

## Caractérisation et valorisation du calcaire métamorphique de Bou-Acila (Maroc central)

### [ Characterization and valuation of metamorphic limestone of Bou-Acila (central Morocco) ]

*Houssa Ouali and Rabha Ajakane*

Département de géologie,  
Université Moulay Ismaïl,  
Meknès, Maroc

---

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In Morocco, the largest outcrops of ornamental rocks are largely abundant in central Morocco. The marble deposit of Bou-Acila situated near the forest-house in the southwest of the Khénifra city is the most important. In this paper, we purpose to present all the features of this material in the hope to urging industrial and local authorities to an appropriate exploitation respecting all environmental standards. In the marble outcrop of Bou-Acila, a carefully observation can distinguish different graphics and colors. The petrographic, chemical and petrophysical characters of this marble allow us to conclude that he is an almost pure limestone consists solely of calcite. Its homogeneity and its abundant varieties colories and graphics give it a very good appearance. Petrophysical qualities allow it to compete with the best marbles known in the world and can be used for various uses respecting the label art, quality and sustainability.

**KEYWORDS:** marble, characterization, petrography, mineralogy, petrophysics, Bou-Acila, central Morocco.

**RÉSUMÉ:** Au Maroc, les affleurements le plus important de roches ornementales se trouvent concentrés dans le Maroc central. Le gisement de marbre de Bou-Acila situé près de la maison forestière au Sud-Ouest de la ville de Khénifra est de loin le plus étendu. Le but de ce papier est de présenter l'ensemble des caractéristiques de ce matériau dans l'espoir d'exhorter les industriels et les pouvoir publiques à une exploitation appropriée respectant toutes les normes environnementales. Dans le gisement de Marbre de Bou-Acila, on peut distinguer plusieurs variétés, aussi bien graphiques que de coloris. Les caractères pétrographiques, chimiques et pétrophysiques nous permettent de conclure que le marbre de Bou-Acila est un calcaire presque pur, constitué uniquement de calcite. Son homogénéité et l'abondance de ses variétés lui confèrent un aspect esthétique très apprécié. Ces qualités pétrophysiques font de lui un marbre de bonne à très bonne qualité et peut être exploité pour diverses utilisations respectant le label de l'art, de la qualité et de la durabilité.

**MOTS-CLEFS:** marbre, caractérisation, pétrographie, minéralogie, pétrophysique, Bou-Acila, Maroc central.

## 1 INTRODUCTION

L'existence de calcaires métamorphiques dans la partie sud – est du Maroc central est connue depuis plus d'un demi-siècle. On pensait à l'époque qu'il s'agissait de calcaires viséens recristallisés au contact de roches volcaniques largement répondues dans la région. Il fallait attendre qu'on les rencontre associés à d'autres galets de roches volcaniques et de quartzites à la base du Viséen transgressif pour se rendre compte qu'il s'agit de calcaires antéviséens. Par ailleurs, la découverte de traces d'Archaeocyathidés dans les calcaires métamorphiques de Goaïda confirme leur âge cambrien inférieur (Géorgien). Dans le Maroc central, l'affleurement le plus important du marbre correspond à celui de Bou-Acila, il se situe près

de la maison forestière au Sud-Ouest de la ville de Khénifra. Les réserves de ce gisement ont été estimées en 1978 à 9 millions de m<sup>3</sup> [1]. Les réserves actuelles sont encore largement suffisantes pour susciter une exploitation industrielle [2].

L'exploitation du gisement de marbre de Bou-Acila a débuté depuis 1936, elle produisait le "Skyros africain" ou "Skyros marocain" ; la fermeture de toutes les carrières à eu lieu en 1965. La réouverture de quelques unes de ces carrières s'est faite tout récemment pour voir notre marbre débité en granulats. Le but de ce papier est de mettre en exergue l'ensemble des caractéristiques de ce matériau dans l'espoir d'inciter les industriels et les pouvoirs publics à une exploitation appropriée respectant les normes environnementales.

## 2 POTENTIALITÉS EXPLOITABLES

Ce qui marque l'attention d'un géologue lorsqu'il pose ses pieds pour la première fois sur le territoire marocain, c'est sa richesse en affleurements et la diversité de ses terrains géologiques. On pouvait facilement établir une carte géologique du Maroc, si on se limitait uniquement à la pétrographie de la première couche à l'affleurement. Ceci est un atout notoire pour l'exploitation des roches ornementales. La mise à nu de la partie à extraire est déjà exécutée par la nature.

