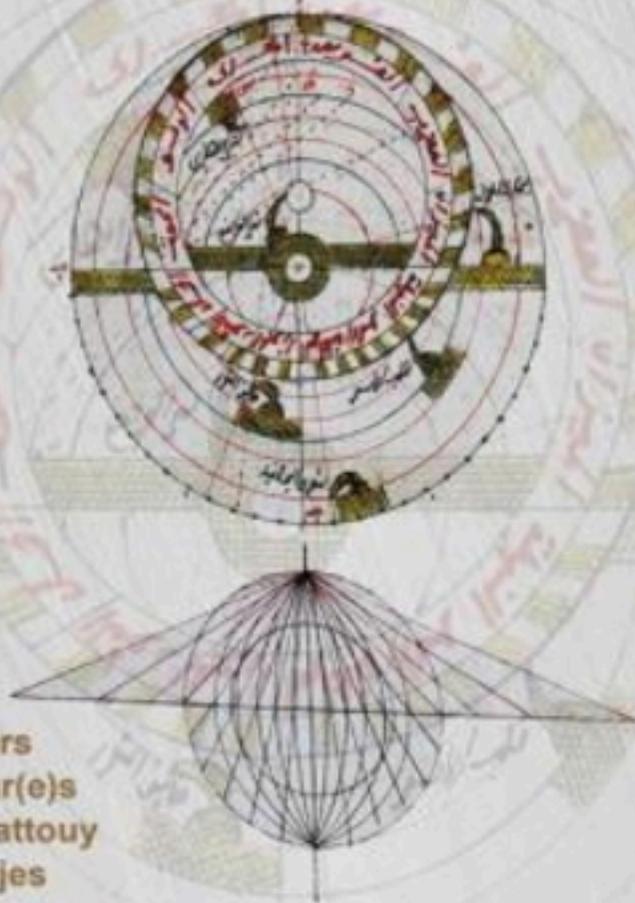


الملتقى المغاربي الثالث عشر حول تاريخ الرياضيات العربية

تونس من 30 مارس إلى 1 أبريل 2018

13^e colloque maghrébin sur l'histoire des mathématiques arabes

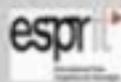
Tunis, du 30 mars au 1^{er} avril 2018



Conférenciers
Les Professeur(e)s
Mohammed Abattouy
Sonya Brentjes
Emilia Calvo
Ahmed Djebbar
Driss Lamrabet
Mustafa Mawaldi

Contact : mahd.abdeljaouad@gmail.com

المحاضرون
الاستاذات والاساتذة
محمد أبطوي
سنية برنتجس
اميليا كالفو
أحمد جبار
إدريس لمرابط
مصطفى موالدي



LA QUALITE SCIENTIFIQUE DES INSTRUMENTS GNOMONIQUES MAGHREBO-ANDALOUS (XI^E-XIX^E SIECLES).

Eric MERCIER

Université de Nantes, Faculté des Sciences et Techniques ¹

Résumé. Dans le but d'évaluer les compétences mathématiques des fabricants d'instruments gnomoniques maghrébo-andalous (astrolabes planisphériques, quadrants astrolabiques, cadrans solaires), nous nous intéressons à la précision des instruments (qualité du tracé), et la prise en compte des modifications séculaires de : (1) la position des étoiles (précession des équinoxes) ou (2) les règles de calcul des heures de prières. Dans ce but, des logiciels originaux de simulation du tracé gnomonique de ces instruments ont été élaborés. Les modélisations réalisées sont comparées à un échantillon de 176 tympanes et 47 araignées d'astrolabes planisphériques (XI-XIX^e), 8 quadrants astrolabiques (XV^e-XIX^e), et 84 cadrans solaires (XI^e-XIX^e).

Il ressort de ces comparaisons que les erreurs de tracé sont peu fréquentes et ponctuelles : la qualité du dessin gnomonique est généralement bonne à très bonne, et manifestement, les artisans ont su s'adapter à l'évolution des positions stellaires et aux variations des règles religieuses. Par contre, et c'est inattendu, les différents types d'instruments semblent évoluer de façon totalement autonome ! Cela semble indiquer un cloisonnement important et l'absence de communication entre des (sous-) disciplines pourtant proches.

Mots-clefs : Astrolabes planisphériques, Cadrans solaires, Quadrants astrolabiques, heures de prières, précession des équinoxes.

¹ Université de Nantes, Faculté des Sciences et Techniques, UMR-6112 du CNRS - Planétologie et Géodynamique; 2, rue de la Houssinière - BP 92208 - 44322 NANTES cedex 3 – France. (Eric.Mercier@univ-nantes.fr)

INTRODUCTION

Il est classique de considérer que, dès le début de l’Islam, les musulmans ont été conduits à s’intéresser à l’astronomie et à la gnomonique, dans le but de déterminer les moments favorables aux prières. Ces moments peuvent, en effet, être défini par des critères d’astronomie solaire. Une tradition *scientifique* s’est donc développée dans ce domaine en parallèle à des traditions que l’on pourrait qualifier de *non-scientifiques*² et qui prétendent déterminer le moment des prières ; soit par des méthodes d’observation, soit par des techniques empiriques regroupées sous le terme d’« astronomie folklorique » (*folk astronomy*, King 1994, 1996). L’influence relative de ces différentes traditions dans l’occident musulman a probablement varié au cours des temps, nous y reviendrons. Dans le cadre de la première de ces traditions, les scientifiques ont développé des instruments dédiés. Il s’agit principalement d’astrolabes planisphériques³, de quadrants astrolabiques⁴ et de cadrans solaires⁵; ces instruments relèvent de la gnomonique, c’est-à-dire de la science de la mesure du temps à partir du mouvement des astres. Ces instruments peuvent : soit déterminer l’heure de l’instant présent, ce qui permet de la comparer avec les heures des prières compilées dans des tables pré-établies ; soit plus directement, déterminer l’heure des différentes prières. C’est cette seconde option qui semble, de loin, la plus fréquente dans l’occident musulman (Gibbs & Saliba 1984, King 2014).

Au total, on a répertorié plusieurs centaines d’instruments sur la période envisagée. La gnomonique a donc été, au moins par moments, très active en Andalousie et au Maghreb, mais curieusement on ne connaît aucun traité

² Voir à ce sujet : King (2014, 550 et 636), Biémont (2006, 148) et surtout Stearns (2011) qui traite spécifiquement de l’occident musulman.

³ Les astrolabes planisphériques diffèrent des astrolabes linéaires, des astrolabes sphériques et des astrolabes universels qui sont extrêmement rares et dont nous ne parlerons pas ici. Dans la suite du texte « astrolabe » se référera toujours à « astrolabe planisphérique ».

⁴ De la même façon bien qu’il existe de nombreuses sortes de quadrants (horaires, trigonométriques, universels...), dans cet article, « quadrant » désignera toujours le « quadrant astrolabique ».

