Géostatistique et répartition spatiale des différents types de marbre dans le gisement de Filfila – Skikda – Algérie Nord Orientale

Geostatistics and spatial distribution of different types of marble in the Filfila deposit – Skikda – North Eastern - Algeria

Amel Boudries* & Hamid Mezghache

Laboratoire de Recherche de Géologie (LRG), Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, BP. 12, Annaba, 23000, Algérie.

Article Info

Article history:

Soumis le 13/02/2018
Révisé le 06/02/2019
Accepté le 24/02/2019

Mots clés

gisement de Filfila, marbre blanc, géostatistique non paramétrique, fonction indicatrice, modèle de bloc

RESUME

Le gisement de Filfila présente essentiellement trois types de marbre : blanc, gris et réséda. Les résultats de cette étude montrent que les marbres de couleurs différentes du blanc sont légèrement plus argileux et moins résistants à la compression. L'étude géostatistique non paramétrique a été faite sur la variable régionalisée « couleur du marbre ». Pour cela les échantillons de carotte de 35 sondages ont été codés suivant leurs couleurs. Les variogrammes expérimentaux directionnels des fonctions indicatrices ont été calculés et ajustés. Ils montrent qu'il existe une isotropie dans le plan horizontal. Le krigeage des indicatrices et l'élaboration d'un modèle de bloc ont été effectuées. Les résultats ont permis l'estimation et la cartographie des variétés de marbre dans les différents niveaux d'exploitations. Il en ressort que les niveaux supérieurs du gisement sont plus riches en marbre blanc. Ces résultats faciliteraient l'optimisation de l'exploitation.

.

ABSTRACT

The Filfila deposit has mainly three types of marble: white, grey and reseda. The findings show that colours other than white are slightly more argillaceous and more resistant to compression. The non-parametric geostatistical survey was made on the regionalised variable « marble colour ». For this purpose, core samples from 35 drill holes were coded according to their colours. The directional experimental variograms of indicator function were computed and adjusted. They show the existence of an isotropy in the horizontal plane. The kriging indicator and the construction of a block model were performed. The findings made it possible to estimate and to map the variety of marble at the different levels of mining exploitation. It appears that the upper levels of the deposit are richer in white marble These findings will make it easier to optimise mining exploitation/

Keywords

the Filfila deposit, white marble, non-parametric geostatistics, indicator function, block model.

*** Auteur correspondant :**
Amel Boudries
Laboratoire de Recherche de Géologie (LRG), Département de Géologie,
Université Badji Mokhtar, BP. 12, Annaba, 23000, Algérie.
Email : Amel.boudries@univ-annaba.org

©UBMA - 2019

1. INTRODUCTION

De nombreux auteurs ont dégagés les traits majeurs de la géologie de Filfila. Les premières données géologiques appartiennent à Termier (1902), Ficheur (1903), Dalloni (1920), Roubeault (1934), Deleau (1935), Lemoy (1969). Ces études ont permis de déterminer l'âge Mésozoïque du marbre et de caractériser les phénomènes de contact qui ont générés la marmorisation des calcaires, de même ils ont établis la structure de l'ensemble du parautochtone, dans laquelle sont situés les calcaires marmorisés du Djebel Filfila. Semroud (1970) a étudié en détail les granites de Filfila, Romanovsky (1991) a abordé la gîtologie et la paléogéographie et la tectonique de la région, kolli (2005) s'est intéressé aux minéralisations du massif de filfila, Bourefis en (1994) et en (2006) a étudié respectivement les skarns et les granites. Le gisement de Filfila a fait également l'objet de plusieurs campagnes d'exploration parmi lesquelles celles effectuées par la Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière (SONAREM) (1971), l'Entreprise de Recherche Minière (EREM) (1991), et l'Office Nation de la Recherche Géologique et Minière (ORGM) (2011). Durant ces campagnes, 35 sondages carottés ont été effectués. Des échantillons de carottes de sondages ont été prélevés et analysés sur des éléments chimiques tel que SiO_2, Al_2O_3 Fe_2O_3, CaO et MgO et sur des paramètres pétrophysiques tels que le poids volumique (ρ), la porosité (Φ), l'absorption (Ab), le poids spécifique (γ) et l'essai à la compression à l'état sec (Rc). L'ensemble de ces données ont fait l'objet d'une étude statistique et géostatistique non paramétrique pour la caractérisation et la cartographie des différents types de marbre blanc et autres couleurs.

2. GEOLOGIE REGIONALE

Le gisement de Filfila se localise dans le Nord-est algérien à l'Est de Skikda. Il fait partie du massif de la petite Kabylie [1]. Ce gisement apparaît en fenêtre tectonique à la faveur de l'érosion du socle kabyle [2]. Il est le résultat d'un métamorphisme de contact, entre les intrusions granitiques du Langhien et les formations carbonatées du Lias comme le montre la figure 1.

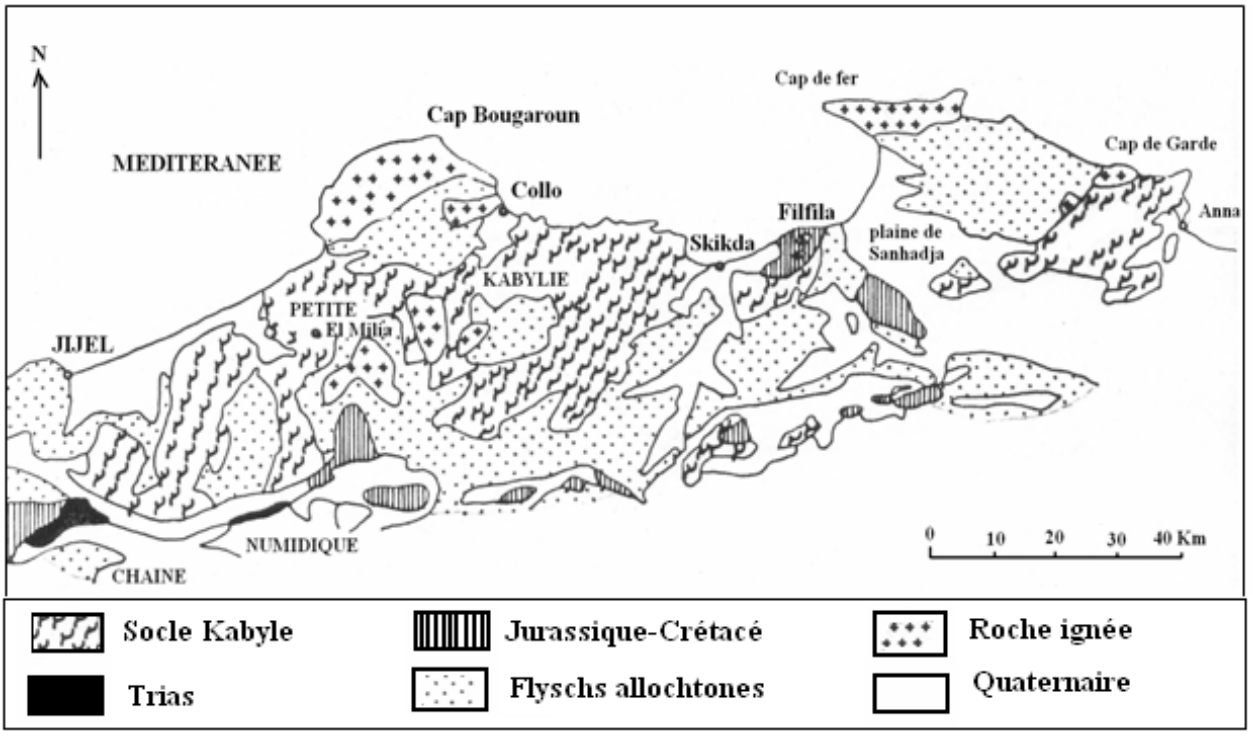

Figure 1. Esquisse géologique de la Petite Kabylie et localisation du gisement de Filfila [2]

Le massif de Filfila est composé de quatre unités structurales superposées [2]. C'est la première unité ou para-autochtone qui correspond au Djebel Filfila proprement dit (Fig. 2). Elle est constituée par

©UBMA - 2019

une série exclusivement secondaire et montre deux (2) directions principales d'axes de plis (N 80° et N 140°). Elle présente un bombement anticlinal dont le coeur est formé des calcaires du lias inférieur.