Le Maroc possède une diversité de matériaux naturels forts intéressante. L'existence de différentes variétés de marbres de par leur nature pétrographique, leurs couleurs et leurs graphismes n'est plus à démontrer. Les potentialités en marbres du pays et les variétés disponibles permettent non seulement de satisfaire le marché local, mais également de viser l'exportation. Ce potentiel est reparti en 54 gisements d'importance industrielle et dont les plus importants se trouvent dans le Maroc central (Tableau 1 ; Fig. 1, [3]). Quelques uns seulement de ces gisements sont exploités et parmi ceux qui sont mis en valeurs sont en nombre très réduit.

n°	Gisement	Nature lithologique
1	Bou-Acila	Calcaire métamorphique
2	Tiskram	Calcaire métamorphique
3	Tabainout	Calcaire
4	Ben Sliman	Calcaire
5	Oued Cherrat	Calcaire
6	Oued Yquem	Calcaire
7	Oued Akrech	Calcaire
8	Tiflet	Calcaire
9	Hreni-Ifou	Calcaire métamorphique
10	Ment	Granite
11	Tichniouine	Diorite
12	M'rirt	Travertin
13	Trafraneij	Calcaire
14	Rhorm El Alem	Travertin

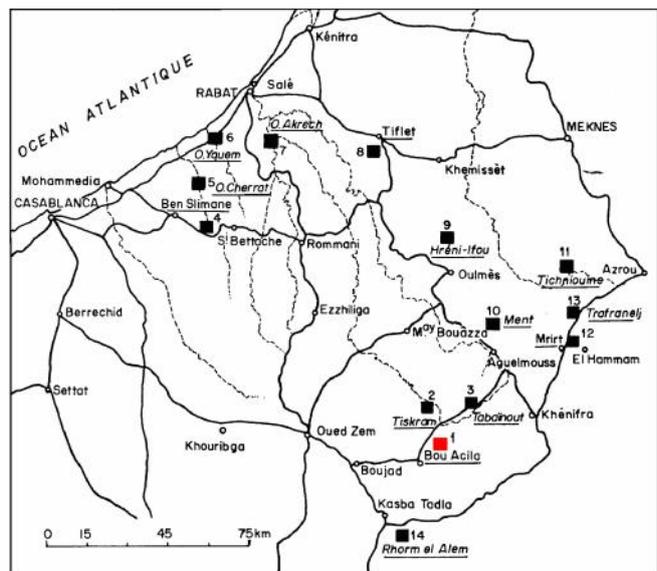


Tableau 1. Principaux gisements de roches ornementales du Maroc central [3]. Les numéros sont donnés sur la carte de la figure 1.

Fig. 1. Schéma de situation des gisements de roches ornementales du Maroc central [3].

## 3 LE GISEMENT DE MARBRE DE BOU-ACILA

### 3.1 CADRE GÉOLOGIQUE

Le gisement du marbre de Bou-Acila se situe dans l'extrême partie sud-est du Maroc central. Il fait partie d'un vaste bombement du socle paléozoïque : l'anticlinorium de Qasbat Tadla – Azrou. Il affleure au niveau de l'anticlinal de Bou-Acila-Ourhdad. Sous les calcaires viséens discordants, les termes les plus bas de la série sont des andésites puis des schistes tufacés verts [4], [5], [6]. Au-dessus, apparaissent des calcaires marmorisés (marbre de Bou-Acila) recouverts par une puissante série volcano-detritique, constituée essentiellement de roches vertes à structure doléritique et à chimisme tholéiitique [7], [8] puis des grès et des conglomérats à éléments volcaniques (Fig. 2). Les couches du marbre présentent un pendage de plus de 60°

WNW et leur puissance peut atteindre 200m. Un âge géorgien à été attribué au marbre de Bou-Acila [4], [6]. La schistosité hercynienne est le seul guide de déformation dans ces roches [9], [10], [11].

