

Le Role De La Geometrie Mathematique Islamique Dans La Creation De La Geometrie Et L'architecture Organique

Dr. HadeF Elsalem

**Architecte Liberal, Enseignant A La Faculté D'alger1-Département D'architecture
HadeFsa@Gmail.Com**

Résumé

L'étude et l'analyse géométrique mathématique de l'architecture islamique et de son développement dès l'époque Omeyyade au VIIe siècle apjc, jusqu'au XVe siècle apjc, et même après, spécialement à partir de l'époque Abbasside, depuis le Calife Al MANSOUR et entre autre celui du calife ALMAMOUN Fis de HAROUN AL RACHID, qui fonda Beit el Hikma , ce qui a permis de passer de la phase d'appréhension des maths antiques à la phase de la créativité des foyers scientifiques, pour ensuite passer à la diffusion du nouveau savoir **1**

Cette étude nous permet de constater le grand impact et l'importance de cette géométrie dans la formulation de l'architecture islamique que ce soit par la présence de la géométrie linéaire dans l'ornementation, ou celle curvilinéaire appelée arabesque, sur les enveloppes des surfaces en décoration, mais bien profondément cette géométrie se voit en éléments architecturaux bien qu'architectoniques que ce soit colonnes, arcs voutes coupoles.



FIG01 : Astrologie maitrise de la géométrie sphérique Globe Celeste Andalous, source alica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b550087272#



FIG02: à gauche « aloe polyphylla » à droite « un dahlia »

Source : <https://lecompoirdetitam.wordpress.com/2015/04/27/la-geometrie-dans-la-nature/>

On aimerait délimiter ce qui nous intéresse de la notion « architecture organique » par l'architecture qui s'inspire des éléments naturels qui se base sur la géométrie répétitive telle que les fleurs ou autres organes en forme de boules qui ont une structure géométrique répétitive (Fig 02).

Délimitation de l'objet d'étude :

Dans notre recherche nous allons se focaliser sur un aspect très important et qu'on peut qualifier même essentiel dans la formalisation de l'architecture islamique où la géométrie a joué le rôle principal, il s'agit des coupes, ou bien scientifiquement parlé du rôle de la triangulation géométrique et la géométrie spéciale dans la formalisation du caractère de l'architecture islamique dès l'époque Abbasside jusqu'à l'époque Ottomane, Notre étude va se porter donc sur cette période sur la superficie des différents états islamiques de l'Asie à l'Andalousie.

Problématique :

Les questions qu'on posera comme problématiques seront les suivantes :

- Comment, et quel point le développement de la géométrie islamique a joué un rôle dans la formalisation de son architecture
- Peut-on qualifier l'architecture islamique des coupes, d'architecture organique, ou d'un début prématuré de l'architecture organique

Objectifs :

- découvrir l'impact du développement géométrique de la triangulation sphérique sur l'architecture islamique dans les coupes spécialement, et son probable rôle dans la création de l'architecture organique.

Méthodologie de la recherche

La méthodologie qu'on a adoptée est à la fois déductif, scientifique et analytique, en utilisation la simulation informatique comme outil.

Mots clefs ;

Triangles sphériques, ornementation, coupes, Mouqarnas, architecture organique

المخلص

ان دراسة وتحليل الهندسة الرياضية للعمارة الاسلامية وتطورها بدءا من العهد الأموي فى القرن الثامن ميلادى الى القرن الخامس عشر ميلادى

وحتى فيما بعد، وبالأخص ابتداء من العهد العباسى منذ الخليفة المنصور والخليفة المأمون ابن هارون الرشيد بالتحديد الذى أنشأ بيت الحكمة، وهو ما سمح بالمرور من مرحلة استيعاب الرياضيات القديمة الى مرحلة الابداع من المراكز العلمية ليصل الأمر لانتشار المعرفة الجديدة.1

هذه الدراسة تسمح لنا ان نبصر التأثير الكبير واهمية الهندسة فى صياغة العمارة الإسلامية ان كان على مستوى الهندسة الخطية فى الزخرفة او تلك المنحنية المسماة الارابيسك على السطوح المزينة، وبشكل عميق فأن هذه الهندسة تلاحظ على العناصر المعمارية كالأعمدة والاقواس والقباب.

وبجدر بنا ان نحدد ما يعنينا من مفهوم العمارة العضوية فهى العمارة المسذتوحة من العناصر الطبيعية ذات الأسس الهندسية بالتكرار كالأزهار والأعضاء ذات الأشكال الكروية المشكلة بهندسة مكررة.

تحديد موضوع الدراسة:

فى بحثنا سنقوم بالتركيز على ظاهرة مهمة ويمكننا القول بأنها أساسية فى تشكيل العمارة الاسلامية. اين لعبت الهندسة الدور الاساسى ويتمثل ذلك فى القباب او بمعنى أكثر علمية الدور الذى لعبته المثلثات الكروية والهندسة بشكل خاص فى تشكيل خصائص العمارة الاسلامية منذ العهد العباسى حتى العهد العثمانى. وستشمل الدراسة فى هذه المدة الزمنية كل مساحة الدول الاسلامية من اسيا الى الاندلس.

