5	48.8	56.9	13.24	3.14	1.17	0.61
2-a-c	32	51.7	52.7	60.9	12.2	2.4	0.89	0.51
2-a-c	33	52.7	54	57.3	14.63	2.24	0.84	0.47
2-a-c	34	54	54.5	49.6	15.39	5.29	2.04	1.28
2-a-c	34	54.5	55.5	49.6	15.39	5.29	2.04	1.28
2-a-c	35	55.5	56.15	36.8	19.79	5.16	2.02	1.26
2-a-c	35	56.15	56.32	36.8	19.79	5.16	2.02	1.26
2-a-c	35	56.32	57	36.8	19.79	5.16	2.02	1.26
3-a-c	36	55.5	56.5	45.6	20.2	3.22	1.2	0.63
3-a-c	37	57.85	59.35	37.7	25.96	2.53	0.94	0.53
3-a-c	38	59.5	60.5	54.9	15.96	2.77	1.43	0.54
3-a-c	39	60.5	62.6	55.2	14.74	3.19	1.21	0.59
3-a-c	39	62.6	62.8	55.2	14.74	3.19	1.21	0.59
3-a-c	39	62.8	65	55.2	14.74	3.19	1.21	0.59
4-a-c	40	61.9	63	42.7	20.82	3.75	1.36	0.79
4-a-c	41	64.6	66.8	45.5	20.74	3.04	1.19	0.68
4-a-c	42	67.5	69	53.4	15.09	3.7	1.43	0.78
4-a-c	43	69	73.2	50.6	17.74	2.97	1.21	0.6
4-a-c	44	73.5	74.75	53.8	14.6	3.27	1.18	0.68
4-a-c	45	76.2	79.65	43.2	12.52	2.65	0.91	0.51
4-C	122	58.7	60	65.39	11	1.21	2.7	33.02
4-C	123	60	61	63.29	11.92	1.21	2.19	47.36
4-C	124	61	62.45	42.94	13.84	1.91	2.28	59.6
5-C	116	53.5	54	22.26	38.96	1.29	1.29	0.3
5-C	117	56.6	57.5	55.65	18.31	1.21	2.58	54.72
5-C	117	57.5	59.39	55.65	18.31	1.21	2.58	54.72
5-C	118	59.7	60.3	45.71	19.72	2.42	2.83	68.32

5-C	118	60.3	60.32	45.71	19.72	2.42	2.83	68.32
5-C	118	60.32	60.7	45.71	19.72	2.42	2.83	68.32
5-C	119	62.9	63.9	67.58	10.5	1.62	2.81	44.16
5-C	120	65.6	67.4	60.6	11.56	1.62	3.98	36.4
5-C	121	72.5	73.5	58.82	12.35	1.41	4.23	49.36
6-C	128	64.85	69.2	58.49	14.9	1.41	2.62	53.04
7-C	125	52.5	53.65	28.65	35.05	1.01	1.75	92.16
7-C	126	54.55	56.55	73.45	8.66	1.21	2.56	42.08
7-C	127	56.55	58.05	56.26	19.71	1.91	2.21	54.96
8-C	111	62	63	56.4	12.92	2.06	0.98	48.88
8-C	112	63	64	62.36	12.13	1.5	0.55	39.52
8-C	113	64	65	62.3	12.13	1.43	0.5	37.2
8-C	114	66.1	66.3	52.16	15.82	2.06	1.15	52.6
8-C	115	68.25	72.75	50.14	17.93	1.5	0.98	52.64
10-C	102	58.85	59.4	54.58	15.3	2.06	1.7	49.52
10-C	103	59.47	61.15	65.48	10.02	1.61	0.52	31.68
10-C	104	61.15	62.75	53.94	18.72	1.5	2.13	56.16
10-C	105	63	64.5	46.8	15.82	1.61	1.54	63.36
11-C	129	62.8	65.8	59.86	13.2	1.31	2.83	42.08
11-C	130	65.8	67.3	39.05	27.95	1.11	1.47	47.36
ST11	1101	30.6	31.2	64.8	12.05	3.47	2.96	5.23
ST11	1102	33.1	33.8	48.55	23.39	2.43	1.66	3.88
ST11	1103	35.2	37.1	69.05	14.52	1.67	1.01	6.1
ST11	1104	38.4	40.2	64.25	12.82	3.2	2.45	5.77
ST11	1105	41.8	43.5	65.45	13.5	2.96	2.37	2.56
ST11	1106	46	48.5	69.71	11	2.44	1.96	3.52
ST11	1107	50.8	52.1	70.02	10.95	2.87	2.37	9.17
ST11	1108	52.1	53.4	76.95	7.8	2.5	1.86	7.21
ST11	1109	56.5	58.05	69.3	11.86	3.11	2.56	4.12
ST11	1110	58.05	59.3	56.24	15.94	5.36	3.26	6.4
ST12	1121	22.1	23.4	49.29	23.79	3.17	2.28	3.46
ST12	1122	23.4	26.5	52.02	20.52	4.04	2.52	3.54
ST12	1123	26.5	27	60.44	15.27	3.53	2.37	3.66
ST12	1124	29.8	30.8	66.75	12.93	4.2	3.11	5.54
ST12	1125	30.8	31.6	75.08	10.32	2.15	1.79	5.92
ST12	1126	32.9	33.9	68.24	31.01	3.32	2.31	3.8
ST12	1127	33.9	35	83.62	5.92	1.4	1.24	5.27
ST13	1128	20	20.7	65.53	14.65	2.25	1.51	5.22
ST13	1129	21.6	22.6	67.61	11.15	4.32	2.86	5.95
ST13	1130	22.6	23.3	66.23	13.86	3.66	2.59	5.18
ST13	1131	25.2	26.5	56.48	20.55	2.56	1.64	4.33
ST13	1132	26.5	27	70.56	10.59	4.4	2.61	6.3
ST13	1133	29	30.2	71.18	10.33	3.95	2.83	6.31
ST13	1134	30.2	31.4	54.55	18.39	3.2	2.08	4.16
ST13	1135	34.5	35.1	66.13	13.2	3.25	2.23	5.49
ST13	1136	37.6	38.7	66.38	13.06	3.24	2.17	4.63
ST13	1137	38.7	39.8	74.42	10.26	2.76	2.31	5.78



ST13	1138	43.6	44.7	57.04	20.43	2.07	1.02	3.67
ST14	1139	20	21.9	40.76	27.37	1.8	1.24	1.11
ST14	1140	22.3	23.6	60.62	12.59	2.66	1.77	4.57
ST14	1141	23.6	25	43.16	24.64	2.06	1.49	3.7
ST14	1142	28.2	29.5	58.6	14.78	2.24	1.93	3.24
ST14	1143	29.5	30.2	50.84	18.6	3.07	2.06	4.47
ST14	1144	31.4	32.4	60.06	11.35	4.43	3.1	5.76
ST14	1145	32.4	33.4	50.78	21.21	3.4	2	3.91
ST14	1146	35	35.7	54.58	17.89	3.13	1.71	5.11
ST14	1147	37.9	39.1	42.68	23.06	3.53	2.28	2.81
ST14	1148	41.7	42.7	43.54	23.92	3.67	2.4	13.23
ST14	1149	44.6	46.3	60.8	13.22	2.33	2.25	10.55
ST14	1150	51.2	52.2	61.18	10.68	2.85	2.07	3.74
ST15	1151	26.6	28	58.32	11.22	3.02	2.03	3.7
ST15	1152	28	29.4	51.48	15.26	4.29	3.18	4.7
ST15	1153	33.3	34.2	57.02	12.76	3.9	2.98	2.68
ST16	1111	25	26.1	70.06	11.95	2.85	2.07	3.5
ST16	1112	28.2	29.2	69.85	11.6	2.89	1.85	3.58
ST16	1113	30.4	32.2	65.21	13.05	3.77	2.65	3.32
ST16	1114	33.5	35	70.31	10.89	3.1	2.33	3.7
ST16	1115	35	36.6	73.45	11.05	2.05	1.06	4.22
ST16	1116	37.9	39.4	67.55	12.02	3.48	2.41	4.32
ST16	1117	41	42.5	73.85	9.15	2.42	2.05	3.59
ST16	1118	42.5	43.8	74.11	9.05	2.87	2.25	4.17
ST16	1119	46.6	48.15	66.11	14.64	3.49	2.15	3.66
ST16	1120	48.15	49.7	56.29	17.07	4.03	2.24	4.29
ST17	1164	51.2	52.7	58.22	16.5	2.77	1.74	6.33
ST17	1165	53.5	54.1	62.34	12.03	2.36	2.57	6.54
ST17	1166	56.2	57.8	56.58	15.34	1.34	1.23	8.18
ST17	1167	59.8	61.3	62.26	12.94	2.11	1.66	13.82
ST17	1168	63	64.4	57.46	13.83	2.62	2.17	12.36
ST17	1169	66.3	67.9	57.94	13.36	2.35	1.94	13.18
ST17	1170	70	71	58.08	14.29	2.51	2.03	10.55
ST17	1171	71	72	59.28	11.55	2.62	1.96	11.4
ST17	1172	75.4	76.6	52.64	11.2	2.5	2.32	13.01
ST17	1173	76.6	77.8	65.2	22.39	1.28	1.3	11.06
ST18	1186	34	34.9	60.9	14.84	2.5	1.69	78.15
ST18	1187	37	37.5	48.5	22.28	3.03	2.21	57.97
ST18	1188	38.1	40	52.7	22.1	2.49	1.39	77.97
ST18	1189	42	43	69.6	11.1	2.35	1.37	68.57
ST18	1190	43	44.5	52.2	20.62	1.23	1.29	27.11
ST18	1191	45.4	47.2	66.7	12.6	1.92	1.4	39.68
ST18	1192	48.5	50.4	60.7	13.87	2.81	1.98	53.03
ST18	1193	51.9	53.6	60.5	12.3	2.29	1.75	62.8
ST18	1194	55.7	57.8	60.3	14.06	1.96	1.65	39.63
ST18	1195	60.5	63	64.3	12.82	1.96	1.59	41.67
ST18	1196	65.8	67.8	59.2	15.96	2.29	1.74	48.17

