Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 86 (1997)

Artikel: Les marbres blancs : quand la géologie vient au secours de l'archéologie

Autor: Decrouez, Danielle

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308754

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Les marbres blancs: quand la géologie vient au secours de l'archéologie

par DANIELLE DECROUEZ,
Muséum d'Histoire naturelle,
CP 6434, CH-1211 Genève 6.

1. Introduction

Connaître l'origine du marbre blanc employé dans les constructions et les sculptures antiques ou récentes est important pour les archéologues. Ils peuvent ainsi déceler des faux, des copies, des ajouts postérieurs, réassembler des pièces et parfaire la connaissance des échanges dans le monde gréco-romain. Il y a quelques décennies, les archéologues ont pris conscience de la nécessité d'aborder leurs problèmes d'une manière rigoureuse en menant des recherches interdisciplinaires avec des géologues, des géochimistes, des historiens de l'art, etc. Ils sont en effet désarmés devant cette question d'origine des marbres. Ils ne possèdent pas d'inventaire de toutes les carrières qui furent exploitées par les Romains et les Grecs. Leur connaissance sur le commerce du marbre dans l'Antiquité est imparfaite. Et de plus, les œuvres d'art ont souvent eu un parcours que l'on peut qualifier d'anarchique: ventes successives, pillages, etc. Dans la majorité des cas, les éventuels écrits n'apportent qu'une aide infime. En outre, les sculptures sont souvent recouvertes d'une patine qui varie selon le degré d'altération ou encore la façon dont le marbre a été travaillé.

Depuis 1988, le Muséum d'histoire naturelle (D. Decrouez avec la collaboration de P.-A. Proz depuis 1997) et le Musée d'art et d'histoire (J. Chamay) de la Ville de Genève ainsi que l'Institut de géologie de l'Université de Berne (K. Ramseyer, avec la collaboration de V. Barbin de 1988 à 1992 et celle de J. Schmid de 1993 à 1997, et la participation occasionnelle d'U. Menkveld-Gfeller et de J.W. Menkveld) ont développé une méthode particulièrement performante pour rechercher l'origine des marbres blancs: l'étude des marbres avec un microscope de cathodoluminescence (BARBIN et al., 1988, 1989).

En novembre 1997, J. Schmid a présenté à l'Université de Berne une thèse intitulée: «The Genesis of white Marble: Geological causes and archaeological Applications».

Ces recherches ont été soutenues jusqu'en 1997 par le Fonds national Suisse de la recherche scientifique et les organismes cités ci-dessus.

Actuellement, le projet se poursuit grâce au financement assuré par la Ville de Genève et l'Institut de Géologie de l'Université de Berne. Parmi les projets en cours les plus importants, nous citerons: la recherche de l'origine du marbre des statues du Musée des Beaux Arts de Budapest (plus de 300 œuvres) ou encore des pièces provenant de fouilles archéologiques menées par l'Institut d'Archéologie et d'Histoire ancienne de Lausanne.

2. Les marbres blancs

Notre étude ne concerne que les marbres blancs au sens strict du terme c'est-à-dire les calcaires ou les dolomies métamorphisés.

Un calcaire est une roche sédimentaire essentiellement composée de calcite ($CaCO_3$). Une dolomie est une roche sédimentaire dont une grande partie du carbonate se trouve sous forme de dolomite $(Ca,Mg)(CO_3)_2$.

Les calcaires résultent de l'accumulation de squelettes ou de coquilles calcaires de tailles diverses (du visible à l'œil nu à ce qui est seulement observable au microscope électronique). Ils peuvent être cependant en partie ou complètement issus de précipitations chimiques. Lorsque ces calcaires ou ces dolomies sont soumis à l'état solide à de fortes températures et pressions, ils se transforment en marbres. L'augmentation de ces deux paramètres modifie les conditions physiques de la roche et entraîne un changement des textures et des structures originelles ainsi que l'apparition ou la cristallisation de nouveaux minéraux. Un tel phénomène (métamorphisme) se produit toujours lors de la formation d'une chaîne de montagnes. Les marbres du pourtour méditerranéen sont des calcaires ou des dolomies métamorphisés au cours de l'édification de la chaîne alpine qui est la conséquence de la collision entre les plaques continentales européenne et africaine.

