



Revisiter l'histoire des sciences, des savoirs, des techniques et des arts au Moyen-Âge



Actes du VIII^e Colloque International
réunis et présentés par Pr. Khaled Kchir



Table des matières

| | |
|---|-----|
| Préface | 5 |
| Khaled Kchir , Revisiter l'histoire des sciences, des savoirs, des techniques et des arts au Moyen âge | 7 |
| Roshdi Rashed , conférence inaugurale Ibn al-Haytham, entre mathématiques et physique | 11 |
| Marouane ben Miled , Le Professeur Roshdi Rashed au service de l'histoire et de la philosophie des mathématiques | 23 |
| Djamil Aïssani , La tradition mathématique médiévale du Maghreb et le niveau scientifique des <i>Ulémas</i> du XVIII ^e siècle | 31 |
| Meysa Ben Saad , Quelle histoire des sciences de la vie au Moyen-âge arabe: Regards croisés sur la zoologie et la médecine à travers al-Jâhiz (776-868) et al-Râzi (865-925) ? | 51 |
| Anas Ghrab , La musique comme science dans les textes arabes du XI ^e au XV ^e s | 71 |
| Fathi Jarray et Eric Mercier , La gnomonique et les sciences connexes en Tunisie du XVII ^e au milieu du XIX ^e siècle | 83 |
| Faouzi MAHFOUDH , Nouvelle lecture du bas-relief byzantin de la Grande Mosquée de Sfax | 105 |
| Amel Bellala , Héritage architectural entre transmission et mutation en Algérie au Moyen âge | 133 |
| Mahdi Abdeljaouad , Réhabiliter les sciences exactes dans l'éducation et la culture arabo-musulmane: les manuscrits scientifiques du Fonds Aḥmadî (1840) | 141 |
| Marc Moyon , Mathématiques et astronomie dans <i>les manuscrits du désert</i> : Première approche | 159 |
| Marie-Geneviève Guesdon , Les cahiers dans les manuscrits arabes, approche codicologique | 183 |

La gnomonique et les sciences connexes en Tunisie du XVII^e au milieu du XIX^e siècle

=====
Fathi Jarray⁽¹⁾
et Eric Mercier⁽²⁾

La Tunisie est une des régions du monde musulman où l'inventaire et l'étude des instruments gnomoniques anciens (cadrans solaires, astrolabes, quadrants, méridiennes ...) est le plus avancé. Nous souhaitons ici synthétiser les études déjà réalisées sur ce sujet et nous interroger sur la qualité strictement scientifique de ce matériel historique, et plus particulièrement celui de la période qui va du début du XVII^e siècle au milieu du XIX^e.

Nous souhaiterions notamment déterminer si les gnomonistes tunisiens étaient, au moins pour une partie d'entre eux, d'authentiques savants ou juste des artisans plus ou moins habiles. D'une manière plus générale, nous nous proposons d'essayer de caractériser le climat scientifique qui régnait dans l'environnement de ces gnomonistes en essayant d'évaluer leur degré d'assimilation des sciences connexes ; et de mesurer l'influence qu'ils ont pu avoir sur d'autres praticiens exerçant dans des disciplines proches.

Dans le passé, dessiner un cadran solaire, un astrolabe, ou tout autre instrument gnomonique, constituait une démarche scientifique relativement complexe qui nécessitait de solides compétences en astronomie, en mathématique (trigonométries plane et sphérique), en géographie mathématique etc ... Si l'on souhaitait, de plus, que cet instrument indique les heures de prières, la complexité augmentait fortement et des compétences supplémentaires devenaient nécessaires, notamment dans le domaine des sciences religieuses.

En pratique, le problème du dessin d'un instrument devient beaucoup plus simple si l'on dispose, pour la latitude adéquate: (1) d'un plan coté de type « patron » à reproduire par décalque ou projection, ou (2) de tables pré-calculées où la position du soleil et les

(1) Université de Tunis.

(2) Université de Nantes.

Tunisie en particulier, et d'une manière plus générale dans tout le Maghreb, du début du XVII^e au début du XIX^e siècle.

Dans les lignes qui suivent, nous nous proposons :

(1) de présenter le matériel archéologique étudié et les méthodes d'étude ;

(2) d'analyser la qualité scientifique intrinsèque des instruments, et donc des compétences en astronomie et en mathématique des gnomonistes ;

(3a) de discuter de la capacité des gnomonistes à adapter leur démarche scientifique et leur pratique à des nécessités religieuses variées, notamment en ce qui concerne les méthodes de calcul des heures de prières.

(3b) d'essayer d'évaluer les relations scientifiques qui pouvaient exister avec la géographie mathématique et l'architecture, nous nous intéresserons particulièrement au problème de la détermination de la Qibla en tant que direction géographique.

I- Le matériel disponible et méthode d'étude

A- Les cadrans solaires

Nous disposons d'un inventaire des cadrans solaires historiques tunisiens (Jarray 2015a). Parmi ceux-ci 35 sont datés du XVII^e et XVIII^e siècles auxquels il faut ajouter une vingtaine d'autre, de la première moitié du XIX^e, qui s'inscrivent dans la même tradition sans modifications sensibles (type B de Jarray, 2011). Il s'agit généralement d'instruments horizontaux dont le schéma de principe et un exemple sont proposés à la figure 2. L'organisation générale de ces cadrans semble spécifique à la Tunisie, il apparaît donc utile de s'y arrêter quelque peu.

Il s'agit en fait d'instruments composites avec deux parties.

- une partie purement horaire qui indique, au niveau de l'intersection de l'ombre d'un fil polaire (orienté selon l'axe de rotation de la Terre) avec le bandeau extérieur (en bleu foncé sur la fig A1) les heures égales solaires. Les graduations présentes sur le bandeau sont en heures, 1/3 d'heure et 1/15 d'heure. Cette dernière graduation correspond à un «drej», soit 4 minutes.