ST19	1154	39	40.5	59.36	12.18	2.42	1.75	1.17
ST19	1155	40.5	42	55.8	15.36	2.09	1.57	4.5
ST19	1156	42.6	44.3	41.88	25.07	2.64	1.83	3.99
ST19	1157	50.3	51	54.26	16.81	2.08	1.76	3.16
ST19	1158	52	53.1	59.64	12.26	2.22	1.87	3.75
ST19	1159	54.3	56	59.5	12.58	2.74	2.01	3.97
ST19	1160	57.1	58.8	62.34	10.75	2.62	1.37	4.19
ST19	1161	61	62	59.6	11.25	1.78	1.04	2.09
ST19	1162	62	63	60.7	11	2.22	1.55	3.11
ST19	1163	68.3	68.8	64.46	10.29	2.61	1.73	3.61
ST20	1174	47	48	65.58	20.97	1.55	1.31	50.87
ST20	1175	48	49.2	50	9.75	1.16	1.09	53.28
ST20	1176	49.2	50.8	51.05	16.21	2.36	1.59	47.46
ST20	1177	52.7	54	72.96	16.2	1.4	1.21	53.45
ST20	1178	54	55.3	59.58	14.05	1.31	1.55	39.3
ST20	1179	58	59.7	57.5	14.35	1.94	1.6	35.46
ST20	1180	60.7	62.1	58.65	14.05	2.82	2.16	49.04
ST20	1181	63.8	65.3	60.2	14.34	2.1	1.92	55.91
ST20	1182	67	68.3	58.42	14.91	2.12	1.67	39.07
ST20	1183	72.5	73.5	54.26	17.24	2.48	2.32	68.23
ST20	1184	73.5	75	76.28	6.06	0.73	0.89	53.78
ST20	1185	78.2	79.5	51.38	18.15	1.91	1.51	43.14

Tableau 1-5: Table Geology.

hole_id	samp_id	depth_from	depth_to	rock
S10		0	13.8	calcaires
S10		13.8	18	siltites
S10		18	25.1	siltites
S10	160	25.1	26.8	diatomite
S10	161	26.8	28.8	diatomite
S10	162	28.8	30.9	diatomite
S10		30.9	31.1	marnes
S10	163	31.1	32.2	diatomite
S10	164	32.2	33	diatomite
S10		33	33.4	marnes
S10	165	33.4	36	diatomite
S10	166	36	38	diatomite
S10	167	38	40	diatomite
S10	168	40	41.5	diatomite
S10	169	41.5	42.2	diatomite
S10	170	42.2	42.8	diatomite
S10	171	42.8	45	marnes
S10	172	45	45.8	diatomite
S10	149	45.8	46.5	marnes
S10	150	46.5	47.5	diatomite
S10	151	47.5	49.5	diatomite
S10	152	49.5	51	marnes
S10	153	51	52.5	diatomite
S10	154	52.5	54	diatomite
S10	155	54	55	diatomite
S10		55	55.5	diatomite
S10	156	55.5	56.5	marnes
S10	157	56.5	57.8	diatomite
S10	158	57.8	59	diatomite
S10		59	63	marnes
S10	159	63	64.2	marnes

S10		64.2	68	marnes
S11		0	0.2	couche végétale
S11		0.2	23.5	calcaires
S11		23.5	35.9	calcaires
S11		35.9	36.1	marnes
S11		36.1	36.7	marnes
S11		36.7	37	argilites
S11		37	42.4	marnes
S11		42.4	42.5	diatomite
S11	173	42.5	43.2	diatomite
S11	174	43.2	45.1	diatomite
S11		45.1	45.7	marnes
S11	175	45.7	46	diatomite
S11	176	46	46.8	diatomite
S11		46.8	47	argilites
S11	177	47	48.5	diatomite
S11	178	48.5	50.3	diatomite
S11	179	50.3	50.8	diatomite
S11	180	50.8	52.3	diatomite
S11		52.3	52.5	argilites
S11	181	52.5	54	diatomite
S11		54	55	argilites
S11	182	55	56	diatomite
S11	183	56	56.5	argilites
S11		56.5	57.7	argilites
S11	184	57.7	58.2	diatomite
S11	185	58.2	59	diatomite
S11	186	59	59.3	argilites
S11		59.3	61.6	argilites
S11	187	61.6	62.5	diatomite
S11	188	62.5	63	diatomite
S11		63	65.2	argilites

S11	189	65.2	65.8	argilites
S11	190	65.8	66.4	diatomite
S11		66.4	68.1	argilites
S11		68.1	69	argilites
S11	191	69	69.4	diatomite
S11		69.4	70.7	argilites
S11	192	70.7	71.2	diatomite
S11		71.2	71.8	argilites
S11	193	71.8	72.2	diatomite
S11		72.2	73	argilites
S11		73	77.4	argilites
S52		0	7	calcaires
S52		7	12	calcaires
S52		12	17.5	calcaires
S52		17.5	23	calcaires
S52	292	23	23.3	diatomite
S52		23.3	24.2	marnes
S52	293	24.2	25	diatomite
S52		25	27.2	marnes
S52	294	27.2	27.6	diatomite
S52		27.6	28	argilites
S52	295	28	28.2	diatomite
S52		28.2	28.4	marnes
S52	296	28.4	29.2	diatomite
S52	297	29.2	30.6	diatomite
S52		30.6	30.9	marnes
S52	298	30.9	31.2	diatomite
S52		31.2	32	marnes
S52	299	32	32.7	diatomite

S52		32.7	33	marnes
S52	300	33	33.4	diatomite
S52		33.4	34.2	marnes
S52	301	34.2	34.8	diatomite
S52		34.8	35	marnes
S52	302	35	35.4	diatomite
S52		35.4	35.8	marnes
S52	303	35.8	37	diatomite
S52		37	38.4	marnes
S52	304	38.4	39	diatomite
S52	305	39	39.5	diatomite
S52		39.5	42.2	marnes
S52	306	42.2	42.8	diatomite
S52		42.8	43.4	marnes
S52	307	43.4	43.8	diatomite
S52		43.8	47	marnes
S52	308	47	47.8	diatomite
S52		47.8	48.5	marnes
S52	309	48.5	49	diatomite
S52		49	51.6	marnes
S52	310	51.6	51.8	diatomite
S52		51.8	52	marnes
S52	311	52	52.4	diatomite
S52		52.4	53	marnes
S52		53	59.1	marnes
S09		0	2	alluvions
S09		2	20	calcaires
S09		20	33.7	argilites
S09		33.7	35	marnes

S09		35	35.3	diatomite
S09		35.3	35.8	marnes
S09	119	35.8	36.9	diatomite
S09		36.9	37.7	marnes
S09	120	37.7	38.8	diatomite
S09	121	38.8	41.2	diatomite
S09		41.2	41.5	marnes
S09	122	41.5	44	diatomite
S09		44	44.4	marnes
S09	123	44.4	46	diatomite
S09		46	47.9	marnes
S09	124	47.9	48.4	diatomite
S09		48.4	54.9	marnes
S09	125	54.9	56	diatomite
S09		56	59	marnes
S09	126	59	61	diatomite
S09		61	66.8	siltites
S13		0	9.4	grés
S13		9.4	50	calcaires
S13		50	66	siltites
S25		0	6.5	argilites
S25		6.5	18	argilites
S25		18	21	siltites
S25		21	30	marnes
S25		30	33	argilites
S25		33	36.7	argilites
S17		0	5.3	calcaires
S17		5.3	22.3	marnes
S17	601	22.3	22.8	diatomite

S17	602	22.8	23.1	diatomite
S17		23.1	25	marnes
S17	603	25	25.6	diatomite
S17	604	25.6	26.5	diatomite
S17		26.5	28.5	marnes
S17	605	28.5	29.6	diatomite
S17		29.6	30.3	marnes
S17	606	30.3	31.2	diatomite
S17	607	31.2	31.8	diatomite
S17		31.8	32.8	marnes
S17	608	32.8	33.8	diatomite
S17		33.8	34.2	marnes
S17	609	34.2	35.4	diatomite
S17		35.4	36.3	marnes
S17	610	36.3	37	diatomite
S17		37	37.6	marnes
S18		0	5.5	calcaires
S18		5.5	18.6	argilites
S18	707	18.6	19	diatomite
S18		19	19.5	marnes
S18	708	19.5	19.8	diatomite
S18		19.8	20.1	marnes
S18	709	20.1	20.6	diatomite
S18	710	20.6	21.8	diatomite
S18	711	21.8	23.3	diatomite
S18	712	23.3	24.7	diatomite
S18		24.7	26.3	marnes
S18	713	26.3	27.5	diatomite
S18		27.5	30.1	marnes

S18	714	30.1	31.4	diatomite
S18		31.4	31.8	marnes
S18	715	31.8	32.3	diatomite
S18	716	32.3	33.3	diatomite
S18	717	33.3	34.2	diatomite
S18		34.2	34.7	marnes
S18	718	34.7	36.5	diatomite
S18		36.5	38.8	marnes
S18	719	38.8	39.4	diatomite
S18		39.4	40	marnes
S18	720	40	42.4	diatomite
S18		42.4	42.8	marnes
S18	721	42.8	43.8	diatomite
S18		43.8	50.3	marnes
S19		0	16	calcaires
S19		16	32.2	argilites
S19		32.2	33.6	diatomite
S19		33.6	33.75	diatomite
S19		33.75	33.9	marnes
S19	679	33.9	34.7	diatomite
S19		34.7	36.8	marnes
S19	680	36.8	38.1	diatomite
S19		38.1	39	marnes
S19	681	39	40.7	diatomite
S19		40.7	42	marnes
S19	682	42	44	diatomite
S19		44	44.5	marnes
S19	683	44.5	45.5	diatomite
S19		45.5	46	marnes
S19	684	46	46.8	diatomite

S19		46.8	47.5	marnes
S19	685	47.5	48.7	diatomite
S19		48.7	50.2	marnes
S19	686	50.2	50.8	diatomite
S19		50.8	51.1	marnes
S19	687	51.1	51.4	diatomite
S19	688	51.4	52.6	diatomite
S19		52.6	55	marnes
S20		0	8.7	calcaires
S20		8.7	23.4	siltites
S20	667	23.4	23.8	diatomite
S20		23.8	24.7	marnes
S20	668	24.7	25.5	diatomite
S20		25.5	26.2	marnes
S20	669	26.2	26.7	diatomite
S20		26.7	26.9	marnes
S20	670	26.9	27.9	diatomite
S20	671	27.9	28.5	diatomite
S20		28.5	29	marnes
S20	672	29	31	diatomite
S20	673	31	31.4	diatomite
S20	674	31.4	32	diatomite
S20		32	32.5	marnes
S20	675	32.5	34	diatomite
S20		34	36	marnes
S20	676	36	36.6	diatomite
S20		36.6	37	marnes
S20	677	37	38.5	diatomite
S20		38.5	40.2	marnes
S20	678	40.2	41	diatomite