⁵ Il existe encore d’autres types d’instruments gnomoniques : les méridiennes, les *saphaea* et les nocturlabes ... Ils sont connus en un très faible nombre d’exemplaires, nous n’en parlerons pas non plus ici.

majeur de construction et d'usage de ces instruments originaire de ces régions⁶. La question des compétences scientifiques des gnomonistes, et de la qualité de leurs instruments se pose donc. En d'autres termes, les gnomonistes maghrébo-andalous sont-ils d'authentiques scientifiques ou des artisans plus ou moins habiles qui se sont contentés, au fil des siècles, de reproduire les recettes du passé ? Un bon moyen de tester cette compétence est de contrôler si les gnomonistes ont su respecter les règles de la gnomonique, et adapter leurs réalisations à diverses évolutions comme :

- l'évolution des besoins des utilisateurs, notamment dans le domaine religieux (fluctuation des règles de détermination des heures de prière⁷),

⁶ En tout cas, rien de comparable à ce qui est connu en Orient : voir King (1999, 191-193). Ce dernier signale néanmoins un traité sur le quadrant signé par « Umar ibn Abd al-Rahman al-Tunisi al-Tuzari » datant des environs de 1450, et un traité élémentaire de construction des cadrans solaires par « Ibn al-Raqqam (al-Tunisi / al-Andalusi) » au XIV^e siècle (traduction et analyse par Carandell 1988). Selon King (1999, 188) le célèbre traité de Abū Alī al-Marrakushī (Le Caire, fin du XIII^e siècle) traduit et analysé par Sédillot père (1834) et fils (1841-45) est basé sur des sources principalement orientales, et ne peut pas être considéré comme un travail maghrébin en dépit du nom et de l'origine de son auteur.

⁷ Sur les instruments gnomoniques maghrébo-andalous, on peut reconnaître des repères temporels liés aux prières de l'Islam suivants :

-le début de *Zuhr*, selon deux conventions différentes : (1) celle actuellement dominante, c'est-à-dire quelques minutes après midi solaire (appelé ici « *Zuhr orthodoxe* ») et (2) celle caractéristique de l'occident musulman ancien (appelé ici « *Zuhr andalou* » ; voir King (1977, 205 & 2014, 549). Notons que cette seconde convention était déjà mentionnée (et recommandée) dans le traité d'al-Biruni sur les ombres (Afghanistan/Ouzbékistan, X^e siècle) : Kennedy (1976, 235). Comment cette convention orientale a pu se répandre dans l'occident musulman pour finir par être considérée comme une règle typiquement maghrébo-andalouse demeure un mystère,

-le début de *Asr*, selon deux conventions différentes : (1) celle des Malékites, (2) et celle des Hanafites (appelé ici *Asr second* ou *Asr2*). Cette seconde convention était déjà utilisée au XI^e siècle, soit largement avant la domination ottomane en Tunisie et en Algérie, et marquait, selon ce qui est inscrit sur les instruments eux-mêmes, la fin de la période favorable à la prière *Asr*,

- le début de *Maghrib*,

- l'évolution séculaire des coordonnées stellaires résultant de la précession des équinoxes (cas des astrolabes),

- l'évolution des connaissances scientifiques ; ce point concerne surtout les progrès de la détermination des coordonnées géographiques, et du calcul de la Qibla. Cette question sera traitée ailleurs dans ce volume (section en langue arabe, article de F. Jarray & E. Mercier), elle n'est juste évoquée ici que pour mémoire.

MÉTHODE D'ÉTUDE

Le tracé d'un instrument gnomonique correspond à des règles très strictes, le principal facteur qui peut modifier ce tracé est la latitude pour laquelle l'instrument est conçu⁸. En fonction de sa localisation (pour les cadrans solaires), ou des indications de l'instrument (pour les astrolabes et les quadrants) il est possible de prévoir précisément le tracé gnomonique.

Dans le cadre de cette étude, un certain nombre de logiciels ont donc été conçus pour dessiner automatiquement les tracés attendus. La comparaison par superposition, avec les instruments réels, ou leur photographie, permet d'évaluer le respect des règles gnomoniques et la précision des tracés (Fig. 1 & 2). Une démarche informatique du même ordre permet de juger de la prise en compte de la précession des équinoxes dans le dessin des araignées des astrolabes (Fig. 3).

- les débuts de *Ishaa* et *Fajr* qui peuvent correspondre, ou non, à la même hauteur angulaire du Soleil sous l'horizon. Cette valeur angulaire pouvant être variable (-16° à -20°, voire -24°),

- le lever du Soleil, qui marque la fin de la période favorable à *Fajr*,

- le début de *Douha* qui est maintenant considérée comme une prière facultative, mais qui semble avoir eut beaucoup plus d'importance dans le passé dans l'espace maghrébo-andalou (voir discussion complète dans King (2014, 571-577),

- le début de *Tahib*, une prière du Vendredi matin qui est spécifique au Maghreb ancien (King 2014, 579-580) et dont la définition horaire est fluctuante.

⁸ Aucun des trois types d'instruments étudiés ici n'est « universel » (indépendant de la latitude). Dans le cas particulier des astrolabes, ce sont uniquement les tympanes qui sont dépendants de la latitude. Les autres parties (mère, araignée, ...) sont en quelque sorte « universels »; chaque astrolabe possède donc généralement plusieurs tympanes interchangeables, ce qui permet de l'utiliser sous différentes latitudes.

En ce qui concerne la représentation des heures de prières, le logiciel va dessiner les différentes possibilités de tracé en fonction des différentes conventions possibles. Là encore, la comparaison, par superposition, de l'instrument, ou de son image, avec la modélisation va permettre de sélectionner la convention utilisée et de caractériser la précision du tracé (Fig. 2).

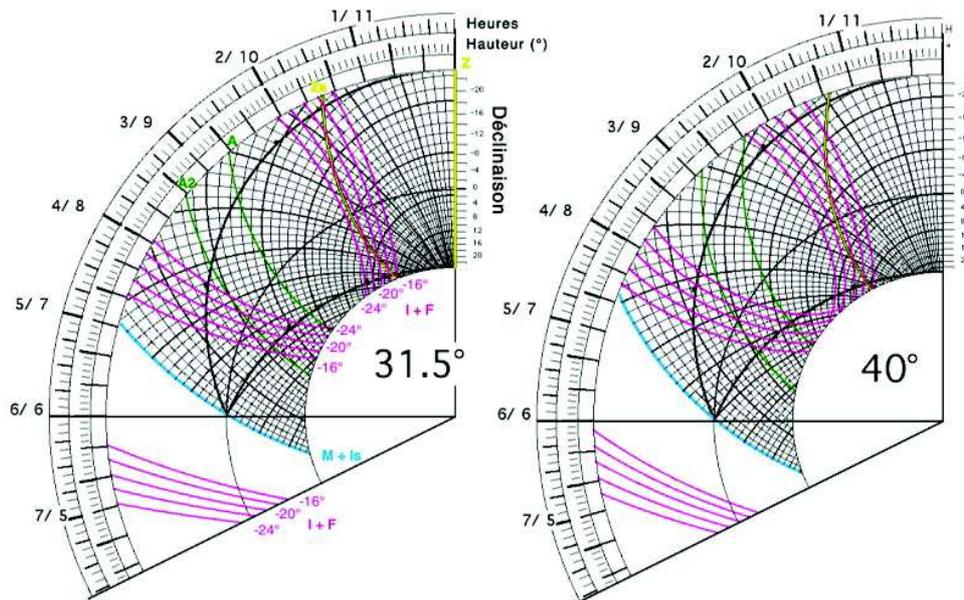


Fig. 1 : Exemple de modélisation du quadrant astrolabique pour les latitudes de Marrakech (env. 31,5°) et Tolède (env. 40°). Les prières et leurs variantes sont les suivantes : *Zurh* orthodoxe (Z) et *Zurh* andalou (Za), *Asr* (A), *Asr* second (A2), *Moghrif* (M) associé à son symétrique astronomique le lever du soleil (Is), *Isha* (I) et *Fajr* (F) avec les conventions de hauteurs du Soleil de -16° à -24° (incrément de 2°). Les prières de la nuit (*Isha* et *Fajr*) peuvent être représentées de plusieurs façons différentes sur l'instrument ; voir détails et explications supplémentaires dans Mercier (2016).