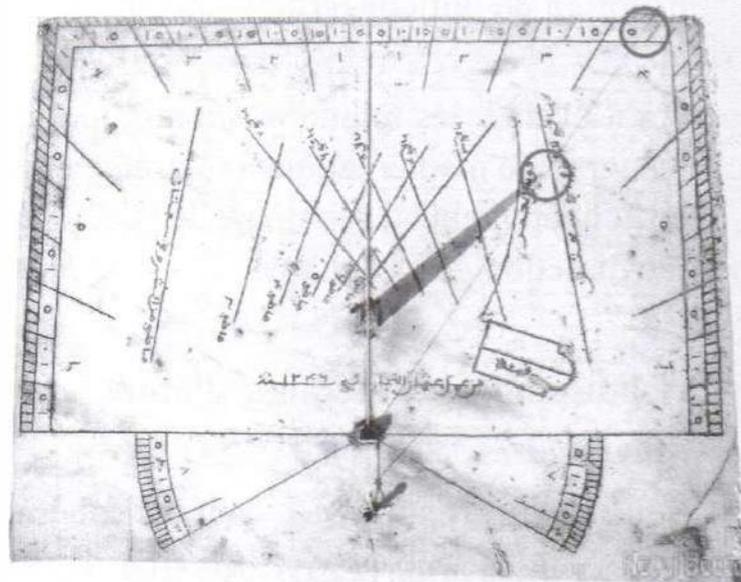
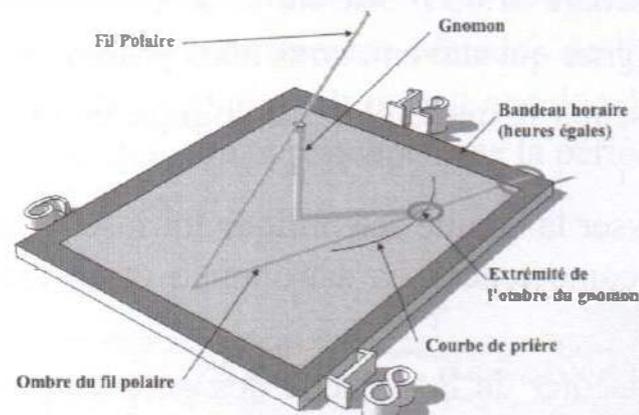


Fig.2 : Schéma de principe et exemple (Cadran de la Mosquée de Béja) d'un cadran typique du corpus Tunisien. Les cercles rouges indiquent les endroits où la lecture doit être réalisée : (1) à l'intersection de l'ombre du fil polaire et du bandeau extérieur (dans l'exemple, il est 3h et 4 drejs, soit 4h16' en heure solaire) et (2) à la pointe de l'ombre du gnomon vertical (dans l'exemple, le début de 'Asr est passé et on est proche de l'annonce du Maghrib dans 4h)

- une partie religieuse en relation avec un ou plusieurs gnomons verticaux. Un de ces gnomons sert souvent de « guide » au fil polaire ce qui simplifie grandement sa mise en place lors de l'installation du cadran. La partie centrale de la table (bleu clair sur la fig. A1) accueille le tracé de repères temporaires correspondant aux prières (un de ces tracés est donné en exemple sur la fig. 2). Le choix des prières ainsi matérialisées est très variable, nous y reviendrons, disons simplement ici que l'on peut y reconnaître :

- * le début de *Zuhr*, soit selon la règle classique, ou orthodoxe, et c'est la ligne méridienne qui est indiquée, soit selon une règle qui semble spécifique au monde maghrébo-andalou ancien.
- * le début de 'Aṣr et de façon beaucoup plus anecdotique : 'Aṣr second. 'Aṣr est souvent accompagné de tracé d' « annonce » (ex : 'Aṣr dans 1h, dans 40', dans 20' ...)
- * le coucher et le lever du Soleil (c'est à dire *Maghrib* et la fin de la période favorable à *Fajr*). Comme, en pratique, ces moments ne peuvent généralement pas être mesurés sur un cadran solaire⁽³⁾, ils sont indiqués par des tracés d' « annonce » (ex : *Maghrib* dans 4h, ou Lever du Soleil-il y a 4 h c'est à dire dans 20h)
- * le début de 'Ishâ' et de *Fajr*, là encore, et pour des raisons similaires⁽⁴⁾, indiqués par des tracés d' « annonce »
- * de façon très occasionnelle, des prières spécifiques au monde maghrébo-andalou ancien : Ta'hîb et Dhuhâ.

En plus de ces deux parties, on note très régulièrement sur les cadrans solaires, une indication de la *Qibla* sous la forme d'un petit *mihrab* stylisé. L'axe de ce *mihrab* est orienté par rapport à la ligne méridienne de la valeur de la *Qibla* ; comme sur les cadrans horizontaux, la ligne méridienne est orientée dans la direction Nord-Sud, le *mihrab* matérialise directement la direction de La Mecque.

B- Les méridiennes

Traditionnellement, les méridiennes sont des cadrans solaires de grande taille, mais qui, par leur construction, ne fonctionnent qu'aux environs immédiats de midi solaire. Cette particularité permet à ces instruments de marquer très précisément l'instant de midi (passage au méridien) et de pouvoir servir de calendrier⁽⁵⁾. C'est cette seconde

(3) Au lever et coucher du Soleil, ses rayons sont horizontaux, il faudrait donc un horizon totalement dégagé dans de vastes secteurs pour que la lecture soit possible. Cette condition n'est jamais réalisée ... dans une cour de mosquée, ni d'une manière plus générale en milieu urbain.

(4) Ce sont des prières nocturnes, quand leur période favorable commence, le soleil est sous l'horizon et n'éclaire évidemment pas le cadran.

(5) La précision d'un tel calendrier est assez faible ... de quelques jours à une semaine selon la période de l'année.

fonction qui a été exploitée sur les deux instruments Tunisiens de l'époque considérée (Jarray et Mercier 2015). A midi, l'ombre du gnomon permet de se localiser sur les différents calendriers présents sur les instruments⁽⁶⁾.

- calendrier zodiacal (2 cas)
- calendrier mensuel julien (1 cas)
- indications de saison selon le calendrier agricole traditionnel (2 cas)
- indications de saison selon le « calendrier des savants (sic) » qui correspond au découpage de l'année selon les solstices et équinoxes (1 cas)

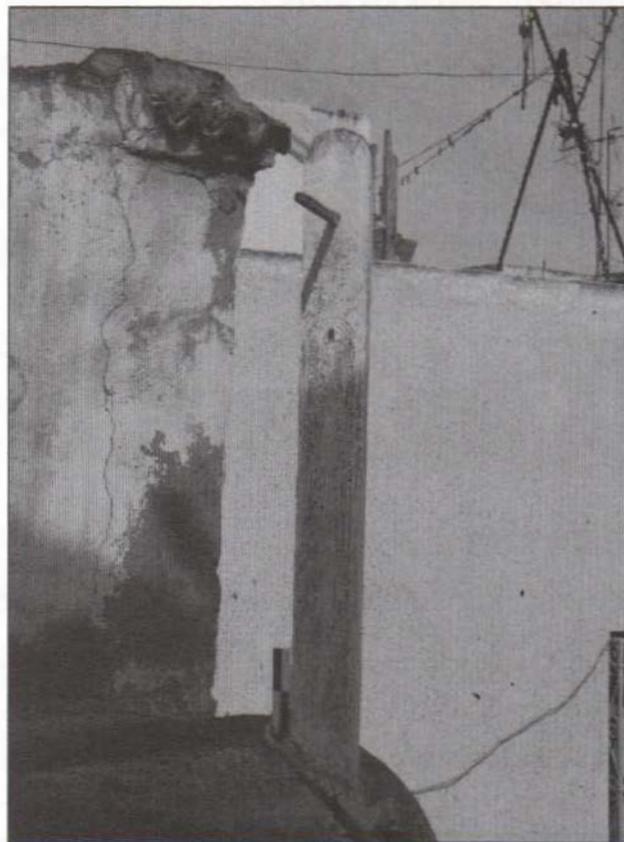


Fig.3 : La méridienne du cadran de la Mosquée Mohamed Bey, Tunis

(6) Il faut souligner que ces méridiennes tunisiennes sont les seules connues pour l'ensemble du monde arabo-musulman à cette époque. Si l'on ajoute à ces deux méridiennes, trois autres de la fin du XIX^e qui sortent du cadre de cette étude mais qui sont également uniques dans le monde arabo-musulman, et les méridiennes annexés sur un cadran solaire de 1774/75 et qui seront évoqués plus loin (fig.9), on ne peut que constater que ce type d'instrument constitue une spécificité remarquable de la gnomonique Tunisienne.

