

Caractérisation des matériaux de construction en terre crue : Cas de l'adobe Ksar el Hara- wilaya de djelfa.

تشخيص مواد البناء بالطين الخام : الطوب اللبن لقصر الحارة بمنطقة الجلفة أنموذجا

Dahmani Malika^{1*}, Guebboub Lakhdar Salim²

¹Institut d'archéologie-université d'alger2, malika.dahmani@univ-alger2.dz

²Institut d'archéologie-université d'alger2,lakhdar.salim.guebboub@univ-alger2.dz

Date envoi 16/08/2022

Date acceptation 23/11/2022

Date de publication 26/12/2022

Résumé:

Ce travail présente une étude expérimentale portant sur la caractérisation d'un matériau de construction local poly phasique (ksar el Hara- wilaya de Djelfa), utilisé pour sa disponibilité et sa facilité de mise en œuvre. La régulation de la température intérieure dans un milieu climatique soumis à des variations de température très importantes est l'une des caractéristiques exceptionnelles. Pour comprendre ces propriétés et remédier à ces altérations, on fait appel à des études physiques de la matière. Afin de mener à bien notre travail, des prélèvements des échantillons et des analyses ont été réalisées à savoir: Propriétés physiques, Structures et textures (MEB et lames minces), Distribution granulométrique, Propriétés mécaniques et détermination des paramètres thermo-physiques (conductivité thermique, diffusivité et effusivité thermique).

Mots clés: Ksar el Hara, Terre crue, propriétés, durabilité, mécanisme d'altération.

الملخص :

يمثل هذا العمل في دراسة تجريبية لتشخيص مواد (الطوب) و تقنيات البناء المحلية لقصر الحارة بولاية الجلفة وذلك لتوفرها وسهولتها في التنفيذ. إن تنظيم درجة الحرارة داخل المباني الطوبية الخاضعة لبيئة المناخية ذات تغيرات في درجة الحرارة هي واحدة من خصائصها الفريدة و المهمة جدا. ترجع اشابة المباني من الأرض الخام إلى آلاف السنين للخصائص الفيزيائية والهيكلية لمركب البناء (الطوب) ، ومع ذلك، يضعف من قبل تأثير العوامل الطبيعية. تم تحضير الأرض الخام للبناء قصر الحارة من الطين (المسكوفيت) ذات اللدونة المتوسطة لفهم هذه الخصائص ومعالجة هذه التغيرات، نستخدم الدراسات الفيزيائية للمادة. ومن أجل تنفيذ هذا العمل أجريت مجموعة من التحاليل على عينات من طوب القصر على النحو التالي: الخواص الفيزيائية والهياكل شفرات الرقيقة، وتوزيع الحبيبي، الخواص الميكانيكية والحرارية، التوصيل و الناشرية الحرارية.

كلمات المفتاحية : قصر الحارة، الطوب البن ، الخصائص ، قوة التحمل ، التدهور .

*auteur correspondant .

L'Introduction :

Le ksar offre, à travers un tissu empreint du cachet architectural et urbanistique de plusieurs dynasties, une véritable mémoire du temps passé et un atout touristique inestimable pour la ville et pour le pays tout entier. Il atteste de la grandeur des bâtisseurs de la ville et du génie architectural algérien.

Cet ensemble urbain qui a pu survivre à l'épreuve du temps, se trouve aujourd'hui confronté aux problèmes de développement démographique, de négligence et des conditions naturelles nuisibles, amplifiées par l'activité anthropique, qui causent en permanence de graves et nombreuses dégradations. Malgré l'existence d'un arsenal juridique visant la protection des richesses architecturales et patrimoniales des ksour, leur sauvegarde est loin d'être assurée et le processus de leur dégradation s'avère assez avancé.