Quand les calcaires et les dolomies sont originellement impurs (présence de minéraux autres que la calcite et la dolomite), ils donnent des marbres variés et colorés. Souvent ces derniers sont faciles à identifier, ce qui n'est pas le cas des marbres blancs qui ont été uniformisés, les structures sédimentaires et les fossiles ayant disparu.

Mais étant donné que les sédiments originels des marbres blancs sont différents sur de nombreux points: composition, milieu de dépôt, âge, ancienne situation géographique et histoire géologique, il est logique de penser que chaque marbre a quand même gardé son identité certes difficilement décelable. La cathodoluminescence s'est révélée une méthode très efficace pour résoudre ce type de problème. Quand on travaille avec d'autres techniques qui exigent la plupart du temps de la poudre de roche, on homogénéise encore plus une roche déjà bien homogénéisée. Avec la cathodoluminescence, on travaille sur la roche entière. Ce point mérite d'être souligné car il est particulièrement important. En effet, en respectant la structure de la roche, on peut mettre en évidence de très subtiles différences.

3. Quelques définitions

3.1. La luminescence

C'est l'émission de tout rayonnement électromagnétique visible, ultraviolet ou infrarouge, qui n'est pas d'origine purement thermique. La luminescence s'observe dans les solides, les liquides, les gaz, les substances minérales et organiques. Elle est provoquée de différentes façons. Le préfixe des divers types de luminescence indique la manière dont elle est produite (photoluminescence: irradiation avec des photons ultraviolets ou visibles; électroluminescence: irradiation par application d'un champ électrique; chimioluminescence, bioluminescence, triboluminescence...)

3.2. La cathodoluminescence

La cathodoluminescence est l'émission de lumière après excitation des centres luminogènes d'un objet par des rayons cathodiques (électrons accélérés dans le vide avec une énergie comprise entre quelques centaines d'électrons-volts et environ cinquante kilo-électrons-volts). Ce type de luminescence a de nombreuses applications dans la vie courante: écrans d'oscilloscopes, de microscopes électroniques, de télévision couleurs et noir/blanc, de convertisseurs d'images, etc.

4. Historique

Les phénomènes de luminescence sont connus depuis longtemps. On en trouve des mentions dans la Bible et la mythologie (lucioles, vers luisants, etc). Dès le Xème siècle, les japonais ont utilisé la luminescence des laques qu'ils préparaient à partir de coquilles d'huîtres. En 1604, l'italien V. Cascariolo décrit le premier matériau luminescent synthétique : la «roche de Bologne», l'ancien nom de la baryte. En 1866, Sidot prépara le premier sulfure de zinc luminescent.

La propriété d'émettre de l'énergie sous forme de lumière après bombardement d'électrons de certains minéraux fut décrite pour la première fois par W. Crookes en 1879. Ce dernier et son collègue N. Maskelyne avaient installé dans un tube cathodique : rubis, émeraude, diamant et autres minéraux, et les avaient soumis sous vide à une décharge négative.

La luminescence des minerais d'uranium, en particulier, a conduit E. Becquerel à la découverte de la radioactivité. Pierre et Marie Curie, Albert Einstein, et d'autres s'intéressèrent également à ce phénomène.

Les premières applications de la cathodoluminescence aux objets géologiques remontent au milieu des années soixante. Cette méthode est fréquem-

ment utilisée dans le domaine de la sédimentologie et de la pétrographie afin de rendre visibles des zonations ou des structures reliques dans les cristaux. Depuis quelques années, les applications micropaléontologiques se multiplient.

En archéologie, l'emploi de cette technique pour l'étude des marbres a été proposée sans suite dès 1968 par RENFREW et PEACY. Ces essais de cathodoluminescence furent peu concluants car ils avaient été réalisés avec un appareil ne détectant pas les faibles luminescences et de plus possédant un champ d'observation très réduit. Depuis quelques années, cette méthode connaît un nouveau développement.