C- les astrolabes planisphériques.

Instruments portatifs, les astrolabes planisphériques ont souvent beaucoup voyagé et le lieu de leur fabrication est souvent inconnu. S'il est relativement facile d'attribuer un astrolabe ancien au monde andalo-maghrébin, il est généralement impossible d'être plus précis. Inversement, il s'agit d'un groupe d'instruments remarquablement homogène, et rien ne semble distinguer les quelques astrolabes tunisiens identifiés du reste du lot. Nous postulons donc qu'il n'y a pas d'inconvénient à considérer l'ensemble des astrolabes planisphériques maghrébins dans cette étude centrée sur la Tunisie.

L'astrolabe planisphérique est un instrument classique et nous nous abstenons ici de présenter ses différentes fonctions (Michel, 1976 ; D'Hollander 1999) ; disons simplement qu'il permet, en autres fonctions, de mesurer l'heure (égale ou temporaire), à partir d'une visée vers le Soleil ou, la nuit, vers l'une des principales étoiles. De plus, à l'aide de tracés spécifiques, il permet de déterminer les moments des prières.



Fig. 4 : Photo d'un astrolabe tunisien (Musée du Bardo) réalisé par Aḥmad Ibn Ibrahim al Ḥarrar, en 1770

Nous avons pu examiner les photographies détaillées d'un échantillonnage de 16 instruments datant de la période qui nous intéresse. Nous n'avons pas spécifiquement étudié la fonction horaire de ces instruments, mais nous avons concentré notre attention sur l'aspect «tracé des prières» (Mercier 2015a) ce qui revient à se focaliser sur les tympan. Au total ce sont 76 tympan qui ont été analysés. Par rapport aux cadrans, le choix des tracés de prières est beaucoup plus restreint et homogène, nous y reviendrons, on reconnaît :

- *Zuhr*, systématiquement tracé selon la règle andalouse,
- *'Aṣr*, mais jamais *'Aṣr* second,
- *Maghrib* et le Lever du Soleil,
- *'Ishâ* et *Fajr*,

Les prières spécifiques à l'occident musulman (T'ahîb et Dhuhâ) n'ont jamais été reconnues.

D- Les quadrants astrolabiques

Ces instruments dérivent des astrolabes planisphériques ; ils correspondent à un pliage en 4 de la projection de l'astrolabe ce qui permet, à surface d'instrument égale, d'augmenter la précision de lecture. Par ailleurs, cette évolution a permis de limiter l'usage des pièces mécaniques mobiles ce qui simplifie la fabrication.

Pour la période historique considérée, nous avons pu étudier les photographies détaillées de 5 instruments dont 3 proviennent (probablement ou de manière certaine) de Tunisie (Mercier 2016).

Dérivés des astrolabes planisphériques, les quadrants ont globalement les mêmes fonctions : mesure des heures égales, accessoirement temporaires, et détermination des heures de prières à partir d'une visée vers le Soleil, et de façon moins aisée, sur une des principales étoiles.

En ce qui concerne les tracés des prières, on va retrouver, à ce stade d'analyse, les mêmes indications que sur les astrolabes. Notons néanmoins que l'usage du *Zuhr* andalou n'est pas systématique ici.

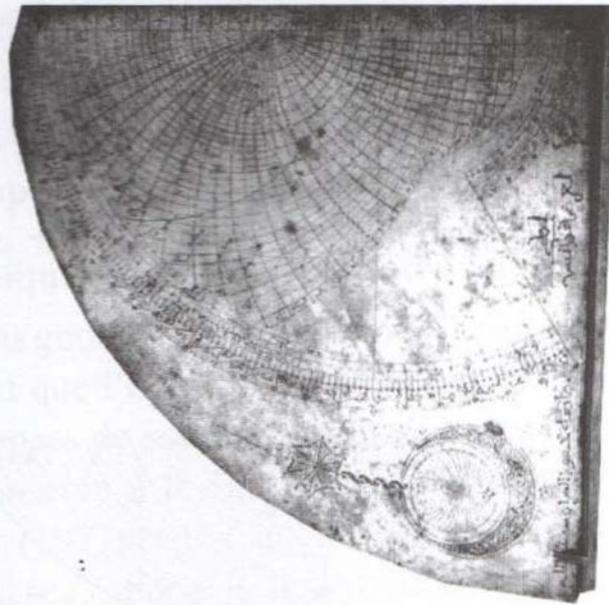


Fig. 5 : Photo d'un quadrant tunisien
(Musée du Bardo) réalisé par Maḥmud al-Sarrāj en 1852

E- Méthode d'étude des instruments

Pour interroger la qualité scientifique des instruments que les gnomonistes tunisiens de la période considérée nous ont laissé, nous avons choisi une méthode d'analyse par modélisation. Nous avons donc réalisé des modèles informatiques qui permettent de dessiner les instruments étudiés selon des méthodes modernes les plus exactes possibles⁽⁷⁾ (voir Mercier 2014, 2015a et b). Pour chaque instrument étudié, nous avons recalculé le tracé attendu en fonction des règles de la gnomonique (mesure du temps), de la localisation géographique (latitude) et des règles de calcul pour les tracés de prières. Cette étape présente une difficulté dans la mesure où les règles de calcul de certaines prières sont notablement variables :

- *Zuhr* peut être calculé selon une méthode que nous qualifierons d'« orthodoxe » (correspondant à quelques minutes après midi solaire) ou selon la règle dite « andalouse »⁽⁸⁾

(7) Les modèles informatiques évoqués sont basés sur un calcul astronomique de la position de soleil, et donc de l'ombre, à chaque minute de chaque jour de l'année.

(8) Dans le domaine maghrébo-andalou ancien, on a considéré que *Zuhr* devait commencer quand l'ombre d'un gnomon vertical (de longueur G) atteignait la longueur de son ombre à midi solaire (H_m) plus $1/4$ de sa hauteur (soit : ombre =

- Les prières de la nuit (*'Ishâ* et *Fajr*) peuvent correspondre à des hauteurs du Soleil sous l'horizon très variables (-16° à -22°) ; hauteur qui peut être commune, ou non, à ces deux prières

Le dessin théorique issu du modèle numérique informatique présente donc différents tracés possibles pour certaines prières (fig. 6).

