



HAL
open science

ARCHI-MED : un programme de la Commission Européenne consacré à des matériaux de l'architecture de l'espace méditerranéen

Max Schvoerer, Claude Ney, Ayed Ben Amara, Céline Ollagnier, Jean-Pierre Massué, Mustapha Haddad, Adila Azzou, Mourad Rammah

► **To cite this version:**

Max Schvoerer, Claude Ney, Ayed Ben Amara, Céline Ollagnier, Jean-Pierre Massué, et al.. ARCHI-MED : un programme de la Commission Européenne consacré à des matériaux de l'architecture de l'espace méditerranéen. Minbar Al Jamiaa, 7, pp.175-187, 2007, Actes de la Rencontre Internationale sur le Patrimoine Architectural Méditerranéen (RIPAM'2005), 9981-933-12-0. hal-01983443

HAL Id: hal-01983443

<https://hal.science/hal-01983443>

Submitted on 16 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**ARCHI-MED : UN PROGRAMME DE LA COMMISSION EUROPÉENNE
CONSACRÉ DES MATÉRIAUX DE L'ARCHITECTURE
DE L'ESPACE MÉDITERRANÉEN**

Max SCHVOERER - Claude NEY - Ayed BEN AMARA - Céline OLLAGNIER

1 IRAMAT-CRP2A, UMR 5060 CNRS,
Université de Bordeaux 3, France
schvoerer@u-bordeaux3.fr

MASSUE Jean-Pierre

Réseau européen PACT-FER, France

Mustapha HADDAD - Adila AAZZOU

LASMAR, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail,
Meknès, Maroc

Mourad RAMMAH

Institut National du Patrimoine, Kairouan, Tunisie

RESUME: Parmi les matériaux de l'architecture, les céramiques glaçurées constituent, une « constante » des cultures qui se sont succédé, non seulement sur le pourtour de la Méditerranée mais également dans les pays d'Asie centrale et ceux qui sont compris entre ces deux régions du monde. Une céramique glaçurée comporte un décor, souvent d'une extrême subtilité, puis une couche de verre, - la glaçure - et enfin un substrat qui peut être composé d'une terre cuite ou d'une « fritte ». Autrement dit, c'est ce que le chercheur actuel qualifie de « matériau composite ». À ce titre, on se doute que ses propriétés et son comportement sont complexes, de même que son étude physique qui exige des moyens expérimentaux relativement sophistiqués. Parce que l'utilisation de céramiques glaçurées, sous forme de carreaux ou de zelliges destinés à protéger ou décorer des édifices, est continue depuis plus de mille ans, on se doute qu'elles poseront des problèmes de résistance à des contraintes mécaniques, à des chocs ou à un environnement chimique agressif. Ou encore des problèmes d'altération, de provenance, de re-création, de diffusion ou de datation, ... Autant de sujets que les méthodes physiques actuelles de laboratoire (ou de terrain) permettent d'appréhender dans le cadre d'opérations de recherche pluridisciplinaires. C'est ce que nous allons illustrer à l'aide de deux exemples développés avec la Commission européenne* entre 2000 et 2003. Le premier correspond à des travaux consacrés à des zelliges marocains de Rabat, Meknès et Fès. L'autre, à un type absolument remarquable de céramique glaçurée, dite « à décor de lustre métallique » dont l'exemple le plus prestigieux, à notre avis, se trouve en Tunisie, à Kairouan, dans la mosquée Sidi Oqba.

I • CONTEXTE POLITIQUE ET FINALITE DES RECHERCHES ENTREPRISES

C'est à Barcelone, en 1995, que l'Union européenne s'est associée aux pays de la façade sud de la Méditerranée, afin d'organiser un partenariat actif dont la politique consistait, globalement, à combiner les impératifs de sécurité du nord et les aspirations à la prospérité du sud. Depuis, chaque année, les ministres des affaires étrangères des pays membres de l'Union européenne et des autres pays du pourtour de la Méditerranée, se réunissent afin d'évaluer les actions de coopération, les progrès accomplis dans la mise en œuvre des projets correspondants et rechercher des solutions aux difficultés rencontrées.

Cinq ans après Barcelone, un article – parmi d'autres-, du mensuel français *Le Monde diplomatique* (GHILES, 2000), rappelait les espérances de 1995, mesurait le chemin parcouru et soulignait les difficultés nées d'arrière-pensées des uns ou de blocages structurels des

autres, qui sont autant de freins au succès de la démarche. L'article insistait en particulier, sur la nécessité de privilégier des actions de formation de haut niveau, afin de renforcer les structures universitaires de chaque pays du sud et l'urgence, pour des raisons économiques et sociales, de hisser leur recherche au niveau des meilleurs travaux européens, eux-mêmes engagés dans une compétition sévère avec ceux de chercheurs d'autres régions du monde. Il ne dissimulait pas que la tâche était immense et s'interrogeait sur la façon de procéder à pareille échelle. Au titre de la recherche, il préconisait de penser « Recherche et Développement Technologique -RDT- », sans pour autant négliger la recherche de base.

