



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 1061–1070



Géomatériaux

Structure et caractérisation des matériaux utilisés dans la construction d'une mosaïque romaine de la cité de Volubilis (Maroc)

Abdelilah Dekayir^{a,*}, Marc Amouric^b, Juan Olives^b, Claude Parron^c, Abdelilah Nadiri^d, Abdelkader Chergui^e, M. Abdeljalil El Hajraoui^e

^a GeoCube Group, département de géologie, BP 4010, Bni M'hamed, Meknès, Maroc

^b CRMC2/CNRS, campus universitaire de Luminy, case 913, 163, av. de Luminy, 13288 Marseille cedex 09, France

^c Laboratoire de géosciences de l'environnement, Cerege, Europôle méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France

^d UFR-SMI, département de chimie, BP 4010, Bni M'hamed, Meknès, Maroc

^e Direction du patrimoine culturel, ministère des Affaires culturelles, Rabat, Maroc

Reçu le 7 octobre 2003 ; accepté le 22 mars 2004

Présenté par Georges Pédro

Résumé

La cité romaine de Volubilis est connue pour ses belles mosaïques. Une mosaïque romaine est formée de trois couches, qui sont, de la base vers le sommet : (i) une couche dite « hérisson », (ii) une couche de mortier grossier (*rudus + nucléus*) et (iii) une couche de motifs rocheux appelés « tesselles », fixés par un liant fin ou bain de pose, l'ensemble constituant le *tesselatum*. Le mortier grossier prélevé dans la mosaïque de Flavius Germanus est constitué de quartz et de calcite, avec du feldspath et, probablement, du mica et de la dolomie en faibles quantités. Le liant fin est formé de calcite et de quartz. Les tesselles calcaires (blanche, marron et rose) montrent un faciès pétrographique qui va du calcaire micritique au calcaire oolithique. En revanche, les tesselles noires et rouge brique ont été confectionnées respectivement à partir de marbre et de grès rouge. D'autres tesselles, de couleur rouge, ont été faites à base de terre cuite. Les autres couleurs, comme le jaune, le bleu, le vert et le gris, ont été obtenues par des pâtes de verre artificiel de compositions chimiques différentes. **Pour citer cet article : A. Dekayir et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Structure and characterisation of the materials used in the building of Roman mosaics in Volubilis City (Morocco). In Volubilis, Roman mosaics are very beautiful and reveal, from the bottom to the surface, three layers: (i) 'hedgehog' layer, (ii) coarse grain mortar layer (*rudus + nucleus*) and (iii) *tesselatum*. Mineralogical analysis of coarse grain mortar sampled in Flavius Germanus mosaic shows that it consisted of quartz and calcite, with some feldspar and probably mica and dolomite.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : dekayir@fsmek.ac.ma (A. Dekayir).

Fine-grained mortar in tessellatum is made from a mixture of calcite and quartz only. Limestone tesserae (white, pink and brown) show petrographic facies that change from micritic to oolitic limestone. Conversely, black and brick red tesserae are respectively made of marble, red sandstone and from fire clay. Other colours as yellow, blue, green and grey are obtained from artificial glass with different chemical compositions. **To cite this article:** A. Dekayir et al., C. R. Geoscience 336 (2004). © 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Volubilis ; mosaïque romaine ; altération ; tesselle ; mortier ; Maroc

Keywords: Volubilis; Roman mosaic; weathering; tesserae; mortar; Morocco

Abridged English version

1. Introduction

Volubilis is located 30 km far from Meknes City. It contains religious, politic monuments, houses and baths that are mainly decorated with *opus tessellatum* type mosaics (i.e. tesserae of equal size) (Fig. 1). In spite of their exposition to weathering for a long time, some of these mosaics remain well conserved. In order to develop the conservation and restoration of these mosaics, a good knowledge of the nature and characteristics of initial rocks and mortars used to build these mosaics is very important. So this work aims to study the petrological, mineralogical and geochemical characteristics of materials used in the building of these mosaics.

2. Material and methods

From the bottom to its surface, a Roman mosaic consists of: (a) a 'hedgehog' layer, (b) a coarse-grained mortar layer (*rudus*+*nucleus*) and (c) *tessellatum* (tesserae and a fine grain mortar layer) [9] (Fig. 2A). The coarse and fine-grained mortars (FGMG, FGLF) are sampled from Flavius Germanus (FG) house mosaics. Rock and glass tesserae of different colours are collected from FG and Epebe House mosaics. Petrographic and mineralogical studies were done under using both binocular and SEM microscope. Mortar samples were analysed by X-ray diffraction (XRD) and FT-transmission infrared spectroscopy (FT-IR). Chemical analysis of tesserae and mortars has been done by ICP.