LE MATÉRIEL ÉTUDIÉ

L'exhaustivité étant impossible, j'ai choisi d'étudier des échantillons dont la taille et la composition vont dépendre de l'accès à des documents photographiques de bonne qualité. Ce qui signifie ici que les photos ont une bonne définition, ont été prises perpendiculairement à l'instrument et sont accompagnées d'une notice avec la transcription de la signature / dédicace, de la date de fabrication et, dans le cas des araignées d'astrolabes, de la liste des étoiles lues sur l'araignée.

Les catalogues des grandes collections d'instruments scientifiques⁹ et les inventaires¹⁰ constituent donc une partie importante des sources utilisées.

Les échantillons sont de tailles variables : 8 quadrants (Mercier 2016), 84 cadrans solaires (Mercier 2014, Almiron 2014, Jarray 2015 & 2017), 47 araignées et 176 tympanes d'astrolabe (Mercier 2015, 2018 a et b) ;

Dans ces échantillons, la Tunisie est surreprésentée pour les cadrans solaires, et le Maroc pour les astrolabes. Pour l'instant il n'est pas possible de savoir si cela reflète une situation originelle, l'effet de processus de conservation différentiels ou un biais lié aux efforts de prospection¹¹.

De même, la répartition temporelle est irrégulière et marquée par une répartition bimodale avec un pic vers le XIII-XIV^e siècle et un autre vers le XVII-XVIII^e siècle¹² ; ces deux pics sont séparés par une période où les productions sont rares. Price (1955) avait déjà signalé cette distribution à l'échelle de tout le monde musulman. Il avait proposé que le premier pic correspondait à l'apogée de la gnomonique musulmane, et que le second reflétait une rétro-influence de l'Europe qui aurait interrompu une période de désintérêt. Il est certain que des astrolabistes musulmans, et spécialement maghrébins, ont pu subir des influences européennes¹³, mais l'explication de Price (1955) est clairement fautive en ce qui concerne les cadrans solaires dont le renouveau est lié à l'expansion Ottomane¹⁴ (voir l'historique de

⁹ Institut du Monde Arabe, Paris (Mouliérac 1989) ; National Maritime Museum, Greenwich (Cleempoel 2005) ; (ex-)Time Museum, Rockford (Turner 1985) ; Musée du Louvre, Paris (Frémontier-Murphy 2002) ; National Museum of American History, Washington (Gibbs & Saliba 1984) ; Museum of History of Science, Oxford (www.mhs.ox.ac.uk) ; Alder Planetarium & Astronomy Museum, Chicago (Pingree 2009).

¹⁰ Gunther (1932), Almiron (2014), Jarray (2015).

¹¹ Un premier inventaire des cadrans solaires du Maroc (Jarray 2017), hélas très peu illustré, suggère que c'est la troisième hypothèse qui est la bonne.

¹² Voir détails dans Mercier (2015) et (2018a).

¹³ On connaît par exemple, un astrolabe marocain de 1651 qui intègre déjà le calendrier Grégorien (Pingree 2009, 16)

¹⁴ On sait que les Ottomans, de doctrine Hanafite, étaient particulièrement favorables à l'utilisation des méthodes scientifiques dans le cadre du culte. Cela est vrai aussi bien pour le calcul des heures de prières (King 2014) que pour la détermination de la Qibla (Bobine 2008).

l'implantation du type « moderne » en Tunisie : Jarray & Mercier, 2016) ; *a contrario* le Maroc, qui ne fût jamais occupé par les Ottomans, bénéficie du même renouveau au même moment. En fait, il est peu probable que la simple influence d'une puissance étrangère (Européenne ou Ottomane), ait pu suffire à relancer la gnomonique après une période de désintérêt de deux siècles. Des causes « internes » doivent être évoquées, on peut penser, par exemple, un changement dans la perception de la *tradition scientifique* par les autorités religieuses et par les croyants.

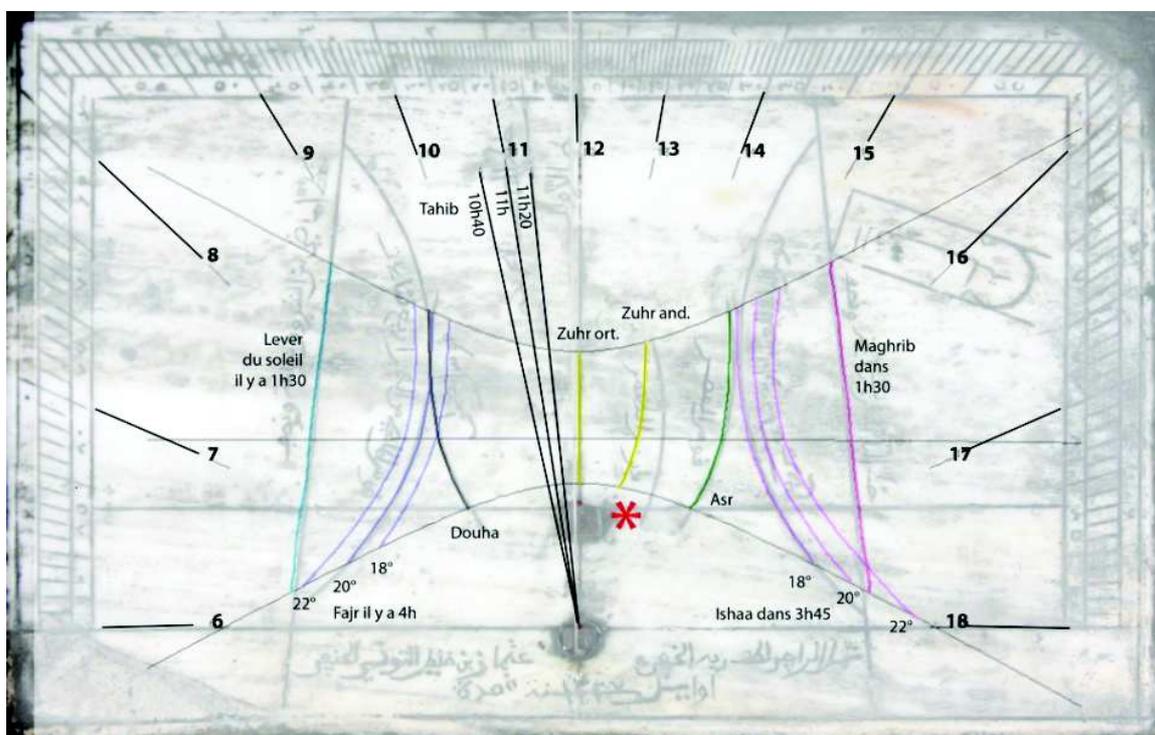


Fig. 2 : Superposition du cadran de l'ex-grande mosquée du Kef (œuvre de Uthmân Ben Khalîl al Tûnisî al Hanafî, 1227/1812 ; photo Fathi Jarray) avec une modélisation calculée pour cette latitude. On constate une excellente correspondance, aussi bien pour la partie horaire (bandeau extérieur) que pour les prières. *Tahib* correspond ici à 11h20, *Ishaa* à -18°, et *Fajr* à -20°. La seule anomalie, marquée par une étoile rouge, correspond au dessin de *Zuhr* (andalou) qui devient de plus en plus fautif en s'approchant du solstice d'été.

QUALITÉ DES TRACES ET RESPECT DES RÈGLES DE LA GNOMONIQUE

Cadran solaires

Le plus ancien cadran solaire connu est andalou, il est datable de la fin du X^e siècle ou du début du XI^e siècle. Sur le plan gnomonique, il accumule les erreurs et les approximations (King 1978). Il existe 6 autres cadrans solaires andalous, et aucun n'échappe aux tracés erronés (Almiron 2014). Le cadran Grenade, du XIII-XIV^e siècle, est le plus approximatif, son auteur est qualifié par King (1978, 365) de « *malheureux individu... innocent dans le domaine de l'astronomie* ». A la même époque au Maghreb les cadrans sont de bien meilleure qualité gnomonique¹⁵.