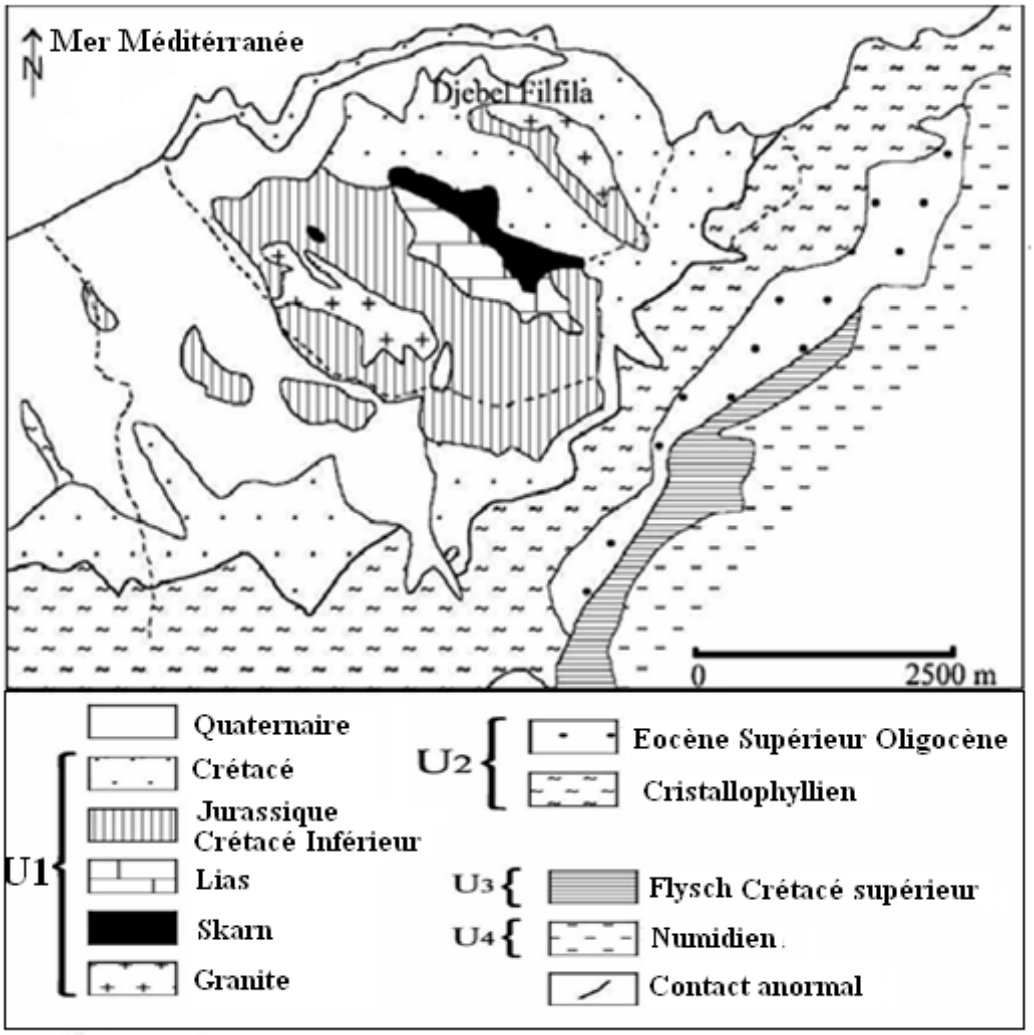

Figure 2. Carte géologique du Filfila [2]

3. GEOLOGIE LOCALE

3. 1. Stratigraphie

La colonne stratigraphique mise en évidence au Filfila est une série essentiellement carbonatée et une série détritique (Fig. 3) [2,3,4]. Les marbres exploités sont localisés dans le Lias.

©UBMA - 2019

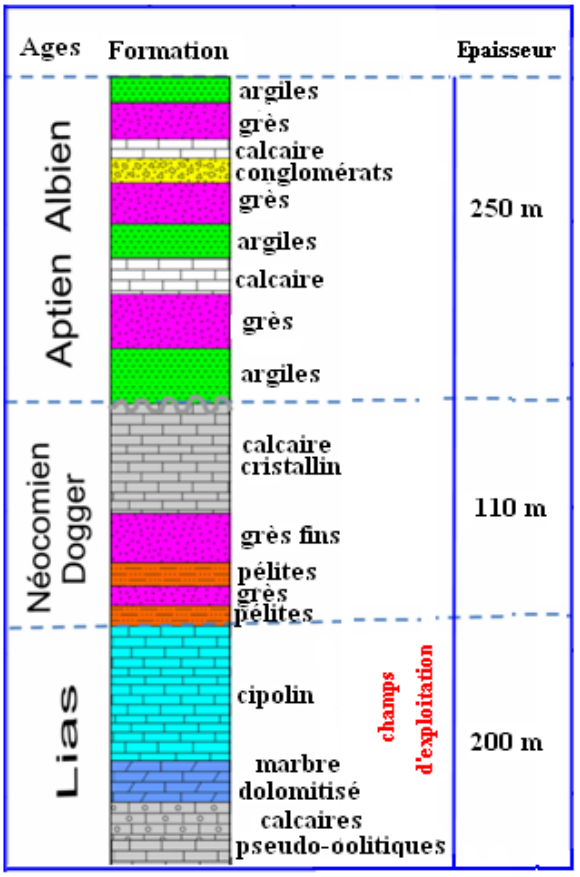

Figure 3. Colonne stratigraphique du massif de Filfila [2,3,4]

3. 2. Structure géologique du gisement

Le gisement de Filfila est un monoclinal de direction NW-SE avec un angle de pendage variant de 20° à 40° vers l'est (Fig. 4). Les affleurements de marbre peuvent atteindre une longueur de 1100m pour une largeur de 300m.

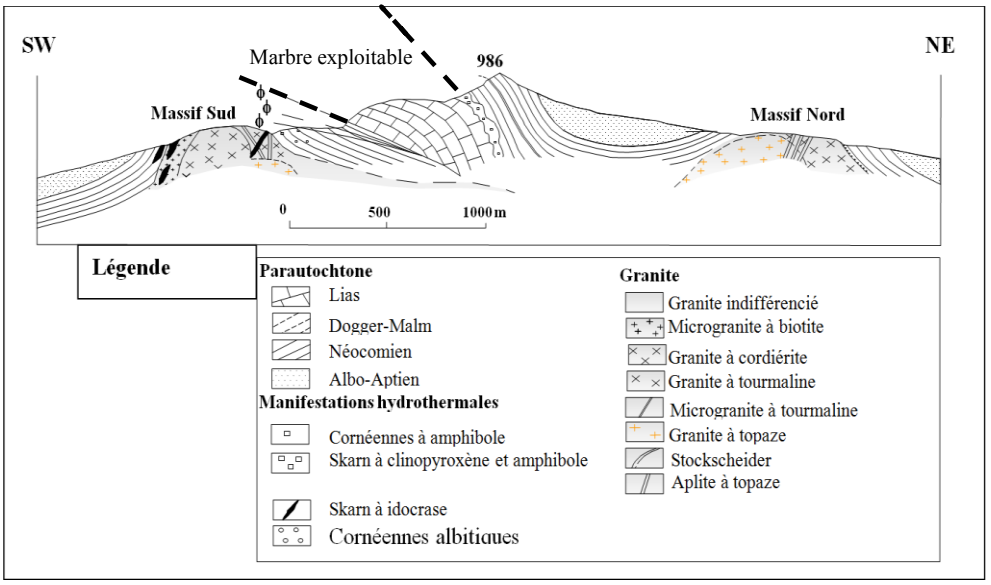

Figure 4. Coupe géologique interprétative du massif de Filfila. [3,5]

