

# MESURE DU TEMPS AU MAGHREB À L'ÉPOQUE MÉDIÉVALE

Mohamed Réda BEKLI, Djamil AISSANI, Ilhem CHADOU

Association Gehimab – Université de Constantine

## La science du temps : *al-Miqat*

### La tradition maghrébine

Au début de l'ère musulmane, c'était au *Mu'adhdhin* de fixer les heures des prières, et ce n'est qu'au treizième siècle que la figure de *Muwaqqit* a fait son apparition. Celui-ci, attaché à une mosquée, s'occupait de la détermination des heures, de jour comme de nuit, des moments des cinq prières canoniques qui forment l'essentiel de la liturgie de l'islam, et de l'observation du croissant lunaire.

L'astronomie maghrébine est marquée par les nombreux poèmes composés et qui s'inscrivent dans la tradition de versification de l'astronomie et des mathématiques. Ceux-ci, plus faciles à mémoriser que les textes en prose, contenaient les règles de base concernant les calendriers, la détermination des instants de prières, l'orientation des lieux de culte et autres. Le premier de ces poèmes a été composé par Abū Ja'far as-Sullamī (m. 1346), savant originaire de Grenade, mais qui a vécu à Bougie. Ce poème s'intitule *Tawasut al-Manāzil fī ash-Shuhūr bi-Ma'rifat Waqt al-Fajr wa al-Ṣuḥūr* (Médiation des mansions lunaires durant les mois par la connaissance du moment de l'aube et du *Ṣuḥūr*). Il s'agit certainement d'indiquer les mansions lunaires qui croisent le méridien aux moments de l'aube et du *Ṣuḥūr* (moment du dernier repas avant le jeûne). Ce poème, d'une grande utilité, ressemble vraisemblablement à celui rédigé par l'Andalou al-Judhāmī (m. 1229) un siècle auparavant pour la latitude de Séville, et qui était, selon son élève et biographe Ibn al-Abbār, très répandu. Le second est composé en 1391 par al-Jādirī (1375-1416), le *Muwaqqit* de la mosquée al-Qarawiyyīn de Fès. Al-Jādirī a utilisé, sans aucun doute, l'un des Zīj d'Ibn al-Raqqām pour calculer la position du soleil et des autres astres [J. Samsó, 2008]. Ce poème, qui s'intitule *Rawdat al-Azhār*, a stimulé plusieurs commentateurs. Le troisième est attribué au prolifique astronome de Tlemcen al-Ḥabbāk (m. 1463). Il s'agit d'un poème de 77 vers intitulé *Tuḥfat al-Ḥusāb fī 'Adad as-Sinīn wa l-Ḥisāb* (Le chef d'œuvre des spécialistes du calcul



Un cadran solaire est un instrument qui indique l'heure solaire suite au déplacement de l'ombre du gnomon, sur une surface graduée, au cours de la journée. Ici, le cadran solaire du Musée de Tlemcen.

du calendrier). Selon un auteur anonyme du XV<sup>e</sup> siècle (BNA, Ms. 613), al-Ḥabbāk aurait utilisé dans son poème la valeur obtenue dans les observations réalisées à Damas en 1259 par Ibn Abī ash-Shukr al-Maghribī (m. 1283), concernant la précession des équinoxes, et non pas celle d'Ibn Ishāq at-Tūnusī (XI<sup>e</sup>-XII<sup>e</sup> siècle) jugée inexacte.

Enfin, le plus populaire de ces poèmes est celui d'Abī Miqra' (v. 1331), astronome originaire de Baṭīwa (Maroc). Son travail de *Muwaqqit* a été analysé par G. S. Colin et H. P. J. Renaud en 1933. Ses idées ont fait l'objet de multiples commentaires et de super-commentaires (as-Sūsī, al-Jāzūlī, ash-Shalāṭī...). Le premier a été rédigé par Ibn al-Bannā' (1256–1321) avant même le décès d'Abī Miqra'. Il semble être long car il sera résumé par Sa'īd al-Samlālī (m. 1477) sous le titre *Ikhtisār Sharḥ Ibn al-Bannā' 'Alā Manzūmat Ibn Miqra'* (Deux copies manuscrites sont conservées au Maroc). Un peu plus tard, al-Qalasādī (1412-1486) et al-Jādirī, vont



Cadran solaire de la mosquée al-Zaytūna de Tunis.

rédigé eux aussi des commentaires du poème d'Abī Miqra'. Ce poème a donc joué un rôle important dans la diffusion de cette science. C'est pourquoi, à son propos, ses successeurs parlent de la science d'Abī Miqra'.