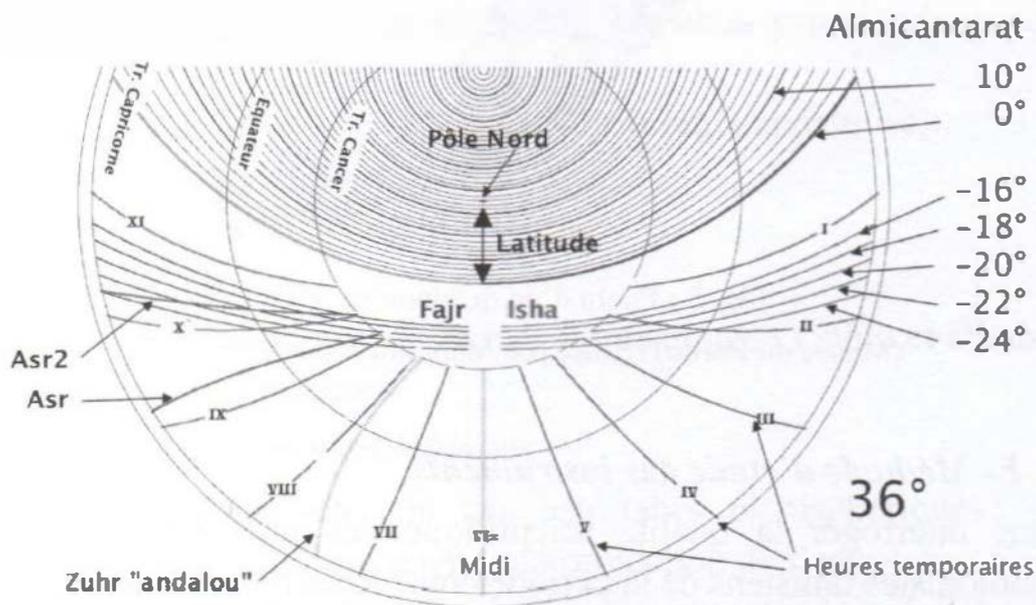


Fig.6 : Exemple de modélisation de la partie « prières » d'un astrolabe planisphérique calculé pour 36° . On note sur cet exemple :

- une partie de l'almicantarats 0° correspond à Maghrib (rouge), l'autre partie au « Lever du Soleil » (bleu clair) qui n'est pas une prière mais qui fixe la fin de la période de *Fajr*.
- les almicantrats correspondants à des hauteurs solaires de -16° à -24° qui caractérisent largement les variantes de calcul des prières de la nuit (*'Ishâ* (violet) et *Fajr* (bleu foncé)).
- les lignes correspondent aux deux calculs possibles de *Zuhr* (le *Zuhr* orthodoxe qui correspond au midi solaire, soit la 6^{ème} heure temporaire ; le *Zuhr andalou* (jaune))
- les tracés de *'Asr* et *'Asr 2* (vert).
- les heures temporaires (I à XII) (gris).

Hm + 0,25 G). Cette règle fut énoncée pour la première fois par al Biruni au X^e siècle JC en Afghanistan/Ouzbékistan (Kennedy 1976). La manière dont elle a pu se répandre dans l'occident musulman pour finir par être considérée, dès le XI^e siècle, comme une règle typiquement maghrébo-andalouse : King 2014, p. 205 & 549) demeure un mystère.

Puis ce tracé théorique est comparé avec le tracé réel sur l'instrument ce qui permet d'évaluer ; les règles de calcul choisies par le gnomoniste, la précision des tracés et la présence d'éventuelles erreurs⁽⁹⁾.

II- Gnomonique, astronomie et mathématiques.

Sur les 140 objets gnomoniques étudiés ici, un seul apparaît nettement fautif à tel point que l'on peut légitimement se poser des questions sur les compétences de son auteur (anonyme). Il s'agit du quadrant astrolabique conservé à la Bibliothèque Nationale de France déjà étudié par Janin (1977)⁽¹⁰⁾. Il s'agit d'un instrument, mal daté, conçu, d'après sa dédicace, pour « le lieu (latitude) de Tunis 37° ». On y relève de nombreuses fautes de conception, nous citerons notamment (voir Mercier 2015 b) :

- une grave erreur d'alignement de l'échelle de déclinaison,
- le tracé de *Zuhr* totalement fautif (le gnomoniste a choisi de matérialiser sur l'instrument ce moment par une droite ce qui est mathématiquement impossible),
- le tracé de *'Asr* accuse un retard systématique de 15 minutes,

En dehors de ce cas extrême, les autres instruments nous ont semblé remarquablement précis. A titre d'exemple la figure 7 montre qu'il y a une bonne correspondance entre le tracé théorique tel que l'on peut le calculer avec des méthodes informatiques, et le tracé original ; l'imprécision ne dépasse jamais quelques minutes.

(9) Dans le cas des cadrans solaires, la procédure est encore plus complexe dans la mesure où les gnomons sont fréquemment perdus, et il faut, dans un premier temps, et en fonction du tracé, reconstituer leur dimension.

(10) Janin (1977), qui ne semble pas s'être rendu compte des nombreuses erreurs de conception de cet instrument, s'en était servi pour proposer qu'en Tunisie les anciens utilisaient une méthode spécifique pour le calcul de *Zuhr* (= $H_m + 1/3 G$). Hypothèse qui s'est révélée fautive (voir Mercier 2015 a et b).