©UBMA - 2019

Une étude structurale a été faite Sur ce gisement. Des mesures de fractures (coordonnées, directions, pendages et longueurs) ont été prises à l'aide de la boussole, d'un GPS, et d'un décamètre. 938 mesures de fracturation faites sur terrain montrent deux directions dominantes la direction N60° et celle N120° (Tab1eau 1 ; Fig. 5) ; ce qui concorde avec les résultats obtenus par l'ORGM en 2011.

Tableau 1. Les statistiques des différentes directions de fractures dans le gisement de marbre de Filfila.

Direction	Nombre de fractures
0-10	9
11-20	9
21-30	95
31-40	17
41-50	20
51-60	435
61-70	25
71-80	3
81-90	14
91-100	4
101-110	8
111-120	175
121-130	17
131-140	15
141-150	57
151-160	4
161-170	14
171-180	9
231-240	2

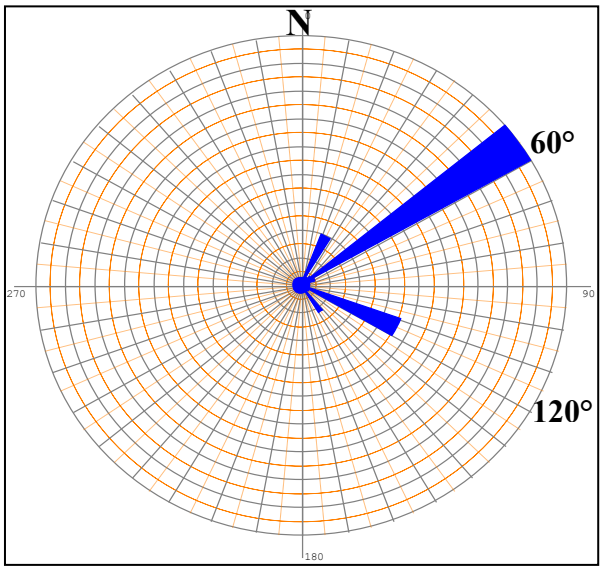

Figure 5. Rosace quantitative des directions de fracturation dans lgisement de Filfila

©UBMA - 2019

3. 3. Pétro-minéralogie des marbres du gisement de Filfila

Dans ce gisement, plusieurs variétés de marbre existent ; les principales sont le marbre blanc, gris et réséda.

A- *Marbre blanc*

Macroscopiquement, le marbre blanc présente un aspect homogène, une texture massive et une structure granoblastique (Fig. 6a). Au microscope ce marbre correspond à un calcaire microcristallin, constitué essentiellement de la calcite de forme isométrique irrégulière et de dimension de 0,2 à 0,4 mm (Fig. 6b et 6c) [4].

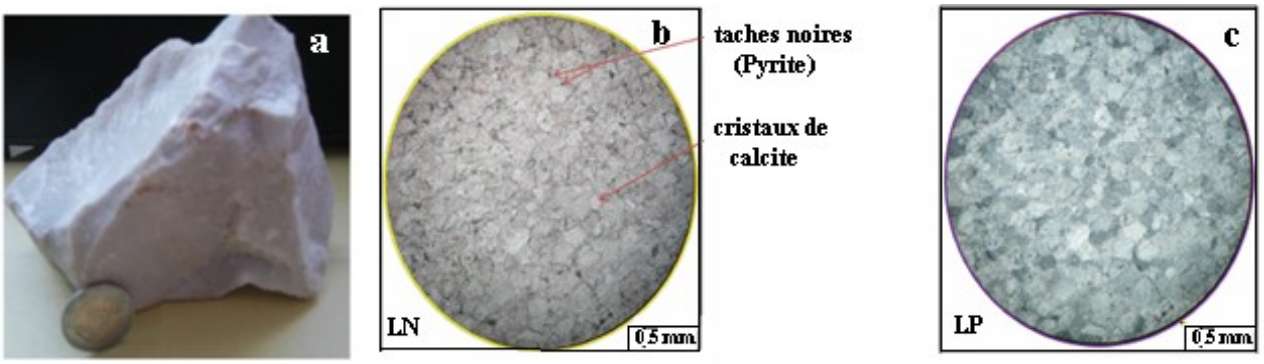

Figure 6. Marbre blanc - a) macroscopique -b) lumière naturelle - c) lumière polarisée

B- Marbre gris clair

Macroscopiquement le marbre gris clair présente un aspect non homogène, une texture massive et une structure microcristalline (Fig. 7a). Au microscope, l'échantillon de marbre se compose de calcite recristallisée, de taille moyenne jusqu'à 0,8 mm (Fig. 7b et 7c). La couleur plus ou moins foncée de la calcite est due à la présence de fer [4].

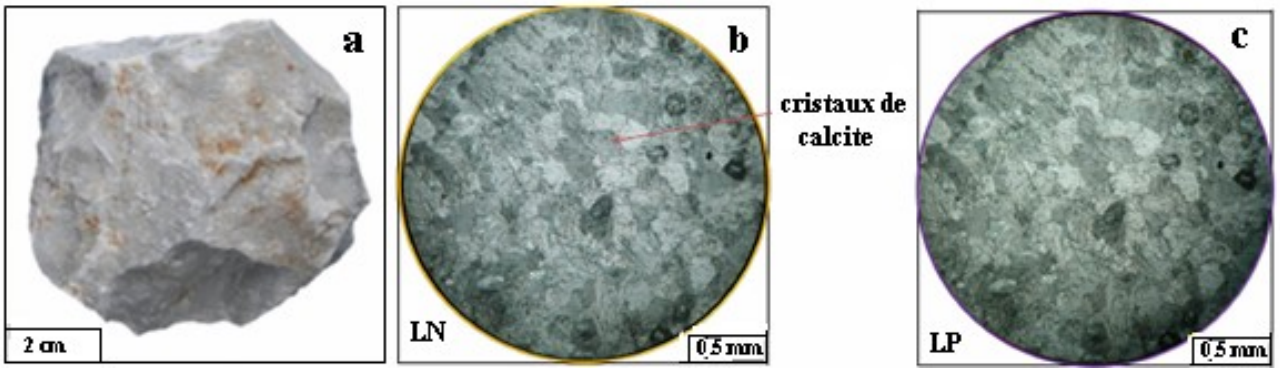

Figure 7. Marbre gris clair -a) macroscopique -b) lumière naturelle -c) lumière polarisée

C- Marbre gris foncé

Macroscopiquement, le marbre gris foncé présente un aspect non homogène, une texture massive avec la présence de lentille de quartz et une structure microcristalline (Fig. 8a). Au microscope l'échantillon de marbre correspond à un calcaire microcristallin composé essentiellement de cristaux de calcite de forme irrégulière allongée et de dimension variant de 0,5 à 1,20 mm (Fig. 8b et 8c) [4].