Pour la suite de notre analyse, nous allons nous concentrer sur la Tunisie, où nous bénéficions d'un inventaire exhaustif (Jarray 2015). Dès leur installation à Tunis, les Ottomans vont favoriser la gnomonique dans les mosquées Hanafites, mais également dans les mosquées locales. Le plus ancien cadran de cette nouvelle période date de 1616 (œuvre de Barakât Ben Muhammad al-Zarîf al-Husaynî al-Idrîsî, le premier muwaqqit de la première mosquée hanafite la ville : mosquée Yûsuf Dey). Dès le début, ces cadrans vont atteindre une sorte de perfection technique et gnomonique avec, notamment, des indications des heures des prières de la nuit, fonction qui est habituellement hors de portée d'un cadran solaire. On connaît plus d'une trentaine de ces cadrans modernes (Type B de Jarray 2015). Certains d'entre eux sont extrêmement novateurs, y compris à l'échelle du monde musulman¹⁶. Ces réalisations ne sont évidemment pas à l'abri d'imperfections, mais il s'agit toujours d'erreurs ponctuelles (on peut imaginer une erreur de calcul), qui ne remettent pas en cause la fonctionnalité de l'ensemble. Au début du XIX^e siècle vont commencer à apparaître des cadrans solaires frustrés, qui ont perdu beaucoup de leur fonctionnalité (abandon des prières de la nuit, voire souvent

¹⁵ Quelques exemples parmi les rares cadrans maghrébins de cette époque qui nous sont parvenus: cadrans n°6, 7, 8 et 9 de Jarray (2009 & 2015), cadrans de Tlemcen (Bel 1905, Jarray 2011), cadran de la mosquée al-Qarawiyyin à Fès (Jarray, 2017).

¹⁶ Cadran équatorial et cadran polaire de la Mosquée Zitouna de Tunis (Jarray et Mercier 2015); Méridiennes religieuses du cadran de la mosquée Hanafite de Monastir (Jarray et Mercier 2016).

de toutes les prières) et cumulant les erreurs de tracé. On trouvera encore d'excellentes réalisations jusqu'au milieu du siècle¹⁷, mais globalement, le temps de la décadence gnomonique est arrivé.

Nous ne disposons pas de suffisamment d'éléments pour tenter de décrire l'évolution en Algérie. Au Maroc, qui ne fut pas occupé par les Ottomans, il semble y avoir également, à partir du XVII^e siècle, un renouveau ; mais cette fois-ci l'influence scientifique est européenne¹⁸. De ce fait, les cadrans solaires marocains n'intègrent pas, ou très rarement, d'indications religieuses.

Quadrants

Le quadrant a été inventé en Egypte au XI^e ou XII^e siècle (King 2014, 78), mais ne semble pas connu en occident musulman avant le milieu du XV^e siècle¹⁹. Il s'agit d'instruments rares et toujours très largement minoritaires dans les grandes collections d'astrolabes musulmans (Musées d'Oxford, Greenwich...). Contrairement à ce qu'affirment certains auteurs, il est très peu probable que ces instruments aient remplacé les astrolabes dès le XVI^e siècle. L'échantillon étudié correspond à 8 quadrants (dont 7 détaillés dans Mercier), qui s'étalent du XV^e au XIX^e siècle. Un seul doit être considéré comme défaillant (voir Mercier 2016), il s'agit de celui conservé à la BNF (Paris) ; il n'est pas daté, mais selon Janin (1977) qui en a fait une première étude, il a une facture récente (XIX^e siècle ?).

¹⁷ Comme le cadran de la Grande Mosquée de Kairouan (1842, Ahmad Ben Qasim Ammar al-Susi) dont la qualité est bien supérieure à ce qu'affirme Janin (1977).

¹⁸ A titre d'exemple, les cadrans marocains du XVII^e siècle intègrent déjà la graphie européenne des chiffres arabes.

¹⁹ L'affirmation selon laquelle les quadrants (astrolabiques) auraient été inventés, vers 1288, par Profeit Tibbon (dit Profatius) (1236-1304), un savant de Montpellier, est inexacte (King 2014, 78).