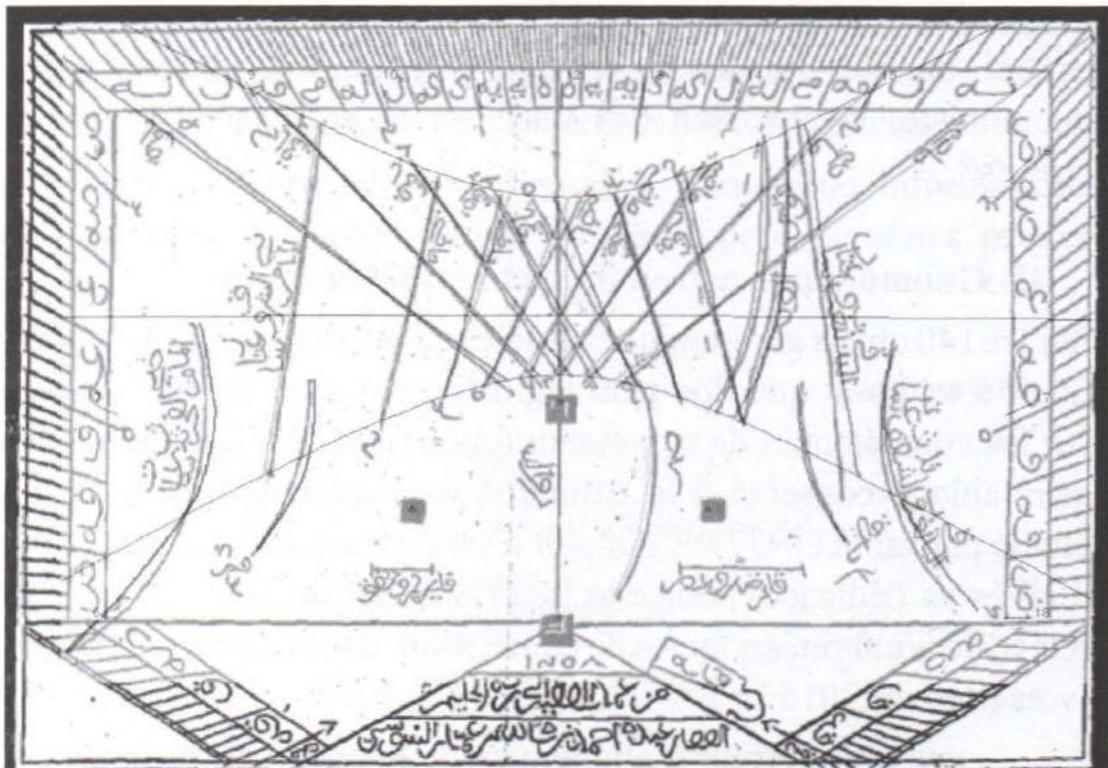


Fig.7 : Comparaison entre le tracé original du cadran de la grande Mosquée de Kairouan (relevé en 1881 par le commandant Picardat (Trumet de Fontarce, 1896) et celui issu de la modélisation (les couleurs sont les mêmes que sur la figure 6.

Quand il y a une erreur, cela arrive parfois sur certains instruments, cela ne concerne généralement qu'un seul tracé ; les autres sont corrects. Il s'agit donc probablement d'erreurs numériques (erreur arithmétique dans un calcul) plutôt que d'erreurs de conception. A titre d'illustration, nous citerons trois exemples issus de 3 instruments différents.

- un cadran : celui réalisé en 1780/81 par Ahmad al-'Umarî pour la Grande mosquée de Sousse, alors que le réseau de droites annonçant Maghrib est bien tracé en ce qui concerne les heures -2h, -3h, -4h, -5h, -6h, -7h, -8h, mais la droite -9h avant *Maghrib* est fautive. La méthode de calcul est la même pour toutes les droites, la technique de report est la même, seule une erreur numérique peut expliquer cette anomalie⁽¹¹⁾.

(11) Le calcul des droites marquant le temps écoulé depuis le lever du Soleil étant symétriques, on ne s'étonnera pas que la droite « lever du Soleil + 9h » est également fautive dans les mêmes proportions.

- une méridienne : celle, mal datée, mais réalisée de façon certaine pendant la période qui nous intéresse ici, et conservée sous les numéros INP 100 et 101 dans les dépôts de la Zawīya de Sīdi Qāsim al-Jalīzi (Tunis). Alors que sur cet instrument, le tracé du calendrier zodiacal correspond assez précisément à la modélisation, il apparaît une anomalie : la limite entre les signes du Taureau et de la Vierge est décalée, vers le bas, d'environ 2 cm. Là encore, seule une erreur ponctuelle de calcul permet d'expliquer cette erreur.

- un astrolabe planisphérique ; celui réalisé vers 1750 et conservé sous le numéro DPW-54 au Alder Planetarium & Astronomy Museum de Chicago. Cet instrument est équipé de 6 tympan pour les latitudes de 21° , $25^\circ 30'$, $31^\circ 30'$, 35° , 35° , $38^\circ 40'$. La présence de deux tympan pour la même latitude peut surprendre... ces tympan pour 35° sont justement ceux qui sont caractérisés par un tracé de Zühr erroné. Ce sont les seuls tracés de l'ensemble des 6 tympan dans ce cas !, la encore une erreur ponctuelle de calcul est la seule hypothèse envisageable.

D'une manière générale les gnomonistes tunisiens maîtrisent donc les fondements scientifiques de base leur art et ce, aussi bien sur le plan astronomique que mathématique ; les erreurs sont rares et ponctuelles.

Nous pensons pouvoir aller plus loin et montrer qu'au moins un certain nombre d'entre eux étaient d'authentiques savants qui maîtrisaient suffisamment bien les subtilités de l'astronomie solaire pour innover et proposer des solutions gnomoniques originales. Nous évoquerons ici deux personnalités majeures.

al-Nāzīr Barakāt ben Muḥammad al-Zarīf al-Ḥusaynī al-Idrīsī, premier *muwaqqit* de la première mosquée hanafite de Tunis, construite quelques années après l'installation des Ottomans. C'est lui qui a été le premier à utiliser les heures égales sur un cadran tunisien (1616/17) et qui a, dans une certaine mesure, fixé l'archétype du cadran horizontal tunisien. Sa réalisation la plus remarquable correspond au prisme gnomonique de la mosquée Zitouna de Tunis (avant 1636). Il s'agit d'un instrument très inovant⁽¹²⁾ puisqu'il constitue le premier cadran polaire monumental du monde arabe et le seul cadran équatorial connu (Jarray et Mercier 2015).

(12) Le cadran polaire contient néanmoins une erreur assez surprenante : le gnomoniste s'est trompé dans l'ordre des signes du zodiaque !