L'illustre astronome Ibn al-Raqqām a, quant à lui, rédigé un ouvrage intitulé *Ta'dīl Manākh al-Ahilla*, qui semble être un commentaire du traité d'Ibn al-Bannā' intitulé *al-Manākh* dont une copie manuscrite est conservée au Musée Britannique de Londres.

Cela dit, certains auteurs ont rédigé tout de même de véritables ouvrages sur la science du temps, qui ne sont pas des commentaires ou des abrégés d'ouvrages antérieurs. C'est le cas d'Abū al-Ḥasan al-Bijā'ī (v. 1384) et d'Ibn al-Bannā'. Le traité de ce dernier, intitulé *Kitāb fī 'Ilm al-Awqāt bi-l-Ḥisāb*, et le commentaire d'al-Jādirī, sur son propre poème, intitulé *Iqtiṭāf al-Anwār min Rawḍat al-Azhār*, ont été déjà édités et publiés par Muhammad al-Khaṭṭābī en 1986, et étudié par E. Calvo en 2004 [E. Calvo, 2004]. Ainsi, on constate que ces deux ouvrages traitent, en plus de l'astronomie sphérique et de la détermination de l'azimut de la Qibla, les problèmes relatifs aux calendriers, tel que la conversion entre les calendriers lunaire et solaire, et la mesure du temps et des moments des cinq prières.

Ce qu'on remarque de particulier, c'est la similitude, du point de vue du contenu et de l'agencement des chapitres, de ces trois derniers traités. On se demande si ces auteurs n'ont pas utilisé des sources communes. On pense surtout aux traités d'al-Qurtubī (1120-1205), le seul auteur cité par al-Muqrī.

On trouve également des éléments de la science du temps dans le *Jāmi' al-Mabādī'* rédigé par al-Ḥasan al-Marrākushī (XIII<sup>e</sup> siècle), et même dans d'autres types d'ouvrages, les Zīj. Par exemple, dans son *al-Minhāj*, Ibn al-Bannā' nous donne la formule exacte (une for-

mule d'origine indienne et qui était répandue à son époque) qui relie l'angle horaire à la hauteur du soleil et à l'arc semi-diurne et qui permet de calculer le temps écoulé depuis le lever du soleil, ou le temps qui reste avant le coucher :

$$\text{vers}(H) = \text{vers}(AD/2) - (\text{vers}(AD/2)\sin(h))/\sin(h_m)$$

Les valeurs des fonctions trigonométriques, le sinus et le cosinus, sont bien évidemment tabulés dans son Zīj.

À travers tout ce qui a été dit, on voit se dégager deux figures principales, les plus représentatives de la science du temps au Maghreb, à savoir : Abī Miqra' et al-Jādirī. Quoique rédigés comme aides mémoires et pour faciliter l'apprentissage, donc dans un but pédagogique, ce type de poèmes et l'abus de commentaires qui s'ensuivent vont contribuer, plus tard, à la régression intellectuelle.

### Fondements théoriques : le traité d'al-Muqrī

Pour mieux illustrer le contenu des textes déjà cités, revenons au traité le plus étendu d'entre eux. Celui-ci est rédigé en 1384 à Bougie par Abū al-Ḥasan al-Bijā'ī al-Muqrī au même moment de la mort de son maître 'Abd al-Raḥmān al-Waghīlīsī (m. 1384). Il s'intitule *Tabṣirat al-Mubtadī wa Tadhkirat al-Muntahī fī Ma'rīfat al-Awqāt bi l-Ḥisāb min Gayri Āla walā Kitāb* (Le guide du débutant et le rappel du connaisseur dans la connaissance des moments par le calcul). Dans une analyse préliminaire, la *Tabṣirat* est composé de 34 chapitres. Du point de vue du contenu, il ressemble beaucoup aux traités d'Ibn al-Bannā' et d'al-Jādirī, mais il est plus détaillé. En plus de ses propres maîtres et de quelques ouvrages, qu'il ne cite pas, la source principale d'al-Muqrī est le traité d'al-Ḥasan al-Qurtubī (1120-1205) intitulé *al-Mustaw'ib al-Kāfī wa al-Muqni' ash-Shāfī fī al-Awqāt* (une copie incomplète est conservée à la Zawiya d'al-Hāmal, près de Boussaāda). Son objectif est d'ailleurs d'arranger et de compléter cet ouvrage, avec les exemples et les démonstrations nécessaires.