A cet égard, trois grands axes de recherches ont été développés dans cette étude :

Il s'agit dans un premier temps d'effectuer une étude des différentes composantes environnementales de la ville de ksar saharien du sud d'Algérie (wilaya de djelfa), et d'évaluer leur impact sur la dégradation du bâti traditionnel.

Le deuxième axe de recherche concerne la caractérisation du matériau de construction du ksar, la connaissance de ses différents paramètres pétro-physiques, minéralogiques, thermo-physiques et pétrographiques. Ces différents résultats permettent également la détermination des matériaux de construction utilisés. La caractérisation des matériaux de construction a été faite sur la terre crue (adobe) prélevés des murailles extérieures de ksar. La connaissance de l'origine de ce matériau nous a mené à déterminer les performances thermiques et le mode d'élaboration de cet adobe de construction.

En fin, dans un troisième axe, la description, le recensement, puis la caractérisation des différentes formes d'altération affectant ce matériau (adobe) sont effectuées. Les résultats obtenus permettent la détermination des différentes techniques de préservation de ce patrimoine étudié.

1. Méthodes et matériels :

L'objectif de cette première partie est de présenter le cadre scientifique, archéologique et historique du ksar. L'identification de l'état de ses éléments de constructions de différentes dimensions et qui donnent une belle mosaïque architecturale.

L'Algérie se situe dans une zone à haute potentialité solaire, et présente près de 90 % de terres arides et semi-arides, de ce fait il est important de s'intéresser à la situation actuelle des villes sahariennes. Il se trouve que de nos jours, l'espace Oasisien qui représente les fondements de toutes les villes sahariennes et qui représente l'espace

nécessaire par excellence est en dislocation et n'arrête pas de subir les effets destructeurs du paysage de la part de l'urbanisation dite moderne .Hier les cités du désert n'ont pas cessé de subir des modèles exogènes, coloniaux, puis post coloniaux, qui ne parviennent ni à s'habituer au milieu naturel, ni à s'inscrire dans la logique d'implantation des Ksour (Helal Nouiri,2004, pp34-38)¹.

Ainsi, ces sociétés du désert en quête de développement et de modernisation se trouvent déchirées entre des modèles différents et contradictoires, ce qui se traduit par des phénomènes d'adoption, de transformation très visible particulièrement sur l'habitat. De par sa situation au coté nord du Sahara, africaine, son climat, sa géographie, son histoire et son patrimoine architectural, les villes du sud algérien ayant architecture bioclimatique fondée sur des matériaux de construction traditionnelles locaux tel que la brique de terre séchée présentent une très belle vue architecturale.

1.1. Description du ksar el Hara

Ce palais est la trace vivante de la Techniques de construction locales pour la région de Djelfa. Sa construction fut entreprise en 1720. Inauguré en 1835, il ne tarda pas à être occupé par l'armée française.

Le ksar du Hara a généralement la forme d'un rectangle, les habitations en double niveau (Rez de Chaussée et 1er niveau) composent ses maisons; par principe socioculturel des habitants du Ksar, le 1 er niveau est réservé à l'élevage de moutons et le second niveau est réservé aux invités, parfois d'autres chambres s'y ajoutent cuisine et dokane (fig.1).

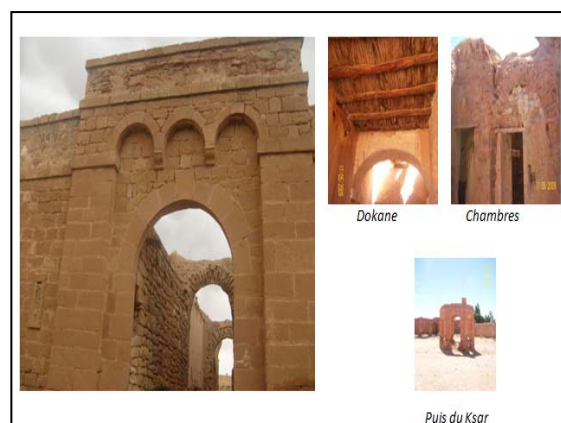


fig.1 : Ksar el hara -Ain Ibel (w.djelfa)

¹ Helal Nouiri, Boussaâda vers une nouvelle expérience d'habitat, thèse doctorat, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger, 2004, pp34-38.