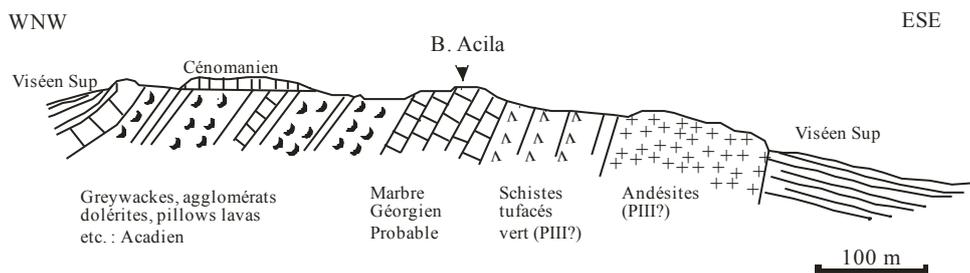


Fig. 2. Coupe géologique de Bou-Acila [4].

### 3.2 ANALYSE DE LA FRACTURATION

Etant donné que la géométrie du réseau des fractures d'un gisement de roches ornementales détermine la forme et le volume des blocs pouvant être extraits, il est essentiel d'en étudier le rôle sur le choix des différentes techniques d'extraction [12], [13].

#### 3.2.1 MACROSTRUCTURE

Le levé des discontinuités sur des blocs de marbre en place nous a permis de collecter une centaine de mesure, La figure 3 en est une illustration statistique. Cette figure montre que nous sommes en présence d'un réseau de fractures très complexe. Deux directions principales de fractures sub-perpendiculaires sont mises en évidence. Les fractures d'orientation N140 à N160 sont de loin les plus nombreuses, suivies de celles se trouvant dans le couloir de directions N20 à N60. Ces mesures nous permettront de proposer des guides d'exploitation que nous détaillerons plus loin.

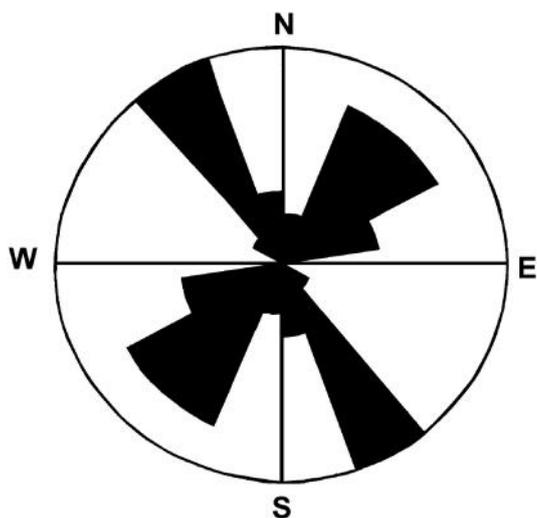


Fig. 3. Distribution statistique des familles de fractures sur un bloc de marbre de Bou-Acila.

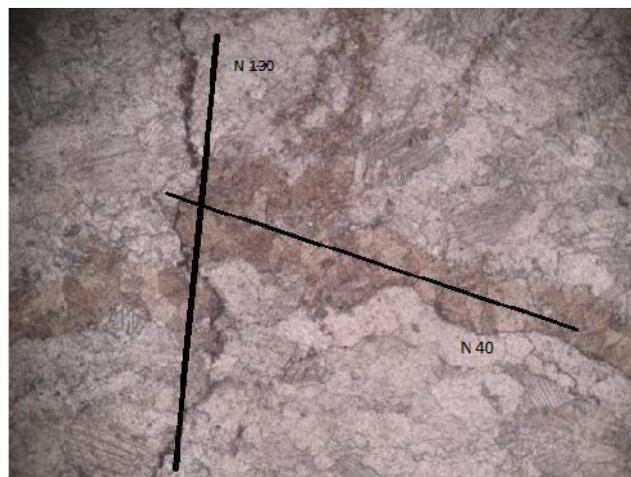


Fig. 4. Les deux familles de fractures observées au microscope polarisant.

### 3.2.2 MICROSTRUCTURE

Dans des lames minces réalisées sur des échantillons orientés, nous constatons que nous sommes en présence de deux familles de fractures : une première famille à remplissage de calcite et de directions N40 et une seconde famille postérieure à la précédente, sans aucun remplissage et d'orientation N130 (fig. 4).