Al-Muqrī divise l'heure équinoxiale en 15 degrés ; chacune d'elle est divisée en 60 minutes d'arc. La durée d'une minute d'arc est estimée au temps qu'il faut pour lire cette phrase : *Subḥāna al-Lāh wa-l Ḥamdu li-Llāh wa al-Lāhu Akbar wa-lā Ḥawla wa-lā Quwata illā bi-Llāh*.

La valeur double de l'angle horaire du soleil à son coucher, ou de n'importe quel astre, est appelée Arc diurne. On voit sans peine qu'il est de 12 heures si le soleil est à l'équateur, et supérieur ou inférieur à 12 heures s'il est du côté boréal ou austral. Pour les cadrans solaires,



Ouvrage sur la science des temps rédigé par l'astronome algérien al-Muqrī (v. 1384). Ms. 10355 de la Bibliothèque Royale du Maroc

il matérialise le parcours de l'ombre de l'extrémité du gnomon. Pour calculer AD, en supposant connues la déclinaison du soleil et la latitude du lieu, al-Muqrī nous donne la formule suivante :  $AD = 180 + \phi \cdot \delta / \varepsilon$

L'obliquité de l'écliptique  $\varepsilon$  est prise égale à  $24^\circ$ . Malgré sa simplicité, l'erreur relative de cette formule par rapport à l'expression exacte de l'arc diurne, ne dépasse pas 2 %. Notons que l'arc nocturne est tout simplement égal à la différence  $360^\circ - AD$

Pour déterminer la durée d'un jour en heures équinoxiale ou saisonnière, en connaissant bien sûr l'arc diurne en degrés, il nous donne les deux formules suivantes :  $N_E = AD / 15$  et  $N_S = AD / 12$

Pour pouvoir convertir les heures équinoxiales en heures saisonnières, et vice versa, on multiplie le nombre d'heures (s ou q, respectivement) par le nombre de degrés correspondant à cette heure (d ou 15) et on divise par le nombre de degrés de l'autre type d'heures :  $q = s \cdot d / 15$  ou  $s = 15 \cdot q / d$  (on retrouve cette méthode dans le commentaire d'al-Jādirī également [E. Calvo, 2004]).

Dans ce qui suit, la longueur du gnomon est prise égale à douze graduations (doigts), d'où le facteur 12 qui va apparaître souvent dans les formules qui sui-

vent. Cette valeur apparaît souvent dans les traités des Maghrébins et des Andalous.

De jour, pour connaître le temps écoulé depuis le lever du soleil, ou le temps qui reste avant le coucher du soleil, en heures saisonnières, l'auteur nous donne une formule approximative d'origine indienne, et qu'on retrouve exactement sous la même forme chez Ibn al-Bannā', et sous une forme légèrement différente chez al-Jādirī [E. Calvo, 2004] :  $T = 72 / (S + 12 - S_m)$

Aussi, l'auteur nous donne les valeurs approximatives de  $\Delta S = S - S_m$  en doigt (*Iṣba'*), vers la fin de chacune des heures saisonnières. Ibn al-Bannā' nous donne exactement les mêmes valeurs, à l'exception de la dernière (la cinquième heure), qu'il évalue à 2.

Fin de l'heure	$\Delta S$
1 et 11	60
2 et 10	24
3 et 9	12
4 et 8	6
5 et 7	3

Il est intéressant de savoir que pour calculer « T », toujours en heures saisonnières, al-Marrākushī et al-Jādirī nous donnent une autre formule approximative, plus précise que la précédente, et qui est parfaitement exacte aux équinoxes :

$$T = \frac{1}{15} \arcsin[\sin(h) / \sin(h_m)]$$

De nuit, pour connaître le temps passé depuis le coucher du soleil, ou le temps qui reste avant le lever du soleil, al-Muqrī nous donne trois méthodes :