Ces habitations ont des façades sur les ruelles qui forment des promenoirs, ces ruelles mi-couvertes, servent tout à la fois pour protéger le promeneur contre le soleil, et comme moyen de défense contre la désertification.

Percées de petites et rares fenêtres, les façades extérieures prennent jour sur les jardins qui forment les périphériques de ksar et dans lesquels poussent des palmiers arrosés par l'eau des sources du voisinage². Le climat de la région est d'une pureté incomparable, les hautes montagnes, la grandiose et la beauté du paysage donnent au Ksar un cachet très particulier³.

La région de Djelfa recèle une variété de pratiques constructives en terre crue. Ce procédé de terre moulée est le plus rencontré de nos jours. La pratique ancienne moulaient la terre aux mains ; actuellement on utilise des moules métalliques ou en bois qui donnent aux blocs d'adobe une forme plus régulière⁴.

2. Description des altérations :

Pour mieux visualiser l'impact de l'exposition sur le comportement de l'adobe, les murailles ont été cartographiées.

La cartographie de la façade des murailles du Ksar montre un seul litho-type qui correspond à l'adobe (fig.2). Cependant, suivant l'intensité de la dégradation, on peut subdiviser cette façade en trois parties distinctes : partie supérieure, médiane et inférieure :

- Dans la partie inférieure du profil, l'adobe apparaît très détérioré. On y distingue une désagrégation sableuse très importante et la perte de matière peut atteindre 10 cm.
- Dans la partie médiane de la muraille, l'adobe est relativement conservé avec quelques traces d'enduit. La disparition d'enduit à ce niveau laisse apparaître les traces de banchages et de tassements successifs⁵.
- Dans la partie supérieure, on observe également une désagrégation sableuse mais moins importante que celle de la partie médiane. Par endroit de très discrètes coulures verticales grisâtres subsistent (coulures lavées par les eaux de pluies)⁶.

² Yetgin Ş et al , The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes , Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 3, March 2008, , p225.

³ B. Pignal, Terre crue, Technique de construction et de restauration, Eyrolles ,2005, p56.

⁴ H. Houben et al, Traité de construction en terre, Collection : Habitat Ressour. ,2006. p45.

⁵ Parra-Saldivar M et al, Thermal behavior of adobe constructions, journal of Building and Environment ,Volume 41, Issue12 ,December 2006,p1895.

⁶ Atzeni C et al , A fractal model of the porous microstructure of earth-based materials', journal of Construction and Building Materials, Volume 22 (8), 2008, p 1609.

La présence de végétaux supérieurs (olivier) au sommet de la muraille ne semble pas provoquer de dégâts importants au niveau de cette façade.

