

**APROCHE D'ETUDE ET CARACTERISATION DES MORTIERS  
ARCHEOLOGIQUES, LE CAS DES SITES HISTORIQUES  
DE DJEMILA ET DE LA CITADELLE D'ALGER.**

**AREZKI BOUKHENOUF** : Direction de la Culture - Bejaia

**MESSAOUD HAMIANE** : Département Génie des Matériaux - Boumerdes

**MOHAMED SAIDI** : Département Génie des Matériaux - Boumerdes

### ملخص

إن الحفاظ على المعالم والنصب التاريخية ذو أهمية بالغة مما دفعنا إلى التطرق في دراستنا هذه إلى موقعين أثاريين ينتميان إلى فترتين تاريخيتين مختلفتين، الأول يتعلق بموقع جميلة الذي يعود تاريخ بنائه إلى الفترة القديمة أما الثاني يتعلق بقلعة الجزائر التي يعود بنائها إلى القرون الوسطى.

للاوصول إلى الأهداف المسطرة في بحثنا والتي تنظم : خصائص الملاط، البحث في التكنولوجيا القديمة للملاط وحالة حفظ الملاط الذي يكون جدران البناية. قمنا في أول الأمر بأخذ العينات من كل موقع ثم معالجتها مخبريا في الوهلة الثانية.

بعد التحليل المخبري للعينات والتعرف على الخصائص الفيزيوكيميائية، الميكانيكية والمجهرية، تمكنا من الوصول إلى النتائج التالية : ملاط جميلة يتكون من : التربة الحية، الكلس، حصى من السيراميك بين طاه وغير طاه، الجير والفحم. هذه التركيبة مشكلة من المعادن : الكالسيت، الكوارتز، الروتيل والمسكوفت حيث تتراوح النفاذية من 16,237% إلى 23,668%، تقدر الكتلة الحجمية ب 1.384 غ/سم<sup>3</sup> للملاط البنائي و 1.879 غ/سم<sup>3</sup> للملاط التليسي ومقاومة ميكانيكية للضغط جاف ب 1.440 MPa و 0.430 MPa مشبعة بالماء. الوجه الهيكلي للعينات يبين حبيبات من الكالكار تملأ مسامات هذه الأخيرة. أما ملاط قلعة الجزائر تتكون من : التربة الحية، الكلس، حصى من السيراميك الطاهي، الجير، العظام، الفحم وفحم العظام. هذه الملاط مشكلة من المعادن : الكالسيت، الكوارتز، الروتيل، المسكوفت، الجص الممية، الكاوكسيت، اللافويليت والفلوقيسيت، حيث تتراوح النفاذية من 4.235 إلى 12.242%، تقدر الكتلة الحجمية ب 1.211 غ/سم<sup>3</sup> للملاط البنائي وبمعدل 2 غ/سم<sup>3</sup> للملاط التليسي ومقاومة ميكانيكية للضغط جاف ب 1.634 MPa و 3.007 MPa مشبعة بالماء. الوجه الهيكلي للعينات يبين حبيبات من الكالكار تملأ مسامات هذه الأخيرة. هذا أدى إلى إنتقال تكنولوجية بين المرحلة الرمانية و المرحلة العثمانية مع تحسن في الكتلة الحجمية للحصى من 2,666 إلى 1,333 غ/سم<sup>3</sup> ومقاومة ميكانيكية للملاط على مدى هذه الفترتين. فيما يخص تأثير الوسط على الجدران، عرضت العينات لتأثير الرطوبة بنسبة تعادل 96%، مما يبين بعد 8640 دقيقة من العملية، إمتصاص الماء أكثر للعينات المأخوذة على مستوى مصنع البارود مقارنة إلى باقي العينات المأخوذة من جميلة و قلعة الجزائر. كما قمنا أيضا بتقدير حالة حفظ الواجهة الشرقية لقصر الداوي والمقدرة بحوالي 80%. في النهاية، نتيجة هذه المميزات سمحت لنا بإقتراح تركيبة من الملاط مكونة أساسا من الجير لترميم جدران قصر الداوي.