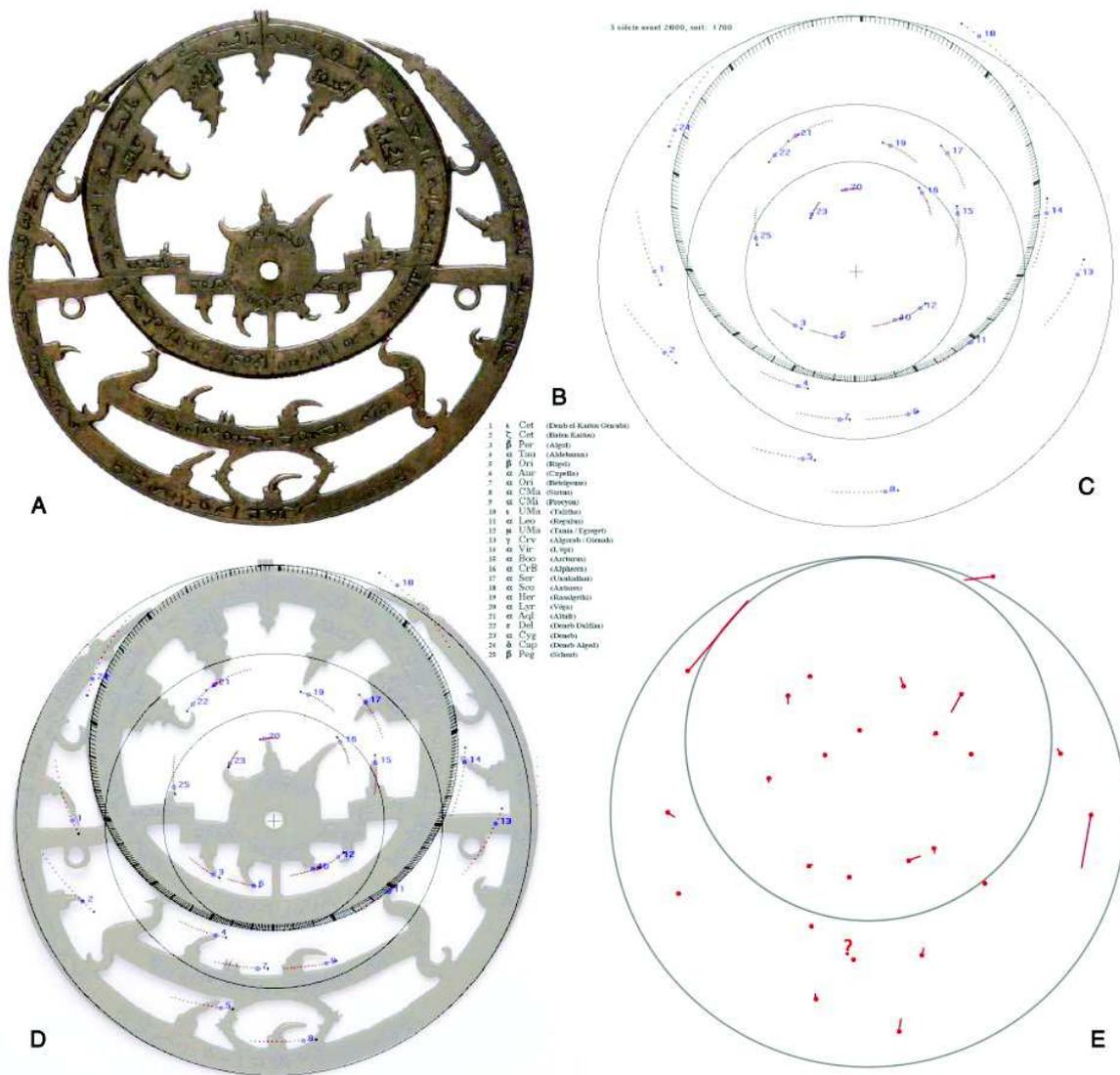


Fig. 3 : A : Araignée de l'astrolabe 45220 du Museum of the History of Science - University of Oxford, signé par Adbullah ibn Sasi et daté de 1099 A.H. (1687/8). B : liste d'étoiles. C : modélisation de la position des étoiles de la liste B sur la période 500-2000 avec un incrément de 100 ans, les cercles bleus représentent les positions attendues aux environs de 1700. Les numéros se réfèrent à la liste « B ». D : Superposition de « A » et « C ». E : Carte d'erreur résultante : point rouge = position attendue ; extrémité du trait : position observée.

Astrolabes

On sait que des astrolabes ont été confectionnés avant le milieu du X^e siècle à Kairouan (King 1999), mais les plus anciens conservés datent de la première moitié du XI^e siècle (H 420) (King 2002). Un astrolabe est formé de plusieurs parties (mère, tympan, araignée, ...). Les araignées seront examinées

dans un paragraphe suivant. Les mères n'ont pas fait l'objet d'études systématiques. Par contre 176 tympanes issus de 40 astrolabes différents ont été étudiés en détail sur le plan du tracé des lignes astronomiques (Mercier 2015). Aucune de ces pièces ne présente de défaut significatif²⁰. Cette bonne qualité générale du tracé des tympanes concerne toutes les époques, période médiévale et XIX^e siècle inclus²¹.

ADAPTATION DES INSTRUMENTS AUX ÉVOLUTIONS RELIGIEUSES

L'accord sur les heures de prière ne s'est jamais fait dans le monde musulman, et selon l'école juridique, l'époque et/ou l'espace géographique, des différences dans le nombre (?) et la définition des moments favorables sont fréquentes. Au Maghreb, qui a subi de nombreuses influences religieuses (dynasties Shiites ou Malékites, occupation Ottomane (Hannafite)) ; présence de communautés Ibadites, ...), on doit s'attendre à la succession et à la coexistence de nombreuses conventions différentes. Comment les gnomonistes se sont adaptés à ces demandes différentes ? C'est que nous allons envisager maintenant.

Cadrans solaires

Avant le XVII^e siècle, les cadrans solaires sont caractérisés par un assemblage limité aux prières de la journée : *Zuhr andalou* et *Asr*.

²⁰ Vu la quantité de faux qui circulent sur le marché de l'art, il est certain que les conservateurs des grandes collections publiques sont particulièrement attentifs avant d'intégrer un astrolabe dans leur catalogue. Il est donc possible que des astrolabes authentiques, mais présentant des défauts, ou des éléments de suspicion au sens de Brioux (1974), aient été rejetés.

²¹ Une certaine forme de décadence a néanmoins existé dès la fin du XVIII^e siècle, ainsi en 1786, S. M. Sidi Moham't'd ben Abdallah, « empereur » (sic) du Maroc, avait été incapable de faire réaliser sur place de nouveaux astrolabes pour la Mosquée des Andalou à Fès ; il a dû confier ce travail au « meilleur artiste (de Paris) en ce genre ». C'est Lenoir « Ingénieur du Roy » qui réalisa ce travail en 1789, (Hosotte-Reynaud 1957). C'est à ces circonstances que les astrolabes de la mosquée des Andalou doivent leur décoration de pur style Louis XVI !

Ponctuellement, cet assemblage peut être complété par *Asr2* (Tunisie XI^e siècle) ou *Douha et Tahib* (Tunisie XIV^e siècle : King 1977). La majorité des cadrans solaires de l'époque moderne (XVII-XIX^e siècles) vont intégrer les prières de la nuit grâce à un système de « lignes d'annonce²² ». Notons que ces lignes sont plus fréquentes pour *Maghrib* que pour *Ishaa* et *Fajr*. Dans la tradition scientifique, les prières *Ishaa* et *Fajr* commencent quand le soleil a atteint un certain angle sous l'horizon. Selon les cadrans, le choix s'est porté sur des angles de -16°, -18° ... -24°. Par ailleurs, l'angle peut être, ou non, le même pour les deux prières. Ces différentes règles de calcul se retrouvent dans les tables manuscrites maghrébines de l'époque (King 2014, 427-437). *Zuhr andalous*²³ et *Zuhr orthodoxe* (qui apparaît au début du XVII^{ème} siècle) vont être utilisés dans des proportions similaires jusqu'au XIX^e siècle. Ponctuellement *Asr2*, *Douha*²⁴ et *Tahib*²⁵ vont également être représentés.

D'une manière générale, ces tracés sont précis, et il n'y a jamais d'ambiguïté sur la convention religieuse retenue. La capacité des gnomonistes à répondre à des demandes particulières, et la précision de leur travail, sont évidentes.

Quadrants

Pour le quadrant de la BNF (cf *supra*), la qualité du tracé des prières est aussi catastrophique que pour les indications astronomiques. Pour les autres quadrants étudiés, les tracés des prières montrent une très bonne adéquation avec les modélisations (Mercier 2016). La diversité des conventions religieuses est importante : on va observer des assemblages avec ou sans *Zuhr andalous*, et des angles très variables pour *Ishaa* et *Fajr* qui peuvent être, ou ne pas être,

²² Par exemple « *Moghrib* dans 2 heures », « *Ishaa* dans 3 heures », « *Fajr* il y a 5 h » (et donc dans 19h car 24-5=19).

²³ Le cadran solaire le plus récent qui fait référence à *Zuhr andalous* date de 1957, mais il est possible que ce soit la copie d'un cadran plus ancien (Jarray 2015)

²⁴ Avec deux méthodes de calcul différentes : soit le symétrique par rapport à midi de *Asr*, soit de *Asr2*.

²⁵ Avec au moins trois méthodes de calcul différents : 1h20, 1h ou 40 minutes avant midi (du Vendredi), soit précisément 10, 15 ou 20 *drejs*, Le *drej* était l'unité de temps dans le monde arabe ancien, c'est le temps qu'il faut au Soleil pour parcourir 1° sur l'écliptique. C'est l'unité que l'on retrouve sur la partie horaire des instruments gnomoniques antérieurs au XIX^e siècle.

égaux pour les deux prières. Notons enfin que *Asr2* et les prières spécifiques de l'occident musulman (*Douha* et *Tahib*) n'ont jamais été reconnues sur ces instruments.

Astrolabes

Sur cet instrument, les lignes de prières, qui dépendent de la latitude, sont gravées sur les tympan. Le lever et le coucher du Soleil (*maghrib*) sont toujours représentés pour des raisons astronomiques (almicantarats 0°). Quand il y a indications de prières supplémentaires, on reconnaît toujours *Ishaa* et *Fajr*. Ces deux prières sont alors caractérisées par le même angle qui ne s'écarte jamais significativement de -18° . Cet assemblage est très souvent complété par *Zuhr andalou* et *Asr*. La ligne indiquant *Asr2* n'est présente que sur les instruments du XI^{ème} siècle, quant à *Douha* et *Tahib*, ils n'ont pas été reconnus. L'assemblage des prières des astrolabes est donc significativement différent de celui que l'on observe sur les cadrans solaires et les quadrants, nous y reviendrons.