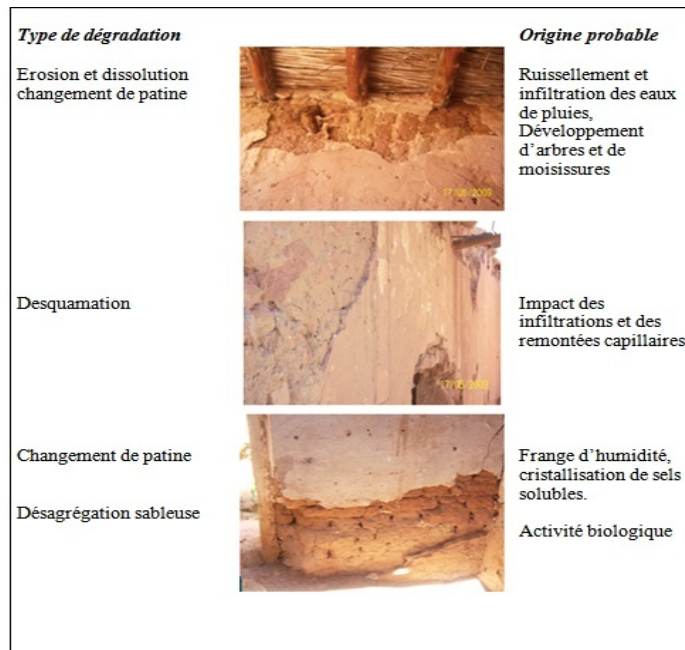


Fig.2 : Les différents aspects de dégradation de la muraille du ksar.

L'observation de la muraille révèle divers types de pathologies qu'on trouve souvent associées et qui témoignent vraisemblablement d'une relation étroite entre leurs causes.

A la base de la muraille on observe des figures d'altérations de l'enduit depuis la surface jusqu'à quelques centimètres de profondeur. Cette altération est matérialisée par une perte de matière très importante formant des cellules sur celui-ci. A des stades plus avancés, l'enduit disparaît entièrement et laisse apparaître la terre crue qui se trouve directement exposée aux agents extérieurs⁷.

Ces agents d'altération provoquent un intense effritement du matériau sur des épaisseurs importantes qui atteignent 6 cm par endroit. Cette désagrégation sableuse à la base est intimement associée à une frange d'humidité importante et à l'activité des animaux fouisseurs.

Au milieu du profil, l'enduit est relativement conservé et montre en plus d'une certaine humidité, des traces de dissolution de la surface vers la profondeur. A plusieurs endroits, on remarque des décollements d'enduit en plaque⁸.

⁷ Atzeni C et al , op.cit,p1610.

⁸ Heathcote K.A, Durability of earthwall buildings , Journal of Construction and Buildings Materials, Volume 9, Issue 3, June 1995, p 185.

Au sommet de la muraille, l'aqueduc est endommagé, on y aperçoit un développement important de végétaux supérieurs tel que le figuier et l'olivier dont les racines empruntent par endroit les trous d'échafaudage. Au dessus de l'aqueduc, on constate un développement important (en forme de langues) de lichens et des traces de moisissures. Ces dépôts de salissures observés également à 2 m au dessus de la base de la muraille, sont généralement associés à des croûtes noires qui se forment à la surface du matériau⁹.

Ce précieux héritage architectural, connaît dans son état actuel des dégradations alarmantes. La cause de la dégradation pourrait être le résultat de l'action de divers facteurs : naturels et anthropiques¹⁰. L'ensemble de ces actions se traduit par une évolution qui modifie la surface visible du matériau avec le temps : changement de patine, efflorescences, desquamations, désagréments sableux, voire même fracturations et effondrement¹¹.

Malgré l'urgence de remédier à cette situation, aucun travail n'a abordé d'une manière exhaustive l'étude de la dégradation de Ksar el Hara. Ainsi, l'objectif de ce travail est donc de comprendre le comportement thermophysique du matériau dans une région aride participé à préserver le monument qui menace à disparaître à jamais. A cet effet, nous avons précédé au travail suivants :

- Caractériser le matériau de construction utilisé dans l'édification du ksar en mettant en exergue le caractère thermophysique ;
- Recenser les différents dommages observés sur les murailles du Ksar ;
- Déterminer les facteurs et les causes de la dégradation ;
- Comprendre les mécanismes d'altérations physique, chimique et biologique des édifices anciens de la zone saharienne d'Algérie ;
- Suivre la variation de la température et l'humidité à l'environ ;
- Elaboration et caractérisation des briques d'adobes, performants et compatibles avec la maçonnerie du Ksar.

3. Résultats et discussions :

Afin d'atteindre le l'objectif de notre travail des fragments de brique d'adobe ont été prélevés au Ksar el Hara, puis analysées par différentes techniques. Donc le prélèvement choisi sur la muraille intacte, afin de mieux obtenir les propriétés et performances de ce matériau composite.