3. Results

3.1. Petrography of tesserae

Mosaic is globally built of a mixture of tesserae of different colours. The size of tesserae varies from 1 cm, for rock tesserae, to less than 1 mm for glass tesserae. In house mosaics with complex artistic design, the size of tesserae is also fine-grained.

3.1.1. Rock tesserae. In most mosaics, white limestone rock tesserae represent a great percentage. They are made of radial ooliths linked by sparite (Fig. 2B (a); Table 1a). Some relics of foraminifera have been found. In limestone brown tesserae, ooliths are not well individualised and are coloured by Fe of diagenetic origin. Red brick tesserae are made of calcitic sandstone in which quartz grains are cemented by calcite. Colour of limestone tesserae depends on their iron contents (Table 1a). Black and white-onyx tesserae consist of marble rock origin. In details, petrographic observations of these tesserae show that they are made of calcite with some feldspars minerals. In onyx tesserae, calcite is coarse-grained with rare feldspar and muscovite (Fig. 2B (g)).

3.1.2. Glass tesserae. As others colours were needed, Roman artists have prepared some artificial glass with yellow, blue, green and grey colours. Studied glass show chemical compositions dominated with (i) Si and Pb for dark green, (ii) Si and F for grey, (iii) Si and Na for yellow and (iv) Si and Ca for blue glass, respectively (Table 1b).

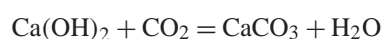
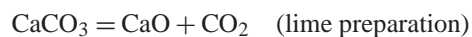
3.2. Mineralogy of coarse- and fine-grained mosaic mortar

XRD analysis of FG coarse-grained mortar shows dominance of quartz, calcite and some feldspar and probably mica and dolomite (Fig. 3a). In the mosaic

of Gallien's bath frigidarium, mortar mainly consists of quartz, calcite, feldspar and some kaolinite. XRD and FT-IR spectra of fine-grained mortar show the presence of calcite and quartz without feldspar or mica (Figs. 3b and 4b). This mineralogy is justified by the given chemical data of the two mortars (Table 1a).

4. Discussion and conclusion

Roman mosaics in Volubilis are made of the same materials. White, pink, brown tesserae are made of oolitic limestone and brick red ones of calcitic sandstone. These natural materials occur near Volubilis in Aalenian and Bajocian geological formations [4]. Since black and onyx marbles are absent in this region, they are probably imported from others countries or from others geological occurrences of Middle Atlas, as indicated by Quaternary basaltic millstones present in Volubilis. In these mosaics, other tesserae (yellow, blue, green and grey) made from artificial glass and from fired clay have been used. Mineralogy of fine- and coarse-grained mortars is similar, with variable quartz/calcite ratio. The studied mosaic mortars are built of lime. Chemical reactions involved in the preparation of lime and the consolidation of mortars are:



(mortar consolidation and carbonation of matrix)

Roman mosaics are precious masterpieces. Since this site has been listed among the cultural heritage by UNESCO in 1997, it has been the object of a special care. The results acquired in this work are of a great importance in the understanding of the weathering process and awareness of these mosaics.

1. Introduction

La cité antique de Volubilis est située à environ 30 km au nord de la ville de Meknès (Fig. 1). Les premiers indices de l'existence de cette cité remontent au III^e siècle av. J.-C. Vers le II^e siècle av. J.-C. elle faisait partie du royaume maurétanien qui se formait en Afrique du Nord et qui, en l'an 40, était annexé par

Rome. Au III^e siècle, Volubilis fut abandonnée après la chute de l'empire romain [8]. Volubilis renferme des monuments politiques, religieux, des demeures et des thermes décorés avec des mosaïques et des fontaines (Fig. 1). Cette cité a été construite sur les marnes miocènes du sillon sud-rifain et se trouve entourée par des terrains essentiellement marno-calcaires et gréseux, d'âge Méso-Cénozoïque, qui ont fourni l'essentiel des matériaux pour la construction des monuments et des mosaïques. Malgré leur longue exposition aux différents agents d'altération, certaines de ces mosaïques demeurent bien conservées (maison de Vénus, maison d'Orphée, maison des Quatre-Saisons, etc.). La plupart des études concernant ce site ont été consacrées aux aspects historique, urbanistique et architectural [8]. Les études dédiées à la caractérisation des matériaux de construction des mosaïques romaines sont rares [3]. Afin d'entreprendre des opérations de conservation et de restauration de ces mosaïques, une parfaite connaissance de leur structure et des matériaux naturels de base ayant servi à leur construction s'avère nécessaire. Ainsi, l'objectif de ce travail est de déterminer les différentes parties qui constituent ces mosaïques (pavements) et d'étudier les caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et chimiques des différents matériaux qui ont servi à leur construction.