©UBMA - 2019

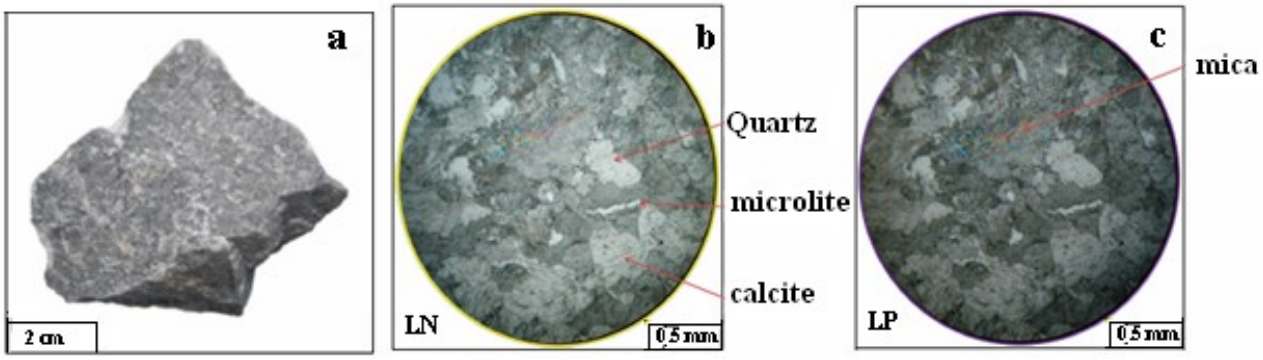

Figure 8. Marbre gris foncé - a) macroscopique -b) lumière naturelle - c) lumière polarisée

D- Marbre réséda

Macroscopiquement le marbre réséda présente un aspect non homogène, une texture massive et une structure microcristalline (Fig. 9a). Au microscope l'échantillon de ce type de marbre présente des micro-plissements qui correspondent à d'anciens horizons plus argileux ou plus riches en oxydes métalliques (Fig. 9b et 9c) [4].

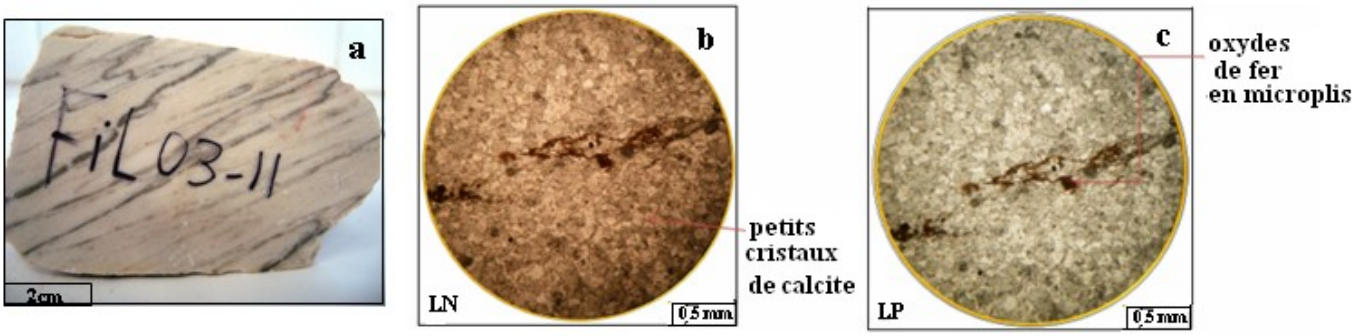

Figure 9. Marbre réséda - a) macroscopique - b) lumière naturel - c) lumière polarisé

4. DONNEES ET METHODES UTILISEES

4. 1. Données utilisées

Le gisement de marbre de Fifila a été exploré en détail par plusieurs campagnes de prospection. La première a eu lieu en 1971 par la mission roumaine pour le compte de la SONAREM [6] avec la réalisation de dix sondages carottant notés F1 à F10. En 1991, l'EREM [7] a réalisé 15 sondages notés S11 à S3R et enfin en 2011 l'ORGM [8].a réalisé dix autres sondages notés SF25 à SF34 (Fig. 10

©UBMA - 2019

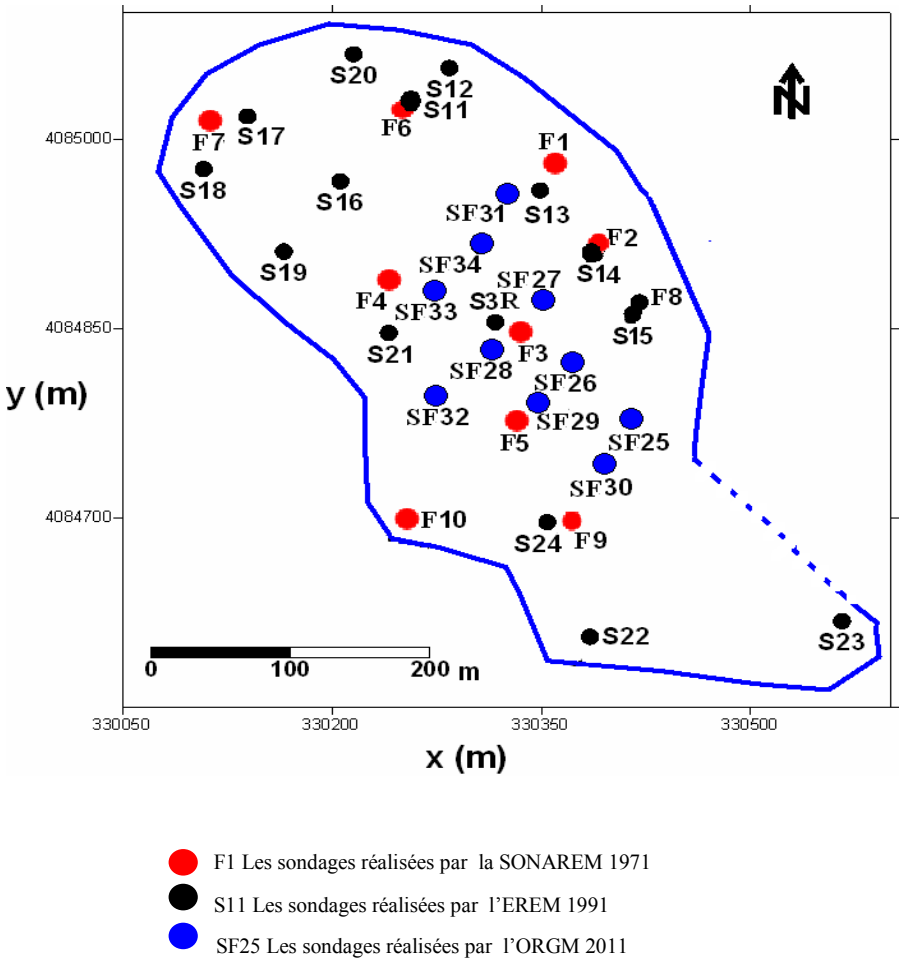

Figure 10. Plan d'implantation des sondages

4. 2. Méthodes utilisées

A- Méthodes d'analyse de données monovariée

Ce traitement permet de déterminer les paramètres statistiques de la distribution des variables étudiées.

B- Méthodes d'analyse de données multivariées : L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'analyse de données. Elle cherche à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des individus et des variables quantitatives [9]. Elle est basée sur le calcul de la matrice de corrélation.

C- Méthodes géostatistiques non paramétriques

La géostatistique ou théorie des variables régionalisées a pour objet l'étude des fonctions aléatoires. Matheron a introduit la notion de variables régionalisées pour quantifier un phénomène à caractère aléatoire manifestant une structure de variabilité spatiale [10,11].

- ***La variographie***

Soit deux variables aléatoire, 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 [12,13].