5. Le microscope de cathodoluminescence de l'Institut de géologie de l'Université de Berne

Nous utilisons un microscope de cathodoluminescence qui a été mis au point à l'Institut de Géologie de l'Université de Berne (Fig. 1, RAMSEYER et al., 1989). Il présente d'importants avantages comparés à un appareil du commerce.

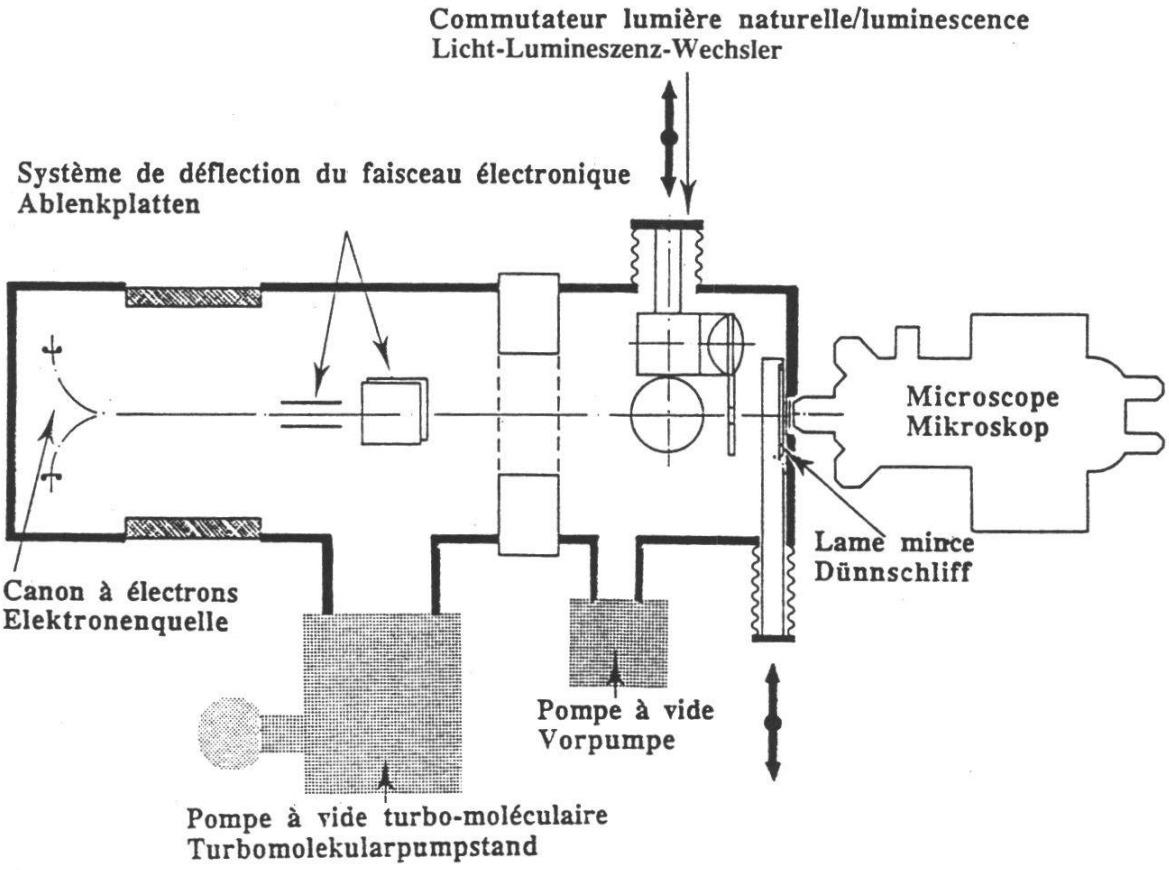

Fig. 1: Schéma de principe du microscope de cathodoluminescence

Les modifications apportées permettent de détecter des luminescences d'intensité si faible qu'il n'est pas possible de les discerner avec un appareil classique.