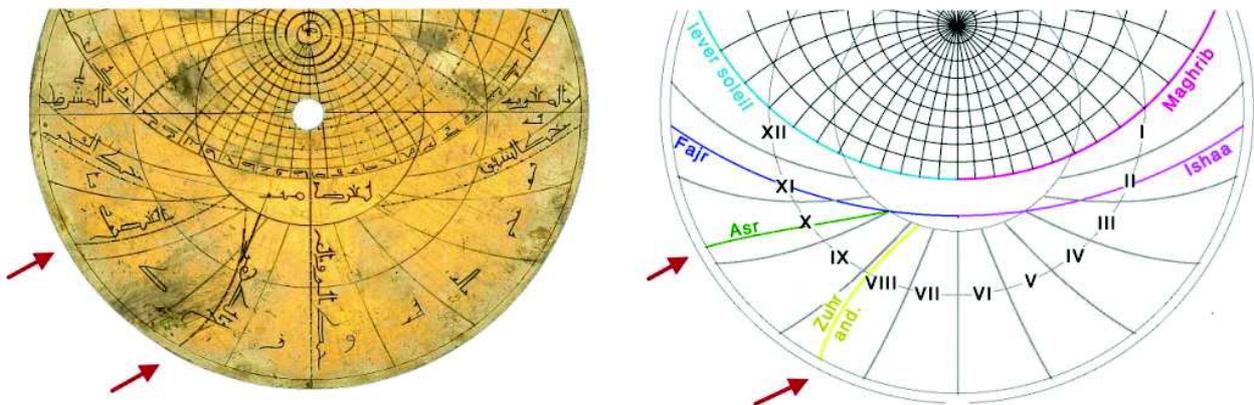


Fig. 4 : Comparaison entre le tympan 42° de l'astrolabe 53556 du MHS d'Oxford (XIV^e s., Afrique du Nord) et sa modélisation. On constate que seules les courbes de *Zuhr andalou* et *Asr* sont fautives (flèches rouges).

Autre point remarquable, plus de 9% des tympan présentent des erreurs de tracé concernant *Asr* ou/et *Zuhr andalou*, et ce sont les seules erreurs observées. Souvent, ce ne sont qu'un ou deux tympan qui sont affectés, les autres tympan sont corrects. Citons, à titre d'exemple, l'astrolabe de la figure 4 qui dispose de 5 plaques avec des tympan gravés sur les deux faces (soit 9 tympan pour les latitudes de 21° , 25° , 30° , 33° , 32° , 36° , 42° , 45° , 0° et un tympan d'horizons). Sur les seuls tympan 42° et 45° , les prières de *Asr* et *Zuhr*

andalou sont gravées de façon erronée (Fig. 4). Cette erreur résulte d'un curieux effet de symétrie que l'on peut obtenir, par exemple, en retournant un calque où serait dessinée la ligne à graver.

ADAPTATIONS DES ASTROLABES À L'ÉVOLUTION CELESTE

Du fait de la précession des équinoxes, les étoiles se déplacent au cours des siècles parallèlement à l'écliptique. Quand on fabrique une nouvelle araignée, il faut donc prendre en compte ce déplacement pour positionner les étoiles. L'étude de l'adéquation entre des positions stellaires et la date de la fabrication de l'instrument (souvent indiquée dans la dédicace) constitue un bon moyen de juger de sa qualité scientifique. J'ai étudié 47 araignées d'astrolabes datés et dont les étoiles avaient été identifiées par ailleurs (Mercier 2018).

En comparant les positions attendues des étoiles (résultat de la modélisation) et les positions observées sur chacun de ces astrolabes, j'ai pu établir des « cartes d'erreurs » (Fig. 3). Il ressort de l'analyse de ces cartes et des listes d'étoiles que :

- tous les astrolabes étudiés s'inscrivent dans une tradition fondée par Maslama al-Majriti²⁶ et son traité sur l'astrolabe datant de 978 (Vernet & Catalá 1965).

- aucune des araignées étudiées n'est « en retard », la précession des équinoxes a été systématiquement prise en compte.

- un certain nombre d'étoiles sont mal implantées, mais il apparaît que, au fil des siècles, ce sont toujours les mêmes qui focalisent les problèmes (essentiellement : δ Cap, ι Cet, β Cet, ζ Cet, χ Cet, α Crt, γ Crv, α Ser)

²⁶ Les auteurs ont longtemps confondu cet auteur avec Messahalla (vers 740-815), important astronome / astrologue qui vivait à Bagdad. Il est maintenant bien établi qu'il s'agit en fait d'un savant andalou (c. 950 Madrid – 1007 Cordou) dont l'importance est de plus en plus soulignée par les spécialistes (voir King 2014, II, p. 587 ; Casulleras 2007).

- inversement, la majorité des étoiles a une bonne, voire très bonne implantation, qui correspond parfaitement à la position attendue.
- les araignées les plus précises datent du XIII^e siècle, les plus mauvaises, et de loin, du XIX^e siècle (Fig. 5).

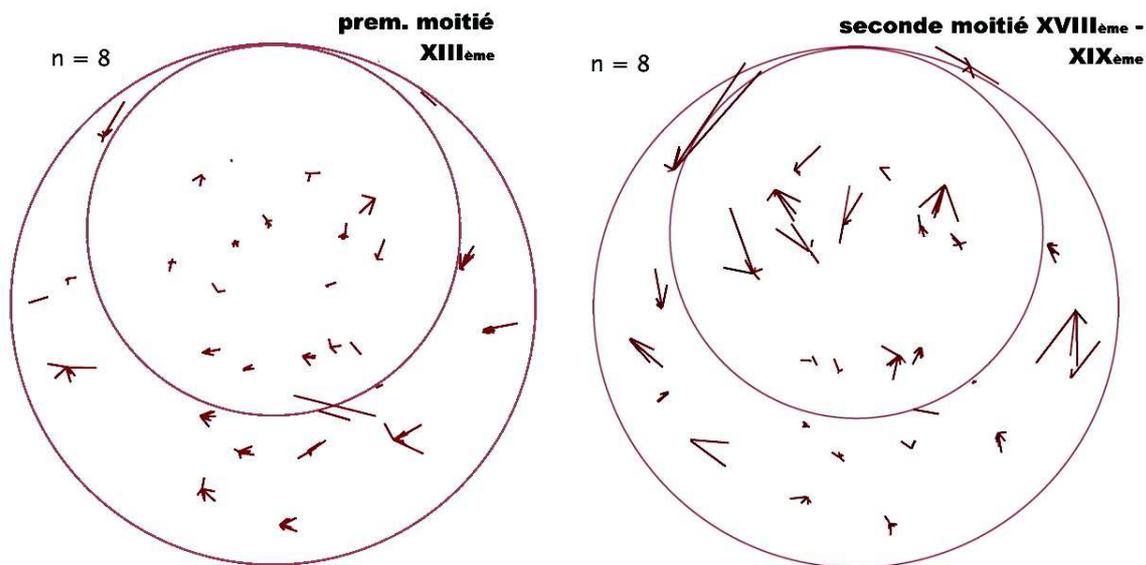


Fig. 5 : Superposition des cartes d'erreur de 8 astrolabes de la première moitié du XIII^e siècle et de 8 astrolabes tardifs (fin du XVIII^e et XIX^e siècle) (d'après Mercier 2018a).