### الكلمات المفتاحية

جميلة، قلعة الجزائر، الملاط، العينات الممثلة، الخصائص الفيزيوكيميائية والميكانيكية، السطحية، الحفظ.

## I. Introduction

L'Algérie à travers ses 1200Km de côte, possède un patrimoine culturel exceptionnel par sa qualité, sa diversité, son abondance et l'étendue chronologique qu'il recouvre. Ce patrimoine peut être classé en plusieurs périodes chronologiques : préhistorique, antique, médiévale et contemporain. Les deux sites historiques étudiés appartiennent à deux périodes différentes, le premier est celui de Djemila, du nom arabe la belle, situé dans les hauts plateaux dans la wilaya de Setif. Il remonte à la période romaine. Il représentait le pôle économique de cette époque. Le second site est celui de la Citadelle d'Alger, qui remonte à la période ottomane (médiévale), elle était le centre du pouvoir de la régence d'Alger avant 1830. Ces deux sites sont doublement classés sur la liste du patrimoine national et universel.

Nos sites d'étude présentent un assemblage de plusieurs matériaux, liés par des mortiers de construction. Ces derniers souffrent de divers phénomènes de dégradation, d'où notre inquiétude de plus en plus grande face à cette déperdition et la disparition de ces sites. Notre modeste réflexion et contribution s'inscrit dans ce vaste domaine d'étude qui vise à étudier les points suivants : caractérisation des mortiers, recherche dans la technologie ancienne des mortiers et l'état de préservation des mortiers composant les structures des murs.

## II. GENERALITE SUR LES MORTIERS ET LES PHENOMENES DE DEGRADATIONS

Le mortier, du latin *mortarium*, désignant d'abord l'auge du maçon, puis son contenu; le mot est demeuré avec sa signification originelle lorsqu'il désigne un récipient où l'on mélange où l'on boie (ADAM J. P., 1989). Ce terme recouvre à la fois les mortiers employés au cœur de structure, afin de lier les différents éléments du mur, et ceux qui servent à la réalisation de revêtements d'enduits (BOSSOUTROT A. 1991). La présence des agrégats dans les mortiers est inerte, ils réduisent la quantité d'eau de gâchage, le phénomène de retrait et ils forment le squelette de ceux-ci. Ainsi, ils sont déterminants dans la résistance mécanique des mortiers. Leur masse volumique est un critère de classification des mortiers de construction.

Les mortiers de revêtement servent à régulariser la surface des murs, à donner un aspect agréable aux parements et à protéger les maçonneries des intempéries. Les mortiers liant les structures de ces sites archéologiques sont menacées par divers facteurs de dégradation : la fatigue liée aux comportements des mortiers sous contraintes, l'altération chimique, les détériorations provenant de la préparation du mélange aux constituants et la mise en œuvre.

## III. EXPERIMENTATION

Dans la pratique des mortiers, nous avons procédé avant tout aux prélèvements des échantillons dans le nombre est de cinquante, reparti comme suit : 43 échantillons du site de la Citadelle d'Alger et 07 échantillons du site de Djemilla. La procédure de la sélection des échantillons représentatifs est basée sur les points suivants : la couleur et la texture de liant, les éléments et les particules, l'abondance des pores, la répartition et la grossièreté des squelettes dans la masse de mortier et la position de l'échantillon sur site etc.

Les treize échantillons sélectionnés indiquent dans la légende ont subi différents tests et analyses physico-chimiques parmi ces, on cite : le PH des solutions, l'attaque chimique avec l'acide chlorhydrique à 2N, à l'acide sulfurique (33%), la combustion, la friabilité, la masse volumique, la masse spécifique, l'absorption d'eau et la porosité. Ces essais nous ont permis d'avoir toutes les données à la sélection des échantillons les plus représentatifs. Ainsi, cette sélection finale nous a permis de retenir cinq échantillons pour subir les différentes analyses physico-chimiques et mécaniques : analyse chimique, analyse minéralogique, test de l'humidité, structurale au moyen du microscope électronique à balayage et la résistance à la compression à sec et saturée d'eau. Et enfin nous avons montré l'intérêt de cette caractérisation dans deux exemples, le premier est un calcul de préservation et le second pour remédier aux mortiers de la façade Est de Palais du Dey.