Les plaques minces sont finement polies (épaisseur de 30 microns) et couvertes d'un film d'aluminium conducteur et transparent. La métallisation augmente l'intensité de la luminescence en raison d'un effet de miroir et de contre-charge de la surface de l'échantillon.

L'intensité de la luminescence est inversement proportionnelle au carré de la distance objet/observateur. L'observation étant faite en transmission, cette distance est réduite. Avec un appareil du commerce, l'observation se fait du même côté que le bombardement, l'objectif est donc plus éloigné de l'échantillon que dans notre cas.

La cathode est une cathode chaude (au lieu d'une cathode froide). Elle permet d'obtenir un courant stable et facile à régler. La tension du faisceau électronique appliquée est de 30 keV et la densité de 0,4 µA/mm2. Le vide est de 10^{-3} Pa. La reproductibilité de la cathodoluminescence sur film photographique (Ektachrome 400 exposé à 800 ASA) est possible car la luminescence ne varie pas durant l'observation.

Un spectrophotomètre permet de quantifier les résultats et en particulier de mettre en évidence les faibles luminescences dans certaines longueurs d'onde (bleu) masquées par une forte luminescence orange. On peut ainsi optimiser nos résultats et parfois lever des ambiguïtés toujours possibles lors de l'emploi d'une seule technique.

6. La banque de données de cathodomicrofaciès

6.1 Définition du cathodomicrofaciès

Le cathodomicrofaciès (BARBIN et al., 1988) est l'image d'une roche, et en l'occurrence d'un marbre, que l'on obtient avec un microscope de cathodoluminescence. L'intensité et la répartition des couleurs des marbres observés avec cette technique, permettent de définir un cathodomicrofaciès généralement caractéristique d'une carrière ou d'une région.

6.2. La banque de données de cathodomicrofaciès

Notre banque de données de cathodomicrofaciès comporte des échantillons prélevés dans les carrières antiques (qui existent encore) et dans les carrières modernes de Grèce, de Turquie, d'Italie, de Suisse, de France, etc. Nous ne négligeons pas les niveaux de marbres blancs qui ne semblent pas avoir été exploités.

Un inventaire exhaustif des carrières antiques est, à l'heure actuelle, impossible à établir.

Les carrières de l'Antiquité étaient beaucoup moins spectaculaires que nos sites d'exploitation actuels qui présentent entre autres des fronts de taille gigantesques. En effet, les techniques employées étaient beaucoup plus précaires que nos moyens mécaniques modernes. L'érosion et/ou l'installation de la végétation ou encore l'implantation d'une nouvelle carrière masquent aujourd'hui les sites. Cependant l'œil averti de l'archéologue peut parfois déceler sur les blocs de marbres épargnés par le temps des traces d'outil et ainsi identifier avec certitude une carrière de cette époque. Les moyens de transport étant limités, les carrières se trouvaient à proximité des localités et des sanctuaires. L'extension des villes a conduit à la construction de maisons, d'édifices ou de routes sur ces lieux.

Certes, nous bénéficions du témoignage des auteurs anciens. Mais les études systématiques sur la recherche des carrières antiques n'ont véritablement débuté qu'au XIXe siècle alors qu'un certain nombre de carrières avaient vraisemblablement déjà disparu. Il faut en outre signaler qu'à ce jour, aucune mesure de protection n'a encore été prise pour préserver les carrières antiques qui existent encore et qui sont menacées par diverses causes.

En 1990, nous avons ainsi découvert dans le massif de l'Hymette une carrière qui semblait encore ignorée des archéologues (Fig. 2, CHAMAY et al., 1991).