2. Les mosaïques romaines de Volubilis

À Volubilis, les mosaïques sont associées principalement aux demeures et aux thermes. Une revue détaillée des différentes mosaïques est donnée dans la référence [6]. Ces mosaïques, dites de style *opus tessellatum* [3], sont réalisées à l'aide de petits fragments rocheux ou vitreux de couleurs différentes, dits *tesselles* (Fig. 2A). Le volume de ces dernières varie de quelques millimètres cube pour les verres, à environ 1 cm³ pour les calcaires. Les tesselles de petite taille sont souvent utilisées par les artistes romains pour approcher dans le détail un schéma donné [3]. Rares sont les mosaïques de style *opus vermiculatum* (mosaïques formées de tesselles de tailles différentes). Les tesselles à base de roches, des mosaïques présentent des couleurs noire, blanche, marron, rouge, rose et grise. Des verres artificiels, de couleurs bleue, verte, grise et jaune, ont été également utilisés.

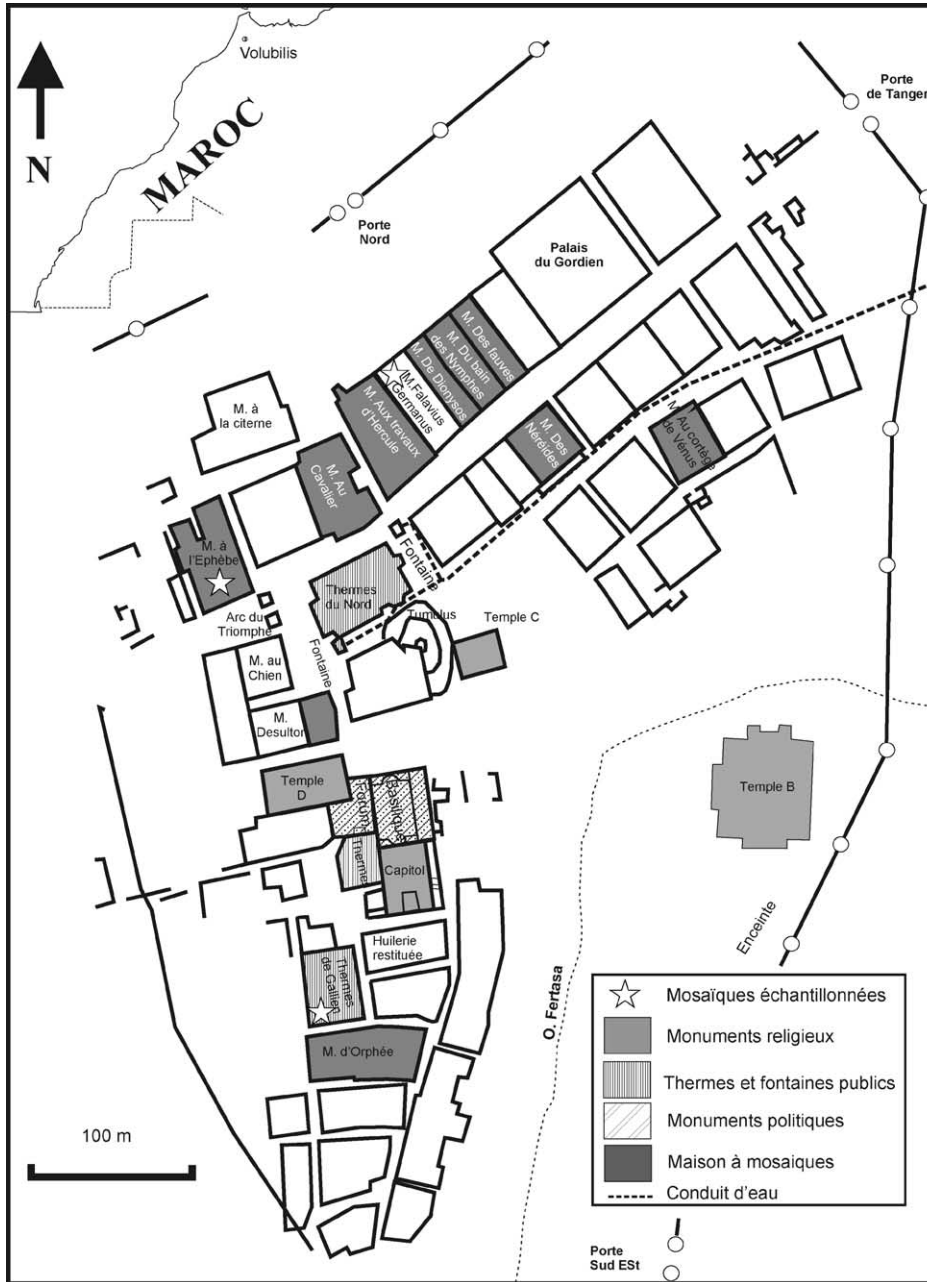


Fig. 1. Plan de la cité de Volubilis et localisation des points de prélèvement.
 Fig. 1. Map of Volubilis City and situation of the samples.