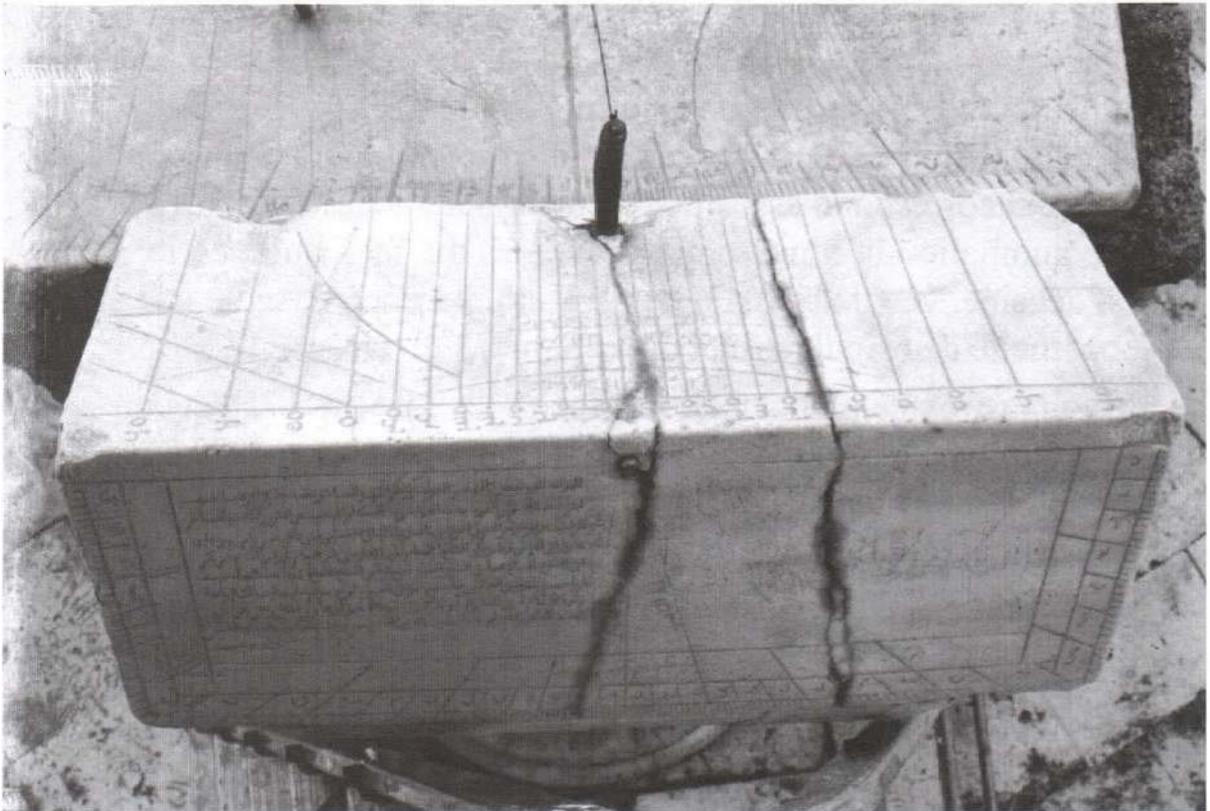


Fig. 8: Le prisme (cadran polaire et cadran équatorial) de la grande Mosquée de Tunis

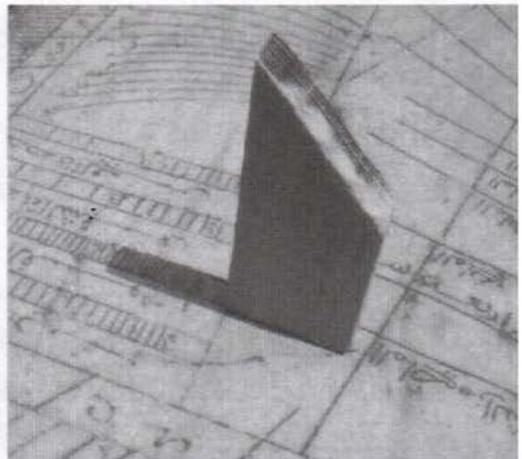
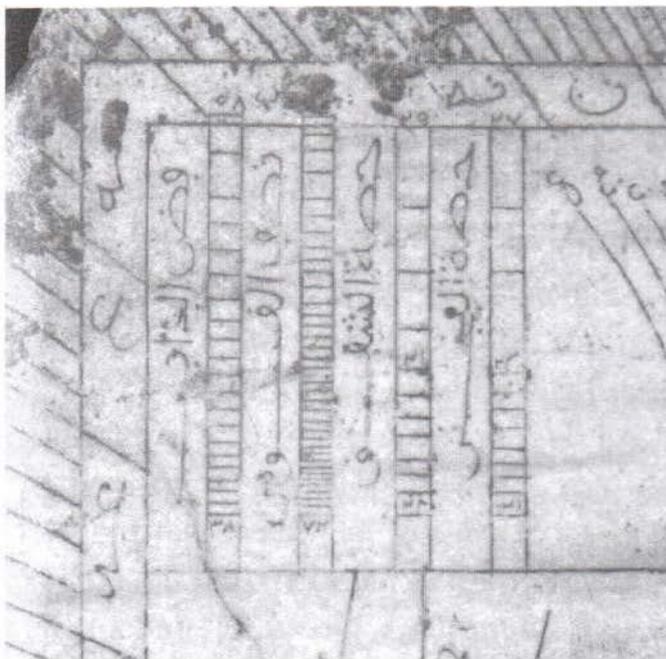


Fig. 9: L'instrument constitué de 4 petites méridiennes à gnomon mobile permettant, à midi, de calculer toutes les prières de la journée et de la nuit et essai de reconstitution du gnomon mobile.

Aḥmad ben Muḥammad al-‘Umarī⁽¹³⁾, qui a joint au cadran de la mosquée hanafite de Monastir (1774/75) un instrument supplémentaire qui correspond à une série de quatre petites méridiennes qui, à midi, permet de mesurer quatre paramètres à partir desquels il est possible de calculer l’heure des 5 prières canoniques du jour. Le choix du vocabulaire utilisé dans les mentions épigraphiques situées en regard de ces mini-méridiennes indique clairement qu’il ne s’agit pas d’une réalisation empirique, mais bien du résultat de calculs complexes basés sur l’étude des meilleurs manuscrits (Jarray et Mercier 2016).

IV- Gnomonique et la question des moments des prières

Nous avons déjà évoqué la capacité qu’ont eue les gnomonistes tunisiens à matérialiser sur leurs instruments les moments des prières. Nous n’y reviendrons pas. Ce sur quoi nous voudrions discuter ici est leur capacité à adapter leur démarche scientifique et leur pratique à des nécessités religieuses variables.

On a vu que pendant la période étudiée, il n’y avait pas unanimité sur les méthodes de calculs de différentes prières (Zuhr orthodoxe ou andalou, ‘*Aṣr* ou ‘*Aṣr* second, *Fajr* et ‘*Ishā*’ à -16° , -18° ou -20°). Par ailleurs, certaines autorités religieuses privilégiant l’observation au calcul, toléraient l’utilisation d’instruments gnomoniques pour les prières de la journée (on *observait* alors la longueur de l’ombre), mais refusait le *calcul* des heures de prières de la nuit (King 2014). Il est donc probable qu’un « cahier des charges » précis, établi en fonction des conceptions religieuses du lieu ou du moment, accompagnait la commande de chaque cadran. Le gnomoniste n’avait plus alors qu’à adapter son calcul à cette demande.

On va ainsi trouver dans l’inventaire des cadrans tunisiens à peu près toutes les configurations, de cadran à une seule prière (ex : Mosquée de la Qsiba à Bizerte 1717/18), à des cadrans avec toutes les prières canoniques plus *Dhuhà* et *Ta’hib* (ex : Mosquée de la Grande Mosquée du Kef 1812) avec tous les intermédiaires. Dans le même ordre d’idée, les prières de la nuit quand elles existent, vont balayer de nombreuses configurations (même valeur pour les deux prières ou

(13) ne pas confondre avec *Aḥmad al-‘Umarī*, auteur du cadran de la grande mosquée de Sousse, qui est quasiment son homonyme (voir Jarray et Mercier 2016)

non, calcul à -18° , -19° , -20°). Manifestement les gnomonistes ont su s'adapter, avec compétence, à des demandes variées.