Dix ans après, en 2005, où en est-on ? Il est probable que cette année anniversaire aura conduit des observateurs à dresser un nouveau bilan. Mais d'ores et déjà, pour les « chercheurs de base » que nous sommes, on peut dire que face à la multiplicité des défis actuels, le mérite de l'institution européenne et de ses alliés « méditerranéens », aura été de maintenir une stratégie d'équilibre dans les appels d'offre. À côté d'un petit nombre de grands thèmes mobilisateurs, fédératifs et proches des préoccupations immédiates de nos sociétés (éducation, emploi, agriculture, énergie, ressources naturelles, santé, sécurité, changement climatique, gestion de l'eau, tourisme, communication, transports, gouvernance,...), la stratégie a consisté à promouvoir un grand nombre de sujets plus modestes. L'urgence de ces derniers est parfois discutée parce qu'ils sont perçus comme une « myriade de micro - actions projets » donnant une impression de dispersion et d'égarement dans un « labyrinthe institutionnel » (MORATINOS, 2000). Mais bien inspirés, l'Europe et ses alliés ont maintenu ces sujets « moins urgents », jugeant qu'ils sont de toute façon créateurs de connaissances et par leur originalité, potentiellement porteurs d'innovations pour l'avenir. D'autre part, convenons-en, parce qu'ils ne coûtent pas trop cher...

Heureusement, car beaucoup des participants à cette rencontre internationale dépendent de ce qu'il est convenu d'appeler la Recherche publique. En effet, pour la plupart d'entre nous, nos travaux se situent à l'interface des sciences physiques (physiciens, chimistes,...) ou de la nature (géologues, biologistes,...) et des sciences humaines (historiens de l'art, archéologues, architectes,...) et ils relèvent plutôt du second type de sujet. Cela dit, on doit mettre en garde les observateurs (journalistes, experts,...), de porter des jugements hâtifs, car il arrive fréquemment que ces sujets que l'on qualifie parfois, avec beaucoup de légèreté, « d'exotiques » et que l'on a tendance à sous-estimer a priori, croisent tôt ou tard, des enjeux économiques de nos sociétés.

C'est ce que nous allons illustrer en présentant, de manière succincte, une partie d'un programme de recherche consacré à la préservation et à la valorisation du patrimoine culturel. Il implique notamment un partenaire marocain coopté pour sa compétence par un groupement international de spécialistes du domaine abordé. Et cela, conformément à l'usage en matière de stratégie de recherche internationale. Cette précision ne nous paraît pas inutile car le système de cooptation contrarie quelques administrations nationales qui n'ont pas encore assimilé l'idée que ce que la communauté scientifique attend d'elles, c'est seulement d'accompagner la recherche, si possible d'y participer... L'exemple choisi correspond à une action menée grâce au soutien de la Commission européenne* et pour plusieurs pays concernés, grâce au concours des institutions de recherche dont dépendent les équipes impliquées.

Cette action, intitulée « Archéomatériaux composites verre-céramique de l'ARCHItecture de l'espace MÉDiterranéen », désignée par l'acronyme « ARCHI-MED », a été réalisée entre

2000 et 2003 et son résultat fut évalué (très) positivement par l'expertise de la Commission (SCHVOERER *et al.*, 2003). Dans la stratégie européenne, elle relève d'un objectif de la Commission qui est de préserver et valoriser le patrimoine culturel de l'espace euro-méditerranéen. Elle traite de céramique glaçurée. Il s'agit d'un matériau composite de l'architecture utilisé dans la plupart des pays méditerranéens, sous forme de carreaux ou de zelliges, afin de protéger et décorer de nombreux édifices publics ou privés. On retiendra que les recherches correspondantes débouchent sur des réalités socio-économiques actuelles de notre temps. Les principaux secteurs de l'économie concernés sont l'industrie du tourisme qui fait un considérable usage dans ses images d'appel, du patrimoine culturel, l'industrie des matériaux et produits de substitution et d'équipements de chantiers et enfin, l'artisanat, souvent appelé pour des réhabilitations ou des restaurations.

II • PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS DU PROGRAMME ARCHI-MED. METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

• Problématique

Traditionnellement, les sujets relatifs aux céramiques anciennes qu'elles soient d'usage (vaisselle) ou de l'architecture (éléments structurels ou de protection et décoration) sont plutôt appréhendés par des historiens de l'art ou des techniques, par des archéologues, des architectes ou des restaurateurs. Plus rarement par des physiciens. Pourtant, lorsqu'un architecte ou un restaurateur, par exemple, est confronté à la nécessité de reconstituer ou de remettre en place ce qui subsiste d'un panneau de carreaux de céramique glaçurée, il fait appel à un céramiste contemporain. Pour lui demander de « reproduire » - on doit dire re-crée-, des carreaux (ou des zelliges) aux dimensions, aspects, colorations et décors, « identiques » à ceux qu'il faut remplacer.

L'expérience montre qu'en l'absence de données techniques anciennes, le plus souvent, le céramiste contemporain projette vers le passé, des connaissances actuelles sur les matériaux et les procédés. Le résultat peut être satisfaisant mais dans bien des cas, il est décevant. Car un rapprochement entre un objet re-créé et son modèle, peut présenter d'importants « décalages ». D'une part en ce qui concerne les couleurs des décors. D'autre part, pour ce qui est des propriétés d'un carreau qui peuvent s'avérer très « inférieures » aux caractéristiques et performances équivalentes du modèle. Et cela, bien que ces propriétés déterminent la résistance du carreau aux agressions mécaniques ou physico-chimiques de l'environnement. C'est tout particulièrement le cas des anciens zelliges des ensembles décoratifs mosaïqués de nombreux édifices marocains que l'on voudrait souvent reproduire avec une « qualité » identique. Ou encore du « décor de lustre métallique » des céramiques qui décorent le mihrab de la grande mosquée de Kairouan en Tunisie et qu'aucun atelier, en Tunisie ou en Europe, à notre connaissance, n'a été en mesure de re-crée, avec les subtiles caractéristiques chromatiques des décors originaux.