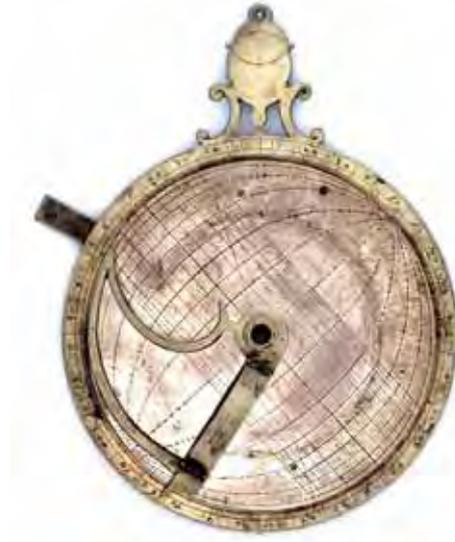
**1<sup>ère</sup> méthode :** l'idée est de calculer d'abord l'ascension droite instantanée du méridien. Pour cela, on commence par calculer l'angle horaire (en valeur absolue) d'une étoile quelconque, en fonction de son arc diurne, de sa hauteur instantanée et de sa hauteur méridienne, grâce à une formule qu'on peut écrire sous une forme équivalente à :

$$H = AD / 2 - 12AD / (12 \cot(h) + 12 - 12 \cot(h_m))$$

Ici, l'auteur, ou le copiste, semble avoir oublié de diviser le second terme par deux.

Par la suite, pour obtenir l'ascension droite instantanée du méridien du lieu, on rajoute ou on retranche, suivant que l'étoile est du côté Ouest ou Est, l'angle horaire de l'ascension droite mesurée à partir du Capricorne :

$$\alpha_M = \alpha \pm H$$



Nocturlabe maghrébin conservé au Musée d'Histoire des Sciences à Oxford. Numéro d'inventaire : 48046. Provenance : collection Lewis Evans

Ainsi, il est possible de calculer le temps écoulé depuis le coucher du soleil en heures équinoxiales (ici aussi l'auteur s'est trompé en précisant que c'est en heures saisonnières), en fonction de l'ascension droite du soleil et de son arc nocturne, à l'aide de la formule suivante:

$$T = 6(\alpha_s + AD/2 - \alpha_M)/(AN/2)$$

**2<sup>e</sup> méthode** : pour calculer « T » en heures équinoxiales, on commence par calculer la différence en degrés entre l'ascension droite d'une étoile du méridien au moment voulu et celle d'une autre étoile, du méridien toujours, au coucher du soleil. On divise ensuite le résultat par 15 :  $\Delta\alpha / 15$

**3<sup>e</sup> méthode** : L'idée est de calculer le nombre de mansions lunaires qui ont traversé le méridien depuis le coucher du soleil. Vu que le nombre total de mansions est de 28, on multiplie le résultat par 6/7. Ici, T est donné en heures saisonnières. Cette méthode, qui semble être plus pratique que les deux premières, était connue en Andalousie depuis le neuvième siècle [J. Samsó, 2008].

### Instruments d'observation

Plusieurs instruments astronomiques étaient utilisés dans la mesure du temps et de ce qui s'y rapporte. Dans ce qui suit, nous nous intéresserons notamment aux plus répandus, à savoir : l'astrolabe planisphérique, les quadrants astronomiques, le nocturlabe.

### Astrolabe planisphérique

L'astrolabe est un instrument astronomique construit par la projection du ciel sur un plan. Le plus populaire est le planisphérique, réalisé par la projection stéréographique de la sphère céleste sur le plan de l'équateur. Ce type d'instruments permet de déterminer, par la position des astres, l'heure la nuit, l'heure du lever et du coucher du soleil. En effet, pour une latitude donnée nous savons que les trois paramètres : hauteur, jour, heure, sont liés. Si nous connaissons deux de ces paramètres, nous pouvons trouver le troisième. C'est le principe de calcul de l'heure avec un astrolabe.

On connaît uniquement deux traités en prose consacrés à l'astrolabe. Le premier est le traité d'Abū aṣ-Ṣalt Umayya, un astronome et mathématicien andalou qui a vécu une bonne partie de sa vie au Maghreb (Mehdia et Bougie). Son ouvrage rédigé, lors de son emprisonnement en Égypte, s'intitule *Rissāla fī al-'Amal bi-l-Aṣṭurlāb* (Traité sur l'utilisation de l'astrolabe). Le deuxième est celui d'Ibn Qunfudh (1339-1407) intitulé *al-Qawl fī Ruṣūm al-Aṣṭurlāb* (Propos sur les tracés de l'astrolabe), dont l'unique copie manuscrite est conservée à la Bibliothèque Nationale de Tunis.