#### IV. RESULTATS DES ESSAIS ET INTERPRETATIONS

L'observation visuelle à l'œil nu et au moyen d'une loupe à un agrandissement jusqu'à 50 fois, et après une légère humidification des échantillons, montre que la couleur de ces deux lots d'échantillons varie du blanc jusqu'au jaune-ocre pour Djemila et au rouge foncé pour les échantillons de la Citadelle d'Alger. Nous avons constaté la présence de la chaux, de l'argile expansée, des agrégats à base d'argile crue ou cuite et de la cendre de bois dans les mortiers de Djemila. La diversité des mortiers de la Citadelle d'Alger, nous a permis d'observer : l'argile expansée, la chaux, le plâtre, les agrégats céramiques cuits, les os, la cendre de bois et des os.

##### IV.1. Résultats de la caractérisation physico-chimique

###### a- Résultats des essais à l'acide chlorhydrique (HCl à 2N)

Le test de l'attaque à l'acide chlorhydrique (2N) effectué sur les échantillons a montré une forte attaque chimique, surtout sur les échantillons provenant de Djemila et sur l'échantillon PD<sub>2</sub> de la Citadelle d'Alger.

###### b- Résultats des essais au pH des solutions aqueuses des mortiers

Après 15 jours d'émersion des échantillons dans l'eau, nous avons constaté que les échantillons submergés en motte n'ont pratiquement aucun changement du pH de l'eau, par contre les échantillons submergés en poudre ont contribué à l'augmentation du pH, ce qui témoigne de la dissolution des sels qui les composent surtout dans le cas des échantillons D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> et PD<sub>2</sub> (B), PD<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>, NV. Quand on a procédé à la séparation des solutions testées (le substrat et le filtrat) dans des capsules, nous avons constaté que les substrats des échantillons D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> et PB<sub>2</sub> sont riches en corps gras. Quant au filtrat, après 24h, on a observé dans la majorité des solutions notamment à leur surface la présence d'une fine couche blanche qui caractérise la création du carbonate de calcium à la surface de l'eau calcaire.

###### c- Résultats des essais à l'acide sulfurique

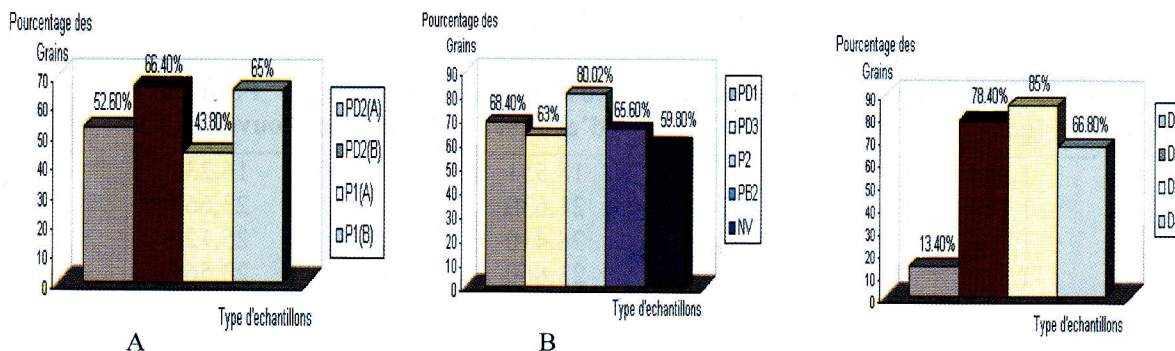
Dans les solutions de l'acide sus mentionné, après l'ajout de quelques millilitres de solution d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 33%, on a observé la formation des aiguilles de plâtre (gypse).

###### d- Résultats des essais de la combustion

On met les échantillons dans un four rapporté à une température qui sera déterminée en fonction de la composition de l'échantillon et de la nature du constituant recherché. Le résultat du test est basé sur plusieurs critères d'étude entre autres : la nature d'odeur dégagée, la perte de masse, le changement de couleur obtenu, etc. On constate que les échantillons D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, PB<sub>2</sub>, PD<sub>2</sub> (A), P<sub>1</sub>(A) dégageaient une odeur caractéristique des substances organiques.