À ce type de préoccupation, d'ordre technologique, s'ajoutent fréquemment d'autres interrogations, en général négligées par les céramistes, faute de temps... Pourtant, les réponses à ces interrogations permettraient d'améliorer la démarche de re-création. Pour l'essentiel, elles concernent la nature et la provenance des matières premières utilisées, les traitements successifs, le vieillissement naturel du carreau et du liant associé —en général un mortier de chaux, de gypse ou mixte—. À ce propos, il importe de souligner le rôle important de la composition et de la texture du mortier dont dépend en grande partie la durée de vie d'un panneau de carreaux ou de zelliges, qu'il maintient en place. Ou encore l'interrogation

relative au lien qui n'a rien d'évident entre la spécificité d'un carreau de céramique glaçurée ou d'un zellige et sa fonction, selon qu'il soit destiné à être utilisé sur un mur extérieur, intérieur, en dallage de sol, sur un dôme, une coupole... Tous ces sujets furent abordés dans ce programme et dans de nombreux cas, des réponses jugées « utiles » par les céramistes professionnels furent apportées.

Afin d'illustrer notre propos, nous avons sélectionné dans le programme ARCHI-MED, deux sujets qui posaient des problèmes au Maroc et en Tunisie qui furent en grande partie résolus. D'autres sujets de ce programme, traitant en particulier de problèmes de provenance et de création, sont décrits dans le rapport de synthèse remis en 2003 à la Commission Européenne (SCHVOERER *et al.*, 2003)

Le premier se rapporte aux zelliges du Maroc. On les taille généralement sur une enclume, par percussion à l'aide d'une masse métallique. **Pour ce type de céramique glaçurée, on peut se demander si la composition et la texture des zelliges sont particulières, au point d'expliquer leur étonnante résistance mécanique ?** En effet, dans la plupart des cas, la dextérité et le métier du « tailleur de zelliges » font que la glaçure ne se brise pas ou ne se détache pas de son substrat, malgré la puissance de l'impact de la masse métallique. Sans doute à cause de nombreux échecs, d'autres techniques ont été développées. L'une d'elles consiste –à Tétouan en particulier–, à tailler d'abord dans l'argile plastique le zellige de forme géométrique déterminée, puis à appliquer le mélange glaçurant et cuire l'ensemble. L'autre, plus industrielle et certainement plus rentable, consiste à « simuler » une mosaïque de zelliges en dessinant et colorant des motifs en forme de zelliges, sur des carreaux de plus ou moins grandes dimensions.

Le second se rapporte aux carreaux à décor de lustre métallique du mihrab de la grande mosquée de Kairouan en Tunisie, la mosquée Sidi Oqba : Comment expliquer les étranges propriétés optiques de ce type de décor qui change d'aspect, selon l'angle d'observation et comment le re-crée-t-on ? Il faut savoir que cet exceptionnel ensemble de carreaux, se situe dans la partie la plus sacrée de la salle des prières d'une mosquée en activité. Au niveau national et local, les responsables de la valorisation du patrimoine auraient voulu présenter une image fidèle de ce mihrab, sous forme d'un *fac-similé*. Aucune entreprise, en Tunisie ou en Europe, ne parvint à reproduire ces carreaux avec leur décor de lustre métallique et ce que l'on peut voir dans le beau musée de Raqqada, à une dizaine de kilomètres de Kairouan, c'est seulement une pâle copie des carreaux, curieusement distribués et peints avec application sur un support de plâtre... Évidemment, ce qui confère aux carreaux originaux du IX^e siècle leur caractère « extraordinaire » (le terme n'est pas excessif), c'est-à-dire le reflet métallique coloré, est absent sur ces copies.

• Objectifs et méthodologie de la recherche

Zelliges

L'objectif était pour les zelliges de mettre à la disposition des professionnels céramistes qui le souhaitent, d'une part des recettes « anciennes », pour ce qui concerne la nature des constituants et leurs proportions, d'autre part des protocoles de cuisson identiques à ceux du passé. Pour atteindre cet objectif, en l'absence de textes anciens, il fallait répondre à deux questions : quelle est la nature des constituants des substrats, des glaçures et des colorants ?, quelles sont les caractéristiques de la texture de zelliges anciens ?

Dans tous les cas, les réponses furent apportées grâce à des études physiques. Pour la première question, en mettant en oeuvre des méthodes « complémentaires » d'analyse : fluorescence et diffraction de rayons X, spectrométrie de Résonance Paramagnétique Électronique. Les expériences furent réalisées à Bordeaux et à Meknès, à partir de plus de trente zelliges des XIV^es. : Chellah-Rabat (BEN AMARA *et al.*, 2003-a et -b), Filalia-Meknès, Bu-Inaniya-Meknès (BEN AMARA *et al.*, 2003-c), Bu-Inaniya-Fès (AZZOU *et al.*, 2003 ; AZZOU, 2005) et XVII^es. : Al-mansour-Meknès (BEN AMARA *et al.*, 2003-e). Pour la seconde question, une stratégie expérimentale originale fut mise en œuvre à Bordeaux afin d'examiner et décrire les « textures » en associant imagerie en cathodoluminescence et en microscopie électronique à balayage à des analyses élémentaires par fluorescence X, à l'échelle micrométrique (SCHVOERER *et al.*, 1994).

Décors de lustre métallique

Sur ce sujet, l'objectif étant de comprendre l'origine physique d'une propriété optique et de tenter de la re-crée, les méthodes de recherche mises en œuvre sont en partie seulement, les mêmes que précédemment (pour ce qui concerne les caractérisations). D'autres méthodes, spécifiques de l'objectif à atteindre ont été utilisées à Bordeaux : Spectrométrie de réflexion optique pour le repérage du phénomène optique, spectrométrie de photo-électrons pour déterminer l'état de valence des métaux responsables de la propriété, microscopie électronique en transmission pour la visualisation et la localisation des particules métalliques correspondantes, à l'échelle nanométrique.