Ceci dit, de nombreux textes versifiés ont été composés sur l'astrolabe, tel que le poème d'Ibn Qunfudh intitulé *as-Sirāj*, et le poème d'Ibn al-Raqqām intitulé *Manzūma fī al-'Amal bi-l-Aṣṭurlāb* (Poème sur l'utilisation de l'astrolabe). Ce dernier figure même parmi les traités que le mathématicien al-Qalaṣādī a étudiés à Tunis [M. Marin, 2004]. Cependant, le texte le plus

répandu est le poème de l'astronome al-Ḥabbāk. Plus tard, un de ses élèves, as-Sanūsī (1426-1490), va rédiger un commentaire explicatif de ce même poème. L'auteur le plus cité dans son commentaire est le fameux Abū aṣ-Ṣalt. Il cite également l'Andalou Ibn al-Ṣaffār (1035), auteur d'un traité sur l'astrolabe, et il se réfère au *Qānūn* sur *al-Mīqāt* d'Ibn al-Bannā'. Le commentaire d'as-Sanūsī était une véritable référence dans ce domaine comme le prouvent les nombreuses copies conservées.

Par définition, le *al-Ta'dīl wa at-Taqwīm* est l'opération par laquelle on détermine les positions des astres (le soleil dans notre cas) pour un temps donné, au moyen de tables astronomiques. Concernant la position du soleil au fil du temps, selon as-Sanūsī, les Cheiks de Tlemcen qui s'occupent de cette discipline et de la détermination des heures des prières, rajoutent deux degrés au *Ta'dīl* gravé sur deux anneaux concentriques au dos de l'astrolabe (celui des mois et des signes), car celui-ci, selon le même auteur, est basé sur les anciennes observations réalisées par Ibn Ishāq (entre 1193 et 1222) et pour qui la précession est de 10°, alors qu'elle est de 12°, selon les observations de l'imam Ibn Abī ash-Shukr al-Andalūsī (m. 1283) réalisées à Damas en 1259. Il rajoute que plus tard, en 1334 (vers 1329/30 dans l'anonyme de la BNA, Ms. 613), un certain Abū al-Ḥasan 'Alī Ibn Yūnus al-Balansī al-Ḥākīmī en Égypte a trouvé une valeur de 13°. En effet, toutes ces valeurs dépassent la valeur maximale de 10° 24' donnée par les tables d'Ibn Ishāq at-Tūnusī, et montrent une limitation du modèle de trépidation des fixes développé par l'éminent astronome andalou az-Zarqālī (m. 1100). Au moment de l'équinoxe, entre le 10 et le 12 mars 1455, al-Ḥabbāk réalise des observations de la hauteur méridienne du soleil grâce à un astrolabe construit par un certain 'Abd al-'Azīz al-Rasām (il y avait donc des gens qui se sont spécialisés dans la construction des astrolabes) pour tester les tables d'Ibn Ishāq. Selon l'auteur anonyme déjà cité (BNA, Ms. 613) qui a eu l'occasion de consulter les notes de ce dernier, les résultats de ses observations sont en accord avec les tables d'Ibn Yūnus.

Plusieurs astrolabes sont toujours conservés. Les deux plus anciens sont réalisés par Ibrāhīm Ibn 'Abd al-Karīm à Fès vers le milieu du XI<sup>e</sup> siècle. Selon D. King, le facteur de ces deux exemplaires s'est certainement inspiré des astrolabes andalous antérieurs. Six autres astrolabes de grande qualité qui remontent au début du treizième siècle, et qui ont pour facteur un certain Abū Bakr ibn Yūsuf de Marrakech, sont aussi conservés.

## Quadrants astronomiques

Un autre type d'instrument portatif était également utilisé pour mesurer le temps; il s'agit de l'astrolabe-quadrant, une variante de l'astrolabe planisphérique sans araignée, sous la forme d'un quart de cercle qu'on obtient par un double rabattement de la projection stéréographique. Celui-ci simule le mouvement de la sphère céleste et permet ainsi de remplir un certain nombre des fonctions de l'astrolabe, dont le calcul du temps.