### 3.3 PETROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE

#### 3.3.1 PÉTROGRAPHIE

Le marbre de Bou-Acila est un calcaire affecté par un métamorphisme régional. Quoique plusieurs variétés de colorie et de graphisme sont à distinguer, en lame mince l'ensemble des échantillons, apparaissent très homogènes et sont formées presque exclusivement de calcite (Fig. 5). Quelques traces de quartz et de minéraux opaques sont parfois présentes. Morin en 1960 y signalait la présence de la chlorite et de l'amphibole. La recherche de ces deux minéraux en lame mince ayant été vaine, ce qui nous a incités à effectuer une diffractométrie aux rayons X.



*Fig. 5. Aspect microscopique du marbre de Bou-Acila observé en lumière polarisée et analysée (x4).*

#### 3.3.2 MINÉRALOGIE

Pour une meilleure détermination de la composition minéralogique de notre matériau, nous avons choisi la diffraction au RX de la roche totale. Nous avons utilisé un diffractomètre de type Philips-MPD 3710, équipé d'une anticathode de cobalt ( $\lambda = 1.79$  angström) et d'un monochromateur arrière. Les paramètres d'analyse sont les suivants : générateur, haute tension 40KV, intensité 40 MA ; analyse de  $3.5^\circ$  ( $2\theta$ ) à  $78^\circ$  ( $2\theta$ ).

Les diffractogrammes réalisés sur deux échantillons (lame mince 1 et 2 ; Fig. 6) révèlent, en plus de la calcite, la présence de traces de quartz et de dolomite. Au dépouillement, nous nous sommes retrouvés avec 94,02% de calcite, 4,27% de quartz et 1,71% de dolomite quoique ne pouvant pas passer sous silence quelques opaques rencontrés dans les lames.