L'étude des erreurs des araignées, et particulièrement des étoiles qui sont systématiquement mal implantées (étoiles « à problèmes »), est riche en enseignements. Tout d'abord, le fait que, justement, les erreurs concernent les mêmes étoiles, permet d'exclure un simple problème de précision / soin lors de la réalisation. Cette répartition marque très probablement un phénomène de corruption des tables d'étoiles qui se sont transmises au fil des siècles. De manière plus surprenante, même si ce sont toujours les mêmes étoiles qui sont fautives, les caractéristiques de ces erreurs varient fortement d'un instrument à l'autre (Fig. 5). L'existence de ces fluctuations pourrait suggérer que les astrolabistes avaient identifié les erreurs redondantes, et qu'ils avaient essayé d'y remédier en tâtonnant ..., mais sans grand succès. On peut aussi en conclure que ces astrolabistes étaient incapables de réaliser les mesures astronomiques nécessaires.

Plus remarquable encore, si l'on s'intéresse à la position des étoiles sur différentes araignées d'un même astrolabiste (par exemple : Abu-Bekr XII^{ème} siècle, 3 astrolabes ; Ibn-Futtuh XIII^{ème} siècle, 5 astrolabes ; Mohammed ibn Ahmad al Battuti XVIII^{ème} siècle, 6 astrolabes), on retrouve la même fluctuation de la position des étoiles « à problèmes » (Fig. 6).

Au final donc, et si l'on ne tient pas compte des astrolabes tardifs et des étoiles « à problèmes », la précision est très bonne, bien meilleure que celle des astrolabes originaires d'orient (Mercier 2018 b), et bien meilleure surtout que ce que laissait espérer l'étude des manuscrits (Dekker 1992)²⁷. En fait, elle s'approche de celle des astrolabes européens du XVI^e siècle (voir Mercier 2018b) qui constitue un *summum* historique (Stautz 1996).

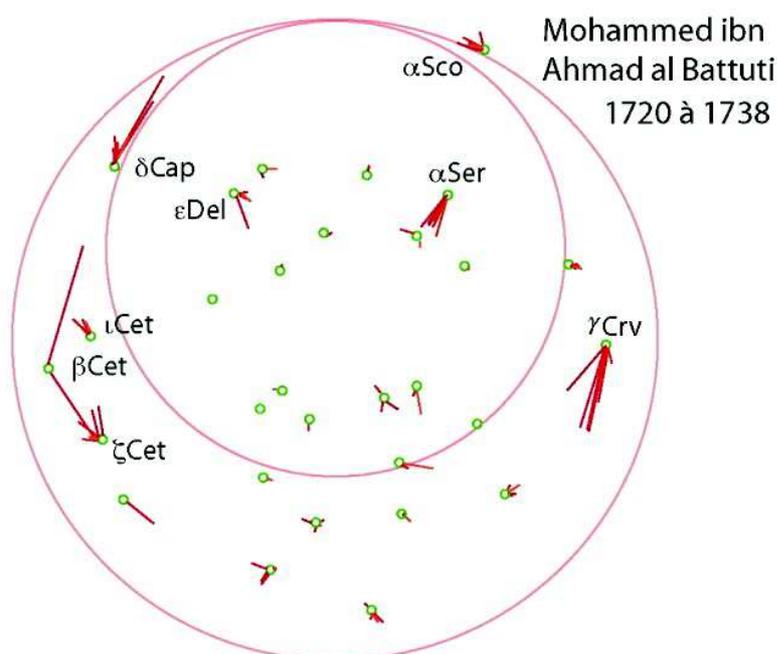


Fig 6. : Compilation des erreurs des araignées de six araignées réalisées par le même astrolabiste : Mohammed ibn Ahmad al Battuti (Maroc 1720 à 1738), l'implantation des étoiles fautives est différente sur chaque instrument (d'après Mercier 2018a).

²⁷ La description par Dekker (1992), globalement validée par King (1993) et Kunitzsch (1993, 2005), des manuscrits maghrébo-andalous traitant de l'astrolabe est très négative ; elle signale une grande imprécision sur les valeurs de précession, mais surtout des retards allant jusqu'à 250 ans dans sa prise en compte (voir à ce sujet : Kunitzsch 1980). En fait, Dekker (1992) suggère qu'avec de telles sources, les astrolabistes ne pouvaient pas être capables de réaliser des instruments corrects... ce qui se révèle être faux !

DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

L'impression qui se dégage de ce qui précède est très positive : les gnomonistes maghrébo-andalous ont, d'une manière générale, produit des instruments précis²⁸ et ils ont fait preuve d'une bonne adaptabilité aux circonstances (demande religieuse, évolution céleste). Des instruments peuvent se révéler fautifs (cadrans solaires andalous, de nombreux instruments du XIX^e siècle), mais ils sont minoritaires. Par ailleurs, nous avons vu que les astrolabistes étaient probablement capables d'identifier les erreurs de leurs instruments, et de développer une démarche pour essayer d'y remédier (cas des étoiles « à problèmes »). Ces éléments démontrent, selon moi, que jusqu'à un XIX^e siècle bien avancé, la compréhension mathématique des instruments a toujours été présente, comme d'ailleurs des objectifs de justesse et de précision. On peut, et on doit, parler de démarche scientifique pour caractériser l'activité des gnomonistes maghrébo-andalous.

Une fois cela établi, on doit s'arrêter sur certains problèmes et anomalies qui tempèrent un peu cette vision, sans doute un peu trop idyllique

Commençons par les astrolabistes. Nous avons vu qu'ils avaient été capables de choisir de bonnes valeurs de la précession. Cela est d'autant plus remarquable que l'image qui se dégage des manuscrits à ce sujet, est plutôt confuse (Dekker 1992). Mais ils n'ont jamais su corriger les erreurs de coordonnées d'étoiles, transmises siècles après siècles sur des tables manuscrites ; erreurs que, très probablement, ils avaient identifiées. Les astrolabistes n'avaient manifestement pas de compétences dans le domaine de l'observation et de la mesure²⁹. Dans un autre ordre d'idée, le traitement des prières est tout à fait surprenant, non seulement l'unique assemblage représenté ne reflète pas la diversité des pratiques sur 10 siècles, mais en plus on constate un taux d'erreur (près de 10% sur *Zhur andalou* par exemple) qui dénote avec la qualité du reste de l'instrument. Tout cela est d'autant plus surprenant que les quadrants, qui sont des instruments très proches et que l'on pourrait penser

²⁸ Cette affirmation n'est, bien entendu, pertinente qu'au regard des fonctions testées dans ce travail. D'autres parties des instruments, non évoquées ici, peuvent se révéler de très mauvaises : par exemple, la date de l'équinoxe de printemps dans le calendrier Julien à l'arrière des astrolabes (voir Mercier 2018b).

²⁹ On sait qu'il existait pourtant une activité d'observation au Maghreb, au moins au XIV-XV^e siècle (Samso 2001).

réalisés par les mêmes gnomonistes, tiennent bien compte de la variété des conventions religieuses. Ce qui est également le cas des cadrans solaires, mais de façon plus complète encore.

Envisageons maintenant les fabricants de cadrans solaires. Au XIII^e siècle, en Andalousie, ils étaient vraiment incompetents, alors que leurs collègues astrolabistes fabriquaient, à la même époque et au même endroit, les meilleurs astrolabes de musulmans de l'histoire. De même, au XVII^e siècle au Maroc, les cadraniers ont été chercher leurs modèles en Europe, alors qu'ils disposaient des compétences sur place : la fabrication des astrolabes était encore dans une période très brillante. A la même époque en Tunisie, les fabricants de cadrans solaires maîtrisaient les techniques de calcul de la Qibla (Jarray & Mercier 2016 et ce volume), mais, ils utilisaient les vieilles, et fautive, coordonnées géographiques de Ptolémée, sans tenir compte des énormes progrès réalisés par les géographes musulmans dans ce domaine. Par ailleurs, il apparaît que, toujours à cette époque, aucun architecte n'a cherché à tenir compte de ce calcul de la qibla pour orienter les édifices religieux.