S20		41	45.5	marnes
S21		0	5	alluvions
S21		5	8	marnes
S21	402	8	8.6	diatomite
S21		8.6	9.1	marnes
S21	403	9.1	9.6	diatomite
S21		9.6	12.5	marnes
S21	404	12.5	13	diatomite
S21		13	13.5	marnes
S21	405	13.5	13.8	diatomite
S21		13.8	15.2	marnes
S21	406	15.2	16.8	diatomite
S21		16.8	18	marnes
S21	407	18	19.6	diatomite
S21		19.6	20.3	marnes
S21	408	20.3	20.6	diatomite
S21	409	20.6	21	diatomite
S21	410	21	22.8	diatomite
S21		22.8	24.6	marnes
S21	411	24.6	26	diatomite
S21		26	29.7	marnes
S22		0	2.5	argilites
S22		2.5	8	marnes
S22	455	8	8.6	diatomite
S22		8.6	11	marnes
S22	456	11	11.6	diatomite
S22		11.6	16.8	marnes
S22	457	16.8	17.8	diatomite
S22		17.8	19	marnes

S22	458	19	19.7	diatomite
S22	459	19.7	20.5	diatomite
S22		20.5	22	marnes
S22	460	22	23	diatomite
S22		23	26	marnes
S22	461	26	26.6	diatomite
S22		26.6	27	marnes
S22	462	27	29	diatomite
S22	463	29	30	diatomite
S22		30	32	marnes
S22	464	32	32.5	diatomite
S22		32.5	36	marnes
S22	465	36	36.5	diatomite
S22		36.5	37	marnes
S22	466	37	37.1	diatomite
S22		37.1	38	marnes
S22	467	38	39.8	diatomite
S22		39.8	42	marnes
S22		42	44.3	argilites
S23		0	3	calcaires
S23		3	13.7	marnes
S23	653	13.7	14.2	diatomite
S23		14.2	14.5	marnes
S23		14.5	14.6	diatomite
S23		14.6	16	marnes
S23		16	16.1	diatomite
S23		16.1	16.5	marnes
S23	654	16.5	16.8	diatomite
S23		16.8	17	marnes

S23	655	17	17.7	diatomite
S23	656	17.7	18.3	diatomite
S23	657	18.3	19	diatomite
S23		19	19.2	marnes
S23	658	19.2	19.6	diatomite
S23		19.6	23	marnes
S23		23	23.6	diatomite
S23		23.6	24	marnes
S23	659	24	25	diatomite
S23		25	27	marnes
S23	660	27	28.4	diatomite
S23		28.4	29	marnes
S23	661	29	29.4	diatomite
S23		29.4	30.7	marnes
S23	662	30.7	31	diatomite
S23		31	37	marnes
S23		37	37.2	diatomite
S23		37.2	38.8	marnes
S23		38.8	39	diatomite
S23		39	41.5	marnes
S23	663	41.5	42.5	diatomite
S23		42.5	44.5	marnes
S23	664	44.5	45.5	diatomite
S23		45.5	46	marnes
S23	665	46	46.5	diatomite
S23		46.5	48.3	marnes
S23	666	48.3	49.3	diatomite
S23		49.3	52.5	marnes
S23		52.5	56	argilites

S24		0	3	marnes
S24		3	10	siltites
S24	643	10	11	diatomite
S24	644	11	11.6	diatomite
S24		11.6	11.8	marnes
S24	645	11.8	13	diatomite
S24		13	14.8	marnes
S24	646	14.8	15.8	diatomite
S24		15.8	18	marnes
S24	647	18	18.5	diatomite
S24		18.5	21.5	marnes
S24	648	21.5	22.3	diatomite
S24	649	22.3	23.2	diatomite
S24		23.2	26.1	marnes
S24	650	26.1	27.6	diatomite
S24		27.6	27.7	marnes
S24	651	27.7	28.1	diatomite
S24		28.1	30	marnes
S24	652	30	30.2	diatomite
S24		30.2	38	marnes
S24		38	38.7	diatomite
S24		38.7	42	marnes
S26		0	18.7	calcaires
S26		18.7	38.6	siltites
S26	245	38.6	38.8	diatomite
S26		38.8	40.5	marnes
S26	246	40.5	42.6	diatomite
S26		42.6	43.3	argilites
S26	247	43.3	44.2	diatomite



S26	248	44.2	46	diatomite
S26	249	46	46.3	diatomite
S26		46.3	47.1	marnes
S26	250	47.1	48.7	diatomite
S26		48.7	48.9	argillites
S26	251	48.9	49.3	diatomite
S26		49.3	52.5	marnes
S26	252	52.5	53.3	diatomite
S26	253	53.3	53.8	argillites
S26	255	53.8	54.8	diatomite
S26	256	54.8	56	diatomite
S26		56	56.5	marnes
S26	256	56.5	57.9	diatomite
S26		57.9	70.6	marnes
S27		0	12.2	calcaires
S27		12.2	20.7	calcaires
S27		20.7	24.8	siltites
S27		24.8	31	marnes
S27		31	44.8	calcaires
S27	270	44.8	45.5	diatomite
S27	271	45.5	46.5	diatomite
S27		46.5	48	marnes
S27	272	48	48.2	diatomite
S27		48.2	48.6	marnes
S27	273	48.6	49	diatomite
S27	274	49	49.4	diatomite
S27	275	49.4	49.7	diatomite
S27	276	49.7	50	diatomite
S27	277	50	50.4	diatomite

S27		50.4	50.7	marnes
S27	278	50.7	51.2	diatomite
S27	279	51.2	51.7	diatomite
S27	280	51.7	52.6	diatomite
S27	281	52.6	53.5	diatomite
S27	282	53.5	54	diatomite
S27		54	56.8	marnes
S27	283	56.8	57.1	diatomite
S27		57.1	57.3	marnes
S27	284	57.3	57.9	diatomite
S27		57.9	58.1	marnes
S27	285	58.1	58.5	diatomite
S27		58.5	68.4	marnes
S44		0	37.6	calcaires
S44		37.6	56.8	siltites
S44	1206	56.8	58.6	diatomite
S44		58.6	61.3	marnes
S44	1207	61.3	63	diatomite
S44		63	63.8	marnes
S44	1208	63.8	65.6	diatomite
S44		65.6	66.1	marnes
S44	1209	66.1	67.7	diatomite
S44	1210	67.7	68.8	diatomite
S44		68.8	74	diatomite
S44		74	77.2	marnes
S49		0	4.5	calcaires
S49		4.5	4.8	siltites
S49		4.8	6.2	calcaires
S49		6.2	7.1	calcaires

S49		7.1	8.8	calcaires
S49		8.8	10.4	calcaires
S49		10.4	13.9	siltites
S49		13.9	15.5	calcaires
S49		15.5	16.7	siltites
S49		16.7	17.2	calcaires
S49		17.2	19.3	grès
S49		19.3	19.7	siltites
S49		19.7	21.7	calcaires
S49		21.7	24.2	grès
S49		24.2	26.1	marnes
S49		26.1	28	calcaires
S49		28	28.4	argilites
S49		28.4	36.8	calcaires
S49		36.8	40.5	argilites
S49		40.5	41	siltites
S49		41	43.1	marnes
S49		43.1	46.1	marnes
S49		46.1	53.3	calcaires
S49		53.3	53.5	argilites
S49		53.5	55	diatomite
S49		55	55.6	argilites
S49		55.6	56.5	diatomite
S49		56.5	56.9	argilites
S49	1237	56.9	57.3	diatomite
S49	1238	57.3	60.7	diatomite
S49		60.7	60.8	siltites
S49	1239	60.8	63.8	diatomite
S49	1240	63.8	64.3	argilites

S49		64.3	66.1	siltites
S49	1241	66.1	67.6	diatomite
S49		67.6	67.8	argilites
S49	1242	67.8	69	diatomite
S49		69	69.8	argilites
S49		69.8	70.1	argilites
S49		70.1	70.8	diatomite
S49		70.8	73	argilites
S49		73	73.8	diatomite
S49		73.8	75.9	argilites
S49		75.9	78.1	diatomite
S49		78.1	79.8	argilites
S03		0	2	alluvions
S03		2	24	calcaires
S03		24	47	siltites
S03		47	52.4	argilites
S03	67	52.4	53.6	diatomite
S03		53.6	54.2	argilites
S03	68	54.2	55	diatomite
S03		55	57.9	argilites
S03	69	57.9	58.7	diatomite
S03		58.7	60	argilites
S03		60	60.8	siltites
S50		0	6.2	calcaires
S50		6.2	7.6	calcaires
S50		7.6	12	calcaires
S50		12	17	calcaires
S50		17	18.2	siltites
S50		18.2	21.4	calcaires

S50		21.4	22.4	siltites
S50		22.4	27.9	calcaires
S50		27.9	30.8	siltites
S50		30.8	33.9	calcaires
S50		33.9	45.3	siltites
S50		45.3	49.2	argilites
S50		49.2	50	diatomite
S50		50	51.8	marnes
S50	1243	51.8	52.4	diatomite
S50	1244	52.4	54.4	diatomite
S50	1245	54.4	55.4	diatomite
S50		55.4	55.75	siltites
S50	1246	55.75	58.6	diatomite
S50		58.6	59.2	diatomite
S50		59.2	59.5	grès
S50		59.5	61.1	siltites
S14		0	32.4	calcaires
S14		32.4	37.7	siltites
S14		37.7	40	marnes
S14	384	40	40.4	diatomite
S14		40.4	41	marnes
S14	385	41	41.2	diatomite
S14		41.2	45	marnes
S14	386	45	45.7	diatomite
S14	387	45.7	46	diatomite
S14	388	46	46.6	diatomite
S14	389	46.6	47.2	diatomite
S14	390	47.2	48.8	diatomite
S14		48.8	49.8	marnes