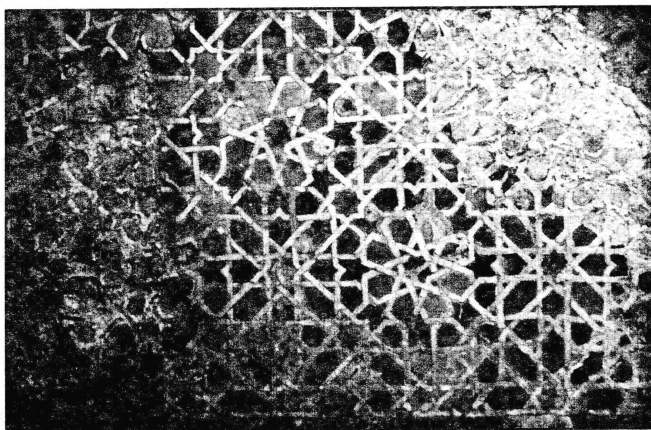
III • RESULTATS ET DISCUSSION

• Concernant les zelliges (Planche I)

Pour les substrats des zelliges, dans tous les cas, on a trouvé qu'il s'agissait de terres cuites. Cela signifie que pour fabriquer des zelliges, on n'utilise pas de frites, vraisemblablement pour des raisons mécaniques ou traditionnelles. Ces substrats sont en général fortement calciques (pouvant atteindre 40 % en CaO) et peuvent contenir des phases cristallines formées à haute température (jusqu'à quelque 900° C)(BEN AMARA, 2002 ; BEN AMARA *et al.*, 2003-a).

Les glaçures des zelliges sont fortement plombifères (pouvant atteindre 55 % en PbO) et faiblement alcalines (moins de 6% en Na₂O et K₂O)(BEN AMARA, 2002 ; BEN AMARA *et al.*, 2003-b). L'opacification blanche de certains échantillons est obtenue soit par l'usage d'étain sous forme de cristaux de cassitérite (SnO₂), soit par la présence des micro-cristaux non fondus de quartz.

Planche I : Zelliges

**Fig. I-1**

Rabat - Chellah (XIV^es. Maroc). Le motif géométrique de base de l'un des murs des alvéoles de la madrasa (lieu de prélèvements) est une étoile à huit branches formée de zelliges de différentes couleurs.

(Image M. Schvoerer, 1999)

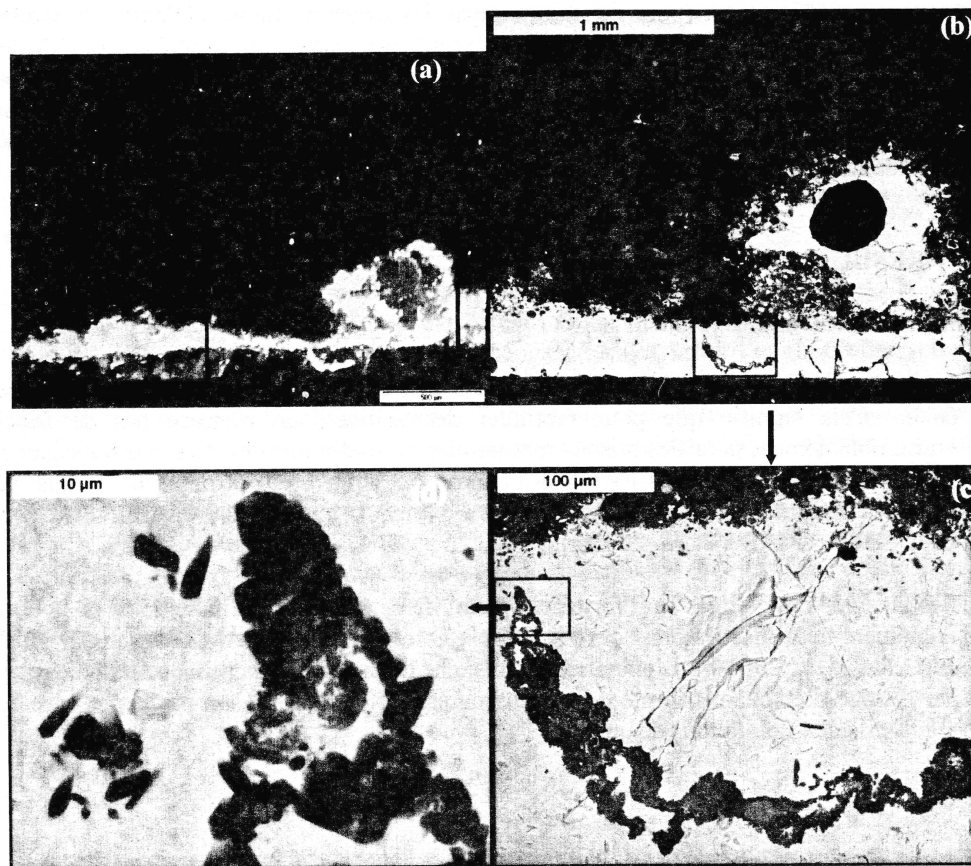


Fig. I-2 : Rabat - Chellah (XIV^es., Maroc). Observation de la texture d'un zellige en cathodoluminescence sur une section perpendiculaire à la surface de la glaçure (BDX 6435). Elle présente une luminescence jaune intense à l'interface glaçure (partie inférieure) / terre cuite (partie supérieure) (a) qui correspond à la formation de cristaux de dévitrification de forme aciculaire, observés en microscopie électronique à balayage (en mode électrons rétrodiffusés) (b, c et d). Le rôle de ces micro-cristaux est déterminant vis-à-vis de l'adhérence de la glaçure sur son substrat et par conséquent des propriétés de résistance mécanique des zelliges. (Images CRP2A)

Les colorants des glaçures plombifères des zelliges examinés sont très classiques et utilisés seuls ou mélangés. On note la prépondérance de quelques ions chromogènes habituels dans divers états de valence: manganèse (brun ou noir), cuivre (vert), cobalt (bleu) et fer (jaune-miel).