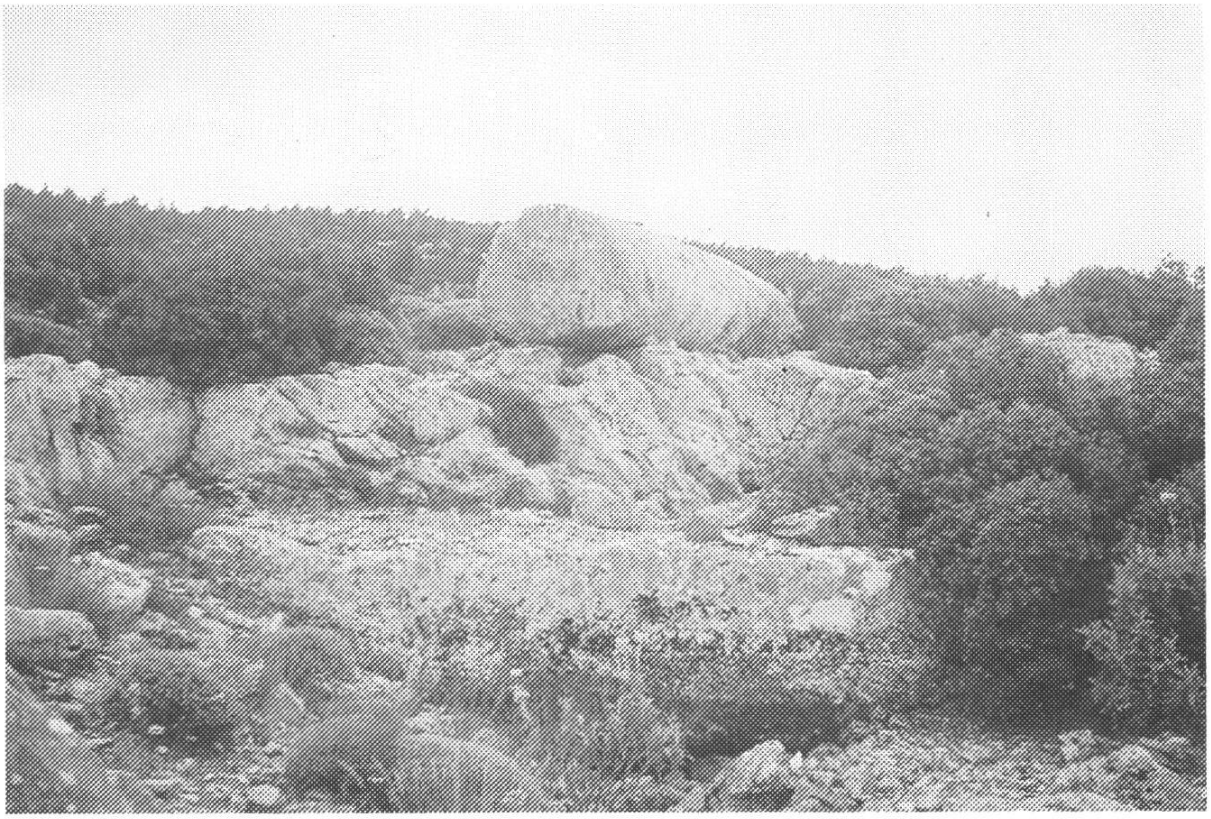

Fig. 2: Carrière de l'Hymette découverte en 1990.

6.3. Quelques descriptions de cathodomicrofaciès

6.3.1. L'île de Thassos (Mer Egée, Grèce)

Les marbres blancs de Thassos sont vraisemblablement d'âge jurassique-crétacé et leur métamorphisme post- ou intra-éocène. Parmi les marbres exploités dans l'Antiquité, deux types de cathodomicrofaciès ont été observés. Le premier, un marbre calcitique, que nous avons appelé Thassos-Aliki, présente de larges cristaux partiellement déformés. La couleur de cathodoluminescence est orange avec une intensité moyenne à forte et elle est uniformément répartie. Le deuxième, un marbre dolomitique, Thassos-Vathy, se reconnaît à sa couleur de luminescence rouge et par une texture légèrement cataclastique.

6.3.2 Les îles de Paros et Naxos (Mer Egée, Grèce)

Les marbres blancs de Paros et de Naxos sont essentiellement d'âge trias-crétacé et leur métamorphisme éocène.