Il existe une variante de cet instrument plus simple et plus adapté à la mesure du temps ; il s'agit du quadrant horaire. Comme la trajectoire apparente du soleil est symétrique par rapport au méridien du lieu, six lignes horaires suffisent, d'où la réduction en quart de cercle. L'heure est indiquée grâce à un fil lié à l'angle du quadrant, et muni d'une perle réglable en hauteur qui représente la longitude du soleil mesurée avec une échelle radiale. Cette dernière, divisée en degrés ou en signes symétriques, est marquée sur l'axe radial du quadrant. Lorsque le côté du quadrant – celui qui est muni d'un système de visée – est orienté vers le soleil, ce qui est possible en laissant tout simplement les rayons solaires traverser le viseur, la ligne horaire qui traverse la perle indique le temps écoulé depuis le lever du soleil, ou le temps qui reste avant le coucher. Le temps est mesuré ainsi le plus souvent en heures inégales, qui correspondent à la division en 12 de la durée du jour.

al-Ḥasan al-Marrākushī, dans son *Jāmi' al-Mabādi'* (voir ci-après), nous montre comment construire plusieurs types de quadrants horaires. Ainsi, pour avoir une meilleure idée sur ces instruments, nous allons décrire l'un d'eux. Celui-ci est un quadrant avec des lignes horaires saisonnières de forme sigmoïdes, tracées pour une latitude donnée, avec des cercles de jour concentriques, correspondants aux signes du zodiaque. Ces derniers sont équidistants en accord avec la division uniforme de l'échelle radiale de longitude du soleil. Le cercle externe du quadrant correspond au cercle du jour de capricorne. Bien sûr, on peut obtenir d'autres types de quadrants en changeant l'ordre des cercles.

Pour tracer les lignes horaires, al-Marrākushī nous donne deux tables  $h(\lambda)$  en fonction des heures saisonnières et des heures équinoxiales pour une latitude de 30° (Le Caire) et pour une obliquité de 23,35°. À cette époque, il était possible d'établir ce genre de tables pour une latitude donnée à l'aide d'une formule d'origine indienne et qui peut s'écrire sous une forme équivalente et plus explicite :

$$T(h, \lambda, \phi) = + \arcsin((\sin(h) - \sin(\delta)\sin(\phi))/(\cos(\delta)\cos(\phi)))$$

avec

$$d = AD/2^\circ = \arcsin(\tan(\delta)\tan(\phi))$$

Enfin, al-Marrākushī suggère la possibilité de tracer les lignes du quadrant en heure saisonnière et équinoxiale, sans donner plus de détails.

Si les quadrants étaient répandus, c'est parce qu'ils sont plus faciles à réaliser relativement à l'astrolabe planisphérique ; on peut même les fabriquer en bois.

### Le nocturlabe

Le nocturlabe est un instrument qui utilise la propriété qu'ont les étoiles de décrire chaque jour un tour complet autour de l'étoile Polaire. Il permet ainsi de connaître l'heure de nuit en observant la position de certaines étoiles. Il faisait partie de l'équipement de base des navigateurs jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. On ne connaît pas l'inventeur de cet objet, mais vers la fin du 13<sup>e</sup> siècle, Raymond Lulle fait une description d'un instrument similaire qu'il nomme *Sphaera Horarum Noctis* dans son *Nova Geometria* (voir ci-après).

Cet instrument est composé d'une alidade et de deux disques superposés. Le plus grand porte une graduation en mois alors que le plus petit, mobile, est gradué en heures. Pour son utilisation, on plaçait l'heure de minuit face au jour du mois de l'observation, et, en tenant l'instrument à bout de bras, on fait coïncider le centre du nocturlabe avec la direction de Polaris, puis on fait tourner l'alidade jusqu'au moment où elle s'aligne sur une étoile prise comme référence (on prend généralement *les gardes* de la Grande Ourse ou la  $\beta$  de la Petite Ourse). Le segment ainsi formé devient une sorte d'aiguille. La partie inférieure de l'alidade indique du même coup l'heure sur l'échelle horaire.