Au total, pour ce qui concerne les substrats et les glaçures des zelliges, la nature des constituants n'est pas originale, ni l'idée qu'il fallut cuire le substrat à haute température (quelque 900°C). Ce qui est néanmoins à remarquer, ce sont les proportions des constituants, assez inattendues. La teneur élevée en plomb, en particulier, permet sans doute d'obtenir des couvertes « nappantes » qui tressaillent peu sur ce type de substrat calcique. En revanche, ce qui étonne, c'est la présence de cristaux de néoformation à l'interface glaçure – substrat. Sur ce dernier point, nous savons (SCHVOERER *et al.*, 1994), que ces cristaux observés sur des carreaux de pavement médiévaux d'Aquitaine, sont essentiels pour le comportement mécanique de l'objet grâce à l'arc-boutement de la glaçure et à son adhérence sur le substrat de terre cuite. Au niveau des séries étudiées, seuls les zelliges provenant du site de Chellah (XIV^e siècle) présentaient une zone d'interface large (jusqu'à 700 µm). Pour les autres zelliges, les cristaux de néoformation sont moins abondants et l'épaisseur de la zone d'interaction glaçure/terre cuite n'excède pas 30 µm environ. L'enchevêtrement des micro-cristaux favorise l'absorption et la diffusion d'une grande partie des contraintes mécaniques et contribue à la solidité du zellige. On s'est donc demandé si la présence de ces cristaux était fortuite ou le fait d'une savante réflexion de la part du céramiste. Pour l'instant, nous n'avons pas tranché sur cette interrogation. Il faudra le faire car ces cristaux se forment plutôt si l'on procède à une unique cuisson, simultanée, du substrat calcique et de la glaçure plombifère (BEN AMARA, 2005 ; BEN AMARA et SCHVOERER, 2006). Contrairement à ce qui se fait de nos jours où l'on cuit successivement le substrat puis le mélange glaçurant (HADDAD *et al.*, 2003). Il est clair que la réponse permettra de mieux cadrer le protocole de cuisson, à la fois le plus efficace et le plus rentable, économiquement.

Concernant les décors de lustre métallique, c'est-à-dire, « le secret de l'Homme de Bagdad » pour obtenir des reflets métalliques diversement colorés (Planche II).

Cet intitulé renvoie à un savoir faire perdu (SCHVOERER *et al.*, 1999). Ce qui est stupéfiant avec ce type de décor, c'est que le génial céramiste de Bagdad (ou de Samarra), qui a façonné dans le courant des années 860, en Mésopotamie (Irak actuel), la totalité -ce que nous avons démontré- (BOBIN *et al.*, 2003-b) des carreaux décorant le mihrab de Sidi Oqba, soit parvenu à créer sur un même carreau, des motifs à reflet métallique doré et simultanément, des motifs dont les reflets sont d'une autre couleur. Bleue notamment, au grand étonnement de la plupart des chercheurs, historiens de l'art, céramologues ou physiciens (PLANCHE II). Plus tard, le savoir-faire s'étant perdu, des céramistes parviendront en Égypte, en Perse, en Espagne, ..., à produire sans difficultés semble-t-il, des décors à reflets dorés mais tous échoueront, sauf accident, dans l'obtention de reflets bleus ou d'une autre couleur que dorée.

Planche II : Céramique glaçurée à décor de lustre métallique

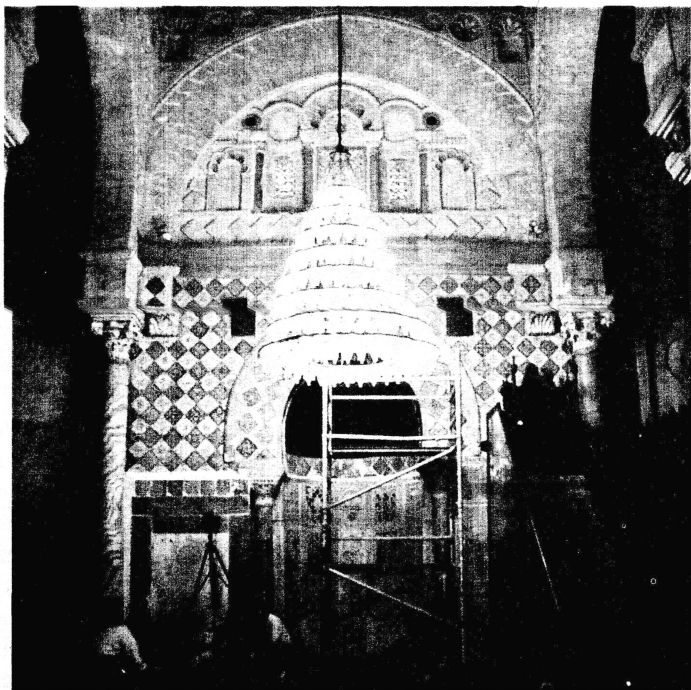


Fig. II- 1 : Pendant une séance d'analyse spectrale *in situ* des couleurs : Vue générale du mihrab de la mosquée *Sidi Oqba* de Kairouan, Tunisie (836-863 ap. J.C.), décoré de carreaux de céramique glaçurée à décor de lustre métallique. Les carreaux ornent une partie du mur de la qibla, l'archivolte et l'intrados de l'arc ainsi que la retombée de voûte en cul-de-four du mihrab (Image Claude Ney, 1999).