الاشكالية:

ان الاسئلة التى سنطرحها فى اشكاليتنا تتمثل فى:

-كيف لعب التطور الهندسى الاسلامى دورا فى تشكيل العمارة الاسلامية والى اى درجة.
-هل يمكننا اعتبار العمارة الاسلامية فى القباب ذات المثلثات الكروية بالعمارة العضوية ، او ببداية تشكيل العمارة العضوية

اهداف البحث:

اكتشاف تأثير التطور الهندسى للمثلثات الكروية فى العمارة الاسلامية فى القباب بشكل خاص والدور المحتمل فى نشأة العمارة العضوية.

منهجية البحث:

ان المنهجية المتبعة فى هذا البحث هى فى نفس الوقت منهجية استقرائية، علمية تحليلية باستخدام المحاكاة بالحاسوب.

الكلمات الرئيسية

المثلثات الكروية، زخرفة القباب، المقرنصات، العمارة العضوية

Démarche de l'étude

Nous avons essayé de dresser une typologie à base géométrique des coupôles ; ce qui nous a aidé à analyser les différents types tenant en compte leur date de réalisation.

Bien qu'on ne prétend pas d'analyser tous les types, mais nous pensons en avoir touché des modèles illustratifs et importants.

Notre recherche va donc présenter un historique des études sur les coupôles islamiques, ensuite essayer de comprendre les bases et la logiques géométrique de la composition architecturale des coupôles islamiques.

On va présenter après des modèles simulés et dessinés selon les méthodes déjà citées,

Pour enfin conclure les différentes questions déjà posées au début de notre étude.

I-Etudes faites sur les coupôles islamiques -ETAT DE L'ART-

Les différentes recherches, et l'historique de l'origine des coupôles

Les études déjà faites sur les coupôles islamiques sont assez nombreuses, mais elles ont souvent eu un caractère délimité par le type, la région ou par époques.

On ne compte pas un ouvrage ou une recherche qui a pu classer toutes les coupôles islamiques en typologie claire, basée sur la géométrie, et dans un ordre chronologique

On peut diviser les coupôles islamiques selon leurs géométries, leurs procédés structurels et constructifs, et bien sur leurs matériaux.

Les arcs ainsi que les coupoles ont été connus en Mésopotamie, avant qu'ils soient transmis aux grecs, aux romains et aux persans ²

Cette présence historique de ces éléments a fait qu'en Syrie Omeyyade ainsi qu'en Irak Abbasside, les architectes locaux ont intégré dès le début les coupoles dans leurs monuments. la coupole du dôme de rocher comme première coupole islamique Omeyyade, celle de sallybya à Samaraa, comme première coupole tombeau en islam et à l'époque Abbasside on remarque que les deux coupoles sont sur une base géométrique octogonale. ³ Mme source pointed Dome) Le développement géométrique et astronomique en Irak va donner naissance à l'innovation de coupoles islamiques, commençant par les coupoles nervurées dont celle de Cordoue est la plus ancienne connue, ainsi que celle de la mosquée de vendredi à Ispahan un peu plus ultérieure ⁴. Ce développement important va être la clef en fait du développement des différentes coupoles islamiques et va donner naissance aux coupoles à mouqarnas avec toutes leurs variétés géométriques et en matériaux, dont les recherches archéologiques ont essayé de les classer de façon descriptif tel que (⁵ chaouqy rezqii de mon mémoire) d'autres recherches de scientifiques ont essayé de les étudier de façon analytique géométriques comme le syrien mamoun⁶, le japonais⁷.

Yasser Tabaa a essayé de prouver les origines Abbasside des mouqarnas, sans trop invoquer l'importance géométrique dans cette démarche mais en se basant sur les tracés archéologiques en fait cette origine Abbaside des mouqarnas semble être en cohérence avec le développement géométrique à Baghdad.⁸

Les coupoles ornementées sont apparues tôt, cela se révèle sur la coupole nervurée de Tlemcen Almoravide en plâtre, au 12eme siècle (⁹mon mémoire), et ensuite à l'extérieur dans les coupoles mamluks sur pierres au Caire, et en céramique à l'extérieur en Asie centrale¹⁰

En conclusion à ce paragraphe on peut déduire que les recherches nécessitent encore des études pour aboutir à un classement plus précis et global sur une base géométrique essentiellement et ensuite sur le procédé constructif, la structure, les matériaux et la décoration.

II- la base géométrique des coupoles islamiques- OBJET DE L'ART

Selon les différentes études déjà faites et en simulant plusieurs modèles de coupoles islamiques, on a déduit une logique géométrique qui sera à la base de toutes les coupoles islamiques et qui se base sur deux principes :

A- Un principe bidimensionnel, qui se résume en deux familles de tracés géométriques à triangulation et qui ont en réalité la même base géométrique.