Les différents essais de caractérisation sont effectués au niveau de laboratoire de céramique à la faculté des sciences de l'ingénieur (FSI) au niveau de l'université de Boumerdes (les essais physico-chimiques), au laboratoire CETIM et les laboratoires de

⁹J. Dethier, Les architectures de terre. In: Edition du Centre Pompidou, Paris,1986, p31.

¹⁰ Ibid,p33.

¹¹ Atzeni C et al , op.cit,p1611.

LMMC de l'université de Boumerdes. Les résultats obtenus permettent d'avancer des hypothèses sur l'utilisation optimale de ce composite traditionnel.

3.1. Composition chimique et minéralogique :

La composition chimique et minéralogique du matériau de construction met en évidence (adobe) des teneurs élevées en SiO₂, qui représentent plus de 69% de la composition chimique globale. Les autres éléments chimiques qui présentent de faibles teneurs avec de légères variations sont donnés dans le tableau 1 :

Constituants	Pourcentage (%)
SiO ₂	69.26
Al ₂ O ₃	5.58
Fe ₂ O ₃	2.49
CaO	8.13
MgO	1.13
SO ₃	3.77
Na ₂ O	0.15
K ₂ O	1.76
P ₂ O ₅	0.06
TiO ₂	0.39
perte au feu	7.28

Table .1: Composition chimique de l'adobe du kasr el Hara

3.2. Observations au microscope électronique à balayage :

L'acquisition d'images, en microscope électronique à balayage sur la brique d'adobe, montre de manière qualitative la fermeture de la macroporosité ainsi que le masquage de plus en plus marqué des grains de quartz par un enrobage de l'argile (fig.3). Cet enrobage devient suffisamment conséquent pour que les grains quartz disparaissent dans l'argile .

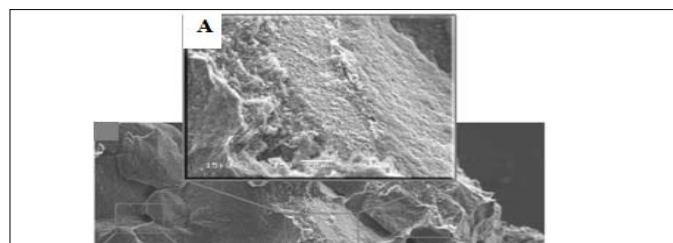


Fig.3 : Structure microscopique au MEB de l'adobe du ksar el Hara
(A- enrobage du quartz ; B- structure d'un pore ; C- structure d'un point d'encrage)
(B-

De manière générale, il on observe que le quartz désigné désormais par entité (enrobés d'argile) et dont le placage en surface extérieure est relativement lisse (fig.3-A)¹². En conséquence, les macro-pores sont donc entourés par l'argile et il n'existe pas de contact angulaire (plaqués d'argile) ni de macro-pores avec une interface quartz (fig.3-B). A cela s'ajoutent des figures de menisques simples ou triples reliant les différentes entités quartz/enrobage d'argile (fig.3-C). Cette structure est la plus remarquable sur cet adobe¹³.

3.3. Caractéristiques physico-mécaniques :

L'étude expérimentale portant sur les propriétés physico-mécaniques, chimique et thermo-physiques donne des indications sur le choix du matériau en vue de confort thermique du ksar, présenté dans le tableau 2 :

Caractéristiques		Valeurs
Caractéristiques Petro-physique	La masse volumique apparente	1.80 g/cm ³
	La masse spécifique	2.57 g/cm ³
	La porosité totale	30%
	L'humidité	3.6%
	Coefficient d'absorption	0.34 kg/m ² s
	Matières organiques	2.04%
	Analyse	sable

¹² K.A .Heathcote, op.cit, p187.