###### e- Résultats des essais de la friabilité

Les échantillons de mortier sont exposés dans une cuve aux ultrasons pendant 3h. Après ce temps, on recueille les particules détachées de l'échantillon initial, pour les sécher et les peser. Cette quantité, rapportée à l'échantillon total, exprime l'aptitude du mortier à se désagréger (COLRDELLE R. et LOEBELL A., 1991). Les résultats obtenus sont représentés dans les figures 1et 2.



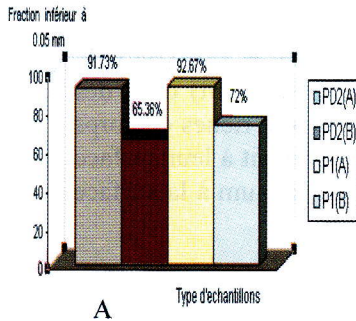
**Fig. n° 1 : Echantillons de la Citadelle d'Alger.**  
A- Enduit de revêtement B- Mortier de maçonnerie

**Fig. n° 2: Echantillons de Djemila**

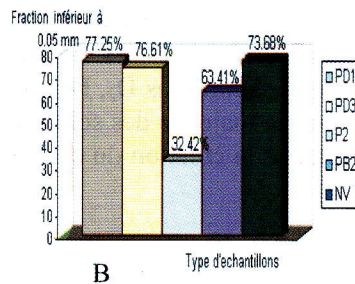
Les valeurs obtenues se situent entre 13,40 - 85% pour Djemila et 43,80 - 66,40%, 59,80 - 80,02% respectivement pour les enduits de recouvrement et les mortiers de maçonnerie de la Citadelle d'Alger. Les échantillons D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> du lot du Djemila se désagrègent très rapidement par rapport à ceux de la Citadelle d'Alger, cela peut être expliqué par la faiblesse du liant.

**f- Résultats des essais de l'abondance de la fraction inférieure à 50 µm**

On détermine cette fraction inférieure à 50 µm sur les sédiments récupérés au cours de l'essai de friabilité. Les mortiers sont désagrégés par un broyage doux et on prend garde à ne pas casser les grains. Ils sont ensuite trempés dans de l'eau oxygénée (60 vol) pendant 24h. Après un nouveau broyage léger, puis tamisé sur une maille de 50 µm, le tamisât est décanté, séché et pesé. Cette fraction fine représente essentiellement le liant utilisé dans la confection du mortier (BOSSOUTROT A. 1991). Les résultats obtenus sont représentés dans les figures 3 et 4.



**Fig. n° 3 : Echantillons de la Citadelle d'Alger.**  
A- Enduit de revêtement B- Mortier de maçonnerie



**Fig. n° 4 : Echantillons de Djemila**

Les résultats obtenus ont montré que les mortiers D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> et D<sub>4</sub> présentent la même proportion de la fraction <50%. L'échantillon D<sub>1</sub> a montré une importante résistance à l'eau, cela est remarqué par sa fraction par rapport à D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, et D<sub>4</sub>. Quant aux résultats obtenus sur les échantillons de la Citadelle d'Alger, nous avons constaté que PD<sub>1</sub>, PD<sub>3</sub>, NV sont pratiquement de même pourcentage ainsi que les premières couches d'enduit (couches d'accrochages) PD<sub>2</sub> (B), P<sub>2</sub> (B).

**IV.3. Masse volumique des agrégats**

La masse volumique d'un matériau est la masse de ce matériau par unité de volume, en tenant compte des pores et capillaires. On la détermine au moyen d'un cylindre gradué. Les masses volumiques des agrégats des échantillons D<sub>3</sub> et D<sub>4</sub> PD<sub>1</sub>, PB<sub>2</sub>, PD<sub>3</sub> et NV sont respectivement : 2.666, 2.613, 2.006, 1.934, 1.333 et 1.421g/cm<sup>3</sup>.

**IV.4. Résultats d'analyses physiques**

Les résultats d'analyses physiques (masse volumique, masse spécifique absorption d'eau, la porosité totale et ouverte) sont inscrits dans les tableaux I et II.