Dans les carrières antiques répertoriées à Paros, deux marbres aux luminescences différentes ont été reconnus : Paros-Stefani (ou Lychnites, le «marbre de neige» de Virgile) qui présente une couleur bleu foncé à bleu-rose de faible intensité alors que Paros-Chorodaki est formé de cristaux dont la taille est plus variable que ceux de Paros-Stefani et qui ont une luminescence faible à moyenne dans les orangé-marron.

A Naxos, plusieurs cathodomicrofaciès ont été distingués. Nous signalerons en particulier celui de Naxos-Flerio (carrière antique dans laquelle se trouve «Ellinas», le kouros de 6,40 m du VIe siècle av. J.-C.) qui montre une luminescence orange homogène et d'intensité moyenne. En outre, la texture de ce marbre est porphyroblastique.

6.3.3. Les marbres du Pentélique (Attique, Grèce)

Les marbres du Pentélique sont toujours exploités et de manière intensive. Leur âge n'est pas clairement déterminé : Mésozoïque ou plus ancien. Le métamorphisme est d'âge éocène.

La luminescence orange a une intensité inégalement répartie. Les limites entre les zones fortement et faiblement luminescentes sont diffuses ce qui donne un aspect de «braises refroidissantes» qui permet de différencier facilement ce marbre parmi d'autres marbres de cette même région.

6.3.4. Les marbres de l'Hymette, d'Aghia Marina et d'Agriletza (Attique, Grèce)

Ces marbres situés près du Pentélique se distinguent aisément des marbres de ce massif. Ceux de l'Hymette présentent des alternances de niveaux

oranges et bleus ou non luminescents. La taille des grains est petite à moyenne. Dans les marbres d'Aghia Marina, on observe une luminescence bleue avec de larges zones oranges. Le marbre d'Agriletza qui a été employé pour la construction du temple du cap Sounion montre une forte luminescence orange.

6.3.5. Les marbres de Carrare (Italie)

La formation récifale d'âge hettangien qui a donné les marbres de Carrare fait partie de la couverture de l'Unité des Apuanes, la plus basse du domaine toscan, dans la partie interne de l'ensemble externe de l'Apennin septentrional. Le métamorphisme est tardi-oligo-miocène.

Les cristaux sont de petite dimension (Fig. 3) et la luminescence est orange homogène, d'intensité moyenne à forte. Ces marbres présentent une très grande homogénéité dans toute la région où ils affleurent (études faites avec D. Daniele de l'Université de Pise).

6.4. Des clés de détermination

Nous avons détecté trois couleurs principales de luminescence: le bleu et l'orange pour les marbres calcitiques, le rouge pour les marbres dolomitiques.