S14	391	49.8	50.3	diatomite
S14		50.3	50.5	marnes
S14	392	50.5	51.5	diatomite
S14		51.5	53.2	marnes
S14	393	53.2	53.8	diatomite
S14		53.8	54.2	marnes
S14	394	54.2	55.8	diatomite
S14		55.8	57	marnes
S14	395	57	58.3	diatomite
S14		58.3	58.4	marnes
S14	396	58.4	59.2	diatomite
S14		59.2	60	marnes
S14	397	60	60.2	diatomite
S14		60.2	60.8	marnes
S14		60.8	63.5	argilites
S14	398	63.5	64.4	diatomite
S14		64.4	65	marnes
S14		65	69	marnes
S14	399	69	69.7	diatomite
S14		69.7	82.8	marnes
S15		0	4	calcaires
S15		4	19	calcaires
S15		19	41.4	argilites
S15	357	41.4	42.6	diatomite
S15	358	42.6	43.3	diatomite
S15		43.3	43.4	marnes
S15	359	43.4	43.8	diatomite
S15		43.8	44.9	marnes
S15	360	44.9	45.7	diatomite

S15		45.7	46	marnes	S16		57.2	57.5	marnes
S15	361	46	46.2	diatomite	S16	374	57.5	58.1	diatomite
S15		46.2	47.5	marnes	S16		58.1	58.2	non défini
S15	362	47.5	49	diatomite	S16	375	58.2	58.4	diatomite
S15		49	49.3	marnes	S16		58.4	58.8	marnes
S15	363	49.3	49.7	diatomite	S16	376	58.8	59.2	diatomite
S15		49.7	51.2	marnes	S16		59.2	59.8	marnes
S15	364	51.2	52.2	diatomite	S16	377	59.8	60	diatomite
S15	365	52.2	53.1	diatomite	S16		60	60.2	marnes
S15		53.1	55	marnes	S16	378	60.2	61	diatomite
S15	366	55	56.8	diatomite	S16		61	61.8	marnes
S15		56.8	58.5	marnes	S16	379	61.8	63.8	diatomite
S15	367	58.5	60.8	diatomite	S16		63.8	65.5	marnes
S15		60.8	61.8	marnes	S16	380	65.5	66	diatomite
S16		0	4.5	alluvions	S16		66	66.2	marnes
S16		4.5	36	calcaires	S16	381	66.2	68	diatomite
S16		36	36.6	grès	S16		68	69.3	marnes
S16		36.6	38.4	siltites	S16	382	69.3	70	diatomite
S16		38.4	43	marnes	S16		70	71.6	marnes
S16		43	48.8	siltites	S51		0	20.1	grès
S16	369	48.8	50.7	diatomite	S51		20.1	22.6	siltites
S16		50.7	50.9	marnes	S51		22.6	33.4	marnes
S16	370	50.9	51.4	diatomite	S51		33.4	43.7	argilites
S16		51.4	52.4	marnes	S51		43.7	44	diatomite
S16	371	52.4	53.1	diatomite	S51	1260	44	45.45	diatomite
S16		53.1	54	marnes	S51	1261	45.45	45.9	diatomite
S16	372	54	55.5	diatomite	S51	1262	45.9	46.3	diatomite
S16		55.5	56.2	marnes	S51		46.3	46.6	diatomite
S16	373	56.2	57.2	diatomite	S51	1263	46.6	47.1	diatomite

S51		47.1	47.2	diatomite
S51	1264	47.2	48.3	diatomite
S51		48.3	49	siltites
S51		49	49.4	diatomite
S51		49.4	50.2	roches opaques
S51		50.2	52	argilites
S51		52	52.7	diatomite
S51		52.7	53.2	roches opaques
S51		53.2	55.1	marnes
S51		55.1	56	roches opaques
S51		56	57	diatomite
S51		57	58.1	roches opaques
S51		58.1	61	siltites
S51	1265	61	61.2	diatomite
S51	1266	61.2	62.65	diatomite
S47		0	3	siltites
S47		3	3.2	calcaires
S47		3.2	3.3	argilites
S47		3.3	5.5	calcaires
S47		5.5	8.3	grès
S47		8.3	12.7	calcaires
S47		12.7	13.1	siltites
S47		13.1	16.4	grès
S47		16.4	18.6	siltites
S47		18.6	19.4	calcaires
S47		19.4	26.2	calcaires
S47		26.2	28.8	calcaires
S47		28.8	36	calcaires
S47		36	41.9	calcaires

S47		41.9	51.3	siltites
S47		51.3	52.3	diatomite
S47		52.3	54.6	argilites
S47		54.6	55.3	calcaires
S47		55.3	57	diatomite
S47		57	57.6	siltites
S47		57.6	58.5	diatomite
S47		58.5	59.2	siltites
S47	1224	59.2	62.4	diatomite
S47		62.4	63.1	marnes
S47	1225	63.1	65.5	diatomite
S47		65.5	66.3	marnes
S47	1226	66.3	68.7	diatomite
S47		68.7	69.1	siltites
S47	1227	69.1	70.8	diatomite
S47		70.8	72	siltites
S47	1228	72	73.1	diatomite
S47		73.1	73.6	diatomite
S47		73.6	75	argilites
S47	1229	75	76.3	diatomite
S47		76.3	77	argilites
S47		77	79	argilites
S47	1230	79	80.6	diatomite
S47		80.6	81.8	argilites
S54		0	6	alluvions
S54		6	7.4	calcaires
S54	332	7.4	8.4	diatomite
S54		8.4	9.4	marnes
S54	333	9.4	11	diatomite

S54		11	13	grès
S54	334	13	14	diatomite
S54		14	14.6	marnes
S54	335	14.6	15	diatomite
S54		15	16	siltites
S54	336	16	17.3	diatomite
S54		17.3	18	siltites
S54		18	18.4	marnes
S54		18.4	18.8	marnes
S54		18.8	19	diatomite
S54	337	19	19.2	diatomite
S54		19.2	19.6	siltites
S54	338	19.6	20.3	diatomite
S54		20.3	24	marnes
S54	339	24	24.8	diatomite
S54		24.8	26.4	marnes
S54		26.4	28.8	marnes
S54	340	28.8	29.4	diatomite
S54	341	29.4	30.4	diatomite
S54		30.4	33.4	marnes
S54	342	33.4	34.4	diatomite
S54	343	34.4	35.4	diatomite
S54		35.4	42.7	marnes
1-a-c		0	10	calcaires
1-a-c		10	10.8	grès
1-a-c		10.8	11	quartzites
1-a-c		11	11.5	grès
1-a-c		11.5	11.85	grès
1-a-c		11.85	12	siltites

1-a-c		12	13.5	argilites
1-a-c		13.5	13.8	siltites
1-a-c		13.8	16.4	grès
1-a-c		16.4	16.5	quartzites
1-a-c		16.5	17.4	grès
1-a-c		17.4	17.5	quartzites
1-a-c		17.5	19	grès
1-a-c		19	19.8	grès
1-a-c		19.8	20	quartzites
1-a-c		20	20.5	grès
1-a-c		20.5	22	grès
1-a-c		22	23.5	grès
1-a-c		23.5	25	calcaires
1-a-c		25	28	grès
1-a-c		28	29.5	calcaires
1-a-c		29.5	31	argilites
1-a-c		31	32.5	argilites
1-a-c		32.5	34	calcaires
1-a-c		34	42	calcaires
1-a-c		42	43.5	argilites
1-a-c		43.5	45	calcaires
1-a-c		45	56.5	argilites
1-a-c		56.5	56.9	argilites
1-a-c		56.9	57	grès
1-a-c		57	57.3	argilites
1-a-c		57.3	57.45	grès
1-a-c		57.45	57.9	argilites
1-a-c		57.9	58.5	grès
1-a-c		58.5	58.7	marnes

1-a-c	24	58.7	60	diatomite
1-a-c		60	60.45	grès
1-a-c		60.45	61.15	marnes
1-a-c		61.15	61.3	grès
1-a-c		61.3	61.5	marnes
1-a-c	25	61.5	61.65	marnes
1-a-c	25	61.65	62.82	diatomite
1-a-c	25	62.82	62.88	marnes
1-a-c	25	62.88	63.63	diatomite
1-a-c	25	63.63	63.93	grès
1-a-c	25	63.93	64.63	marnes
1-a-c	25	64.63	66	diatomite
1-a-c		66	66.5	diatomite
1-a-c	26	66.5	67.3	diatomite
1-a-c		67.3	67.6	non défini
1-a-c	27	67.6	69.2	marnes
1-a-c		69.2	69.5	non défini
1-a-c		69.5	69.8	marnes
1-a-c		69.8	70	non défini
1-a-c	28	70	70.1	diatomite
1-a-c		70.1	71.45	non défini
1-a-c		71.45	72.15	marnes
1-a-c		72.15	72.3	non défini
1-a-c	29	72.3	75.5	diatomite
1-a-c	29	75.5	76	non défini
1-a-c	29	76	76.4	marnes
1-a-c	29	76.4	77.5	diatomite
1-a-c	29	77.5	78.75	non défini
1-a-c		78.75	79	non défini

1-a-c		79	79.2	marnes
1-a-c		79.2	79.8	diatomite
1-a-c		79.8	81.25	non défini
1-a-c	30	81.25	81.8	faille
1-a-c		81.8	85	argilites
2-a-c		0	45	non défini
2-a-c		45	45.85	marnes
2-a-c	31	45.85	47.5	diatomite
2-a-c	31	47.5	48.8	diatomite
2-a-c		48.8	48.9	marnes
2-a-c		48.9	49.4	diatomite
2-a-c		49.4	50.2	marnes
2-a-c		50.2	51.7	marnes
2-a-c	32	51.7	52.7	diatomite
2-a-c	33	52.7	54	marnes
2-a-c	34	54	54.5	marnes
2-a-c	34	54.5	55.5	diatomite
2-a-c	35	55.5	56.15	diatomite
2-a-c	35	56.15	56.32	grès
2-a-c	35	56.32	57	marnes
2-a-c		57	58.5	non défini
2-a-c		58.5	60	argilites
2-a-c		60	60.5	diatomite
2-a-c		60.5	61.25	argilites
2-a-c		61.25	61.5	grès
2-a-c		61.5	63	argilites
3-a-c		0	51	non défini
3-a-c		51	51.8	argilites
3-a-c		51.8	52.07	grès