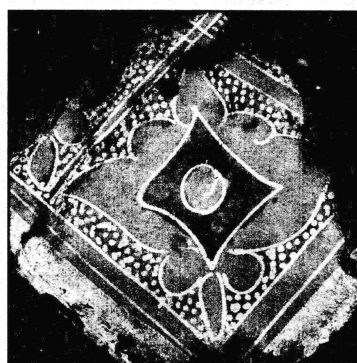


Fig. II- 2 : Kairouan (Tunisie). Détail d'un carreau à décor de lustre métallique du mihrab de la mosquée *Sidi Oqba*. A gauche : vision en lumière diffuse d'un décor polychrome vert, brun et ocre jaune sur fond blanc. A droite : vision à réflexion spéculaire des reflets métalliques respectivement dorés, bleu et turquoise (Images Claude Ney, 1999).

Nous avons pu montrer dès 1997 (BOBIN, 2001 ; BOBIN *et al.*, 2005-a), sur un échantillon recueilli à Kairouan, notamment grâce à des observations en microscopie électronique en transmission, que le phénomène est dû à la formation de colloïdes de dimensions nanométriques, de cuivre ou/et d'argent à l'état métallique, enfouies sous une mince couche de glaçure transparente (Bobin *et al.*, 2005-b). Nous sommes parvenus à corrélérer les reflets dorés à l'existence de « gros » colloïdes d'argent ou de cuivre (50 à 100 nanomètres) situés sous la surface de la glaçure et au contact de cette surface. Quant aux reflets bleus ou d'une autre couleur, ils semblent plutôt dépendre de la présence de très petits colloïdes (5 à 10 nanomètres), localisés en profondeur dans la glaçure (50 à 150 nanomètres) (BOBIN *et al.*, 2005-a et -b ; CHABANNE, 2005 ; OLLAGNIER, thèse en préparation).

Pour ce qui est de re-créeer un décor de lustre aussi riche chromatiquement que celui que « l'Homme de Bagdad » a produit pour Kairouan, les résultats obtenus récemment, permettent de penser que nous sommes parvenus à l'Université de Bordeaux 3, à identifier les matériaux convenables, avec les proportions à respecter et à reconstituer les protocoles opératoires efficaces. L'obtention répétée de reflets métalliques de couleurs différentes sur un même objet répond pleinement à notre attente. Des essais de reproductibilité sont en cours (OLLAGNIER, thèse en préparation). Au total, grâce aux recherches menées dans le cadre du programme ARCHI-MED, nous pensons avoir percé le mystère de l'Homme de Bagdad. Des développements sont en cours avec des céramistes professionnels.

Parallèlement, la recherche théorique menée a montré que les « modèles » de Mie (MIE, 1908) et de Maxwell Garnett (MAXWELL GARNETT, 1904) permettent de décrire l'importance des intensités lumineuses réfléchies par la couche de colloïdes et les couleurs observées, respectivement en lumière diffuse et à la réflexion spéculaire. Précisons que physiquement, le reflet métallique, observable seulement à la réflexion spéculaire, correspond à un phénomène de *résonance plasmon* entre la lumière et le plasma d'électrons qui entoure la couche de colloïdes métalliques (SCHVOERER *et al.*, à paraître).

IV • DISSEMINATION ET VALORISATION DES RESULTATS

Conformément à l'usage chaque fois qu'une recherche est féconde, elle induit des enseignements nouveaux. C'est ce qui s'est passé pour la quasi totalité des équipes impliquées. De même, des séminaires de recherche et des sessions de formation, de type « Programme Intensif » de la Commission européenne, furent organisés à l'initiative du réseau PACT : par exemple à Caltagirone (I.) en 2001, Bordeaux (Fr.) en janvier 2002, Ravello (I) en novembre 2002 et Séville (E) en avril 2003. Enfin, des « Rencontres » de type Entreprise - Université, se sont tenues à Bordeaux (Fr.) en novembre 2000, janvier 2002 et à Manises (E.) en mars 2003. Organisées sur des durées de 7 à 10 jours et comportant des travaux en atelier, au Laboratoire de recherche et des cours, elles ont réuni chaque fois 15 à 20 industriels ou artisans et autant de chercheurs. Ces rencontres se sont avérées d'un extrême intérêt pour initier des collaborations entre des entreprises et des laboratoires publics de recherche.

Vis-à-vis du grand public, de substantielles expositions centrées sur le thème des décors de lustre métallique, dont une fut itinérante en Europe, ont été organisées par les participants à ce programme. À Bordeaux (Fr.) en 2000, Perpignan (Fr.) et Caltagirone (I.), en 2001, à Paterna (E.) en 2002, à Manises (E) en 2003 et en préparation pour 2006, à Samadet (Fr.). Chaque fois que cela fut possible, des articles de presse (quotidiens ou hebdomadaires) ont rapporté des informations au sujet des expositions ou des séminaires.