**Tableau n° I : Résultats d'analyse physique (Djemila)**

Echantillon	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Masse spécifique (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption d'eau (%)	Porosité totale (%)	Porosité ouverte (%)
D <sub>1</sub>	1,384	2,429	18,551	34,788	16,237
D <sub>2</sub>	1,114	2,680	21,630	45,298	23,668
D <sub>3</sub>	1,296	2,568	24,410	49,533	25,123
D <sub>4</sub>	1,879	2,623	23,860	47,426	23,566

**Tableau n° II : Résultats d'analyse physique (Citadelle d'Alger)**

Echantillon	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Masse spécifique (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption d'eau (%)	Porosité totale (%)	Porosité ouverte (%)	
PD <sub>1</sub>	1,970	2,630	20,860	25,095	4,235	
PD <sub>2</sub>	enduit A - B	1,690	2,230	18,610	24,212	5,600
		1,211	1,780	24,766	31,966	7,200
PD <sub>3</sub>	2,050	2,741	17,889	25,209	7,320	
P <sub>1</sub>	enduit A - B	1,819	2,583	23,765	29,578	5,813
		1,322	2,031	22,666	34,08	12,242
P <sub>2</sub>	2,130	2,870	17,640	25,784	8,144	
PB <sub>2</sub>	2,120	2,764	20,322	23,290	2,968	
NV	2,010	2,840	23,550	29,225	5,675	

On remarque un rapprochement des valeurs de la masse volumique et spécifique des échantillons P<sub>2</sub>, NV et PD<sub>3</sub>, malgré qu'ils ont une couleur différente. Les échantillons PD<sub>1</sub> et PD<sub>3</sub> ont les mêmes valeurs de la porosité totale. On remarque aussi un rapprochement des valeurs de la masse volumique et de la porosité totale des échantillons P<sub>1</sub> (A) et PD<sub>2</sub> (A).

**IV.5. Choix final des échantillons représentatifs**

Les échantillons retenus pour une recherche approfondie sont au total sept dont deux mortiers d'enduit de recouvrement : D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>, PD<sub>1</sub>, PD<sub>3</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, PB<sub>2</sub>.

**IV.6. Résultats de l'essai mécanique**

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux III et IV.

**Tableau n° III : Résultat de l'essai de la résistance à la compression (Djemila)**

Echantillon	Résistance à la compression (MPa)		Coefficient de ramollissement (R <sub>w</sub> )
	A sec	Saturée d'eau	
D <sub>4</sub>	1,440	0,430	0,300

**Tableau n° IV : Résultat de l'essai de la résistance à la compression (Citadelle d'Alger)**

Echantillon	Résistance à la compression (MPa)		Coefficient de ramollissement (R <sub>w</sub> )
	A sec	Saturée d'eau	
PD <sub>1</sub>	2,611	1,634	0,629
PD <sub>3</sub>	3,007	2,014	0,670
P <sub>1</sub>	3,555	2,602	0,732
PB <sub>2</sub>	2,545	1,572	0,618

La résistance à la compression et le coefficient de ramollissement des mortiers de Djemila est très faible par rapport à celles obtenues lors de l'essai sur les mortiers de la Citadelle (sauf l'échantillon P<sub>1</sub>), cela est approuvé par les résultats de l'essai de la porosité et par le test de friabilité.

**IV.7. Analyse chimique**

Cette analyse est effectuée à l'aide d'un fluorescence X. L'analyse des résultats nous a permis de constater que la teneur de CaO est très élevée dans le cas des échantillons PB<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, D<sub>3</sub> et D<sub>1</sub>, ces teneurs comprises entre 41,823 et 45,810 % par contre les échantillons PD<sub>2</sub> et PD<sub>3</sub> ont des valeurs de 36,286 et 37,310%. Quant au dernier possède une valeur inférieure, mais il est riche en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (80,382%) par rapport à d'autres échantillons et qui rend ce type d'échantillon plastique. La couleur des échantillons PD<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> et PD<sub>3</sub> tendent vers le rouge foncé, cela est expliqué par la présence des teneurs importante en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,096, 4,114, 4,581).