A-1-La première famille : les coupoles ornementées à triangle sphérique

Elles sont avec ou sans nervures, à base de polygones tournant à différents angles de 45 degrés ou plus, ce qui nous donne une large panoplie de figures, formant par leurs intersections des pièces triangulées. Cela nous trace en fait la projection des pièces inscrites dans le plan d'un espace polygonal, carrée ou circulaire.

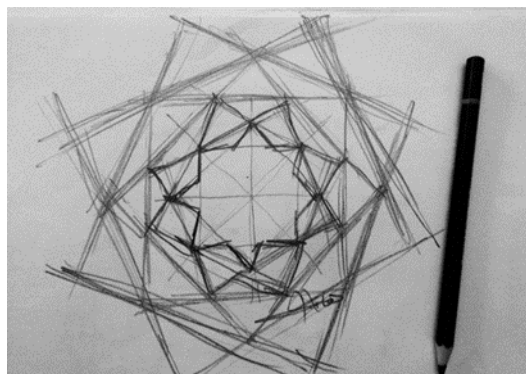
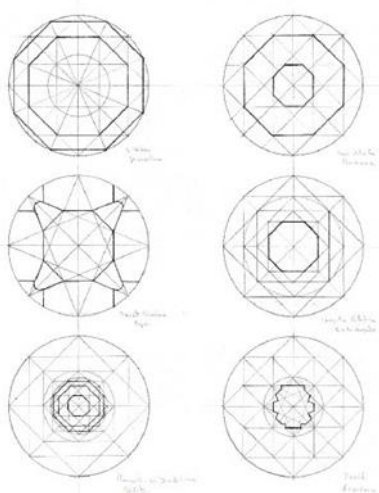


FIG03 : Division des surfaces en plans par la rotation des polygones

Ci-dessous, les coupôles avec ou sans nervures, d’octogones croisés excentrés étant des modèles purement islamiques qui illustrent une grande variété de solutions dans cette famille, avec différents matériaux et solutions constructives tantôt formant partie de la structure portante, et d’autres se suspendent sous une structure en bois ou sous une autre coupôle extérieure.



Tracé d’édifices à plans centraux selon Michel Ecochard

FIG04 : Trace d’édifices à plans centraux, Michel Ecochard, p13 coupôles. j. jTerrin ,6decembre 2006, edition hazan eds isbn 2784100318

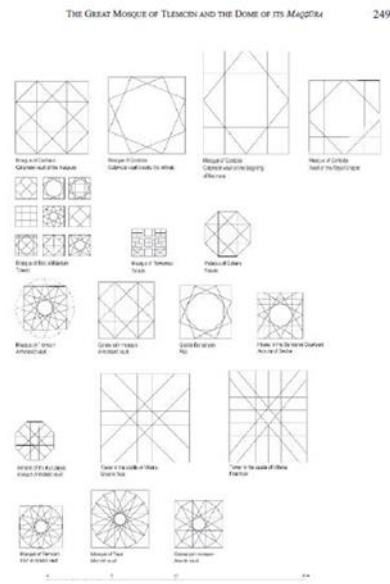


Figure 30. Geometric lay outs of the vaults of the interlaced arches of Al-Andalus and the Maghreb (A. Almagro).

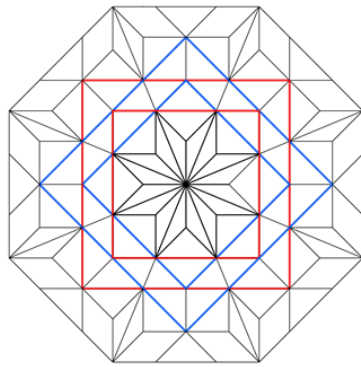
FIG05 : Voutes à nervures occident islamique, AL-QAntArA-XXXVI 1, enero-junio 2015-pp. 199-257 p249 - ISSN 0211-3589 doi: 10.3989/alqantara.2015.007 The Great Mosque of Tlemcen and the Dome Of its Maqsura

A-2- deuxième famille : les coupôles à Mouqarnas

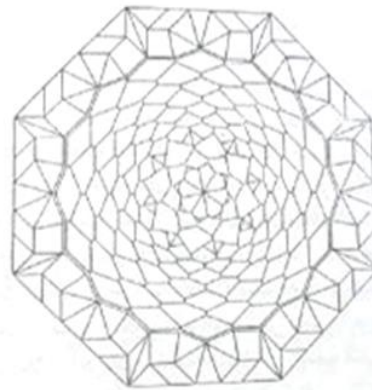
Pareil aux coupôles ornementées, elles ont comme base toujours des polygones tournant et excentrés croisés qui peuvent être sous une forme simples ou agrémentée ensuite par des petits polygones attaches formant un système astrologique d’une forme polygonale centrale entourée de plusieurs autres formes plus petite, là aussi on rencontre des sous familles,