3. Matériaux et méthodes

Les mosaïques romaines de Volubilis possèdent des caractéristiques structurales semblables. Des échan-

tillons de mortier ont été prélevés dans la mosaïque de la maison de Flavius Germanus (FG) (mortier grossier FGGM et liant fin FGLF) et dans les vestiges de la mosaïque des thermes de Gallien (TG) (mortier gros-

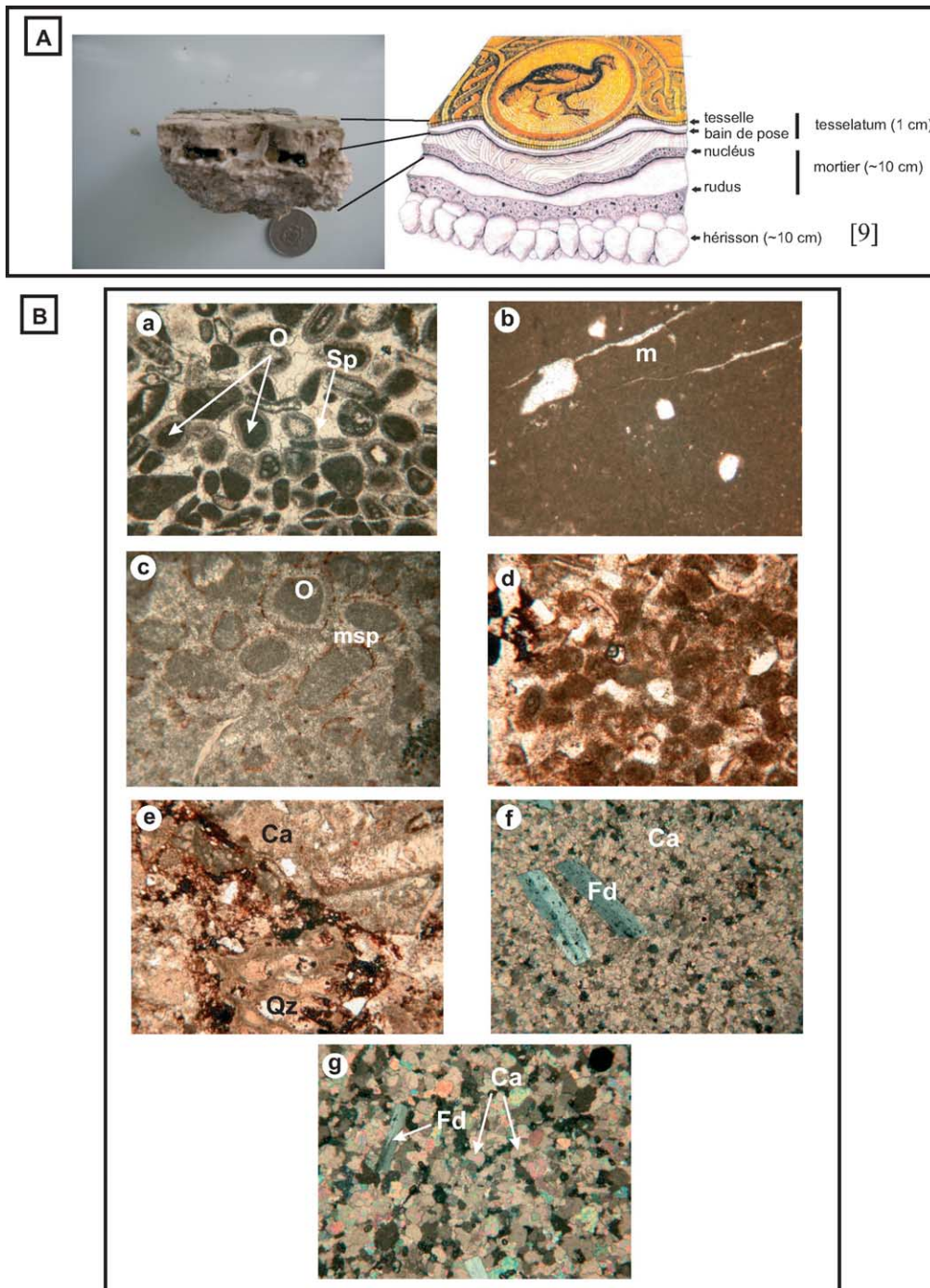


Fig. 2. (a) Structure d'une mosaïque romaine (A) et pétrographie des tesselles utilisées (B) : (a) TSBL ($\times 4$), (b) TSBL bis ($\times 4$), (c) TSRZ ($\times 10$), (d) TSMR ($\times 10$), (e) TSRB ($\times 4$), (f) TSNR ($\times 10$), (g) TSBO ($\times 4$) (O : oolithe, Ca : calcite, Fd : feldspath, M : micrite, Qz : quartz, Sp : sparite, Msp : microsparite).