**IV.8. Résultats des analyses minéralogiques**

Pour l'identification de la nature minéralogique des mortiers, nous avons utilisé la diffraction des rayons X. Les résultats d'analyse aux rayons X sont représentés dans les figures : 5, 6, 7, 8 et 9.

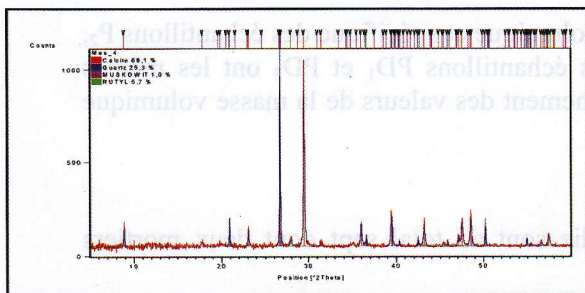


Fig. n° 5 : radiogramme RX de l'échantillon D<sub>4</sub>

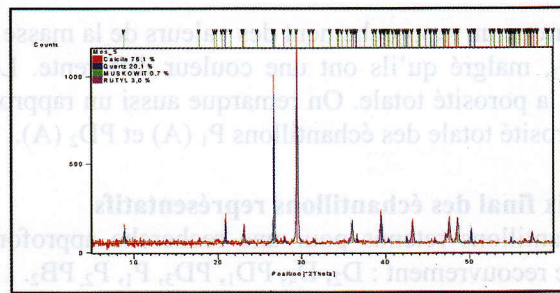


Fig. n° 6 : radiogramme RX de l'échantillon PB<sub>2</sub>

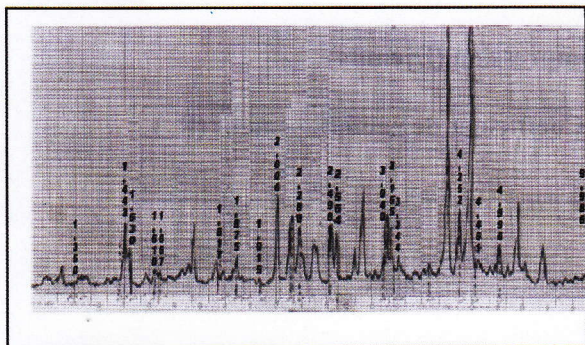


Fig. n° 7 : radiogramme RX de l'échantillon P<sub>1</sub>

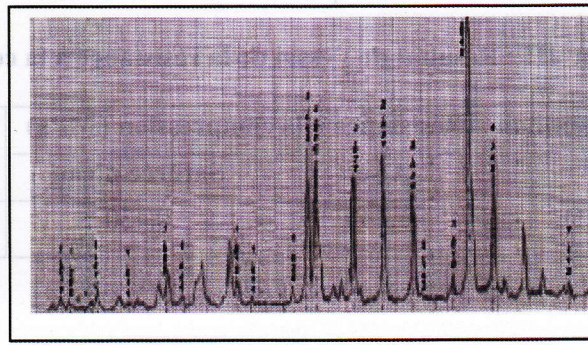


Fig. n° 8 : Diagramme RX de l'échantillon P<sub>2</sub>

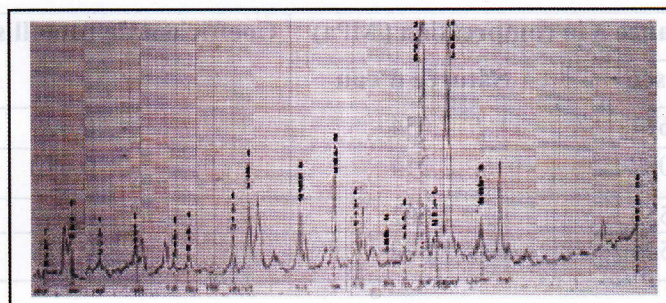
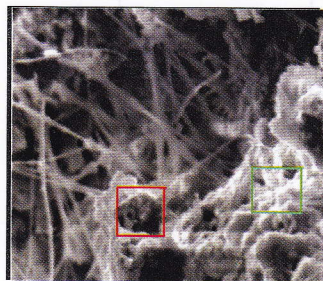