A-2-1 forme a segments constants, Fig 06

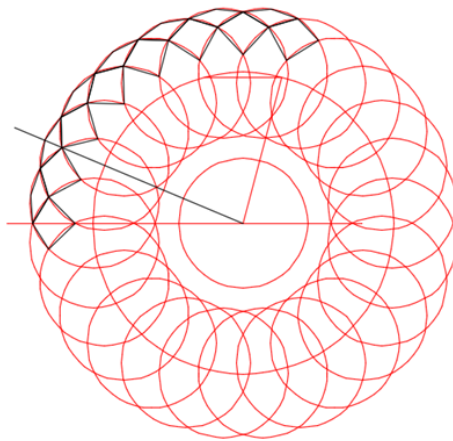
A-2-2 forme a segments ascendant vers la périphérie de façon rythmé. Fig07



**FIG06 : Forme segments constants
Model de coupole andalouse et principe
géométrique Auteur**

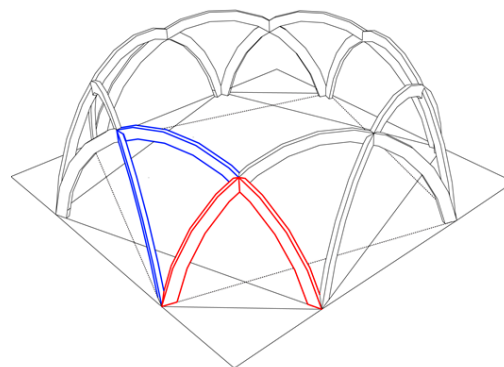
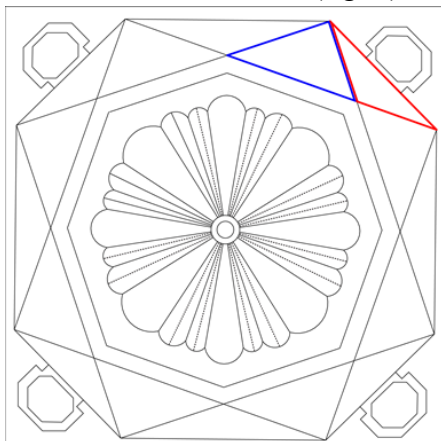


**FIG07 : Forme a segments variables
excentrique
Zomoroda khatoun irak abbasside p48
Source Hayder kamil Mouqarnas**



**FIG08 : Forme a segments variables excentrique
Principe géométrique, Auteur**

B- Le principe tridimensionnel, en élevant le tracé des pièces triangulées sur plan de façon graduelle on aboutit à des compositions spéciales de coupoles en trois dimensions. Cela va nous créer en fait des coupoles montées avec des pièces standardisées d'une façon ressemblant à l'industrialisation (fig09)



**FIG09 : Le principe d'élévation du triangle du 2D en 3D coupole nervurée devant le Mihrab de la Grande
Mosquée de Cordoue, Auteur**

Cela sera la première fois en histoire qu'on arrive à créer ce genre de coupôles complexes, ce résultat qui commença avant le Xe siècle avec les progrès mathématiques déjà cités, a réussi à créer des coupôles montées avec certaines voire des milliers de pièces triangulées, dans certains cas comme la coupôle des deux sœurs à Grenade, qu'on a du mal à dessiner même avec les outils informatiques sophistiquées, constatation qu'on a fait en simulant ces différentes coupôles avec le logiciel Autocad. Ne peut-on pas dire que ce développement de couvertures va donner naissance à ce que l'on appelle les couvertures ou les ensembles organiques.

III- CAS D'ETUDES

A-Coupôles ornementées à triangulation sphérique

1 - coupôle nervurée, grande mosquée de Tlemcen XII e siècle Fig 10-11, on constate le partage de la coupôle en triangulation sphérique, qui donne naissance à des coques minces perforées sur nervures et préfabriquées en plâtre, en Asie elles sont suspendues, couvertes de céramique ou dessinées.

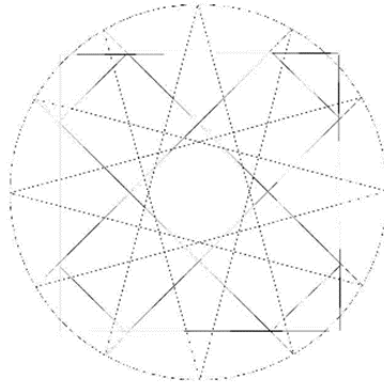


FIG 10 : trace en plan de la coupôle de la grande mosquée de Tlemcen Par A Almagro
P 244 islamique, AL-QAntArA-XXXVI 1, enero-junio 2015-pp. 199-257
ISSn 0211-3589

doi: 10.3989/alqantara.2015.007 The Great Mosque of Tlemcen and the Dome of its *Maqsura*