©UBMA - 2019

Le variogramme théorique est défini comme étant l'espérance quadratique de la variable aléatoire [z(x) – z(x+h)] soit: $E\left\{[Z(x)-Z(x+h)]^2\right\}=2\gamma(x,h)$

Selon l'hypothèse intrinsèque, le variogramme ne dépend que du vecteur h en module et direction et non du point x. En admettant cette hypothèse, le variogramme sera estimé par la formule suivante :

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

Où : N(h) est le nombre de couples, z(x) et z(x+h) sur les valeurs mesurées aux points x et x+h qui sont séparés par le vecteur h.

Les résultats obtenus peuvent être représentés sous forme graphique comme c'est illustré dans la figure. 11. Ces variogrammes expérimentaux doivent être ajustés à l'aide d'un modèle théorique qui leur correspond et qui doit être opérationnel et simple à l'emploi [14].

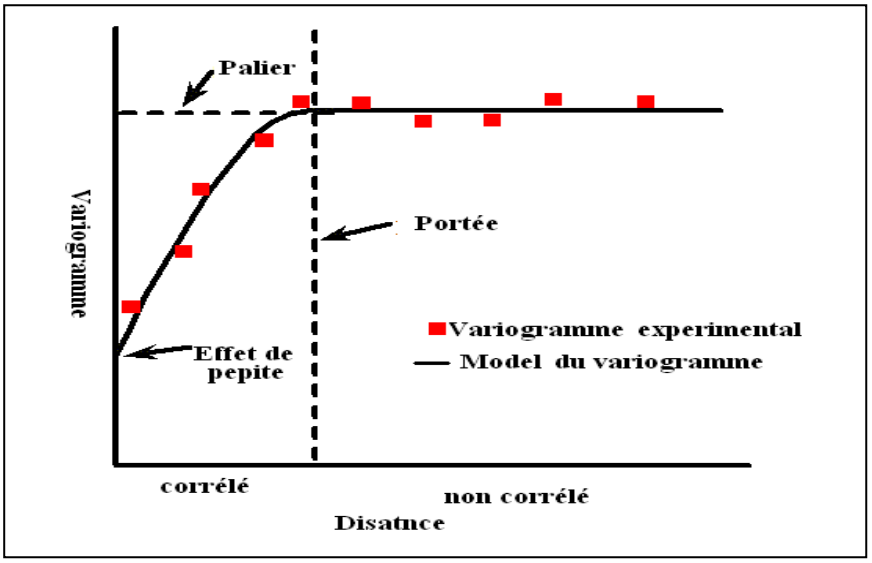

Figure 11. Représentation graphique du variogramme

➢ ***Modélisation géostatistique par krigeage ordinaire***

En géostatistique, le constructeur d'estimateur sans biais optimal est le krigeage**.** Le Krigeage ordinaire consiste à retrouver les pondérateurs λi des valeurs connues aux points de données, en utilisant le variogramme, ce qui permet de tenir compte de la structure spatiale de la variabilité et de la proximité des données au point à estimer [15]. Le système de krigeage ordinaire est le suivant :

$$\left\{\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{N}\lambda i\bar{\gamma}(v_i,v_j)+\mu=\bar{\gamma}(v_j,V)\\ \sum_{i=1}^{N}\lambda i=1\end{array}\right\}\forall i=1\ à\ N\ et\ \ j=1\ à\ N$$

Où : μ : Paramètre de Lagrange ; λ_i : Pondérateurs de krigeage

La variance de krigeage ordinaire est donnée par :

$$\sigma^2{}_K=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i\gamma(v_i,V)+\mu-\gamma\ (V,V)$$

©UBMA - 2019

➢ ***Modélisation géostatistique par krigeage d'indicatrices***

Le krigeage d'indicatrice est une méthode géostatistique non paramétrique adaptée au traitement de variables qualitatives ou ordonnées. Elle permet d'obtenir une carte d'estimation de la propriété mais également des cartes donnant la probabilité que la propriété dépasse une valeur-seuil. De plus, elle permet, pour une même propriété, de montrer des structures spatiales différentes selon les classes retenues [16].

L'idée de base du krigeage d'indicatrices consiste à effectuer l'analyse spatiale non pas directement de la propriété étudiée, mais des différentes fonctions dites «indicatrices» issues d'un codage binaire de cette propriété.

Si l'on considère un seuil donné, disons c, on peut coder, par rapport à ce seuil, la variable aléatoire Z(x) en une variable indicatrice I(x,c) prenant la valeur 0, 1.

Supposons qu'on définisse:

$I(x,c) = 1$ si $Z(x) \geq c$
$I(x,c) = 0$ si $Z(x) < c$

5. RESULTATS OBTENUS

5. 1. Analyse statistique monovariée

Pour le gisement de Filfila l'analyse de donnée a été faite sur les résultats d'analyse chimique et pétrophysique de 158 échantillons (118 échantillons effectués par l'EREM en 1991 et 40 échantillons effectués par l'ORGM en 2011). Les paramètres statistiques de distribution de tous les éléments chimiques analysés ont été calculés. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Statistiques des paramètres chimiques et pétrophysiques mesurés dans les différents sondages

	N actif	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart Type	Cv %
SiO_2 (%)	56	0,07	2,69	0,71	0,65	91,76
Al_2O_3 (%)	59	0,07	1,28	0,48	0,31	64,46
Fe_2O_3 (%)	62	0,06	1,78	0,37	0,37	99,18
CaO (%)	67	31,35	56,89	53,46	4,17	7,8
MgO (%)	67	0,32	6.99	2,33	3,27	85,47
ρ (g/cm^3)	136	2,26	2,84	2,7	0,06	2,08
Φ)%(	136	0,11	7,04	1,63	1,49	91,71
Ab (%)	135	0,04	0,15	0,26	1,28	41,4
γ (N/m^3)	136	2,34	2,91	2,74	0,06	2,27
Rc	134	202	1127	522,5	150,45	28,79

Les résultats montrent que les marbres sont constitués essentiellement de calcite: Ils sont caractérisés par des teneurs élevées en oxyde de calcium (31,35-56,89) et magnésium (0,32-21,76) et des teneurs faibles en oxydes des autres éléments (SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3). Afin de comparer les résultats statistiques des marbres blancs (code1) et des marbres de couleurs (code 0), une analyse statistique des résultats a été faite (Tab. 3).

©UBMA - 2019

Tableau 3. Comparaison des résultats statistiques des marbres blancs et des autres types de marbre

Eléments analysés	Code 1				Code 0				Rapport
	N actif	**min**	**max**	**moyenne**	**N actif**	**min**	**max**	**moyenne**	
SiO_2 (%)	41	0,07	2,48	0,66	15	0,07	2,69	0,85	0,85/0,66=1,29 >1
Al_2O_3 (%)	43	0,07	1,28	0,45	17	0,11	1,23	0,55	0,55/0,45=1,22> 1
Fe_2O_3 (%)	45	0,06	1,78	0,35	17	0,06	1,66	0,43	0,43/0,35=1,24 >1
CaO (%)	50	47,73	56,89	54,65	17	31,35	56,22	49,93	49,93/54,56=0,91<1
MgO (%)	50	0,32	6,22	1,51	17	0,7	6,99	2,95	2,95/1,51=1,95>1
ρ (g/cm^3)	76	2,26	2,82	2,7	60	2,6	2,84	2,72	2,72/2,70=1
Φ)%(	76	0,11	7,04	1,64	60	0,29	6,75	1,62	1,62/1,64=0,98<1
Ab (%)	76	0,04	0,43	0,15	59	0,04	0,29	0,13	0,13/0,15=0,86<1
γ (g/m^3)	76	2,34	2,91	2,75	60	2,63	2,91	2,76	2,76/2,75=1
Rc (kg/cm^2)	74	202	1049	497,08	60	326	1127	553,85	553,85,/497,08=1,11>1

Les résultats ont permis de déduire ce qui suit :

a) du point de vue composition chimique : les teneurs en SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3 et MgO sont relativement plus élevés dans les marbres de couleurs (code 0) car ces derniers sont plus « argileux ». Par contre la teneur en CaO est plus élevée dans les marbres blancs (code1).

b) du point de vue pétrophysique : Les marbres blancs sont plus absorbants et plus porreux alors que les marbres de couleurs sont plus résistants à la compression.