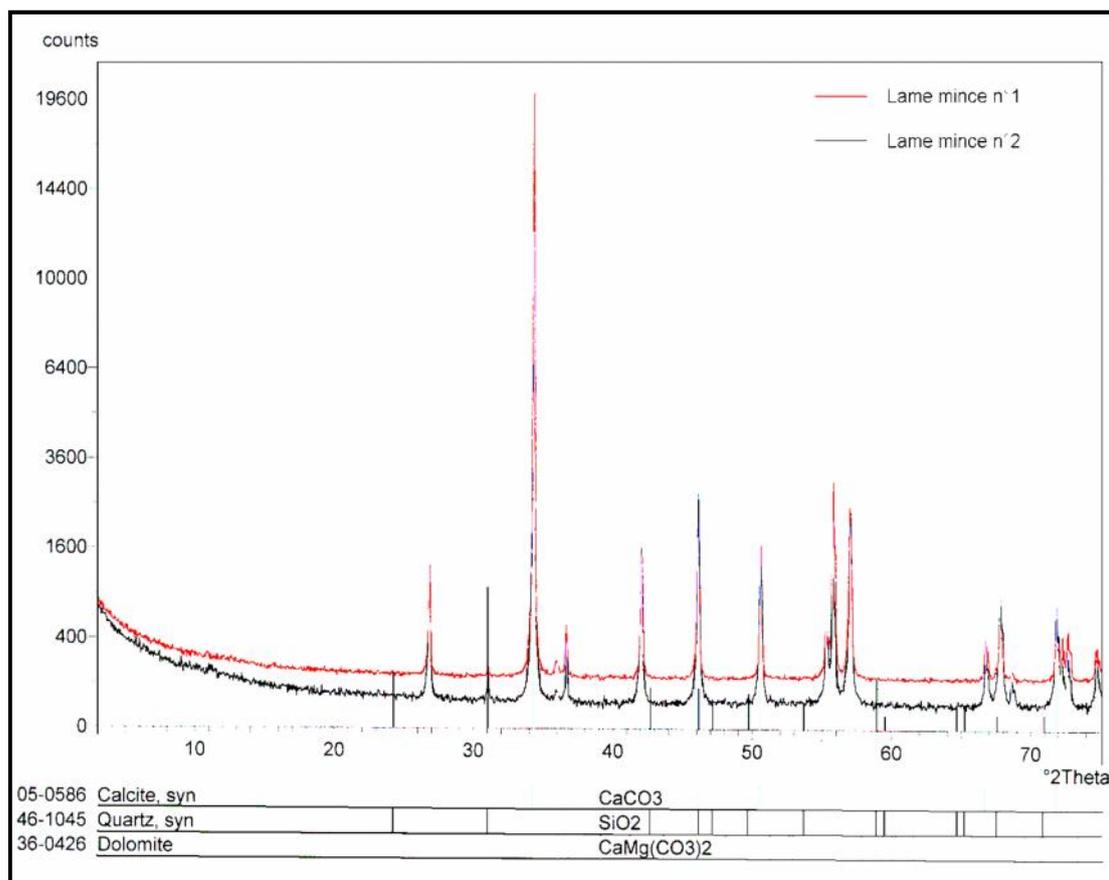


Fig. 6. Diffractogramme type du marbre de Bou-Acila.

### 3.4 CALCIMÉTRIE

Les échantillons prélevés sur la carrière en exploitation nous ont fourni à la calcimétrie, une teneur de 95,25% de calcite (CaCO<sub>3</sub>). Ceci confère au marbre de Bou-Acila une composition essentiellement calcitique et donc un calcaire pur.

### 3.5 PARAMÈTRES PÉTROPHYSIQUES

Il s'agit ici de réaliser quelques essais indispensables pour tester les paramètres spécifiques des pierres naturelles. Les résultats des essais que nous avons réalisés nous permettront de qualifier le marbre de Bou-Acila. Dans tout ce qui suit, les essais sont réalisés sur les trois variétés de colorie de marbre. Trois essais sont réalisés sur chaque échantillon. Les moyennes des différents paramètres qui caractérisent le marbre de Bou-Acila sont consignées dans le tableau 2.

essai	valeur moyenne	appréciation
Densité apparente	2,684	dense
Densité réelle	2,733	dense
Compacité en %	98,21	compacte
Porosité totale en %	1,79	très peu poreux
Porosité efficace en %	0,27	très peu poreux
Absorption d'eau en %	0,18	très peu absorbant

Tableau 2. Caractères pétrophysique du marbre de Bou - Acila

En définitive et à la lecture du tableau 2, on peut conclure que le marbre de Bou-Acila présente des caractéristiques requises pour être utilisé sous n'importe quelles conditions climatiques et dans diverses parties d'une construction. Il peut également servir à la fabrication de divers objets de décoration et d'ornementation. Il est à noter cependant que l'utilisation sous des pluies acide de ce matériau est déconseillée vu sa nature calcaire.

## 4 PROBLÈMES D'EXPLOITATION DU MARBRE DE BOU-ACILA

### 4.1 RÉSERVES ET ATOUTS

Le gisement de Bou-Acila est le plus important gisement de marbre au Maroc. D'après Bouhaoui et al. en 1979, les réserves depuis lors étaient estimées à 9.000.000m<sup>3</sup>. Les réserves actuelles sont encore suffisantes pour susciter une exploitation industrielle. En effet, si les carrières du gisement de Bou-Acila ont été ouvertes depuis 1936, elles ont par contre été fermées en 1965. La réouverture de quelques-unes de ces carrières s'est faite tout récemment pour voir notre marbre débité en granulats.

### 4.2 DIFFÉRENTES VARIÉTÉS DU MARBRE DE BOU-ACILA

On désigne par variété de marbre, toute nuance esthétique qui peut être ressortie lorsqu'on considère des roches de même pétrographie ou des blocs venant d'une même carrière. Ainsi distingue-t-on les variétés graphiques et celles des coloris. Pour le marbre de Bou-Acila, nous avons distingué au total neuf variétés : trois nuances de coloris et trois types de graphisme. Dans la gamme des couleurs, nous avons défini le "blanc rosé", "le blanc" et le "gris clair" (Fig. 7. a, b, c). Les variétés graphiques quand à elles ne représentent que la manifestation de la schistosité. La figure 7 (d, e, f) font ressortir ces différentes variétés que nous désignons par "genoux", "lignes" et "poissons".