V • L'AVENIR : « De bleu et d'or sur les routes de la soie », projet qui fera une large place à la prévention du patrimoine culturel contre les risques

Il s'agit d'un projet de type RDT qui nous projette dans les années 2007-8 à 2011-12. En préparation au titre du 7^e Programme - Cadre de la Commission Européenne, il est en cours d'élaboration par un groupe de travail international, comportant des chercheurs et des professionnels des matériaux céramiques de l'architecture et des matériaux liés à la mise en œuvre des céramiques. Si la politique de coopération de l'Union Européenne et de la Direction Générale Recherche en Méditerranée (INCO-MED) est maintenue à partir de 2007, le réseau PACT-FER envisage de proposer la constitution d'un consortium qui élaborera une « proposition » mettant tout particulièrement l'accent sur les retombées économiques et sociales de la recherche dans le domaine considéré. Sans entrer ici dans le détail, nous dirons seulement, que géographiquement, le projet s'attache à l'espace méditerranéen, bien entendu, mais également à l'Asie centrale (SCHVOERER, 2001). Thématiquement il cernera les problèmes liés à l'altération des matériaux céramiques de l'architecture, à leur re-création, leur datation, leur vulnérabilité vis-à-vis des risques naturels ou d'origine anthropique et à leur diffusion au cours des siècles, entre Méditerranée et Asie centrale.

En attendant, au titre du 6^e programme cadre de la Commission et jusqu'en 2007, le réseau est engagé dans un autre programme tout aussi passionnant, en partie consacré au support de grès de l'art rupestre saharien et à sa « patine ». Il faut dire que ces grès sont porteurs de gravures et de peintures préhistoriques qui rendent compte —à condition de parvenir à les lire, de la capacité des sociétés anciennes depuis une douzaine de millénaires, à s'adapter aux changements climatiques. Dans ce programme, une autre équipe marocaine est engagée : Le Centre National d'Art Rupestre de Marrakech (Dr MOHSSINE EL GRAOUI et Dr ABDELJALIL HAJRAOUI).

REMERCIEMENTS. Les auteurs tiennent à témoigner leur reconnaissance aux Institutions qui ont rendu possible les actions de coopération évoquées dans cet article, ainsi qu'à à leurs représentants. En ce qui concerne notre participation aux programmes de la Commission européenne, il s'agit de la Direction Recherche (DG R) (Bruxelles) et du Conseil de l'Europe (Strasbourg). En ce qui concerne la contribution des équipes françaises, le Conseil régional d'Aquitaine (Bordeaux), le Ministère de la recherche, la Direction de la recherche de l'Enseignement supérieur et le Département Sciences de l'Homme et de la Société (SHS) du CNRS (Paris). En ce qui concerne le Maroc et la Tunisie, les Ministères de la Recherche, de l'Enseignement Supérieur, les ministères de la Culture et le CNRST marocain. Nous tenons également à remercier la mission de coopération et d'action culturelle de l'Ambassade de France à Rabat, qui a permis à l'un d'entre nous (M.S.) de prendre part à la Rencontre RIPAM de Meknès, du 26 au 28 septembre 2005.

* Contrat FP 5 - ICA 3 CT 1999 00002 (2000 – 2003). « ARCHI-MED » . Partenaires : **Espagne** - Musée de Manises (M. Josep Perez-Camps, muséologie). **France** (coordination) – Université de Bordeaux 3 - CNRS et réseau de coopération scientifique et technique FER-PACT (Dr Jean-Pierre Massué, Mme Claude Ney, M. Ayed Ben Amara et Pr. Max Schvoerer, physique des archéomatériaux). **Maroc** – Université de Meknès (Pr. Mustapha Haddad, physique). **Turquie** - Université d'Istanbul (Pr. Tulay Tulun, physico-chimie).

REFERENCES

- AZZOU A., HADDAD M., BEN AMARA A. ET SCHVOERER M., 2003. Zelliges du XIV^e s. de la madrasa Bu-Inaniya (Fès, Maroc). In *Rapport de synthèse du programme de la Commission européenne ARCHI-MED* (Convention ICA 3 CT 1999 00002), 135-137.
- AZZOU A. (2005). *Céramiques glaçurées architecturales marocaines : caractéristiques physico-chimiques et techniques de fabrication des zelliges anciens (14^{ème} et 17^{ème} s.)*, Thèse, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 150 p.
- BEN AMARA A. (2002). *Céramiques glaçurées de l'espace méditerranéen (IX^e – XVII^e siècles ap. J.-C.) : Matériaux, techniques et altération*, Thèse en Physique des Archéomatériaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3, 318 p.
- BEN AMARA A., SCHVOERER M., HADDAD M. ET AKERRAZ A. (2003-a). Recherche d'indices sur les techniques de fabrication de zelliges du XIV^e siècle (Chellah, Maroc), *Revue d'Archéométrie*, 27, 103-113.
- BEN AMARA A., SCHVOERER M., NEY C. ET HADDAD M. (2003-b). Zelliges du XIV^e siècle de Chellah, Rabat, Maroc. Caractéristiques physiques et indices technologiques. In *Rapport de synthèse du programme de la Commission européenne ARCHI-MED* (Convention ICA 3 CT 1999 00002), 123-128.
- BEN AMARA A., SCHVOERER M., HADDAD M. ET AZZOU A. (2003-c). Zelliges de pavement du XVIII^e s. du palais Al-Mansour (Meknes, Maroc). Caractéristiques physiques et indices technologiques. In *Rapport de synthèse du programme de la Commission européenne ARCHI-MED* (Convention ICA 3 CT 1999 00002), 139-143.
- BEN AMARA A., AZZOU A., HADDAD M., SCHVOERER M., NEY C., AIT LYAZIDI S. ET MOLINIE P. (2005). Archaeological Zelliges of Meknes (14th-century): physical measurement of the colour and identification of colouring agents, *Journal de Physique IV*, 207-211.
- BEN AMARA A. AND SCHVOERER M. (2006). Interactions between lead glazes and bodies: research on the mode of application of the glazing mixture, *34th International Symposium of Archaeometry*, Saragosse, 3 - 7 mai 2004 (Espagne), éd. Institució: "Fernando el Católico", 399-404.
- BOBIN O. (2001). Propriétés optiques de nanoparticules de cuivre et d'argent dans des matrices silicatées. Application aux Archéomatériaux : céramiques glaçurées à décor de lustre métallique du IX^e siècle – *Grande mosquée de Kairouan – Tunisie*. Thèse de Doctorat en Physique appliquée à l'Archéologie, Université Michel de Montaigne Bordeaux 3, 341 p.
- BOBIN O., SCHVOERER M., MIANE J.L., FABRE J.F., GUETTE A., LABRUGERE C. ET LAHAYE M. (2003-a). The metallic lustre of glazed ceramics: interpretation of the in-scattered-light optical properties. One theoretical approach. *Proceedings of the 6th European Meeting on Ancient Ceramics*, Fribourg, 3-6 october 2001, 19-24.