Dans ce contexte, les constatations que l'on peut réaliser sur les astrolabes planisphériques maghrébin de la même époque sont surprenantes. En effet ceux-ci présentent une remarquable homogénéité et, quand des prières sont indiquées, ce sont toujours : Zuhr andalou, 'Asr (jamais 'Asr second), Maghrib, 'Ishâ à -18° et Fajr également à -18° (Mercier 2015a). Dans l'état actuel de nos investigations, cette règle ne souffre d'aucune exception.

Tout se passe donc comme si les facteurs d'astrolabe ne possédaient pas les compétences pour adapter leur instrument à des demandes spécifiques, qui manifestement devaient exister, et qu'ils reproduisaient les recettes du passé⁽¹⁴⁾. Ce problème devait être général à tout le Maghreb, car, en 1786, le sultan de Marrakech, Sidi Mohamed ben Abdallah, a été incapable de faire confectionner des astrolabes sur place pour remplacer ceux de la Mosquée des Andalous à Fès, et il a dû les faire réaliser à Paris chez « Lenoir, ingénieur du Roy » (Hosotte-Reynaud, 1957).

Il est donc probable, en ce qui concerne les astrolabes⁽¹⁵⁾, que la période étudiée correspond déjà à une période de perte de compétence. Les artisans impliqués dans la réalisation de ces instruments, ne comprenaient plus vraiment les fondements scientifiques de leur métier et reproduisaient les recettes du passé sans pouvoir les adapter à des demandes nouvelles.

V- Gnomonique, géographie mathématique et architecture

Les cadrans solaires tunisiens de la période moderne possèdent en majorité une indication de la *Qibla*. La direction indiquée est à la fois remarquablement homogène et très proche du résultat du calcul actuel (Fig.10). Ceci pourrait suggérer l'utilisation, dès le début du XVII^e, d'une méthode scientifique exacte avec des paramètres de calcul corrects. En fait, les choses sont probablement plus complexes,

(14) Les astrolabes andalous et maghrébins antérieurs au XVII^e, sont caractérisés par le même choix dans les conventions de prière (voir Mercier 2015a).

(15) Ainsi probablement que pour les quadrants dont on a vu un exemplaire franchement mal réalisé.

c'est ce que nous allons essayer de démontrer dans les lignes qui suivent.

Par ailleurs, la *Qibla* est un élément fondamental dans les projets d'architecture religieuse. La question qui se pose est donc de savoir si les architectes ont bénéficié, ou non, des compétences des gnomonistes, dans l'orientation des mosquées construites à l'époque qui nous intéresse.

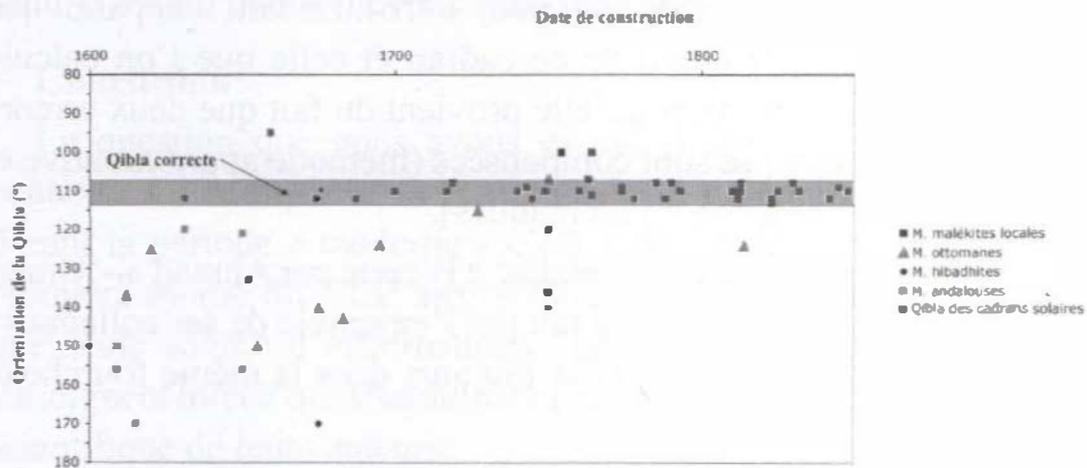


Fig.10 : Comparaison entre la Qibla des principales mosquées construites entre 1600 et 1850 et celle inscrite sur les cadrans solaires.

Calculer la direction de la *Qibla* d'un lieu donné, nécessite de connaître les coordonnées géographiques du lieu et celles de La Mecque. Or, avant le milieu du XIX^e siècle, les coordonnées géographiques étaient imprécises et fluctuantes.

De plus, les savants musulmans de l'époque avaient à leur disposition deux méthodes de calcul :

- la méthode rigoureuse (par trigonométrie sphérique) assez lourde sur le plan mathématique
- la méthode approchée purement graphique, qui est beaucoup plus simple. Elle a été proposée dès le IX^e siècle par al Battani. Sa précision est d'autant plus grande que l'on est proche de la Mecque⁽¹⁶⁾. Selon King (2014b), cette seconde méthode fut, pendant très longtemps, la plus usitée dans le monde arabe.

(16) L'utilisation de cette méthode approchée introduisait une erreur de près de 10° dans les calculs médiévaux.

Dans le cadre de l'étude du cadran de la Grande mosquée de Bizerte (cadran réalisé par Ahmad al-'Umarî en 1788/89), nous avons pu déterminer la méthode et les paramètres de calcul de sa Qibla, laquelle est représentative de celles des cadrans de cette époque (Jarray et Mercier 2016). Il s'agit de la méthode approchée en utilisant des coordonnées géographiques datant de Ptolémée, sans tenir compte des progrès qui ont été réalisés par les géographes arabes durant la période médiévale (Kennedy 1976). En fait, il apparaît que la similitude entre la *Qibla* de ce cadran et celle que l'on calcule actuellement est fortuite et qu'elle provient du fait que deux erreurs (ou approximations) se sont compensées (méthode approximative et coordonnées géographiques archaïques).

Nous pensons que le calcul réalisé à Bizerte par Aḥmad al-'Umarî est représentatif de ce qui a été fait par l'ensemble de ses collègues : le résultat numérique est en effet toujours dans la même fourchette très étroite.

Bien entendu, à l'époque, personne ne pouvait être conscient des lacunes du calcul des gnomonistes. Par ailleurs, il est clair que le résultat de ce calcul était largement accessible puisque qu'il était matérialisé, avec une remarquable homogénéité, sur la quasi-totalité des cadrans solaires des mosquées. On devrait donc s'attendre à ce que les architectes d'édifice religieux en soient informés et en tiennent compte dans l'orientation des mosquées construites à partir du début de XVII^e. Ce n'est manifestement pas le cas (Fig.10). Comme depuis la conquête arabe les architectes ont continué à orienter les mosquées de façon qui relève de règles qui ne sont pas scientifiques (Mercier 2014a). Ce phénomène est assez surprenant, notamment dans le contexte de l'occupation ottomane à partir du début du XVII^e siècle car l'on sait que depuis la prise de Constantinople, les hanafites attachent beaucoup d'importance à l'exactitude de la *Qibla* (Bobine 2008, King 2014). Ce problème mériterait une discussion historique complète qui sort du cadre de cette synthèse.