Fig. n° 9 : radiogramme RX de l'échantillon PD<sub>3</sub>

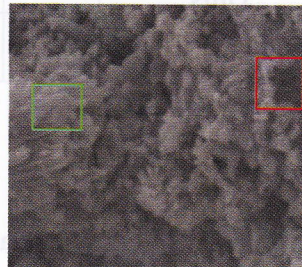
L'analyse des radiogrammes nous a donné les résultats suivant : l'échantillon D<sub>4</sub> et PB<sub>2</sub> sont composés de calcite, de quartz, de moscovite et de rutile avec des teneurs différentes. L'échantillon P<sub>1</sub> est composé de calcite, de quartz, de caoxite (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>CaO<sub>7</sub>), de phlogopite KMg<sub>3</sub>[(OH, F)<sub>2</sub> | AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>] et de plâtre hydrate. L'échantillon P<sub>2</sub> de calcite, quartz, de plâtre hydrate et enfin l'échantillon PD<sub>3</sub> de calcite, de quartz et l'apophyllite KCa<sub>4</sub>[(F, OH) | (Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)<sub>2</sub>].8H<sub>2</sub>O.

**IV.9. Résultats des analyses structurales (MEB)**

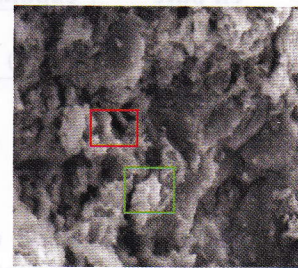
L'appareillage utilisé au laboratoire CRD de Boumerdes est un microscope électronique à balayage de type JEOL JSM 820. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures n<sup>o</sup> : 10, 11, 12, 13, et 14.



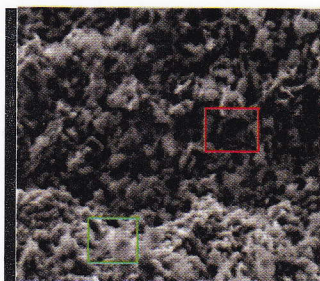
AG. × 1000  
Fig. n<sup>o</sup> 10 : Echantillon D<sub>4</sub>.



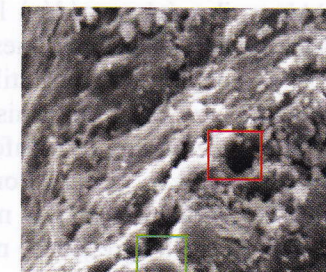
AG. × 1500  
Fig. n<sup>o</sup> 11: Echantillon P<sub>1</sub>.





AG. × 2091  
Fig. n<sup>o</sup> 12 : Echantillon P<sub>2</sub>.



AG. × 1000  
Fig. n<sup>o</sup> 13 : Echantillon PD<sub>3</sub>.



AG. × 1500  
Fig. n<sup>o</sup> 14 : Echantillon PB<sub>2</sub>.

 Agrégat céramique.  
 Calcaires fins remplissant les pores  
AG : Agrandissement

L'analyse des résultats montre la présence d'un calcaire fin remplissant les pores des échantillons et la disposition des agrégats constituant les différents mortiers. On ne constate aucune ressemblance entre les textures des différents échantillons étudiés, même entre le mortier de maçonnerie P<sub>1</sub> et l'enduit de revêtement P<sub>2</sub> malgré qu'ils ont les mêmes constituants de liant (plâtre et chaux). A cet effet, plusieurs paramètres rentrent en cause, on cite le facteur environnement, la composition et le mode de préparation de ces mortiers.

**V. INTERET DE LA CARACTERISATION DES MORTIERS**

Cette caractérisation à un double intérêt :

**V.1. Détermination de l'état de préservation de la façade Est de palais du Dey**

Pour la détermination de l'état de préservation, nous avons procédé au premier lieu à un calcul théorique sur l'état de la façade en question dans lequel nous avons déterminé la contrainte théorique exercée au niveau du rez-de-chaussée et qui est provoqué par le poids propre de la structure (sans les charges de service),  $\sigma = 3,22$  at.