5. 2. Analyse statistique multivariée : Analyse en Composantes Principales ACP

Le calcul de la matrice de corrélation (Tab. 4) effectué sur l'ensemble des données de sondages a permis de démontrer une corrélation linéaire positive significative entre SiO_2 et Al_2O_3 entre ρ et γ et entre Φ et Ab. Il a été également noté que ρ est corrélé négativement à SiO_2, Al_2O_3 Fe_2O_3 et Φ.

Tableau 4. Matrice de corrélation des éléments chimiques et des paramètres pétrophysiques dans le gisement de Filfila

	SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**ρ**	**Φ**	**Ab**	**γ**	**Rc**
SiO_2	1,00									
Al_2O_3	**0,73***	1,00								
Fe_2O_3	0,05	0,17	1,00							
CaO	-0,31	-0,20	-0,25	1,00						
MgO	-0,02	-0,08	0,01	**-0,88**	1,00					
ρ	**-0,38***	**-0,48***	**-0,45***	-0,02	0,25	1,00				
Φ (%)	0,12	0,00	0,24	0,10	-0,16	**-0,46***	1,00			
Ab	0,22	0,08	0,18	-0,01	-0,09	-0,20	**0,60***	1,00		
γ	-0,27	**-0,50***	-0,13	0,11	0,01	**0,37***	0,57	0,31	1,00	
Rc	0,23	0,15	0,02	0,04	-0,15	0,03	0,24	-0,10	0,15	1,00

-0,48* : corrélations significatives

©UBMA - 2019

Les facteurs de charge ont été calculés (Tab. 5) et les cercles de corrélation ont été tracés pour l'ensemble des éléments analysés.

Tableau 5. Les facteurs de charge

Variance	F1 (26%)	F2 (22%)	F3 (18%)	F4 (12%)
SiO_2	-0,77	0,16	0	-0,42
Al_2O_3	-0,82	0,26	0,21	-0,21
Fe_2O_3	-0,49	-0,07	-0,23	0,49
CaO	0,26	-0,61	0,73	0,06
MgO	0,1	0,6	-0,76	-0,02
ρ	0,79	0,19	-0,15	-0,35
Φ	-0,35	-0,79	-0,39	-0,03
Ab	-0,34	-0,55	-0,41	0,12
γ	0,41	-0,64	-0,5	-0,24
Rc	-0,17	-0,21	0,05	-0,76
Var Expl	2,65	2,25	1,81	1,24

Afin de visualiser le degré d'associations des variables et la signification de leurs corrélations avec les facteurs, Le cercle de correlation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variance cumulée de 48% (F1=26%, F2=22%) a été tracé (Fig. 12).

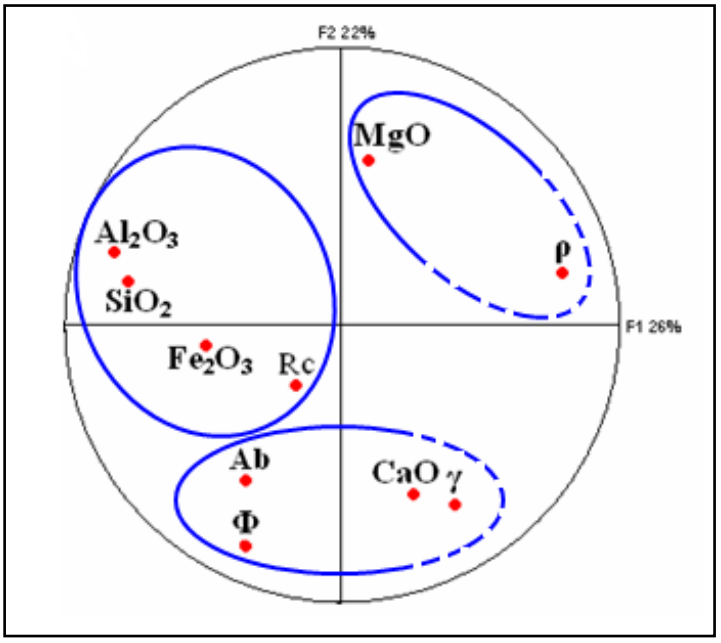

Figure 12. Cercle de corrélation des éléments chimiques dosés dans le gisement de Filfila

Les résultats montrent la présence de trois associations chimiques :

- **La 1ère association :** formée essentiellement de MgO et ρ qui représente le faciès marbre dolomitique.
- **La 2ème association** : formée par Fe_2O_3, SiO_2, Al_2O_3 et Rc représente le faciès de marbre contaminer par le matériel péllitomorphe argileux,

©UBMA - 2019

- **La 3ème association** : formée par Ab, CaO, γ et Φ représente le fond carbonaté (marbres blanc).

5. 3. Géostatistiques du gisement de marbre de Filfila

A- Variographie

La variographie a été faite sur les fonctions indicatrices. Un codage de la couleur du marbre a été fait sur l'ensemble des données de carottes de sondages réalisés durant les campagnes d'exploration. Toutes les passées de couleur blanches ont été codées par 1 ; les autres passées de marbre ont été codées par 0 et tous ce qui est différent du marbre a été codé par -1. Un fichier de fonction indicatrices a été crée et les variogrammes de ces indicatrices ont été calculés et ajustés.

➢ **Variographie verticale des indicatrices**

Le variogramme vertical moyen des indicatrices des échantillons de carottes a été calculé et ajusté par un modèle de régionalisation exponentiel de porté (a) égale à 10 m. d'un effet de pépite (C_0) égale à 0,02 $(\%)^2$ et de palier (C) égale à 0,289 $(\%)^2$ (Fig. 13). L'absence d'effet de trou indique l'absence d'alternance des différents types de marbre.