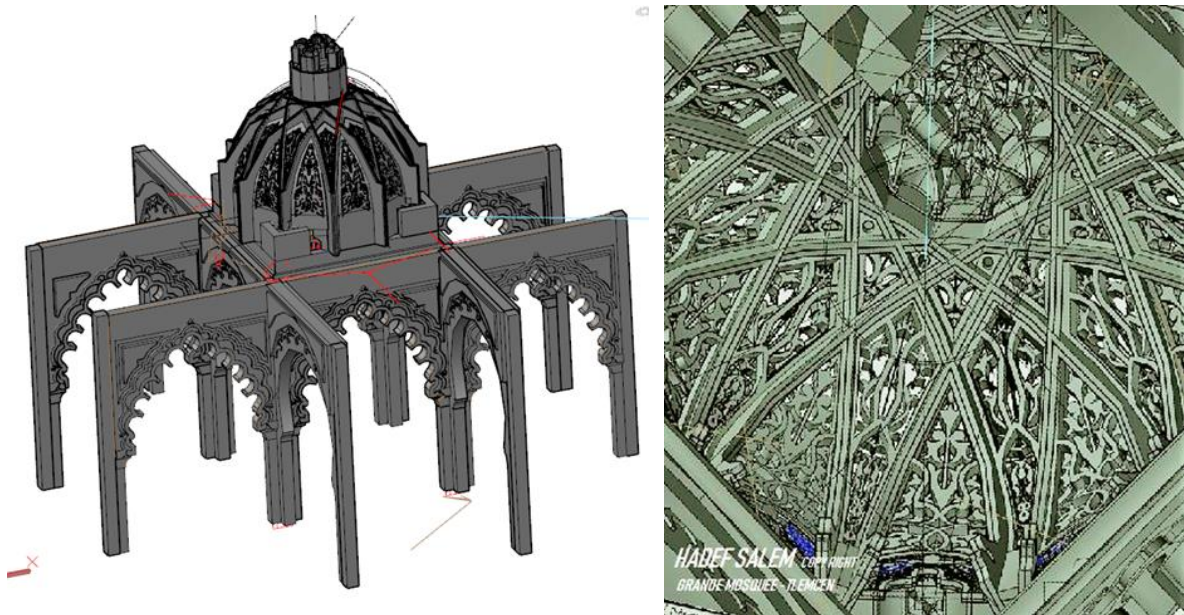


FIG11 : Coupôle de la grande mosquée de Tlemcen, Simulation 3D à droite vue intérieure- à gauche vue extérieure en explorant le procédé géométrique traditionnel à l'aide de la triangulation géométrique/
Auteur

2- coupole ornementée model d'ornementation en structure de bois Fig 12, Dans ce cas la structure en bois comme le cas de Tlemcen fait la structure porteuse et le vide peut être fait en remplissage, cet exemple devient plus complexe quand on fait plusieurs formes juxtaposées. On peut citer les coupoles en bois de la salle des Ambassadeurs palais real Alcacer de Séville, **11** et certaines coupoles en bois au palais de la cour des lions à Alhambra de grenade en Espagne.

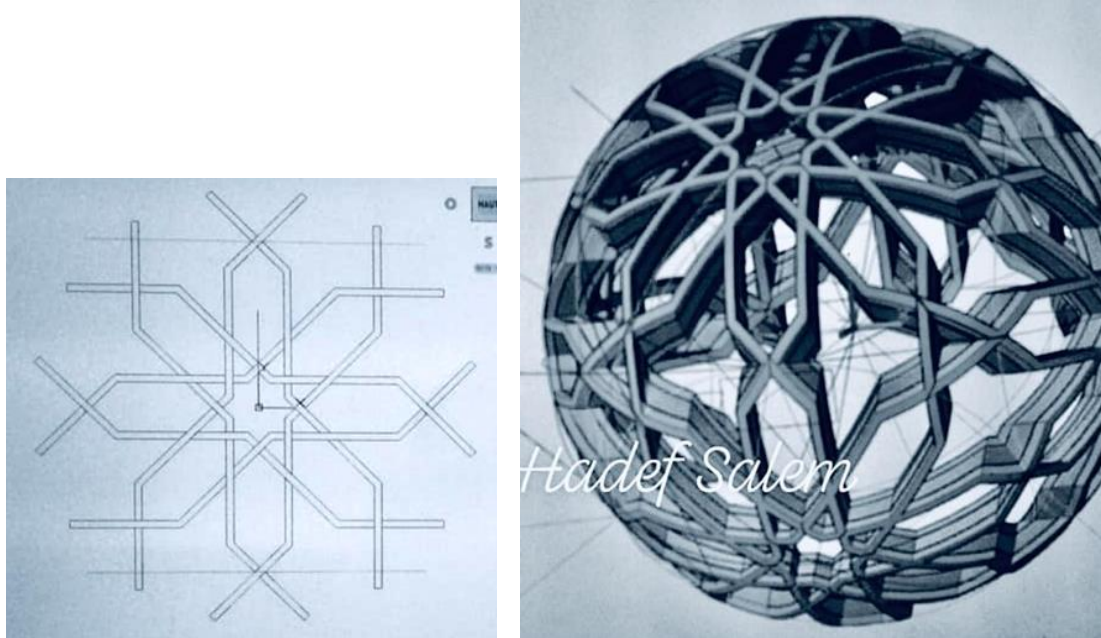


FIG12 : plan et élévation en 3D d'une ornementation montrant un model simple sur base octogonale /AUTEUR