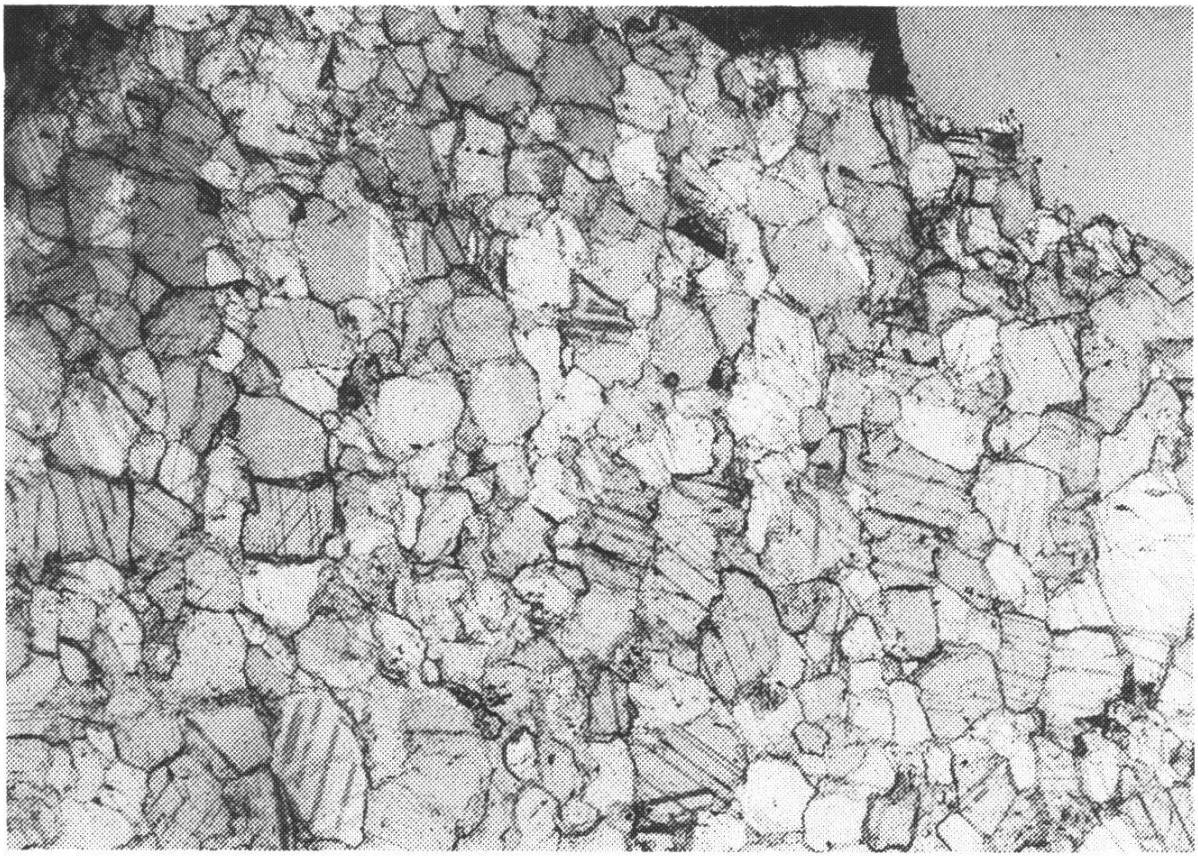

Fig. 3: Marbre de Carrare (microphotographie en lumière transmise).

Trois clés de détermination ont été élaborées par notre équipe de recherche (BARBIN et al., 1992). Elles sont basées sur la couleur de luminescence, son intensité, sa répartition ainsi que sur les valeurs isotopiques. En effet, l'utilisation d'une seule technique pouvant laisser subsister des ambiguïtés, nous avons pris en considération les analyses des isotopes stables du carbone et de l'oxygène (analyses faites par H. Haas de l'Institut de géologie de l'Université de Berne).

Ces clés seront perfectionnées en complétant la banque de données et en ajoutant d'autres paramètres comme par exemple l'analyse quantitative des grains (SCHMID, 1997).

7. Les applications sur des statues ou des sculptures antiques

L'étude avec le microscope de cathodoluminescence et le microscope optique ainsi que les analyses isotopiques exigent peu de matériel. Nous nous efforçons donc de prendre le moins de roche possible (une esquille) et sur une partie qui n'est pas visible quand la pièce est exposée.

Afin d'éviter d'endommager des œuvres, nous recommandons aux archéologues concernés par ce problème de bien vouloir conserver le matériel enlevé notamment lors de travaux de restauration ou de la pose d'une tige de fixation.

8. La fiabilité de la méthode

Notre méthode (étude avec le microscope de cathodoluminescence, analyse des isotopes stables du carbone et de l'oxygène et étude au microscope polarisant) présente une assez bonne fiabilité. Toutefois, dans certains cas, nous devons attirer l'attention de l'archéologue sur le fait que nous ne sommes pas sûrs de notre résultat et que nous lui donnons seulement un lieu de provenance probable. Donner l'origine du marbre d'une œuvre d'art n'est que le point de départ pour d'autres recherches qui seront effectuées par des archéologues, aussi son identification doit-elle être certaine.