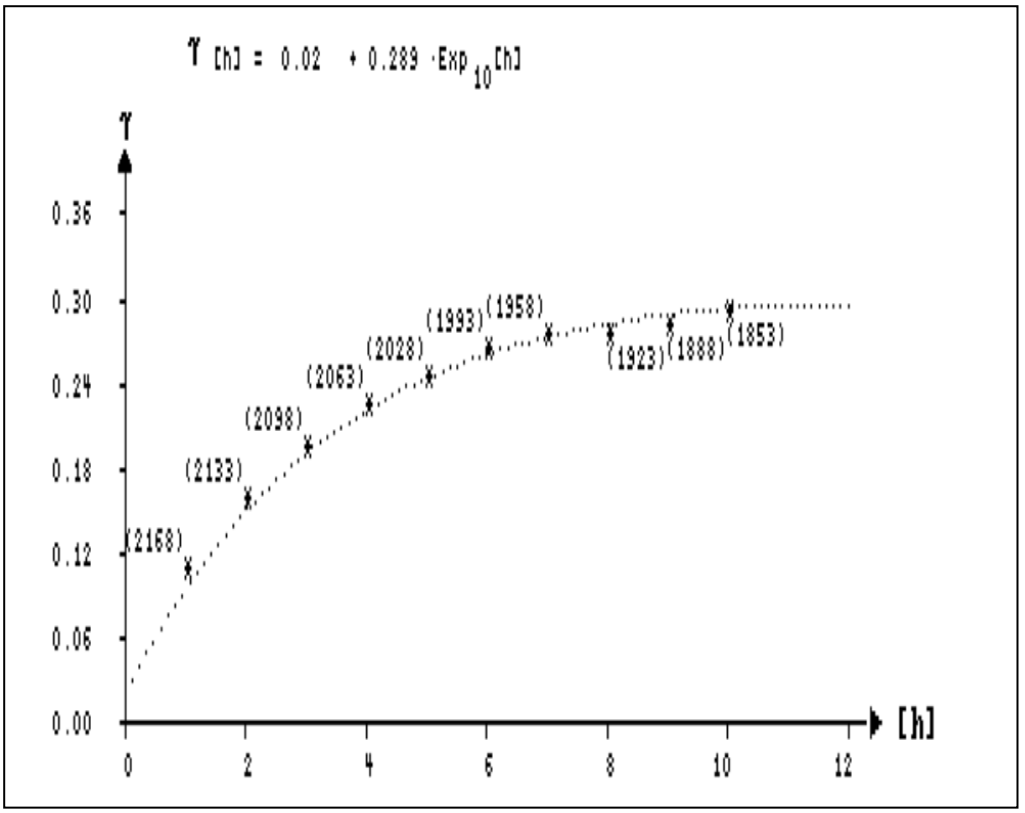

Figure 13. Le variogramme expérimental vertical moyen des fonctions indicatrices

©UBMA - 2019

- **Variographie dans le plan horizontal des fonctions indicatrices**

Le variogramme expérimental omnidirectionnel horizontal des fonctions indicatrices a été calculé et ajusté par un modèle de régionalisation exponentiel de porté (a) égale à 200 m. d'un effet de pépite (C_0) égale à 0,087 $(\%)^2$ et de palier (C) égale à 0,14$(\%)^2$ (Fig. 14).

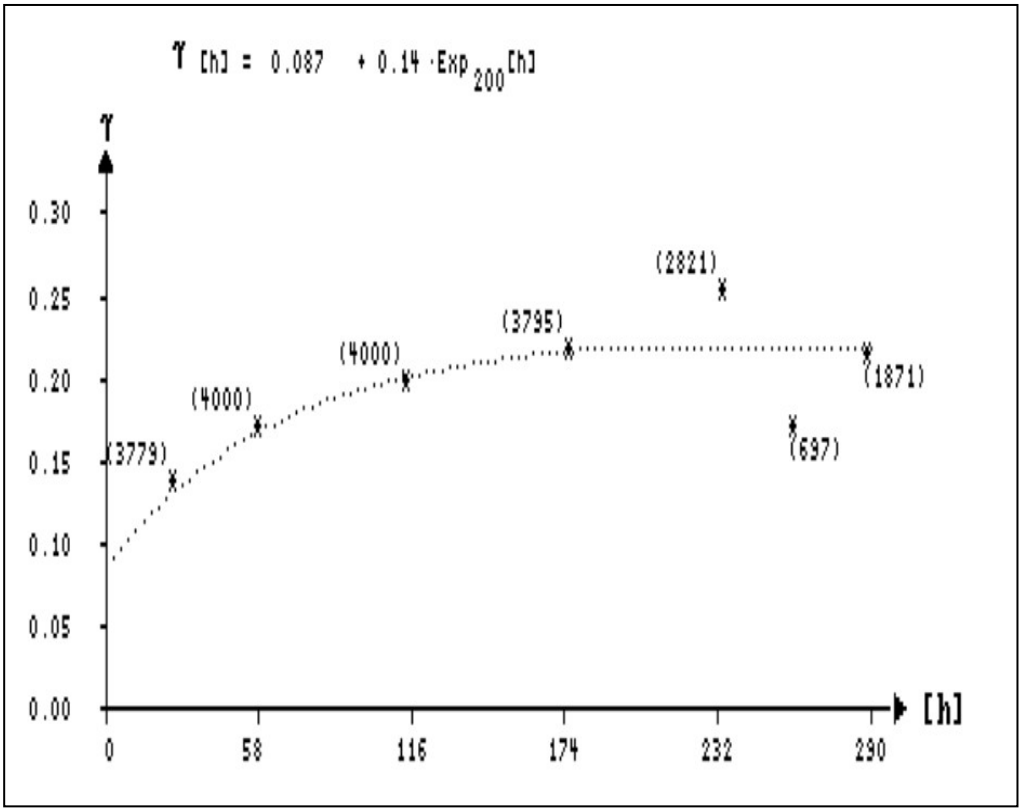

Figure 14. Le variogramme expérimental omnidirectionnel horizontal des fonctions indicatrices.

b- le krigeage des indicatrices

Le krigeage a été effectué à l'aide de paramètres du le (Tab. 6). Dans le but d'estimer le pourcentage du marbre blanc dans les blocs d'exploitation (10 x 10 x 10 m^3).

Tableau 6 – Paramètres de krigeage.

	Axe X	Axe Y	Axe Z
Var	X	Y	Z
Origine	330108	4084606	450
Taille des blocs	10	10	10
Nombre de blocs	40	40	10
Rayon de recherche	R_1= 200m	R_2= 200 m	R_3= 10 m

©UBMA - 2019

Afin de bien visualiser la répartition des blocs ainsi que les zones les plus riches en marbre blanc, nous avons opté pour la méthode de cartographie par classe (Fig. 15). Les résultats montrent que les marbres blancs se localisent essentiellement dans les parties supérieures ce qui confirment les résultats des études géologiques. Les résultats de krigeage ont permis d'estimer le nombre de bloc de marbre blanc dans chaque niveau (Tab. 7).

Les résultats obtenus montrent que les niveaux supérieurs sont plus riches en marbre blanc tandis que les marbres de couleurs différentes du blanc se localisent en profondeur.

Tableau 7 – Synthèse du nombre de bloc de marbre blanc pour chaque niveau

Niveau	**Nbr de bloc de marbre blanc**	**Nbr de bloc de marbre différent du blanc**	**total**	**Proportion par niveau (%)**
Niv 540	15179	772	15951	95,16
Niv 530	28272	1960	30232	93,52
Niv 520	12814	20175	32989	38,84
Niv 510	11859	21301	33160	35,76
Niv 500	10416	22626	33042	31,52
Niv 490	8859	24265	33124	26,74
Niv 480	280	32302	32582	0,86
Niv 470	3046	25830	28876	10,55
Niv 460	859	22958	23817	3,61
Niv 450	4074	11727	15801	25,78