B-Coupoles a Mouqarnas :

1-coupole à Mouqarnas de pièces constantes

Type qui existe en orient ainsi qu'au Maghreb et en Andalousie particulièrement **12**, le tracé forme une triangulation de cotes semblables et qui montent en 3D de façon graduelle, on a fait le dessin d'une partie de la coupole des deux sœurs XIV e siècle, selon le plan de Owen Jones repris par Castera, **13**, où on a découvert qu'il manquait la structure porteuse appelée « *qadib* » en arabe, ce qui le rendait incomplet et faux. Fig 13-14

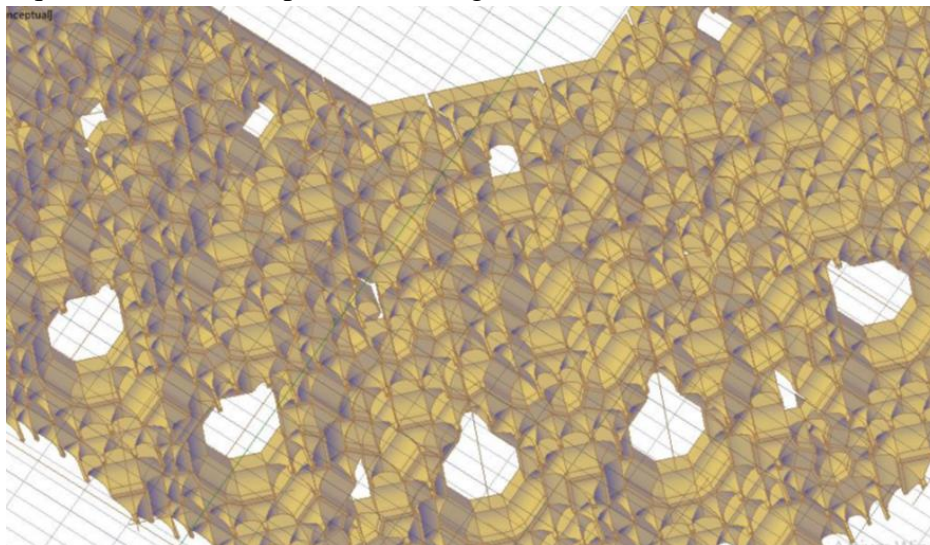


FIG14 : Elévation en 3D de la coupole de la salle des deux sœurs à Alhambra d'après plan Fig 12/AUTEUR

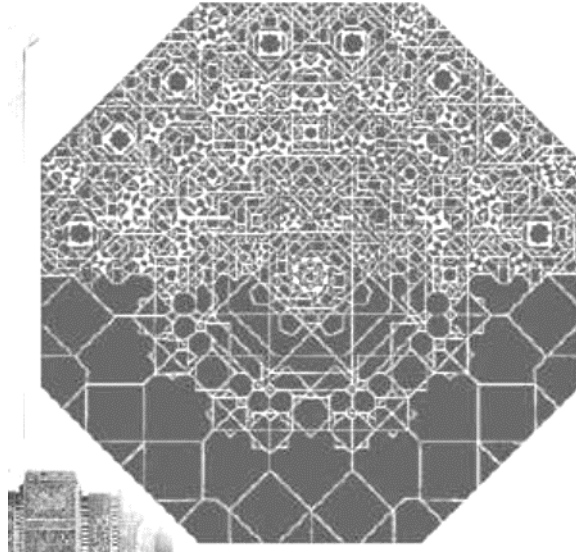


FIG13 : Dessin O Jones et j, Source article, j p castera La coupole à mouqarnas de la salle des deux sœurs à l'Alhambra de Grenade, castera.net/entrelacs/public/articles/Venise04-fr.pdf

2 – coupole à Mouqarnas de pièces variables

Le dessin de la coupole de la jaqmaqya XVe siècle à Damas nous montre un exemple de ce type, qui se base sur un cercle central autour duquel s'organisent d'autres cercles de polygones croisés formants une triangulation qui va s'élever en 3D pour former la coupole à mouqarnas, Fig 15