En ce qui concerne le calcul de la *Qibla*, le jugement que l'on peut porter sur le travail des gnomonistes tunisiens est donc assez nuancé. Si l'on admet que le calcul réalisé à Bizerte par Aḥmad al-'Umarî est représentatif de ce qui a été fait par ses collègues (le résultat

numérique est en tout cas le même) on est obligé de noter l'utilisation d'une méthode approximative (introduisant une erreur de près de 10°) et surtout l'utilisation de données géographiques non remises à jour depuis l'antiquité, alors que des données plus précises étaient disponibles. On soulignera également qu'en dépit de ses défauts, la détermination de la Qibla par les gnomonistes constitue un énorme progrès par rapport aux pratiques antérieures, curieusement cela ne semble avoir eut aucune influence sur la pratique des architectes.

Conclusion

La question que nous avons essayé d'aborder ici est celle du contexte scientifique de la pratique de la gnomonique en Tunisie durant la période « moderne » c'est à dire du début du XVII^e à la première moitié du XIX^e siècle. Nous avons limité notre analyse à une seule source d'informations : les instruments eux-mêmes qui témoignent mieux que tout autre chose, de la rigueur et de l'originalité scientifique de leurs auteurs.

1) Les fabricants de cadrans solaires, dans leur ensemble, maîtrisaient parfaitement les règles de la gnomonique ce qui a leur a permis, non seulement de réaliser des instruments exacts, mais aussi de s'adapter à des demandes spécifiques liées au caractère fluctuant des conventions pour le calcul de prières.

2) certains de ces gnomonistes étaient de façon certaine d'authentiques savants ; et la Tunisie peut s'enorgueillir de receler sur son sol des instruments uniques à l'échelle du monde musulman : le seul cadran équatorial, le premier cadran polaire, les seules méridiennes... citons également l'instrument annexé au cadran de la mosquée hanafite de Monastir etc..

3) En ce qui concerne les autres branches de la gnomonique, et notamment la confection des astrolabes et des quadrants, la situation semble beaucoup moins brillante et l'on est en droit de penser que la base scientifique du métier était perdue et que les artisans impliqués se contentaient de reproduire, parfois fort mal, les recettes du passé sans être capable de s'adapter à des demandes nouvelles.

Enfin, dans le domaine du calcul de la *Qibla*, domaine qui relève traditionnellement de la gnomonique, il semble que nos gnomonistes

se soient contenter du minimum avec l'utilisation d'une formule approchée et surtout de coordonnées géographiques largement périmées. Cette démarche scientifique, en dépit de ses imperfections, constituait néanmoins un progrès remarquable par rapport aux pratiques anciennes, pourtant elle n'a eu aucune influence réponse que nous sommes amenés à proposer est tout en nuance :

4) sur l'architecture religieuse.

L'idée qui se dégage est donc celle de personnalités compétentes, voir très compétentes pour certaines, mais isolées dans un environnement scientifique déficient voir déclinant. Cette approche souffre manifestement d'une lacune importante : nous n'avons ici envisagé que les instruments sans jamais interroger les manuscrits. Il est possible qu'un tel complément nous conduirait à nuancer, voire modifier, nos conclusions. C'est à ce travail que nous voudrions maintenant nous consacrer.

BIBLIOGRAPHIE

- Bobine M.E. (2008), "Romans, Astronomy and the Qibla: Urban Form and Orientation of Islamic Cities of Tunisia" *African Cultural Astronomy – Current Archaeoastronomy and Ethnoastronomy Research in Africa*, p. 145-178.
- D'Hollander R. (1999), *L'Astrolabe, Histoire, théorie et pratique*. Institut océanographique ed. 383 p.
- Hosotte-Reynaud M., (1957), « Identification d'un des astrolabes de la mosquée des Andalous », *Hespèris*, T. XUV, 1^{er} & 2^{ème} trimestres, pp. 1-28, 2 pl.h.t.
- Janin L. (1977), « Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne », *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*, N°24, 1977. pp. 207-221.
- Jarray F. (2011) : « Les cadrans solaires islamique de Tunisie : essai de typologie préliminaire », *Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu*, Karabük Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Turquie, p. 155-200.
- Jarray F. (2015a) : *Mesurer le temps en Tunisie à travers l'histoire*, Publications de la Cité des Sciences, Tunis.
- Jarray F. (2015b) : « Le métier de gnomoniste d'après la collection des *mizwala-s* de Tunisie », in *Métiers, savoir faire et vie professionnelle dans la Méditerranée d'après les sources archéologiques*, Actes du deuxième colloque international de l'Institut supérieur des métiers du patrimoine de Tunis, Tunis, p. 167-180.
- Jarray F. & Mercier E. (2015b), « Les méridiennes de Tunis, XVIII^e et XIX^e siècle », *Le gnomoniste*, XXII, 3, 4-16
- Jarray F. & Mercier E. (2015), « Cadrans de la Grande Mosquée al-Zaytûna », *Cadran Info*, N° 31, p. 53-68.
- Jarray F. & Mercier E. (2016), « Les cadrans signés «Aḥmad al-'Umarî» (Tunisie, XVIII^e siècle), *Cadran Info*, N° 34, p. 69-89
- Kennedy E.S. (1976), *The exhaustive treatise of shadows by al-Biruni*, 2 vol., Alep.

- Kennedy E. S. & Kennedy M. H. (1987), *Geographical coordinates of localities from Islamic sources*, Frankfurt am Main: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, 709 p.
- King D.A. (2014), *In synchrony with the heavens*, volume 1 & 2 Brill ed., 930 p. + 1066 p
- King D.A. (2014 b), *World-maps for finding the direction and distance to Mecca*; Brill ed., 638 p. (première édition: 1999).
- Mercier E. (2014a), «Cadrans islamiques anciens de Tunisie », *Cadran-info*, 29, p. 53-65.
- Mercier E. (2014b), «Qibla des cadrans islamiques de Tunisie», *Cadran-info*, 30, p. 66-72.
- Mercier E. (2015), «Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous », *Cadran-infos*, 32, p. 77-88.
- Mercier E. (2016), «Les heures de prières sur les quadrants astrolabiques maghrébo-andalous», *Cadran-infos*, 33, p. 122-130.
- Michel H. (1976), *Traité de l'astrolabe*, Alain Brioux ed., 202 p.
- Trumet de Fontarce A. (1896), *Souvenirs d'Afrique, Algérie, Tunisie, Mission officielle, journal de voyage*, Bar sur Seine, 428p.