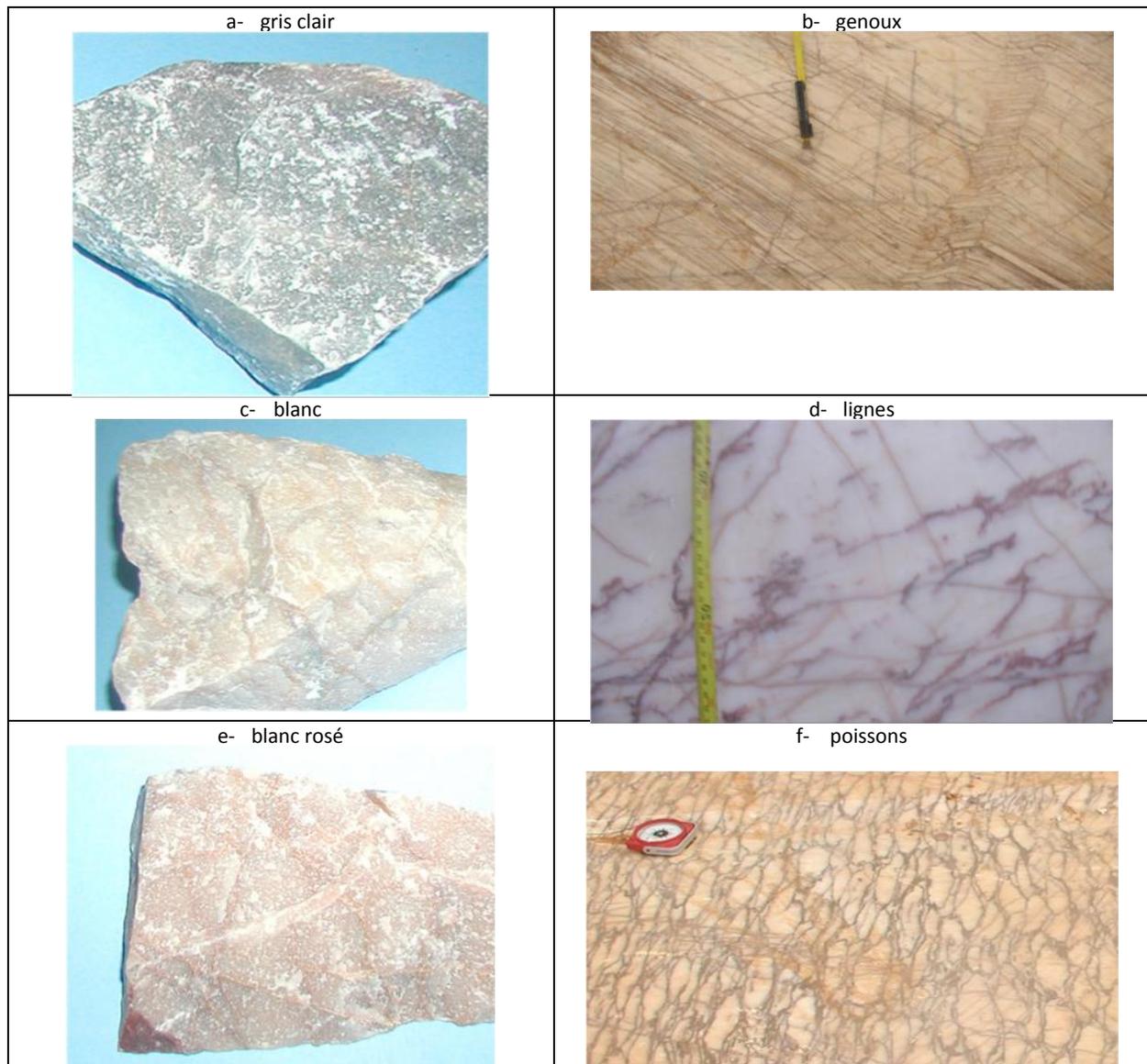


Fig. 7. Les variétés graphiques (Photo 3, 4 et 5) et de coloris (Photo 6, 7 et 8) du marbre de Bou-Acila

### 4.3 GUIDE D'EXPLOITATION

Puisque les fractures réduisent ainsi la rentabilité du gisement, notre étude structurale comme nous l'avons annoncé ci-dessus, visait alors l'amélioration du taux d'extraction des blocs. Après analyse de la figure 3, il ressort que la taille des blocs devrait être faite suivant des directions bien particulières. Ce qui signifie que l'extraction des blocs de carrière à l'explosif doit être proscrite, en effet ce mode d'extraction crée des fractures supplémentaires. Les deux directions de prédilection pour la taille des blocs, puisqu'ils doivent être cubiques ou parallélépipédiques, sont heureusement dans des intervalles étroits. Ce sont les directions N40 et N140 (Fig. 3). L'exploitation de l'étude microstructurale ne se limite pas à la taille des blocs dans la carrière, mais elle se situe également au niveau du débitage des plaques à la marbrerie. Le débitage des plaques doit être fait suivant la direction des fractures non cimentées par la calcite, c'est à dire la direction N130 à N140 (fig.4).