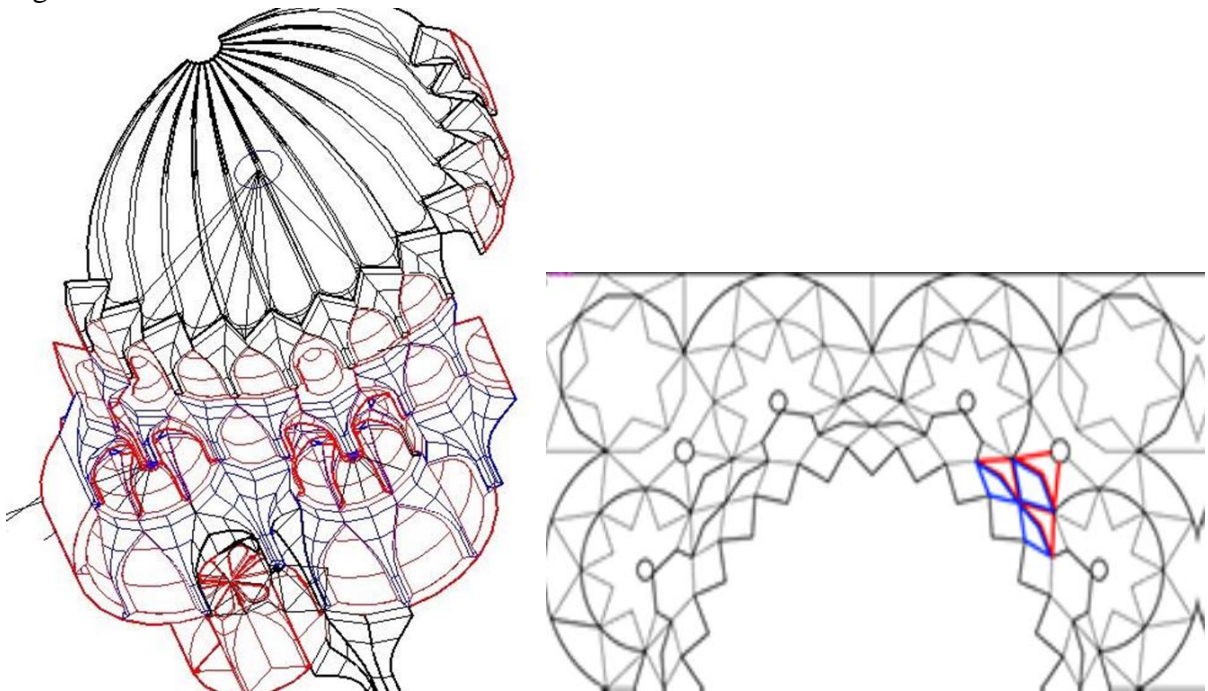


FIG15 : plan et élévation en 3D d'une ornementation montrant un model complexe de pièces variantes de la coupole de l'entrée de la JAQMAQYA à Damas. AUTEUR

Pour conclure cette partie on doit se rappeler qu'on n'a pas abordé la variété des procédures de construction et de structures, car il y a des coupoles porteuse et d'autres portées, suspendues, il y a aussi des coupoles en adobe, en plâtre, en bois et en céramique, ornementées à l'extérieur comme de l'intérieur avec dessin arabesque ou revêtues en carreaux de céramique. Il existe également une large variété en coupole à mouqarnas, qui devrait être aussi classe essentiellement à base de la géométrie et ensuite différencier les types par le système constructif, les matériaux et les formes, chose qu'on a essayé de faire dans une étude sur les Mouqarnas¹⁴.

Ce qui est important dans tous les exemples qu'on a étudiés ici c'est de constater d'une façon très claire que cette architecture basée sur la géométrie de pièces composées s'est inspirée de la nature, telle que les fleurs et de la géométrie qui se dissimule dans l'organisation de cette nature, la maîtrise de la composition des pièces de triangles sphériques a permis aux architectes musulmans de composer des coupoles qui ressemblent aux fleurs et aux stalactites de la nature.

IV- CONCLUSION

De la triangulation islamique à l'architecture organique

Après avoir exposé l'immense participation de la triangulation sphérique dans l'architecture islamique entre autre dans les coupoles spécialement, chose qui résulte du progrès mathématique dès l'époque du calife Abbasside ALMAMUN VIII^e siècle,

1- On peut déduire que ce progrès scientifique était le principal facteur qui a donné le caractère spécifique à l'architecture islamique, spécialement dans les coupoles qui est le cas de notre étude, que ce soit dans les coupoles ornementées, ou bien les Mouqarnas qui sont une nouvelle création dans l'histoire humaine. Il n'est pas difficile également de voir l'effet partout sur les minarets, les corniches, les linteaux etc.

2- D'une autre part, on peut dire que la triangulation sphérique islamique a rapidement influencé l'architecture du monde occidental, notamment l'architecture gothique puis celle de la renaissance italienne.

D'autant plus, quand on découvre un nombre important de savants et d'architectes européens, appellent l'architecture gothiques « une architecture sarrasine », d'un côté par son élancement vertical des ogives, et de l'autre côté par les voutes croisées qui ne sont que les triangles sphériques semblables à celles des coupoles et des voutes islamiques, c'est cette voie qui a permis le transfert de ces compositions complexes de triangulations sphériques en occident. On se contente de citer deux témoignages, qui confirment cette appellation.