©UBMA - 2019

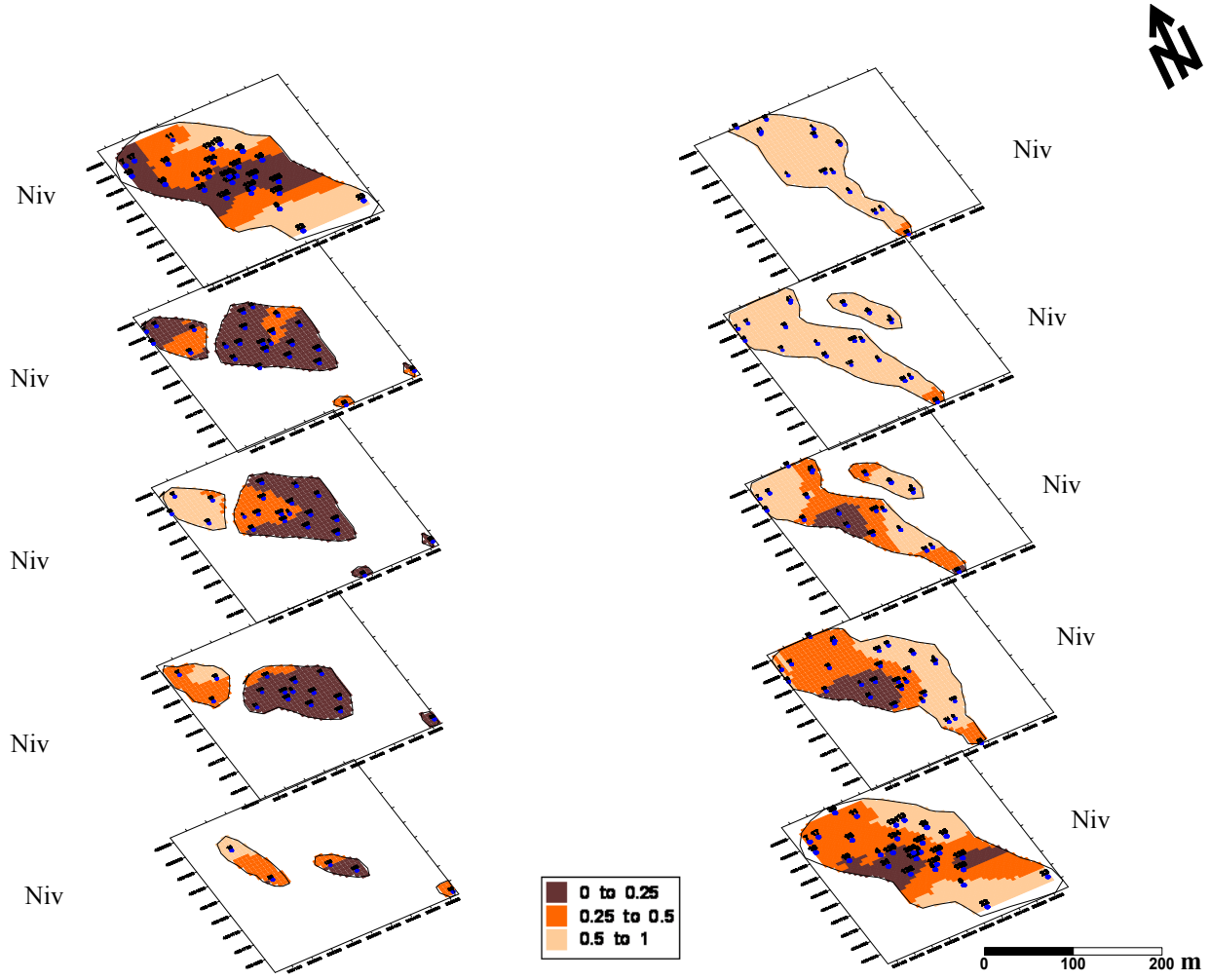

Figure 15. Cartographie par classe des fonctions indicatrices dans les blocs d'exploitation des 10 niveaux du gisement de Filfila

6. CONCLUSION

Le gisement de marbre de Filfila est attribué aux formations Mésozoïques constituant la formation para-autochtone de la petite Kabylie. La succession stratigraphique du gisement comprend les calcaires liasiques et les schistes marno-argileux du Crétacée inférieur affectés par les phénomènes de métamorphisme de contact. La structure du gisement est monoclinale. La couche de marbre est de direction NW-SE avec un pendage de 20 à 40° E. L'étude géologique structurale a montré la présence de deux familles de fractures N60° et N120°

L'étude pétrographique montre une texture massive de calcite et une structure essentiellement microcristalline. L'analyse en composante principale montre essentiellement trois association chimiques La 1ère association : formée essentiellement de MgO et ρ qui représente le faciès marbre dolomitique, la 2ème association formée par Fe_2O_3, SiO_2, Al_2O_3 et Rc représente le faciès de marbre de couleur contaminer par le matériel péllitomorphe argileux et La 3ème association formée par Ab, CaO, γ et Φ représente les marbres blanc. La variographie a permis de détecter une isotropie dans le plan horizontal. Le variogramme horizontal omnidirectionnel des fonctions indicatrices « code couleur » a été ajusté à l'aide d'un modèle exponentiel avec un effet de pépite (C_0) égale à $(0,087)^2$, un palier (C) égale à $(0,14)^2$ et une porté (a) égale à 200m. Le variogramme vertical des fonctions indicatrices a été ajusté par un modèle de régionalisation exponentiel de porté égale à 10 m. d'un effet de pépite égale à 0,02 $(\%)^2$ et de palier égale à 0,289 $(\%)^2$. Les résultas de variographie ont été utilisé pour le krigeage et ont permis la cartographie des fonctions indicatrices. Ce qui a permis de bien visualiser la répartition des différents types de marbre et

©UBMA - 2019

qui montre qu'il y'a plus de marbre blanc dans les niveaux supérieurs que dans les niveaux inférieurs où le marbre est contaminé par du matériel argileux.

REFERENCES

[1] Durand-Delga M., 1969. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ.Serv.Carte géol.Algérie. N.S. Bull 19. 89-131.

[2] Perrin C., 1969. Contribution à l'étude géologique du massif du Filfila (Algérie Nord orientale). Stratigraphie et sédimentologie de la série mésozoïque de l'unité inférieure. Thèse de doctorat de 3ème cycle France. Université de Nancy. France

[3] Lemoy C., 1969. Contribution à l'étude géologique du massif du Filfila (Algérie Nord-orientale). Stratigraphie des unités allochtones ; structure et métamorphisme du massif. Thèse de doctorat. 3ème Cycle. Université de Nancy. France. 95 p.

[4] Bououden D., 2014. Les carrières de marbre du massif de filfila (est de skikda ; algerie nord-orientale) : contexte géologique. Minéralogique. Qualité des matériaux et méthodes d'exploitation. Thèse de magister. univ. Mentouri. Constantine. 201p.

[5] Bouabsa L. Marignac C. Cuney M. Gherbi C., 2005. Le complexe granitique Langhian du Filfila (Nord-Est Constantinois. Algérie) : Granites à cordiérite, granites à tourmaline et granites à métaux rares. Nouvelles données minéralogiques et géochimiques et conséquences pétrologiques. *Bulletin des Services. Géologiques*. Algérie. 16. 15-53p.

[6] SONAREM., 1971. Recherches marbre et pierres décoratives. Etude géologique du gisement de Filfila. Division Est - Tebessa. 98p.

[7] EREM., 1991. Recherches minières dans la région de Filfila (Skikda). rapp. Interne. Division Est- Tebessa. 110p.

[8] ORGM., 2011. Rapport d'exploration du gisement de marbre en bloc de Djebel Filfila. Division Est - Tebessa. 102p.

[9] Kouani A, S. El Jamali et M.Talbi, 2007. Analyse en composantes principales Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques Radisma numero 2. 18p.

[10] Matheron G., 1971. La théorie des variables régionalisées et ses applications. Les cahiers des CMM5. Paris ENSMP, 212p.

[11] Matheron G., 1973. The Intrinsic random functions and their application. In: *Advances in Applied Probability*. Dec. 1973, n°3, pp 439-468.

[12] Journel A. & Huijbregts G., 1980. Mining geostatistics. Academic Press, London, U. K, 600p.

[13] Chauvet P., 1999. Aide mémoire de géostatistique linéaire application du domaine minier. Les presses de l'école des mines de Paris, 140p.

[14] Rivoirard J., 2012. De l'analyse structurale à la modélisation des ressources naturelles : Contributions Géostatistiques. Statistiques. [Math.ST], *Habilitation à diriger des recherches*. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 84p.

[15] Marcotte D., 1997. Géostatistique minière. Ecole polytechnique, Lorraine, France, 230p.

[16] Walter C., 1993. L'estimation de propriétés du sol par krigeage d'indicatrices confrontées à celle dérivée d'une carte pédologique. Science du sol 4 vol 31. 215-231.

©UBMA - 2019