3-a-c		52.07	53.35	marnes
3-a-c		53.35	53.9	grès
3-a-c		53.9	54.47	marnes
3-a-c		54.47	54.83	grès
3-a-c		54.83	55.5	non défini
3-a-c	36	55.5	56.5	diatomite
3-a-c		56.5	56.82	non défini
3-a-c		56.82	57.85	grès
3-a-c	37	57.85	59.35	diatomite
3-a-c		59.35	59.5	grès
3-a-c	38	59.5	60.5	diatomite
3-a-c	39	60.5	62.6	diatomite
3-a-c	39	62.6	62.8	grès
3-a-c	39	62.8	65	diatomite
3-a-c		65	66	marnes
3-a-c		66	70	diatomite
3-a-c		70	71	argilites
3-a-c		71	72	non défini
3-a-c		72	74.5	argilites
3-a-c		74.5	74.85	grès
3-a-c		74.85	75.5	argilites
3-a-c		75.5	77	argilites
4-a-c		0	39	non défini
4-a-c		39	46.5	marnes
4-a-c		46.5	60	non défini
4-a-c		60	61.9	marnes
4-a-c	40	61.9	63	marnes
4-a-c		63	64.5	marnes
4-a-c		64.5	64.6	grès

4-a-c	41	64.6	66.8	marnes
4-a-c		66.8	67.5	grès
4-a-c	42	67.5	69	marnes
4-a-c	43	69	73.2	marnes
4-a-c		73.2	73.5	grès
4-a-c	44	73.5	74.75	diatomite
4-a-c		74.75	75.5	marnes
4-a-c		75.5	76.2	grès
4-a-c	45	76.2	79.65	diatomite
4-a-c		79.65	83	argilites
4-C		0	42	non défini
4-C		42	46.8	argilites
4-C		46.8	47	calcaires
4-C		47	55.4	argilites
4-C		55.4	55.6	grès
4-C		55.6	56.1	marnes
4-C		56.1	56.18	grès
4-C		56.18	56.4	marnes
4-C		56.4	56.48	grès
4-C		56.48	56.8	marnes
4-C		56.8	56.82	grès
4-C		56.82	58.2	marnes
4-C		58.2	58.7	grès
4-C	122	58.7	60	diatomite
4-C	123	60	61	diatomite
4-C	124	61	62.45	diatomite
4-C		62.45	74	argilites
5-C		0	1.7	calcaires
5-C		1.7	4.6	quartzites



5-C		4.6	9.2	calcaires
5-C		9.2	9.6	grès
5-C		9.6	18.3	calcaires
5-C		18.3	25.5	quartzites
5-C		25.5	28.3	argilites
5-C		28.3	41.4	argilites
5-C		41.4	41.7	calcaires
5-C		41.7	53.3	argilites
5-C		53.3	53.5	diatomite
5-C	116	53.5	54	diatomite
5-C		54	54.04	grès
5-C		54.04	54.24	argilites
5-C		54.24	54.27	grès
5-C		54.27	55.4	argilites
5-C		55.4	55.55	grès
5-C		55.55	56.6	argilites
5-C	117	56.6	57.5	diatomite
5-C	117	57.5	59.35	diatomite
5-C		59.35	59.7	marnes
5-C	118	59.7	60.3	diatomite
5-C	118	60.3	60.32	grès
5-C	118	60.32	60.7	marnes
5-C		60.7	61.7	marnes
5-C		61.7	61.73	grès
5-C		61.73	62.9	marnes
5-C	119	62.9	63.9	diatomite
5-C		63.9	64.2	marnes
5-C		64.2	65.6	marnes
5-C	120	65.6	67.4	diatomite

5-C		67.4	68.3	argilites
5-C		68.3	69.6	argilites
5-C		69.6	72.5	argilites
5-C	121	72.5	73.5	diatomite
6-C		0	40	non défini
6-C		40	62.65	argilites
6-C		62.65	62.85	grès
6-C		62.85	63.5	marnes
6-C		63.5	63.75	marnes
6-C		63.75	64.15	grès
6-C		64.15	64.6	marnes
6-C		64.6	64.85	grès
6-C	128	64.85	69.2	diatomite
6-C		69.2	70	argilites
6-C		70	70.65	grès
6-C		70.65	71	argilites
6-C		71	71.05	grès
6-C		71.05	73.05	argilites
7-C		0	40	non défini
7-C		40	52.5	argilites
7-C	125	52.5	53.65	diatomite
7-C		53.65	54.05	marnes
7-C		54.05	54.35	grès
7-C		54.35	54.45	diatomite
7-C		54.45	54.55	marnes
7-C	126	54.55	56.55	diatomite
7-C	127	56.55	58.05	diatomite
7-C		58.05	58.8	diatomite
7-C		58.8	58.9	grès

7-C		58.9	59.3	marnes
7-C		59.3	61.1	marnes
7-C		61.1	65.7	marnes
7-C		65.7	67.1	diatomite
7-C		67.1	76.8	argilites
8-C		0	47	non défini
8-C		47	54	argilites
8-C		54	55	grès
8-C		55	57.3	argilites
8-C		57.3	57.4	grès
8-C		57.4	60.8	argilites
8-C		60.8	61.8	grès
8-C		61.8	62	marnes
8-C	111	62	63	diatomite
8-C	112	63	64	diatomite
8-C	113	64	65	diatomite
8-C		65	66.1	marnes
8-C	114	66.1	66.3	diatomite
8-C		66.3	66.35	marnes
8-C		66.35	66.9	marnes
8-C		66.9	67.2	grès
8-C		67.2	68.25	marnes
8-C	115	68.25	72.75	diatomite
10-C		0	40	non défini
10-C		40	55.75	argilites
10-C		55.75	56	grès
10-C		56	56.55	non défini
10-C		56.55	57.5	diatomite
10-C		57.5	57.8	non défini

10-C		57.8	58.8	non défini
10-C		58.8	58.85	grès
10-C	102	58.85	59.4	diatomite
10-C		59.4	59.47	marnes
10-C	103	59.47	61.15	diatomite
10-C	104	61.15	62.75	diatomite
10-C		62.75	63	marnes
10-C	105	63	64.5	diatomite
11-C		0	54	non défini
11-C		54	54.25	marnes
11-C		54.25	54.5	grès
11-C		54.5	55.8	marnes
11-C		55.8	56.5	grès
11-C		56.5	58	marnes
11-C		58	58.75	grès
11-C		58.75	61.5	diatomite
11-C		61.5	61.75	marnes
11-C		61.75	62.45	diatomite
11-C		62.45	62.6	grès
11-C		62.6	62.8	marnes
11-C	129	62.8	65.8	diatomite
11-C	130	65.8	67.3	diatomite
11-C		67.3	68.4	marnes
11-C		68.4	69.6	diatomite
11-C		69.6	71.1	argilites
11-C		71.1	75.1	argilites
11-C		75.1	76.6	argilites
ST11		0	0.3	argilites
ST11		0.3	4.7	calcaires

ST11		4.7	11	argilites
ST11		11	13.7	calcaires
ST11		13.7	16.5	marnes
ST11		16.5	22.1	marnes
ST11		22.1	23.1	marnes
ST11		23.1	27.1	marnes
ST11		27.1	30.6	marnes
ST11	1101	30.6	31.2	diatomite
ST11		31.2	33.1	marnes
ST11	1102	33.1	33.8	diatomite
ST11		33.8	35.2	marnes
ST11	1103	35.2	37.1	diatomite
ST11		37.1	38.4	marnes
ST11	1104	38.4	40.2	diatomite
ST11		40.2	41.8	marnes
ST11	1105	41.8	43.5	diatomite
ST11		43.5	46	marnes
ST11	1106	46	48.5	diatomite
ST11		48.5	50.8	marnes
ST11	1107	50.8	52.1	diatomite
ST11	1108	52.1	53.4	diatomite
ST11		53.4	56.5	marnes
ST11	1109	56.5	58.05	diatomite
ST11	1110	58.05	59.3	diatomite
ST11		59.3	59.5	diatomite
ST11		59.5	70.2	marnes
ST12		0	5.5	calcaires
ST12		5.5	13.2	argilites
ST12		13.2	14.9	marnes

ST12		14.9	15.7	argilites
ST12		15.7	22.1	marnes
ST12	1121	22.1	23.4	diatomite
ST12		23.4	25.5	argilites
ST12	1122	25.5	26.5	diatomite
ST12	1123	26.5	27	diatomite
ST12		27	29.8	marnes
ST12	1124	29.8	30.8	diatomite
ST12	1125	30.8	31.6	diatomite
ST12		31.6	32.9	marnes
ST12	1126	32.9	33.9	diatomite
ST12	1127	33.9	35	diatomite
ST12		35	70	marnes
ST13		0	5	grès
ST13		5	7.9	calcaires
ST13		7.9	14.4	marnes
ST13		14.4	20	argilites
ST13	1128	20	20.7	diatomite
ST13		20.7	21.6	marnes
ST13	1129	21.6	22.6	diatomite
ST13	1130	22.6	23.3	diatomite
ST13		23.3	25.2	marnes
ST13	1131	25.2	26.2	diatomite
ST13	1132	26.2	27	diatomite
ST13		27	29	marnes
ST13	1133	29	30.2	diatomite
ST13	1134	30.2	31.4	diatomite
ST13		31.4	32.5	marnes
ST13		32.5	34.2	diatomite

ST13		34.2	34.5	calcaires
ST13	1135	34.5	35.1	diatomite
ST13		35.1	37.6	marnes
ST13	1136	37.6	38.7	diatomite
ST13	1137	38.7	39.8	diatomite
ST13		39.8	43.6	marnes
ST13	1138	43.6	44.7	marnes
ST13		44.7	70.2	marnes
ST14		0	0.9	grès
ST14		0.9	1.7	calcaires
ST14		1.7	19.3	argilites
ST14		19.3	20	marnes
ST14	1139	20	21.9	diatomite
ST14		21.9	22.3	calcaires
ST14	1140	22.3	23.6	diatomite
ST14	1141	23.6	25	diatomite
ST14		25	28.2	argilites
ST14	1142	28.2	29.2	diatomite
ST14	1143	29.2	30.2	diatomite
ST14		30.2	31.4	marnes
ST14	1144	31.4	32.4	marnes
ST14	1145	32.4	33.4	marnes
ST14		33.4	35	marnes
ST14	1146	35	35.7	diatomite
ST14		35.7	37.9	marnes
ST14	1147	37.9	39.1	diatomite
ST14		39.1	41.7	marnes
ST14	1148	41.7	42.7	diatomite
ST14		42.7	44.6	marnes