Fig. 2. Structure of a Roman mosaic (A) and petrography of tesserae (B): (a) TSBL ($\times 4$), (b) TSBL bis ($\times 4$), (c) TSRZ ($\times 10$), (d) TSMR ($\times 10$), (e) TSRB ($\times 4$), (f) TSNR ($\times 10$), (g) TSBO ($\times 4$) (O : oolithe, Ca : calcite, Fd : feldspar, M : micrite, Qz : quartz, Sp : sparite, Msp : microsparite).

sier TGMG). Des échantillons de tesselles à base de roches (blanche TSBL, rouge brique TSRB, marron TSMR, rose TSRZ, noire TSNR, blanc onyx TSBO), de terre cuite TSTC et de verres artificiels (gris TSG, vert foncé TSVF, vert TSV, bleu TSB et jaune TSJ), représentatifs de l'ensemble des matériaux utilisés dans la décoration, ont été récoltés dans les mosaïques des maisons de Flavius Germanus et de l'Éphèbe (Fig. 1).

Des lames minces pétrographiques de ces échantillons de tesselles ont été réalisées, puis observées au microscope optique. Le mortier grossier et le liant fin ont été caractérisés par diffraction des rayons X (Philips PW 3710). Les diffractogrammes ont été acquis à l'aide du programme *Analysis Powder Diffraction* (Cerege, Marseille). Ces derniers échantillons ont été analysés également par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR; Brukers-Equinox 55) (Cerege, Marseille), pilotée par le programme *Opus*. Des observations détaillées du mortier grossier et du liant fin, ainsi que des verres artificiels, ont été effectuées au microscope électronique à balayage JEOL 6320 F, couplé à une sonde de microanalyse EDX (CRMC2, Marseille). Les analyses chimiques des tesselles et des mortiers étudiés ont été réalisées par ICP.

4. Résultats

4.1. Structure d'une mosaïque romaine

Une mosaïque romaine est un ouvrage formé de différentes unités, qui sont, de la base vers le sommet [9] (Fig. 2A) :

- (a) ***couche hérisson*** : repose directement sur le sol ; elle est épaisse d'une dizaine de centimètres et formée par l'assemblage de cailloux calcaires pour stabiliser le sol ;
- (b) ***couche de mortier grossier (rudus + nucléus)*** : épaisse d'une dizaine de centimètres et repose sur la couche hérisson ; elle est de couleur blanc grisâtre et parsemée de taches blanches riches en calcite et montre une granularité grossière ;
- (c) ***couche de tesselles (tesselatum)*** : d'épaisseur centimétrique, elle représente la mosaïque proprement dite ; elle est disposée sur le mortier grossier et formée d'un assemblage de tesselles, col-

lées entre elles et au mortier grossier par un liant (*bain de pose*) de granularité fine.

4.2. Pétrographie des tesselles

La surface des mosaïques est formée par l'assemblage de tesselles, de tailles et de couleurs différentes. En effet, la taille de ces tesselles varie de quelques millimètres pour celles à base de marbre et de verre à 1 cm pour celles à base de calcaire. Dans les mosaïques des demeures, la taille des tesselles est d'autant plus petite que les schémas artistiques sont plus complexes. En revanche, dans les mosaïques des thermes et des passages entre les demeures, l'architecture des mosaïques est simple et la taille des tesselles est grossière.

4.2.1. Tesselles à base de roches

Dans la plupart des mosaïques, les tesselles de couleur blanche sont abondantes. Elles sont généralement taillées dans des calcaires oolithiques de type *packstone* (Tableau 1a). On y observe des oolithes de quelques centaines de microns de diamètre, de forme radiale, et des pelotes noires ovoïdes, liés par un ciment blanc sparitique (Fig. 2B (a)). Des coquilles de foraminifères ont également été révélées. D'autres tesselles, à base de calcaire blanc mat, sont aussi présentes dans ces mosaïques. Elles sont peu abondantes et représentées par du calcaire micritique de type *mudstone* (Fig. 2B (b)).

Les tesselles de couleur rose sont également des calcaires oolithiques. Les oolithes, de taille plus grande, sont cimentés par de la microsparite à enduit ferrugineux (Fig. 2B (c)) qui donne à ces tesselles leur couleur rose. Des restes de gastéropodes sont présents.

Les tesselles de couleur marron sont à base de calcaire. Les oolithes y sont mal individualisés. Le ciment sparitique primaire ainsi que les oolithes sont complètement imprégnés d'oxydes de fer, probablement liés à des circulations diagénétiques tardives (Fig. 2B (d)). Cette imprégnation ferrugineuse est responsable de la couleur de ce calcaire (Tableau 1a).