Tout ceci semble indiquer un cloisonnement très important entre les (sous-)disciplines. Au delà des compétences scientifiques individuelles remarquables, cette absence de communication entre des disciplines très proches, pourrait bien être une des caractéristiques majeures de la Science maghrébo-andalouse.

BIBLIOGRAPHIE.

- Almiron E. M. (2014) : *Legad gnomonico de al-Andalus*, Reloj Andalusi edt, 173 p.
- Biémont E. (2006) : *Astronomie en Terres d'Islam*, Burellier éd. 172 p.
- Bel A. (1905) : Trouvailles archéologiques à Tlemcen, *Revue Africaine*, 49, 228-236.
- 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 Researchin Africa*, 145-178.
- Brioux A. (1974): Les Astrolabes, Test d'authenticité, *Revue Art et Curiosité*. 20 p.
- Carandell J. (1988): *Risala fi ilm al-zilal de Muhammad ibn al-Raqqam al-Andalusi*. Edicion, traduccion y comentario. Barcelona; 323 p.

- Dekker E. (1992): Astrolabes and Dates and Dead-ends, *Annals of Science*, XLIX, 175-184
- Frémontier-Murphy C. (2002) : Les instruments de mathématiques XVIe-XVIII^e siècle. RMN, 368 p.
- Gibbs S. & Saliba G. (1984) : *Planispheric astrolabes from the National Museum of American History* ; Smithsonian Institution Press, 230 p.
- Gunther R.T. (1932) : *Astrolabes of the world*, vol. 1 & 2, re-édition (1976) Holland Press edt., 609 p.
- Hosotte-Reynaud M. (1957) : Identification d'un des astrolabes de la Mosquée des Andalouses, *Hesperis*. 1957. XLIV. 128, 2 pl.
- Janin L. (1977) : Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne ; *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*, N°24, 1977. 207-221.
- Jarray F. (2009) : Notes préliminaire sur deux miswala-s méconnues de la ville de Kairouan ; Kairouan et sa région : *Nouvelles recherches d'archéologie et de patrimoine* (3^{ème} colloque international du département d'archéologie) ; 391-399
- _____ (2011) : Mesurer le temps à Tunis et à Tlemcen au VIII^e/XIV^e siècle d'après l'étude des deux miswala-s des deux villes. *Actes du colloque international : L'Islam au Maghreb et le rôle de Tlemcen dans sa propagation*, Université de Tlemcen.
- _____ (2015) : *Mesurer le temps en Tunisie*, Publication de la Cité des sciences de Tunis
- _____ (2017) : Gnomonique musulmane au Maroc : Un premier bilan sur le corpus de miswala-s ; *Etudes en patrimoine écrit*, Centre National de la Calligraphie, Tunis, 5-35
- Jarray F. & Mercier E. (2015) : Cadrans de la Grande Mosquée al-Zaytûna, *Cadran Info*, 31, 53-68. *
- _____ (2016) : Les cadrans signés «Ahmad al-'Umarî» (Tunisie, XVIII^e siècle), *Cadran-Info*, 34, 69-89. *
- Kennedy E.S. (1976) : The exhaustive treatise of shadows by al-Biruni ; 2 vol., Alep.
- King D.A. (1977) : A 14th-century Tunisian sundial for regulating the times of Muslim prayer; in Walter G. Saltzer & Yasukatsu Maeyama, eds., *PRISMATA: Naturwissenschaftsgeschichtliche Studien – Festschrift für Willy Hartner*, Wiesbaden : Franz Steiner, 187-202.
- _____ (1978) : Three sundials from Islamic Andalusia, *Journal for the History of Arabic Science*, 2, 358-392.

- _____ (1993): "Some medieval astronomical instruments and their secrets", in Renato Mazzolini, ed., *Non-Verbal Sources in Science before 1900*, Florence: Leo S. Olschki, 29-52.
- _____ (1999): "On the history of astronomy in the medieval Maghrib", in *Études Philosophiques et Sociologiques Dédiées à Jamal ed-Dine Alaoui*, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Dhar El Mahraz - Fès, No Spécial 14 (Département de Philosophie, Sociologie et Psychologie), Fez, 27-61
- _____ (2002): Frankfurt Medieval Instrument Catalogue, 32p. (non publié)
- _____ . (2014) : *In synchrony with the heavens*, 2nd édit., volume 1 : The call of the Muezzin ; Brill éd, 930 p. (première édition : 2005).
- Kunitzsch P. (1980) : Two Star Tables from Muslim Spain ; *Journal for the History of Astronomy*, 11, 192-201
- _____ (1993) : Zur Problematik der Astrolabsterne - eine weitere unbrauchbare Sterntael, *Archives internationales d'histoire des sciences*, XLIII, 197-208.
- _____ (2005) : The stars on the astrolabe p. 41-46 , in Van Cleempoel K.V. : *Astrolabes at Greenwich*, Oxford Univ. Press
- Mercier E. (2014) : Cadran islamiques anciens de Tunisie ; *Cadran-info*, 29, 53-65. *
- _____ (2015) : Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous, *Cadran-info*, 32, 77-88. *
- _____ (2016) : Les heures de prières sur les quadrants astrolabiques maghrébo-andalous, *Cadran-Info* 33, 122-130. *
- _____ (2018a) : Les étoiles des astrolabes maghrébo-andalous. *Cadran-Info*, 37, p. (sous presse). *
- _____ (2018b) : Peut-on dater les astrolabes anciens ? *Cadran-Info*, 38, p. (sous presse). *
- Mouliérac J. (1989) : « La collection Marcel Destombes, » dans A. J. Turner (éd.), *Astrolabica* 5, Paris : Institut du Monde arabe/Société internationale de l'astrolabe, 77-126.
- Pingree D. (2009) : *Eastern astrolabes* ; Alder Planetarium edt, 268 p.
- Price D.J. (1955) : "An International Checklist of Astrolabes", *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 8, 243-263, 363-381.
- Samsó J. (2001): Astronomical Observations in Maghrib in the Fourteenth and Fifteenth Centuries; *Science in context*, 14 ; 165-178
- Sédillot, J. J. (1834) : *Traité des instruments astronomiques des Arabes*. 2 Vols. Paris.

- Sédillot, L.P.E. (1841 - 1845): Mémoires sur les instruments astronomiques des Arabes., Paris.
- Stautz B. (1996) : Untersuchungen von mathematisch-astronomischen Darstellungen auf mittelalterlichen Astrolabien islamischer und europäischer Herkunft.(Etude des représentations mathématiques et astronomiques sur les astrolabes médiévaux d'origine islamique et européenne). (Thèse soutenue le 14 Juin 1996, à l'Université de Frankfurt am Main) GNT Verlag, 287 p
- Sterns J. (2011) : Legal statuts of Science in the Muslim World in the early modern period : an initial consideration of Fatwas from three maghrib sources. *The Islamic Scholarly tradition*, Brill éd., 265-290.
- Turner A.J. (1985) : *The Time Museum, Catalogue of the Collection*, V. 1, t. 1 ; Time Museum edt, 268 p.
- Vernet J. & Catalá M.A. (1965) : Las obras matemáticas de Maslama de Madrid, *Al-Andalus*, 30, 15–45

* ce symbole indique les articles que l'on peut librement télécharger sur les pages accessibles à cette adresse :

<http://studios-nantes.pagesperso-orange.fr/Gnomonique.html>