Le premier est celui du Sir Wren Christopher, l'un des plus célèbres architectes anglais si ce n'est pas le plus célèbre, à qui on a attribué la construction de Londres après le grand incendie en XVII^e siècle, il a aussi construit la fameuse basilique-cathédrale Saint-Pierre (St. Peter's Cathedral Basilica)

Dans son livre parentalia, Sir Wren a qualifié l'architecture gothique par une architecture arabe orientale, et il la nomme aussi une architecture sarrasine, en citant ses caractéristiques et affirmant que ce sont les constructeurs Andalous qui l'ont créé et que ce n'est qu'une architecture Andalouse.¹⁶

Tandis que le deuxième témoignage qu'on citera c'est celui d'un dictionnaire français fait par un nombre important de savants en histoire et en sciences, édité par Alphonse Levavasseur, ou on nomme explicitement l'architecture gothique de sarrasine aussi.¹⁷

3- Enfin, et comme conclusion à ce qu'on a avancé dans cette étude, on peut dire que le développement géométrique notamment celui de la triangulation sphérique en architecture islamique a donné la naissance de la nouvelle forme de composition qu'on pourra logiquement qualifier de l'architecture organique. Cela est très évident dans les exemples qu'on vient d'avancer, comme la coupole des deux sœurs à Alhambra, en Andalousie Fig 14, ou bien celle de la Jaqmaqya de Damas Fig 15, ou ainsi que d'autres exemples. Sachant qu'il y a des milliers de réalisations de ce genre dans le répertoire du patrimoine islamique que ce soit des coupoles à mouqarnas ou bien coupoles ornementées.

4- Les études géométriques sur coupoles nous permettent de rénover des pièces perdues, ou bien même de reconstituer sur image et simulation une coupole qui n'existe plus, et de la reconstruire

5- Notre étude nous montre notamment, que ce développement mathématique et géométrique dans notre patrimoine islamique entre autre les coupoles ornementées et a Mouqarnas nous permet l'intégration de cette architecture en conception contemporaine, non seulement pour garantir la préservation de ce patrimoine assez riche, mais aussi pour assurer la continuité de notre architecture et sa participation dans le développement architectural et civilisationnel.

References Bibliographiques

1. AHMED DJEBAR les mathématiques arabes des VIIIe-XVe SIECLES ,Page 4, source <http://numerisation.univ-irem.fr/ACF/ACF15085/ACF15085.pdf>
2. Pointed Dome Architecture in the Middle East and Central Asia: Evolution, Definitions of Morphology, and Typologies , Maryam Ashkan ,Yahaya Ahmad &Ezrin Arbi, Journal International Journal of Architectural Heritage , Conservation, Analysis, and Restoration, Volume 6, 2012 - Issue 1,p 48
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583058.2010.501400>)
3. Idem 2, p48
4. قبة الضلوع المتقاطعة في المغرب و الأندلس في عصر المرابطين. الكحلاوي محمد محمد. دار المنظومة. ص 60
Qopat al doloa al motaqateaa fe al maghreb wa al andalos fe asr al morabten . al kahlawy muhamed muhamed .dar al mandouma .s 60
<http://search.mandumah.com/Record/138413>
5. شوقي الرزقي، 6221 ، مكانة المقرنصات الحمادية في العمارة الإسلامية، ص92
Shawky al rezqy 6221 , makanet al moqarnasat al hamadya fe al emara al islamya s92
6. Mamoun Sakkal, 1981, Geometry of Muqarnas in Islamic Architecture, p 22.
7. Giuseppe amoruso Ed Hershey, 2016, handbook of research on visual computing, p 558.
8. Yasser Tabbaa, 1985, Muqarnas vol 13, p 61-74.
9. The great mosque of tlemcenp 199. islamique, AL-QAntArA-XXXVI 1, enero-junio 2015-pp. 199-257 ISSN 0211-3589 doi: 10.3989/alqantara.2015.007 The Great Mosque of Tlemcen and the Dome
10. القباب في العمارة الإسلامية. صالح لمعي مصطفى. دار النهضة العربية. ص 25
Al qebab fe al emara al islamya , saleh lamey moustafa .dar al nahda al arabya ..s10.25
11. real alcazar Qantara article
https://www.qantamed.org/public/show_document.php?do_id=1338

12. MEMOIRE DE MASTER ARCHITECTURE ET PATRIMOINE, université « SAAD DAHLAB » BLIDA1, institut d'architecture et d'urbanisme. ELSALEM HadeF Abou TaghleB Juin 2018 P 45.

13. J p castera, article, La coupole à mouqarnas de la salle des deux sœurs à l'Alhambra de Grenade

14. المشيدات الوقفية و الخيرية في بلاد الشام إبان العصر المملوكي 648-922هـ / 1250-1517م. عبد السلام محمد شبيب الجبوري. دار الكتاب الثقافي. ص 183

abdelsalam Mohamed ,Al moshydāt al waqfya wa al khayrya fe belad al sham eban al asr al mamlouky 1517-1250 / 922-648 , shabeb al gaboury dar al ketab al thaqafy s 183

15. Idem référence 12 P 45

16. Wren , (Christopher) ,the junior (1675-1747) , parentalia : or,mimoirs of the family of the Werns ,viz .of Mathew Bichop , printed for T .Osborn ; and R. Dodsley London,1750,p.297.

17. Dictionnaire des, dates des, faits des lieux et des homme historiques ou les tables de l'histoire, répertoire alphabétique de chronologie universelle Harmonville (A-L.d) Edité par Alphonse Levavasseur , 1842.p.231