¹³ Ibid,p188.

	granulométrique	Argile	35%
Propriétés mécaniques	Resistance à la flexion		1.14 Mpa
	Resistance à la compression		3.31Mpa
Caractéristiques Thermo-physiques	Conductivité thermique		0.365
	Chaleur spécifique		930
	Effusivité thermique		33.24 J.S1/2/m2.°C
	Diffusivité thermique		4.3 x 10 ⁻⁷ m2/s

Tableau .2 : Tableau des résultats de caractéristiques d'adobe étudiée

3.4. Caractéristique hygrothermique (Thermo Hygro Bouton) :

L'objectif de ce Protocole consiste de suivre la température et l'humidité à l'environ du ksar par des thermo-hygro boutons in-situ, et de déterminer la variation de la température et l'humidité de l'extérieur et à l'intérieur. Cette variation nous informe sur le type et le mode d'échange thermique à travers l'adobe de construction du ksar, ainsi-que les différentes caractéristiques du matériau adobe (structure et texture) et les techniques de construction du ksar. Le bouton implantent a l'extérieurs du ksar el Hara de la wilaya de Djelfa (matériau de construction : brique en terre crue) . Les résultats obtenus sont représentées dans la fig. 4 :

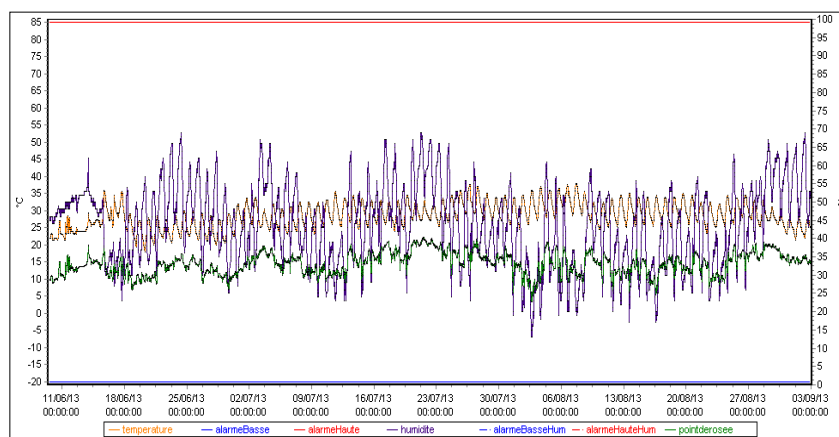


Fig.4 : Evolution de la température et l'humidité à l'environ du ksar en fonction du temps

Parallèlement à la température, l'humidité est une grandeur de processus très importante. L'humidité relative de l'air ambiant, par exemple, a une influence considérable sur notre bien-être et notre santé. Il est primordial de contrôler l'humidité de l'air là où la vapeur d'eau contenue dans l'air provoque ou influence des réactions

chimiques, physiques ou biologiques. La fig.4 montre que le point de rosée est entouré de 5 °C à 15°C de température, s'explique l'environnement humide. Le point de rosée T_r est la température, à laquelle l'air est saturé de vapeur d'eau et à laquelle il se produit une condensation en cas d'apport supplémentaire de vapeur d'eau ou de refroidissement de l'air. Donc :

- En fonction de sa température, l'air est en mesure d'absorber et de stocker une quantité déterminée de vapeur d'eau.
- La capacité d'absorption augmente avec la température.
- Pour une température déterminée, la pression de vapeur d'eau produite ne peut augmenter que jusqu'à la limite de saturation qui s'appelle la pression de vapeur d'eau saturante (P_s).

On conclue que l'environnement du Ksar favorise l'altération (dissolution) de l'adobe par la vapeur d'eau excédentaire se transforme en pluie, brouillard ou eau de condensation. La masse des structures anciennes (murs et planchers) apporte une forte inertie au bâtiment. En été, elle permet de stocker puis de distribuer la fraîcheur nocturne avec un déphasage pouvant atteindre une douzaine d'heure au moment le plus chaud de la journée¹⁴.