Les tesselles de couleur rouge brique sont formées d'un calcaire gréseux ; celui-ci est constitué de grains de quartz anguleux, liés par un ciment calcaire brun, avec localement des taches brun noirâtre très riches en hématite, ce qui confère la couleur rouge brique à ce faciès (Tableau 1a). Il s'agit d'un faciès très fossilifère, avec des restes de mollusques (Fig. 2B (e)).

Tableau 1

Couleur, faciès et composition chimique des différents types de tesselles, du mortier grossier et du liant fin utilisés dans la construction d'une mosaïque romaine. (a) Tesselles à base de roches et mortiers; (b) tesselles à base de verres artificiels

Table 1

Colour, facies, and chemical composition of various tesserae, coarse-grained mortar and fine-grained mortar in the building of a Roman mosaic. (a) Rock tesserae and mortars; (b) glass tesserae

(a)

Composition chimique	FGMG	FGLF	TSBL (blanche)	TSRZ (rose)	TSMR (marron)	TSRB (rouge brique)	TSBO (blanche)	TSNR (noire)
Faciès	mortier grossier	mortier fin	calcaire oolithique	calcaire oolithique	calcaire oolithique	calcaire gréseux	marbre	marbre
Minéraux	calcite, quartz, feld., mica	calcite, quartz	calcite	calcite	calcite	quartz, calcite	calcite, feld., muscovite	calcite, feld., muscovite
SiO ₂	35,63	14,36	6,71	1,25	8,5	13,53	4,77	4,33
Al ₂ O ₃	3,21	2,39	1,85	0,92	2,43	2,21	1,83	1,51
Fe ₂ O ₃	1,19	0,85	0,59	0,29	2,46	4,93	0,52	0,48
MnO	0,03	0,02	0,01	0,01	0,07	0,08	0,02	0,01
CaO	30,29	44,38	51,78	57,23	47,1	43,73	46,71	51,76
MgO	0,56	0,35	1,43	0,41	0,8	0,71	4,45	1,17
Na ₂ O	0,2	0,15	0,07	0,06	0,12	0,23	0,61	0,09
K ₂ O	0,93	0,5	0,2	0,11	0,43	0,42	0,28	0,23
TiO ₂	0,16	0,1	0,07	0,02	0,11	0,15	0,1	0,05
P ₂ O ₅	0,41	0,55	0	0	0,64	0,2	0,4	0
LOI	26,75	36,98	38,1	39,7	38,15	34,63	40,32	41,93
Total	99,36	100,63	100,81	100	100,81	100,82	100,01	101,56

(b)

wt (%)	Tesselles à base de verres artificiels				
	TSVF (vert foncé)	TSJ (jaune)	TSV (verte)	TSB (bleu)	TSG (gris)
Si	48,18	57,6	57,62	60,71	40,28
Pb	23,82	10,06	5,56	4,18	2,13
Al	3,47	4,57	3,62	1,53	2,62
Ca	8,91	11,44	11,42	15,29	6,79
Na	15,62	16,32	16,36	13,15	11,06
Cl	–	–	3,11	3,06	1,58
K	–	–	2,3	0,59	0,64
F	–	–	–	–	36,55

D'autres tesselles rouges à base de terre cuite ont été utilisées.

Les tesselles noires et blanc onyx proviennent de marbres. Les tesselles noires contiennent essentiellement des minéraux de calcite de petite taille, entourant quelques minéraux de feldspath alcalin (Fig. 2B (f)). Les tesselles de couleur blanc onyx sont faites de marbre blanc, constitué principalement de calcite à grains grossiers et de rares minéraux de feldspath alca-

lin et de muscovite (Fig. 2B (g)). Comparé au marbre noir, le faciès blanc onyx est plus riche en Mg et en Al (Tableau 1a).

4.2.2. Tesselles à base de verres artificiels

Pour décorer les mosaïques avec des couleurs différentes et plus vives que celles offertes par les roches, les artistes romains ont également préparé des pâtes de verre artificiel, de couleurs jaune, bleu,

verte et grise. Ces verres artificiels présentent des compositions chimiques dominées par (i) Si et Pb, pour le verre vert foncé, (ii) Si et F pour le verre gris, (iii) Si et Na, pour le verre jaune et (iv) Si et Ca pour le verre bleu (Tableau 1b).