ST14	1149	44.6	46.3	diatomite
ST14		46.3	51.2	marnes
ST14	1150	51.2	52.2	diatomite
ST14		52.2	70	marnes
ST15		0	12	argilites
ST15		12	12.8	calcaires
ST15		12.8	22.1	argilites
ST15		22.1	25	marnes
ST15		25	26.6	marnes
ST15	1151	26.6	28	diatomite
ST15	1152	28	29.4	diatomite
ST15		29.4	33.3	marnes
ST15	1153	33.3	34.2	diatomite
ST15		34.2	70	marnes
ST16		0	0.3	alluvions
ST16		0.3	7.9	argilites
ST16		7.9	8.7	calcaires
ST16		8.7	9.2	grès
ST16		9.2	19.2	argilites
ST16		19.2	25	marnes
ST16	1111	25	26.1	diatomite
ST16		26.1	28.2	marnes
ST16	1112	28.2	29.2	diatomite
ST16		29.2	30.4	marnes
ST16	1113	30.4	32.2	diatomite
ST16		32.2	33.5	Marnes
ST16	1114	33.5	35	diatomite
ST16	1115	35	36.6	diatomite
ST16		36.6	37.9	marnes

ST16	1116	37.9	39.4	diatomite	ST17	1169	66.3	67.9	diatomite
ST16		39.4	41	marnes	ST17		67.9	70	marnes
ST16	1117	41	42.4	diatomite	ST17	1170	70	71	diatomite
ST16	1118	42.4	43.8	diatomite	ST17	1171	71	72	diatomite
ST16		43.8	46.6	marnes	ST17		72	72.8	marnes
ST16	1119	46.6	48.15	marnes	ST17		72.8	75.4	marnes
ST16	1120	48.15	49.7	marnes	ST17	1172	75.4	76.6	diatomite
ST16		49.7	53.1	marnes	ST17	1173	76.6	77.8	diatomite
ST16		53.1	53.9	marnes	ST17		77.8	80	marnes
ST16		53.9	70	marnes	ST18		0	0.5	couche végétale
ST17		0	2	calcaires	ST18		0.5	1.9	calcaires
ST17		2	5	calcaires	ST18		1.9	14.6	calcaires
ST17		5	8	calcaires	ST18		14.6	17.9	carapaces
ST17		8	16	calcaires	ST18		17.9	19.6	argilites
ST17		16	17.9	grès	ST18		19.6	32	argilites
ST17		17.9	23.4	siltites	ST18		32	34	siltites
ST17		23.4	31	calcaires	ST18	1186	34	34.9	diatomite
ST17		31	51.2	marnes	ST18		34.9	37	siltites
ST17	1164	51.2	52.7	diatomite	ST18	1187	37	37.5	diatomite
ST17		52.7	53.5	argilites	ST18		37.5	38.1	siltites
ST17	1165	53.5	54.1	diatomite	ST18	1188	38.1	40	diatomite
ST17		54.1	56.2	siltites	ST18		40	42	siltites
ST17	1166	56.2	57.8	diatomite	ST18	1189	42	43	diatomite
ST17		57.8	59.8	siltites	ST18	1190	43	44.5	diatomite
ST17	1167	59.8	61.3	diatomite	ST18		44.5	45.4	siltites
ST17		61.3	61.9	siltites	ST18	1191	45.4	47.2	diatomite
ST17		61.9	63	marnes	ST18		47.2	48.5	marnes
ST17	1168	63	64.4	diatomite	ST18	1192	48.5	50.4	diatomite
ST17		64.4	66.3	marnes	ST18		50.4	51.9	marnes

ST18	1193	51.9	53.6	diatomite
ST18		53.6	55.7	marnes
ST18	1194	55.7	57.8	diatomite
ST18		57.8	60.5	marnes
ST18	1195	60.5	63	diatomite
ST18		63	65.8	marnes
ST18	1196	65.8	67.8	diatomite
ST18		67.8	70	marnes
ST19		0	2	calcaires
ST19		2	6.9	calcaires
ST19		6.9	17	calcaires
ST19		17	36.6	marnes
ST19		36.6	37.5	marnes
ST19		37.5	38	calcaires
ST19		38	39	marnes
ST19	1154	39	40.5	diatomite
ST19	1155	40.5	42	diatomite
ST19		42	42.6	siltites
ST19	1156	42.6	44.3	diatomite
ST19		44.3	45	calcaires
ST19		45	50.3	siltites
ST19	1157	50.3	51	diatomite
ST19		51	52	siltites
ST19	1158	52	53.1	diatomite
ST19		53.1	54.3	marnes
ST19	1159	54.3	56	diatomite
ST19		56	57.1	marnes
ST19	1160	57.1	58.8	diatomite
ST19		58.8	61	marnes

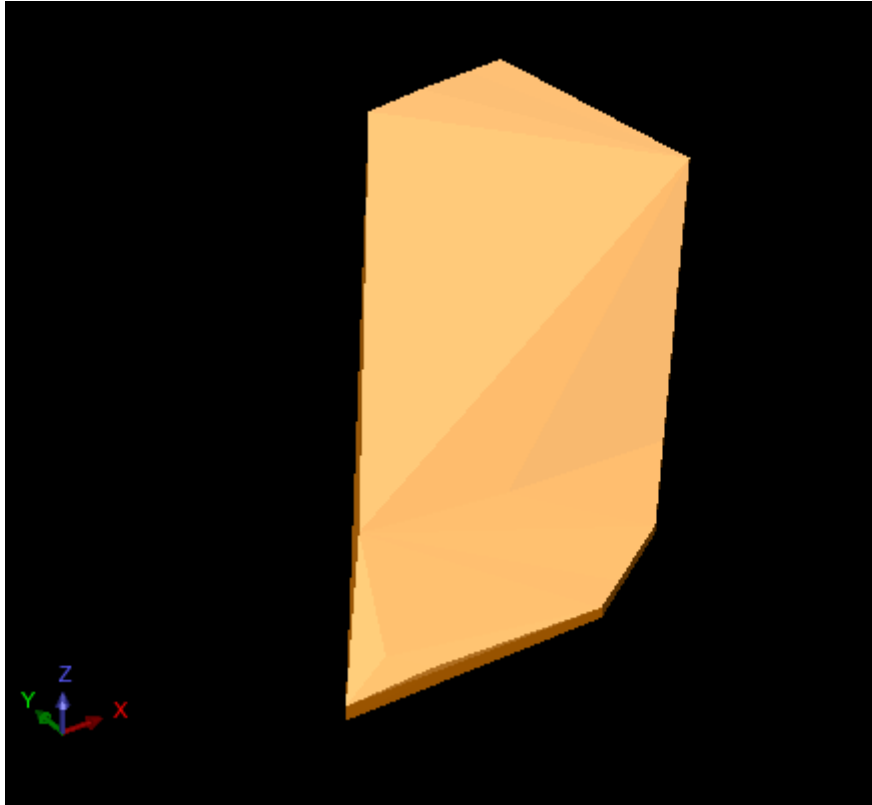
ST19	1161	61	62	diatomite
ST19	1162	62	63	diatomite
ST19		63	66.5	marnes
ST19		66.5	68.3	marnes
ST19	1163	68.3	68.8	diatomite
ST19		68.8	70	marnes
ST20		0	2	argilites
ST20		2	3.1	calcaires
ST20		3.1	4.9	grès
ST20		4.9	19	calcaires
ST20		19	23.3	calcaires
ST20		23.3	43	marnes
ST20		43	43.8	marnes
ST20		43.8	44.6	siltites
ST20		44.6	45.3	marnes
ST20		45.3	47	marnes
ST20	1174	47	48	diatomite
ST20	1175	48	49.2	diatomite
ST20	1176	49.2	50.8	marnes
ST20		50.8	52.7	siltites
ST20	1177	52.7	54	diatomite
ST20	1178	54	55.3	diatomite
ST20		55.3	55.9	marnes
ST20		55.9	58	siltites
ST20	1179	58	59.7	diatomite
ST20		59.7	60.7	marnes
ST20	1180	60.7	62.1	diatomite
ST20		62.1	63.8	siltites
ST20	1181	63.8	65.3	diatomite

ST20		65.3	66.3	marnes
ST20		66.3	67	marnes
ST20	1182	67	68.3	diatomite
ST20		68.3	69.3	siltites
ST20		69.3	70.3	marnes
ST20		70.3	72.5	marnes
ST20	1183	72.5	73.5	diatomite
ST20	1184	73.5	75	diatomite
ST20		75	78.2	marnes
ST20	1185	78.2	79.5	diatomite
ST20		79.5	81.5	marnes
ST20		81.5	82.1	marnes
ST20		82.1	85.5	marnes

## 2. Solides modèles

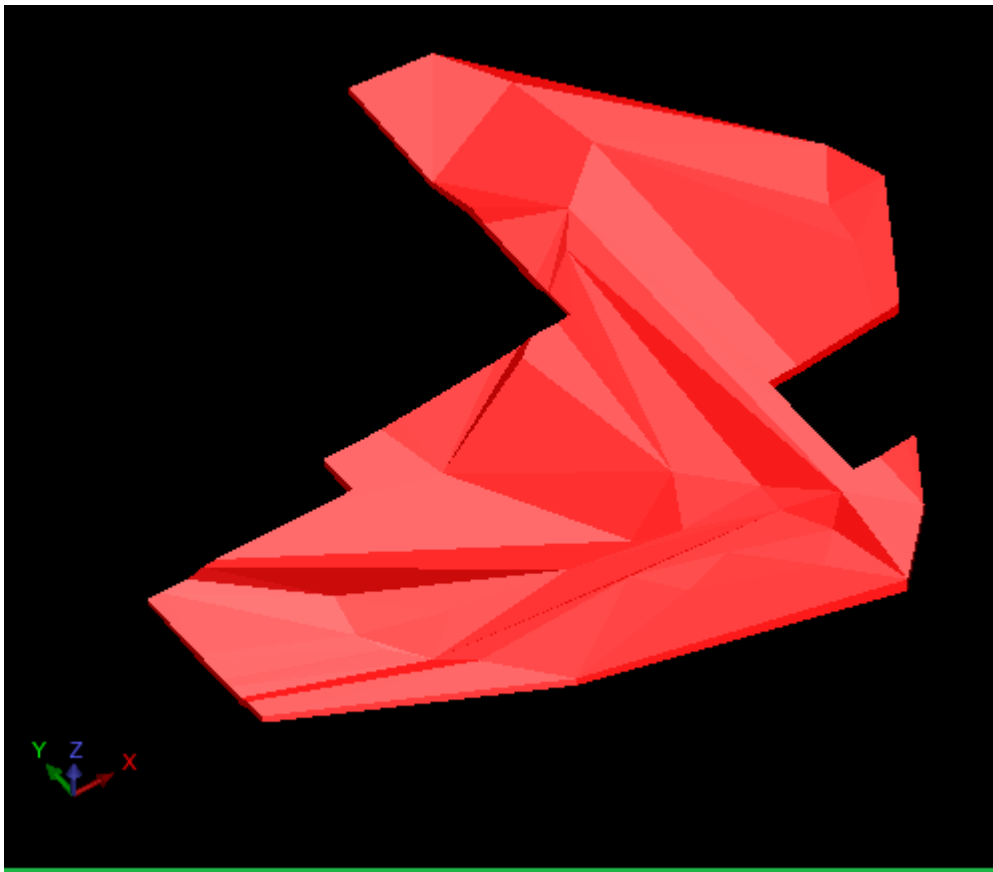


*Figure 11:- Solide modèle à partir des trous de forage réalisés par SONAREM et ORGM.*