- Les protections solaires extérieures : Volets ou contrevents, masques végétaux ou bâtis peuvent empêcher le rayonnement solaire de pénétrer à l'intérieur de la maison¹⁵.
- L'évaporation : L'eau contenue dans les murs anciens crée du froid en s'évaporant sous les rayons du soleil¹⁶.

Les résultats des caractéristiques de l'adobe, choisi comme matériau de construction du Ksar el Hara ont montré que ce matériau a de meilleures performances pour la régulation thermique. La variation de ses paramètres thermo-physiques est due à la nature de l'argile (muscovite), moyennement plastique et ses caractéristiques pétro-physiques (porosité, absorption et la répartition granulométrique)¹⁷.

Les caractéristiques mécaniques (résistance à la flexion et compression) des briques adobes du Ksar el Hara sont conformes aux résultats bibliographiques. Les propriétés thermo-physiques de l'adobe sont acceptables.

3.5. Caractéristiques pétrographiques :

¹⁴ M. Parra-Saldivar, op.cit, p1897.

¹⁵ Ibid, p1898.

¹⁶ Ibidem

¹⁷ C. Atzeni,op.cit,p 1612.

Le matériau de construction du palais est un composite naturel de couleur rouge brun, très friable surtout vers la base et de moins en moins friable en allant vers le haut de la surface étudié (fig.5).

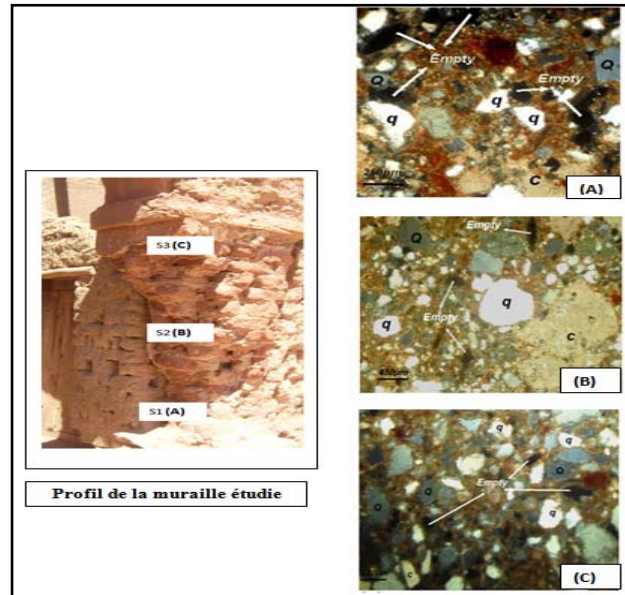


Fig.5 : Caractères pétrographique du composite de l'adobe du ksar el hara

L'observation microscopique des niveaux bas (fig. 5-A) et haut (fig. 5-C) de la muraille correspondent au phénomène de la dissolution du matériau et au drainage de certains éléments chimiques dans le sens de circulation de solution, en accord avec les teneurs en eaux qui montrent deux types de circulation de solution : la première descendante liée à l'infiltration des eaux pluviales et la seconde liée aux remontées capillaires¹⁸. Dans les deux cas la dissolution de la calcite a permis la création d'un réseau poreux important. Vers le milieu de la section (fig. 5-B) la variation de la porosité est la conséquence d'une perte en eau et les cristallisations de nouveaux composés¹⁹.

4. La conclusion

Kasr el Hara de Djelfa retrace à travers ses monuments, l'histoire de la ville depuis sa fondation au 17eme siècle. Elle a fait constamment l'objet d'une considération particulière de la part des différentes dynasties qui ont régné en Algérie.

¹⁸ Ş. Yetgin, op.cit. p29.

¹⁹ Ibid ,p31.