4.3. Minéralogie du mortier grossier et du liant fin

4.3.1. Le mortier grossier

Le mortier grossier montre une granularité grossière. L'analyse par diffraction des rayons X du mortier échantillonné dans la maison de FG montre qu'il

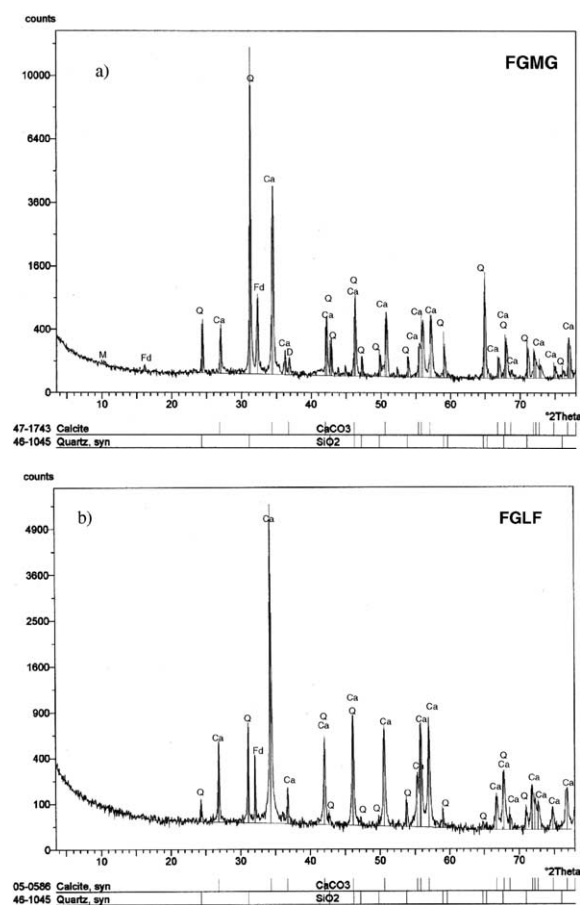


Fig. 3. Spectres de diffraction des rayons X du : (a) mortier grossier (FGMG) et (b) du liant fin (FGLF) (Q : quartz ; Ca : calcite ; D : dolomie ; F : feldspath ; M : Mica).

Fig. 3. XRD patterns of (a) coarser-grained mortar (FGMG) and (b) fine-grained mortar (FGLF) (Q: quartz; Ca: calcite; D: feldspar; M: mica).

est formé principalement de quartz et de calcite, avec des traces de feldspath et probablement du mica et de la dolomie (FGMG, Fig. 3a). Le mortier grossier analysé dans le pavement de la mosaïque des thermes de Gallien montre une présence significative de la kaolinite, en plus de la calcite et du quartz. L'analyse infrarouge du mortier FGMG fait apparaître les bandes de vibration de la calcite (1797 cm^{-1} , 1427 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 712 cm^{-1}) et de quartz (1034 cm^{-1} , 778 cm^{-1} , 796 cm^{-1}) [2], de la kaolinite (3695 cm^{-1} , 3620 cm^{-1} , 1034 cm^{-1} , 796 cm^{-1} , 767 cm^{-1}) et d'acides humique et fulvique liés à une activité racinaire quelconque (2982 cm^{-1} , 2924 cm^{-1} , 2913 cm^{-1} , 2874 cm^{-1}) (Fig. 4a).

4.3.2. Le liant fin

L'analyse minéralogique par diffraction de rayons X et infrarouge du liant fin (FGLF) montre des spectres superposables à ceux du mortier grossier (Figs. 3b et 4b). Il est formé de très petits grains de quartz, cimentés par de la calcite. À la différence du mortier grossier, ce liant est plus riche en calcite

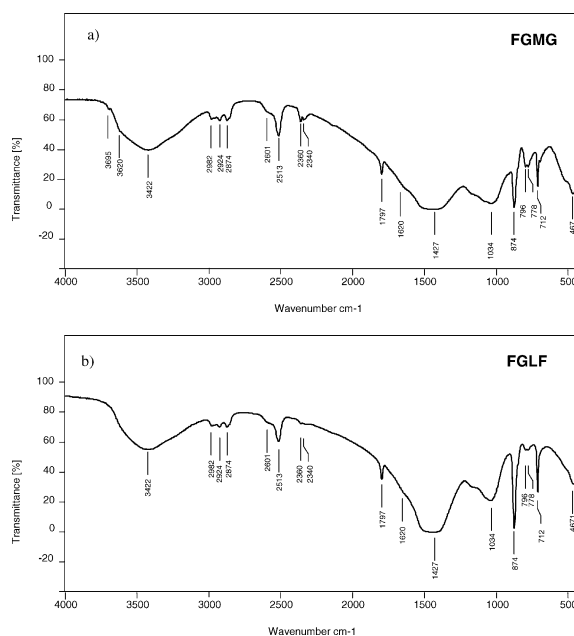


Fig. 4. Spectres infrarouges du : (a) mortier grossier (FGMG) et (b) du liant fin (FGLF) (voir texte).

Fig. 4. FT-IR spectra of (a) coarser-grained mortar (FGMG) and (b) fine-grained mortar (FGLF) (see text).

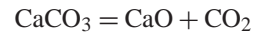
qu'en quartz, comme en témoigne l'analyse chimique (Tableau 1a).