Il convient de ne pas vouloir conférer à tout prix une origine pour toutes les pièces analysées, il faut admettre les limites de la méthode.

Résoudre le problème de l'archéologue doit rester une priorité. Par exemple, ce dernier veut parfois seulement savoir s'il s'agit d'un matériel importé ou d'un matériel d'origine locale ou bien s'il s'agit d'un marbre grec ou d'un marbre italien. Nous pouvons alors, dans la majorité des cas, exprimer des résultats d'une grande sûreté.

9. Les futurs développements

Conscients des points faibles de notre outil de détermination, nous allons développer une approche en analyse d'images sur un support électronique (CDR) afin de dégager des paramètres quantitatifs (texture, voir SCHMID, 1997; répartition de la luminescence). Nous envisageons aussi d'ajouter une méthode supplémentaire: l'analyse des éléments-traces.

De plus, notre banque de données qui renferme des marbres provenant de toutes les carrières antiques répertoriées, de carrières modernes et de niveaux qui n'ont fait l'objet d'aucune exploitation, doit encore être élargie. Nous allons parfaire notre échantillonnage dans tout le pourtour méditerranéen et ajouter des marbres extérieurs aux régions exploitées par les Grecs et les Romains.

Résumé

Connaître l'origine du marbre blanc employé dans les constructions et les sculptures antiques est important pour les archéologues. Ils peuvent ainsi déceler des faux, des copies, des ajouts ultérieurs, réassembler des pièces et parfaire la connaissance des échanges dans le monde gréco-romain. Les recherches en vue de discriminer les différents types de marbre blanc remontent à plus d'un siècle mais, difficiles à mener à bien sur les œuvres d'art pour diverses raions, elles sont souvent peu satisfaisantes. Depuis quelques années, nous avons développé une méthode qui s'est révélée particulièrement efficace: la microscopie en cathodoluminescence.

Après avoir exposé les particularités du microscope utilisé, un prototype mis au point à l'Université de Berne, un bref aperçu de la banque de données de cathodomicrofaciès (image d'une roche en cathodoluminescence) est donné. L'étude d'un marbre avec cette seule technique n'étant pas infaillible, des analyses des isotopes stables du carbone et de l'oxygène sont faites. Ainsi, les clés de détermination, établies à ce jour, sont essentiellement basées sur les cathodomicrofaciès et les analyses mentionnées ci-dessus. Le problème de l'échantillonnage des œuvres d'art est évoqué. La fiabilité de la méthode est ensuite discutée et en conclusion, les futurs développements de notre recherche sont présentés.

10. Bibliographie

BARBIN, V., RAMSEYER, K., DECROUEZ, D., HERB, R., MOENS, L., DE PAEPE, P. et WAELKENS, M.: Caractérisation des marbres blancs par cathodoluminescence. 12e Réunion des Sciences de la Terre, Lille, Soc. Géol. Fr. édit. 9B (1988).

– –, V., RAMSEYER, K., DECROUEZ, D. et HERB, R.: Marbres blancs: caractérisation par cathodoluminescence. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris (II) 308, 861-866 (1989).

– –, V., RAMSEYER, K., DECROUEZ, D., BURNS, S.J., CHAMAY, J. et MAIER, J.-L.: Cathodoluminescence of white marbles: an overview. Archaeometry 34/2, 175–183 (1992).

CHAMAY, J., DECROUEZ, D., LEKKAS, A. et LEKKAS, S.: Une carrière antique dans le massif de l'Hymette (Attique, Grèce). Musées de Genève 310, 6–12 (1991).

RAMSEYER, K., FISCHER, J., MATTER, A., EBERHARDT, P. et GEISS, J.: A cathodoluminescence microscope for low intensity luminescence. J. Sediment. Petrol. 59/4, 619-622 (1989).

RENFREW, C. et PEACY, J.S.: Aegean marble: a petrological study. Annals of the British School Athens 63, 45-66 (1968).

SCHMID, J.: The Genesis of white Marble: Geological causes and archaeological Applications. Thèse Université de Berne (1997).