- BOBIN O., SCHVOERER M., NEY C., RAMMAH M., DAOULATLI A., PANNEQUIN B. ET GAYRAUD R.P. (2003-b). Where did the lustre tiles of Sidi Oqba mosque (836-863 AD) of Kairouan come from?. *Archaeometry*, 45, 4, 569-577.
- BOBIN O., SCHVOERER M., CHABANNE D. ET NEY C. (2005-a). Mise en évidence de la nanotexture des constituants de décors de lustre métallique sur des céramiques glaçurées de l'espace méditerranéen. In « *Décor de lustre métallique et céramique glaçurée* », Actes du séminaire de Ravello 11-12 oct. 1998, éd. CUEBC, Ravello (I), série Scienze e materiali del patrimonio culturale, N° 7, 31-38.
- BOBIN O., SCHVOERER M., CHABANNE D., NEY C., LAHAYE M., LABRUGERE C. ET GUETTE A. (2005-b). Localisation et distribution par spectrométrie Auger des constituants des décors de lustre métallique de céramiques glaçurées. In « *Décor de lustre métallique et céramique glaçurée* », Actes du séminaire de Ravello 11-12 oct. 1998, éd. CUEBC, Ravello (I), série Scienze e materiali del patrimonio culturale, N° 7, 39-45.
- CHABANNE D. (2005). *La céramique à décor de lustre métallique de l'espace méditerranéen (IX^e - XIX^e siècles ap.J.C.)*. Thèse de Doctorat en Physique appliquée à l'Archéologie, Université Michel de Montaigne Bordeaux 3, 260 p.
- GHILES F. (2000). À la recherche d'une troisième voie. Actualités du dialogue euroméditerranéen. *Le Monde diplomatique*, novembre, 3-5.
- HADDAD M., AZZOU A. ET ZERHOUNI F. (2003). Éléments sur la production de zelliges en 2003 à Fès et Meknès, Maroc. Coopération entreprise – Université. In *Rapport de synthèse du programme de la Commission européenne ARCHI-MED (Convention ICA 3 CT 1999 00002)*, 145 - 147.
- MAXWELL GARNETT J.C. (1904). Colour in metal glasses and metallic films. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, 203, 385.
- MIE G. (1908). Beiträge zur optik trüber medien speziell kolloidaler metallösungen, *Annalen der Physik*, 25, 377-445.
- MORATINOS M. A. (2000). *La politique méditerranéenne de l'Union européenne, bilans et perspectives*. Rapport au président de la Commission européenne, février.
- OLLAGNIER C., Doctorat en préparation, Université de Bordeaux 3, France.
- SCHVOERER M., RAFFAILLAC-DESFOSSE C., BECHTEL F., NEY C., ET CHAPOULIE R. (1994). Détection, grâce à leur luminescence de cristaux de dévitrification dans des glaçures médiévales. Implications technologiques. *Proceedings of the european workshop on archaeological ceramics* (10-12 oct. 1991). Ed. Dipartimento di Scienza della Terra, Univ. La Sapienza, Roma, 323-342.
- SCHVOERER M., NEY C., BOBIN O., BEN AMARA A. ET MIANE J.L. (1999). Une énigme de l'Islam médiéval. *SEMA, Le courrier des métiers d'art.*, vol. 183, 22-23.

- SCHVOERER M. (2001). De Samarcande (Ouzbékistan), à Herât (Afghanistan) : Préserver et valoriser les éléments en céramique glaçurée de l'architecture Timouride. *Actes d'une journée d'étude sur le thème « Afghanistan, patrimoine en péril »*, éd. du Centre d'Études et de Recherche Documentaires sur l'Afghanistan (CEREDAF), Paris, 137-142.
- SCHVOERER M. (2003). Les zelliges : autour d'une constante de l'architecture marocaine. In *Rapport de synthèse du programme de la Commission européenne ARCHI-MED* (Convention ICA 3 CT 1999 00002), 119-121.
- SCHVOERER M., NEY C. ET BEN AMARA A. (2003). *Archéomatériaux composites verre-céramique de l'architecture de l'espace méditerranéen. Le programme de la Commission européenne et du Conseil régional d'Aquitaine PACT-ARCHI-MED Glaçures*. Ed. Réseau européen PACT (« Sciences et patrimoine culturel »), Bordeaux, 244 p.
- SCHVOERER M., TERRIEN C. ET MIANE J.L., Lustre métallique et résonance plasmon, à paraître. \