- Le mode de construction de ces murailles présente une grande homogénéité d'ensemble, comme le montre l'alternance régulière des bastions, la régularité de l'élévation et les traces de banchages qui rythment les façades. Les murailles sont construites avec des briques traditionnelles d'adobe de couleur jaune brun.
- La caractérisation granulométrique des briques d'adobes montre que la composition des matières premières est 35% d'argile et 65% de sable (à savoir 1 Volume d'argile+ 2 volume de sable + eau). La minéralogie d'argile est de type muscovite ayant le caractère moyennement plastique.
- Les paramètres petro-physiques, mécaniques et thermo-physiques de l'adobe restent conformes dans leurs ensembles aux résultats des références bibliographiques.

L'étude et la caractérisation des dégradations du matériau mis en oeuvre pour la construction du ce Ksar nous a apporté des informations précieuses concernant l'origine de ces dégradations. Ainsi, les circulations de solutions mis en évidence par le test des teneurs en eaux et confirmées par les fluctuations des paramètres petro-physiques et la mobilité des éléments chimiques le long des deux profils sont responsables des phénomènes de dissolutions et de cristallisations.

- L'ensemble des observations pétrographiques nous a conduits à confirmer que les phénomènes de dissolutions ont progressivement augmenté la perméabilité et la capillarité de l'enduit de l'adobe en favorisant la desquamation et l'effritement du matériau. Particulièrement sur les façades exposées aux pluies, les eaux météoriques, lorsqu'elles imbibent l'adobe, peuvent provoquer de nombreux décollements affectant l'enduit sur toute la hauteur de la muraille.
- L'évolution des paramètres péto-physiques et chimiques du matériau de construction mettent en évidence une circulation de solution ascendante dans le profil de la muraille du ksar, des remontées capillaires, qui mobiliseraient la calcite et les nitrates vers le haut du profil. Les remontées capillaires mettant en solution le matériau à la base de la muraille seraient responsables de la recristallisation et la concentration de calcite à des niveaux supérieurs et donc d'un colmatage de la porosité.
- Les résultats des analyses thermiques (conductivité, diffusivité et effusivité), montre bien le caractère régulation des matériaux de construction (adobe/ Ksar el Hara).
- Les valeurs moyennes de l'humidité et de la température prélevées pendant une période de trois mois (saisons d'été), montre que l'environ du Ksar favorise l'altération de l'adobe par la vapeur d'eau excédentaire de l'humidité relative.

Au terme de ce travail, on se rend compte de l'état déplorable de notre patrimoine architectural et de la vaste tâche à entreprendre pour le protéger et le conserver. L'état de décrépitude que nous observons sur les murailles est le résultat de l'action concomitante de divers facteurs environnementaux et socio-économiques qui ont agité pendant longtemps sur ces édifices. Empêcher ces dégradations revient à intervenir sur leurs causes.

Bibliographie.

1. Atzeni C., Pia G., Sanna U., Spanu N., A fractal model of the porous microstructure of earth-based materials', journal of Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 8, August 2008, pp1607-1613
2. Billault V, Study of coatings and soluble salt proportioning's. Poitiers , Report ratio. ERM,2004
3. Dethier J, Les architectures de terre. In: Edition du Centre Pompidou, Paris,1986.
4. Heathcote K.A, Durability of earthwall buildings , Journal of Construction and Buildings Materials, Volume 9, Issue 3, June 1995, pp 185-189.
5. Helal N, Boussaâda vers une nouvelle expérience d'habitat, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger,2004
6. Houben H., Dethier J, Traité de construction en terre, Collection : Habitat Ressour.paris ,2006.
7. Parra-Saldivar M., William B, Thermal behavior of adobe constructions, journal of Building and Environment ,Volume 41, Issue12 ,December 2006 ,pp1892-1904
8. Pignal B, Terre crue, Technique de construction et de restauration, Editeur : Eyrolles ,2005.
9. Yetgin Ş., Çavdar ,Ö., Çavdar,A, The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes , Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 3, March 2008, Pages 222-227.