*Figure 1-2: Solide modèle des trous de forages réalisés par SIDAM.*





*Figure 1-3: Solide modèle Inside périmètre.*

Number of samples	377
Minimum value	6.910000
Maximum value	83.620000

	Ungrouped Data
Mean	55.652738
Median	56.160000
Geometric Mean	54.671968
Variance	77.626230
Standard Deviation	8.810575
Coefficient of variation	0.158313

Moment 1 About Arithmetic Mean	0.000000
Moment 2 About Arithmetic Mean	77.626230
Moment 3 About Arithmetic Mean	-722.825422
Moment 4 About Arithmetic Mean	48833.675581

Skewness	-1.056868
Kurtosis	8.104056

Natural Log Mean	4.001351
Log Variance	0.046933

Figure 1-4: Exemple d'un rapport de l'histogramme de SiO<sub>2</sub>.

### 3. Variogramme

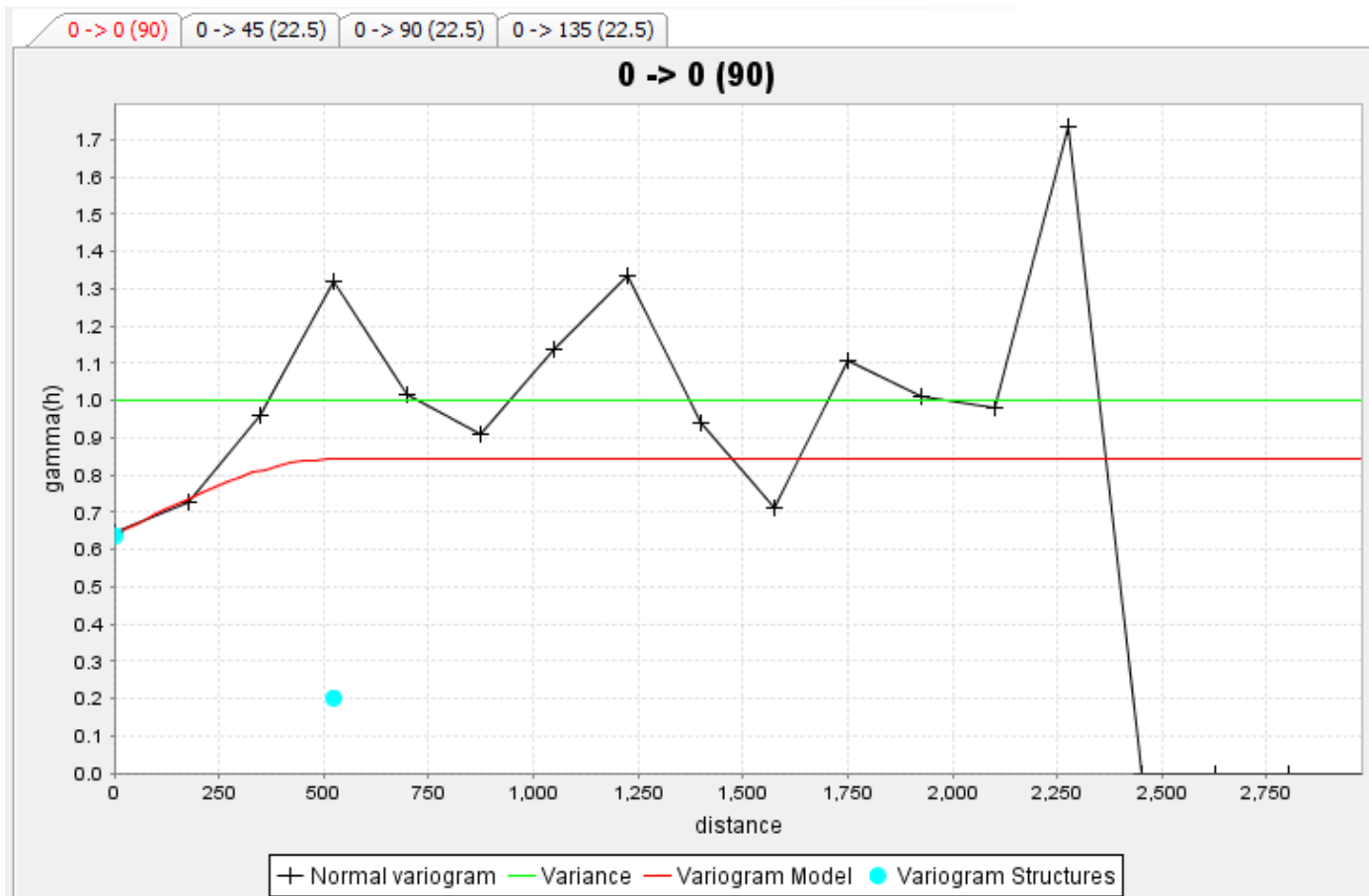


Figure 1-5: Variogramme expérimental et théorique de CaO.

D Field : 1  
Valid Data Range : All values  
Lag : 160  
Max Distance : 3000

Model Type : Spherical  
Nugget : 0.638877

Structure	Sill	Range
1	0.203628	523.323

VARIOGRAM DIRECTION|  
Azimuth : 0.000  
Plunge : 0.000  
Spread angle : 90  
Spread limit : None

STATISTICS  
Number of samples : 377  
Mean : 15.310237  
Variance : 28.399938  
Standard Deviation : 5.329159

( a )

( b )

*Figure 1-6 : Exemple de rapports Surpac des variogrammes expérimental et théorique de SiO<sub>2</sub>.*

#### 4. Bloc modèle

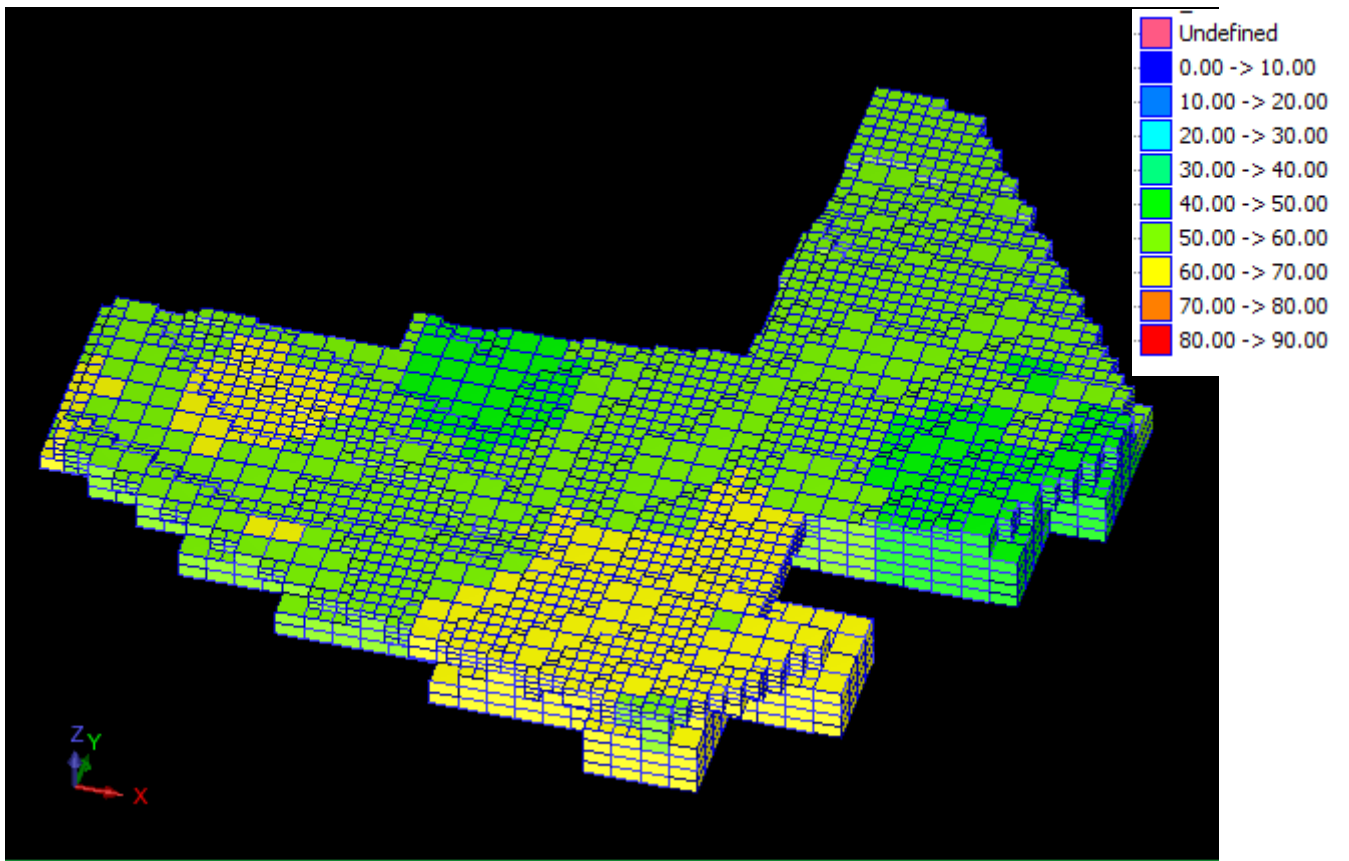


Figure 1-7: Le bloc de la contrainte Inside périmètre estimé par IDS.