5. Discussion et conclusion

Les mosaïques romaines de Volubilis sont constituées des mêmes matériaux. Elles sont formées, de la base vers le sommet, d'une couche *hérissée*, d'une couche de mortier grossier et d'une couche de tesselles fixées par un liant fin, à base de chaux. Ces tesselles proviennent de roches de couleur et de faciès différents, représentées principalement par du calcaire oolithique (blanc, marron, rose), de calcaire gréseux (rouge brique), de marbres blanc onyx, noir, de verre artificiel et de terre cuite. Les différentes couleurs des tesselles calcaires sont en étroite relation avec les teneurs en fer de la roche. Les calcaires ayant probablement servi à la confection des tesselles sont abondants dans les formations géologiques aalénienne et bajocienne de Jbel Zerhoun, qui entourent cette cité dans un rayon de 4 à 5 km [4]. En revanche, les marbres noirs et blanc onyx sont inexistant dans l'environnement géologique de Volubilis et ont probablement une origine externe. Ces roches peuvent provenir d'un autre pays, ou bien des formations géologiques du Maroc central et du Moyen Atlas, comme c'est le cas pour les meules de basalte vacuolaire d'âge Quaternaire, utilisées dans les huileries. Les verres artificiels ont été élaborés pour produire les couleurs bleue, verte, jaune et grise. Les compositions chimiques des verres sont responsables des couleurs obtenues.

L'analyse minéralogique du mortier grossier et du liant fin montre qu'ils sont constitués principalement de quartz et de calcite selon différentes proportions (avec des traces de feldspath et probablement du mica et de la dolomie). La matrice dans le mortier grossier et dans le liant fin est représentée essentiellement par de la calcite. Celle-ci est le produit de la carbonatation de la chaux utilisée dans la préparation du mortier. La chaux, une fois mélangée avec de l'eau et gâchée avec du sable, possède la propriété de faire prise rapidement, en agglomérant des particules inertes, telles que le quartz [7]. Les réactions chimiques qui interviennent dans la préparation de cette dernière, dans la prise du mortier et dans la carbonatation du liant, sont [1] :

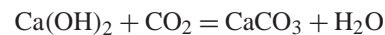
(i) préparation de la chaux vive par incinération du calcaire entre 900 et 1000 °C :



(ii) préparation de la chaux éteinte (portlandite) par mélange de la chaux vive avec de l'eau :



(iii) carbonatation de la phase liante :



Les mosaïques romaines de Volubilis sont des chefs-d'œuvre précieux. Depuis son classement sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco en 1997, cette cité ne cesse de bénéficier d'une attention particulière. Les artistes romains ont utilisé les formations géologiques qui entourent la cité pour construire et décorer leurs mosaïques avec différentes couleurs. La présence de verres artificiels dans ces mosaïques montre le savoir-faire acquis par les Romains dans le domaine de la céramique. Les résultats obtenus dans ce travail permettent de mieux comprendre les processus d'altération et de dégradation de ces mosaïques et d'y apporter des remèdes adaptés.

Remerciements

Ce travail a été financé par l'Agence universitaire de la francophonie (AUF-Paris). Nous tenons à remercier la direction du patrimoine culturel et l'Institut national des sciences de l'archéologie et du patrimoine (INSAP) à Rabat.

Références

- [1] E. Bernabé, Les mécanismes d'altération des monuments historiques en environnement océanique et rural. Application à la conservation de l'église de Saint-Nonna de Penmarc'h et de la basilique Notre-Dame du Folgöet, thèse, université d'Aix-Marseille-3, 1996, 213 p.
- [2] G. Biscontin, M.P. Birelli, E. Zendri, Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars, *J. Cult. Heritage* 3 (2002) 31–37.
- [3] S. Capedri, G. Venturelli, S. De Maria, M.P.M. Uguzzoni, G. Pancotti, Characterization and provenance of stones used in mosaics of *domus dei Coiedii* at Roman Suasa (Ancona, Italy), *J. Cult. Heritage* 2 (2001) 7–22.

- [4] J.-C. Faugères, Les rides préifaines. Évolution sédimentaire et structurale d'un bassin atlantico-mésogéen de la marge africaine, thèse d'État, université de Bordeaux, 1978, 435 p.
- [5] Y.-M. Froidevaux, in : P. Marga (Ed.), Techniques de l'architecture ancienne, construction et restauration, 1985.
- [6] H. Limane, R. Rebuffat, D. Drocourt, G. Rondeau, W. Dubos, Volubilis, de mosaïque à mosaïque, Edisud, 2001.
- [7] M.-C. Malatrait, Propriétés hydriques du mortier pour enduits de façades en relation avec sa structure poreuse. Mise en œuvre, durabilité, thèse INP, université de Toulouse, 1992, 282 p.
- [8] J.-L. Panetier, in : O. Malika (Ed.), Volubilis, une cité du Maroc antique, 2002.
- [9] The Getty Illustrated Glossary for Documentation of Mosaics, Getty Conservation Institute (GCI), Malibu, unpublished draft, 2001.