Dans le second lieu, nous avons déterminé la contrainte pratique exercée sur les mortiers composant les murs du rez-de-chaussée du palais obtenue par essai de compression (échantillon PD<sub>1</sub>),  $\sigma' = 2,611$ MPa.

Le rapport entre ces contraintes pratiques et théoriques ( $\sigma'$  et  $\sigma$ ) est égal à 81,09%. Ce résultat indique que la structure constituant la partie Est de palais a subi une dégradation d'environ 18%.

## V.2. Proposition d'une composition de mortier de maçonnerie pour la restitution des murs

Pour la restitution des mortiers du dernier niveau du palais du Dey, nous avons proposé la composition représentée dans le tableau n° V. Ce mortier est de même aspect physique et il est de 4 fois plus résistant à la compression ( $R_C$ ) que l'ancien. Sa préparation nécessite de suivre les indications ces après : la granulométrie de l'argile marneuse est de 0 à 3mm, la granulométrie de la cendre du bois est de 3 à 5mm, l'agrégat du mica cuit à une température supérieure à  $850^{\circ}\text{C}$  et utilise l'eau potable pour le gâchage. La chaux aérienne est mélangée avec l'eau à raison 2/1 est laissé pendant 15 jours à une température  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Tableau n° V : Composition de nouveau mortier de construction pour la restauration

Composants	chaux aérienne en pâte	Argile expansée	Agrégats de mica cuits	eau	cendre de bois	$R_C$ (MPa)
Pourcentage (%)	25	40	20	12	3	8,120

## VI. CONCLUSION

Les mortiers de maçonnerie et de recouvrement de Djemila sont préparés à base d'un mélange d'une terre marneuse, des agrégats céramiques crus ou cuits, de la cendre de bois et de la chaux.

Pour les mortiers de la Citadelle d'Alger, il a été procédé à l'utilisation de la roche mica cuite (origine du sol de la Citadelle) qui remplace les agrégats céramiques qui sont plus lourds que ces derniers. Concernant le mortier de maçonnerie de couleur blanche, utilisé dans la construction des cloisons intérieures de la poudrière et certaines parties des murs du palais du Dey, il est composé d'un mélange de gypse, de la chaux, d'agrégats en silex de granulométrie inférieure à 50mm et des os. Le mélange a subi une cuisson qui transforme les os en cendre qui améliore la fixation de badigeon de chaux. De plus, on a constaté dans le mortier de recouvrement des murs de même monument la substitution des agrégats en silex par la terre active riche en agrégats de mica.

Au long de ces deux périodes (antique et médiévale), nous avons constaté une amélioration dans la masse volumique des agrégats  $2,666 \text{ g/cm}^3$  (site de Djemila) et  $1,333 \text{ g/cm}^3$  pour ceux des mortiers de construction des niveaux supérieurs de la Citadelle d'Alger. Comme nous avons évalué l'état de préservation de la façade Est du palais du Dey qui est conservée à environ 80%. Ce résultat montre que le calcul à la base des mortiers n'est pas suffisant pour une évaluation exacte de l'état de préservation de la façade du palais.

Enfin, nous avons proposé une composition de mortier de construction (25% chaux aérienne en pâte, 40% argile expansée, 20% agrégats de mica cuits, 3% cendre de bois et 12% eau) qui donne après 28 jours une résistance à la compression de 8,120 MPa pour la restauration des mortiers du deuxième et troisième étage de palais du Dey.

## VII. BIBLIOGRAPHIE

ADAM J. P., 1989 - *La construction romaine : matériaux et techniques*. II<sup>ème</sup> éd. Paris : G. M. Picard 230P

- BOSSOUTROT A., 1991 - Analyse et restauration des enduits : les travaux antérieurs. *Enduits et Mortier archéologiques médiévale et moderne, acte de la table ronde de Dijon*, n° 15 : 13 – 23.

- COLRDELLE R. et LOEBELL A., 1991 - Saint-Jean-Baptiste, Viuz. Faverges (Haute-Savoie), étude sommaire des mortiers. *Enduits et Mortier archéologiques médiévale et moderne, acte de la table ronde de Dijon*, n° 15 : 59 - 77