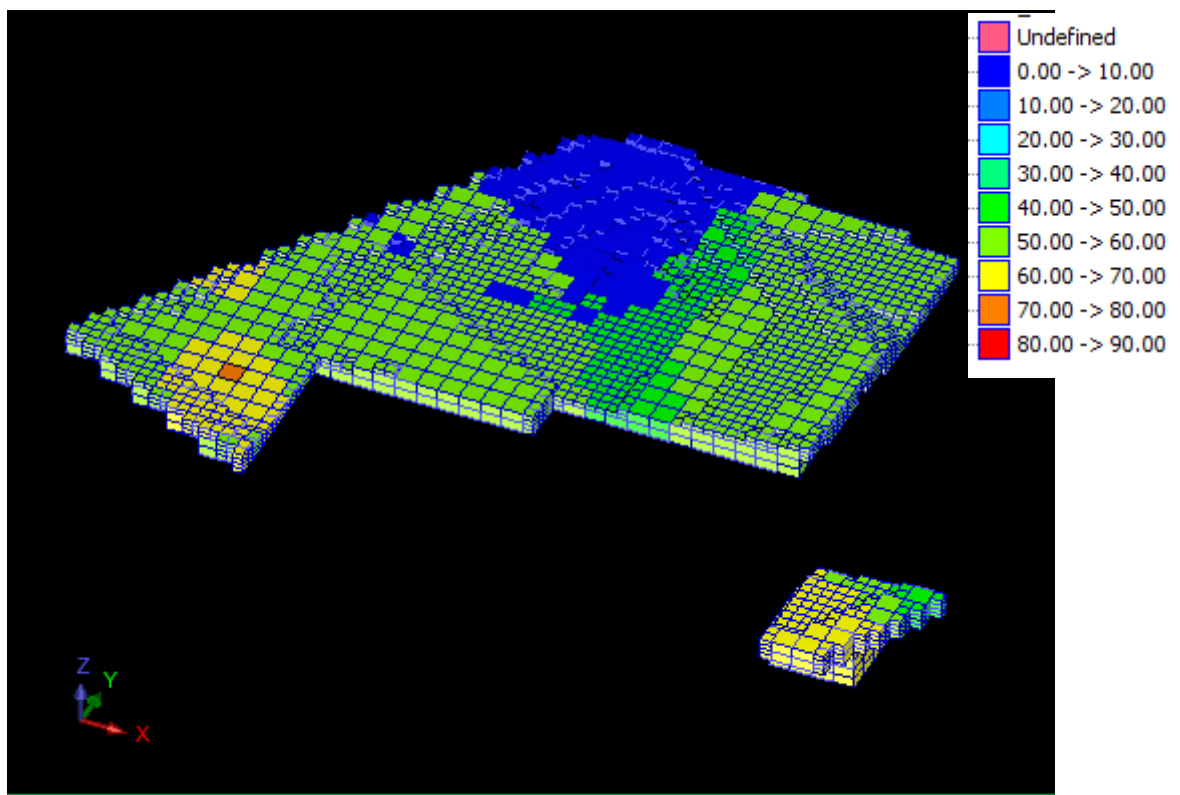


Figure 1-8: Le bloc de la contrainte outside périmètre estimé par IDS.

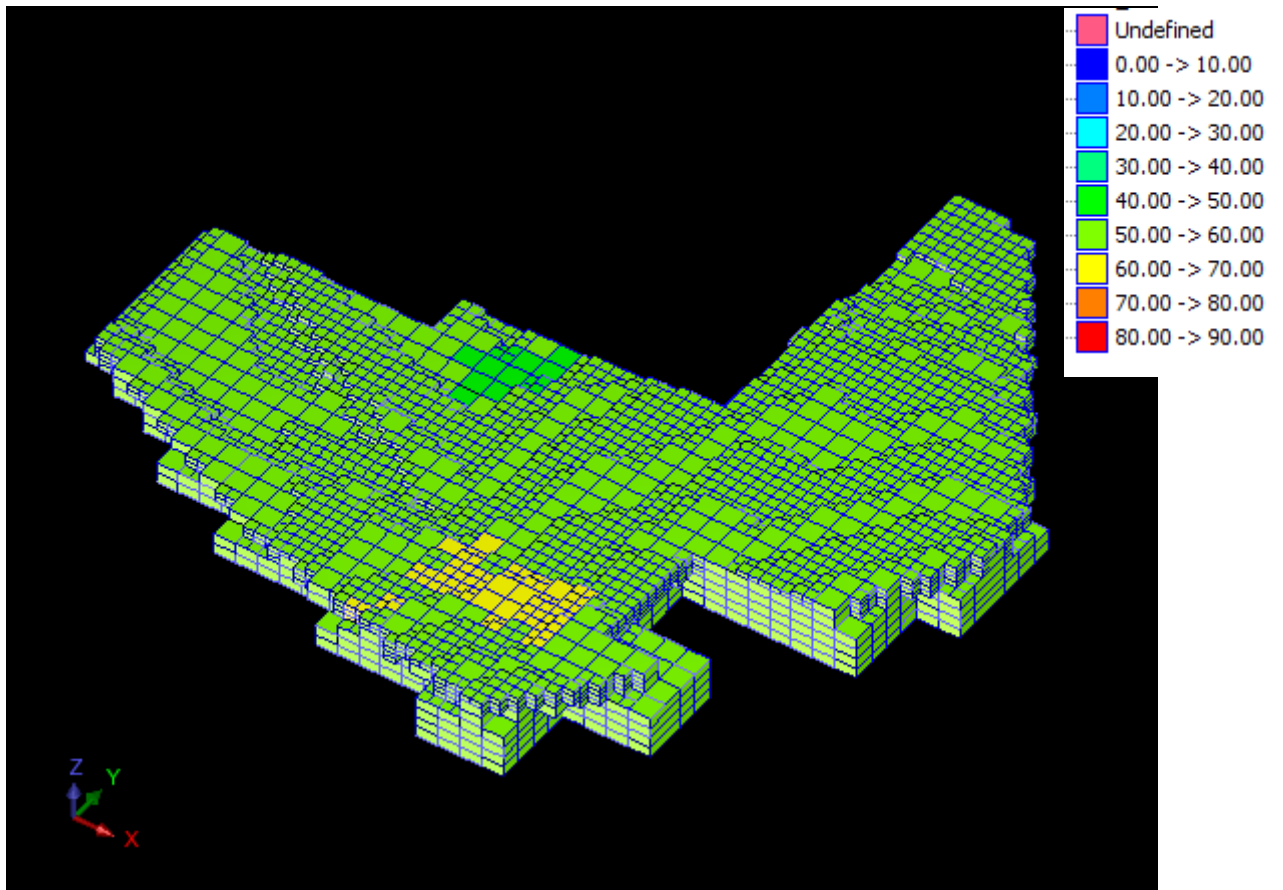


Figure 1-9: Le bloc de la contrainte inside périmètre estimé par le krigage.

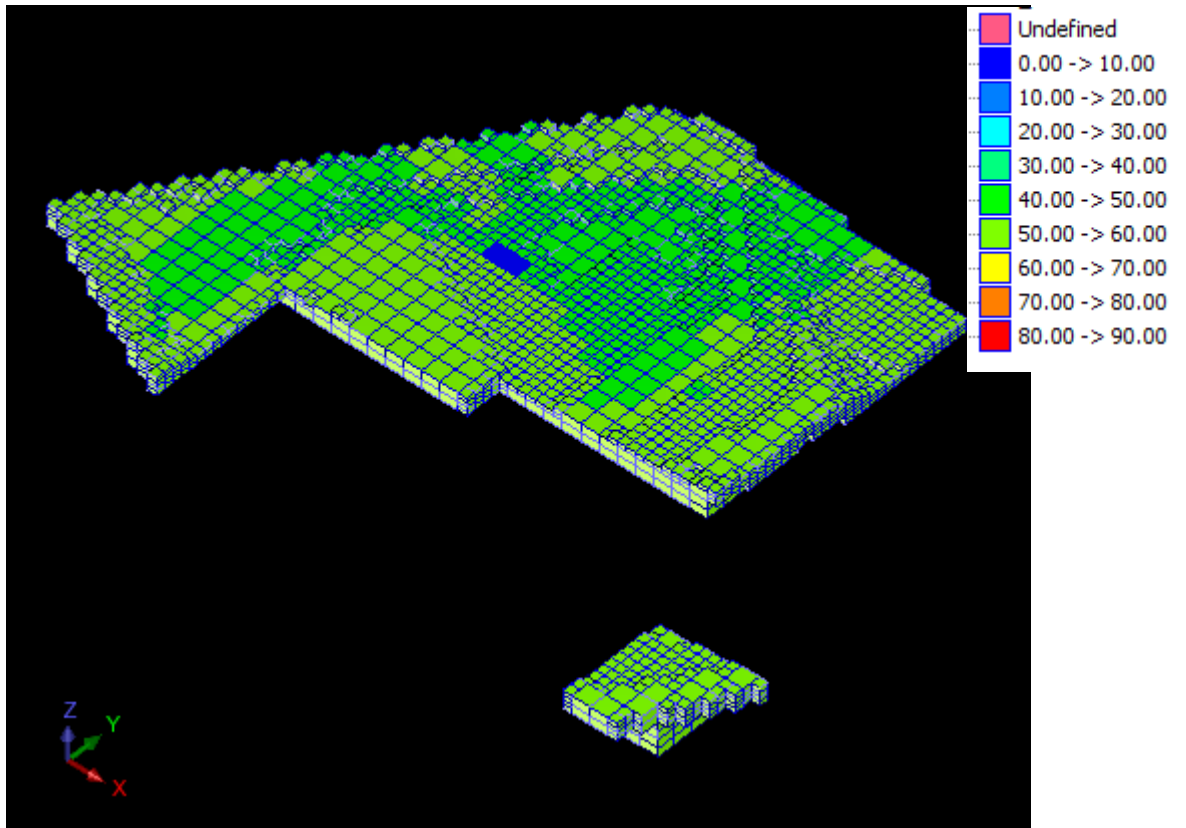


Figure 1-10: Le bloc de la contrainte estimé par le krigage.