## 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les résultats des essais effectués sur le marbre de Bou-Acila nous ont permis d'affirmer qu'il est de bonne voire très bonne qualité et peut être utilisé en divers matériaux respectant le label de l'art, de la qualité et de la durabilité. Comparé à des marbres reconnus internationalement pour leur qualité (Carrare en Italie et Ruschita en Roumanie) celui de Bou-Acila présente des caractéristiques requises pour être utilisé sous n'importe quelle condition climatique et dans diverses parties d'une construction. Il peut également servir à la fabrication de divers objets de décoration et d'ornementation. L'existence de fractures pose en effet quelques problèmes d'exploitation et de façonnage. L'étude de la fracturation a abouti à la proposition de méthodes et de techniques de travail en vue de l'augmentation de la rentabilité du gisement.

## REFERENCES

- [1] E. A. Hilali, and A. Bouhaouli, « Les substances minérales utiles marocaines et leur impact sur l'économie nationale », *Mines, Géologie et Energie*. Rabat, n°45 ; pp 35-102, 1979.
- [2] A. Abalo, H. Ouali, «Essais de caractérisation du marbre de Bou-Acila (Maroc central) » Comm. Oral. 17ème colloque sur les bassins sédimentaires marocains. Fès, 10-12 octobre 2005.
- [3] A. Bouhaouli, V. Caraman et E. A. Hilali, « Les marbres du Maroc », *Mines, Géologie et Energie*. Rabat, n°45 ; pp 35-102, 1979 [9] A. Allary, A. Levenu and M. Ribeyrolls, «Etude tectonique et microtectonique d'un segment de chaîne hercynienne dans la partie Sud-orientale du Maroc Central» Notes et mémoires du Service Géologique, Maroc, no. 261, 170p, 1976.
- [4] P. Morin, «Les marbres d'origine métamorphique du Maroc Central (géologie et problème d'exploitation) ». *Mines, Géologie et Energie*. Rabat, no 11, pp 31-39, 1960.
- [5] P. Morin, «Les séries volcano-sédimentaires cambriennes du Maroc central », C.R. Acad. Sci. Paris 254, pp.2396 – 2398, 1962.
- [6] Y. Verset, «Mémoire explicatif de la carte géologique du Maroc au 1/100 000, feuille de Quasbat-Tadla, *Notes et Mém. du Service Géologique, Maroc*, n°240 bis, pp 1-132, 1988.
- [7] H. Ouali, « Le paléovolcanisme cambrien de la Meseta marocaine : caractérisation géochimique et implications géodynamiques », *Thèse, Univ. My Ismail-Meknès*, 153p, 2001.
- [8] H.Ouali, B. Briand, J.L. Bouchardon, «Le volcanisme cambrien du Maroc Central : implication géodynamique », C. R. Géosciences, no 335, pp 425-433, 2003.
- [9] H. Termier, « Etude géologique sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional », *Notes et Mém. du Service Géologique, Maroc*, no 33, 1566 p., 1936.
- [10] A. Allary, A. Levenu and M. Ribeyrolls, «Etude tectonique et microtectonique d'un segment de chaîne hercynienne dans la partie Sud-orientale du Maroc Central» *Notes et mémoires du Service Géologique, Maroc*, no. 261, 170p, 1976.
- [11] A. Piqué and A. Michard, "Moroccan hercynides: synopsis. The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of west Africa" *Am. J. Sci.*, no 289, pp 286-330, 1989.
- [12] G. L. Berthoumieux and A. Bouhaouli, « Aspects technico-économiques de l'exploitation des marbre », *Mines, Géologie et Energie*. Rabat, n°45, pp 103-111, 1979.
- [13] D. C. Carreon Freyre, «Influence des discontinuités dans les carrières de roches ornementales sur les méthodes d'exploitation et la récupération du gisement » Thèse de l'école nationale supérieure des mines de Paris, 224p, 1995.