Le Musée d'Histoire des Sciences à Oxford conserve un nocturlabe réalisé au Maghreb, probablement au 16<sup>e</sup> siècle. Cet instrument est similaire à celui fabriqué par Geminus en 1589. La forme des chiffres est presque identique à celle utilisée en Europe. Il peut s'agir d'une forme plus développée des chiffres de type Ghubbār, mais cela reste à confirmer. Les inscriptions sont en arabe, et les noms des mois sont une transcription directe des mois du calendrier julien de l'Occident chrétien, comme dans tous les astrolabes hispano-mauresques. Cet instrument est muni d'un indicateur de l'heure lunaire et de son aspect. Les tracés du disque supérieur indiquent les positions particulières Soleil-Lune-Terre : carré (quadrature), triangle équilatéral (trigone), hexagone (sextile) et, en ligne droite, conjonction (nouvelle Lune) et opposition (pleine Lune).

### La *Sphaera Horarum Noctis* de Raymond Lulle

Raymond Lulle (1232-1316) était un grand voyageur, surtout durant les trente dernières années de sa vie. À trois reprises, Raymond Lulle séjourne en Afrique du Nord, et plus précisément dans la partie orientale de cette région : Tunis en 1292, Bougie en 1307, et ces deux villes entre 1314 et 1315. Il y aurait même étudié les mathématiques à Bougie vers 1280. Même si ses travaux au Maghreb demeurent difficiles à appréhender, avec ses séjours et sa maîtrise de la langue arabe, il était certainement influencé par l'astronomie maghrébine, ce qui est d'ailleurs attesté dans certaines disciplines, telles que la logique. C'est là la raison principale qui nous pousse à nous intéresser à sa production scientifique.

Dans son *Nova Geometria* terminé à Paris en 1299, donc après ses premiers séjours en Afrique du Nord, on trouve la première description d'un instrument similaire au nocturlabe : la *Sphaera Horarum Noctis* [Farré Olivé, Eduard, 1996]. Le chapitre en question s'intitule : L'instrument pour connaître l'heure de nuit. Il semble avoir consacré un autre chapitre au quadrant horaire sous le titre : Quadrant pour connaître l'heure de jour.

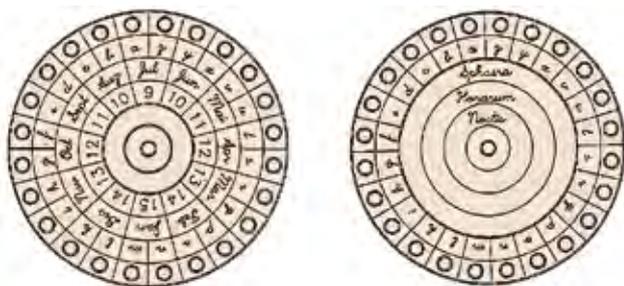
Le nocturlabe de Lulle est constitué d'un disque en cuivre perforé au centre. On peut également le réaliser avec un autre métal, le bronze par exemple, et même avec du papier. La bordure du disque est divisée en 24 tranches trouées. Les heures ne sont pas indiquées avec des nombres, comme on s'attend, mais ordonnées suivant les lettres de l'alphabet.

L'utilisation du nocturlabe de Lulle commence par l'identification de la  $\alpha$  et de la  $\beta$  de la Petite Ourse, Polaris et Kochab respectivement. Juste après le coucher du soleil, on tient le nocturlabe de telle sorte que la lettre « a » soit orientée vers le haut, et on essaye de voir Polaris à travers le trou central. On note ensuite de quel trou du pourtour on aperçoit Kochab. Comme toutes les étoiles, celle-ci tourne autour de Polaris avec une vitesse angulaire de 15° par heure. Ainsi, à chaque fois qu'on voit Kochab à travers un nouveau trou, une heure s'est écoulée. L'homme qui veut durant la nuit, dit Lulle, connaître le temps qui lui reste à surveiller, il détermine le trou auquel s'est déplacée Kochab. Si au crépuscule celle-ci est visible par le trou de la case « a » et plus tard par celui de la case « c », il saura qu'il est à la troisième heure de la nuit. Plus loin dans son texte, Lulle nous prévient de la nécessité de connaître la durée de la nuit pour qu'on puisse estimer le temps qui reste avant l'aurore. Si la durée de la nuit est de 9 heures, dit-il, et celle du jour est de 15, et si la Kochab apparaît en « a » au couché du soleil, à l'aurore elle sera en « i », et de même, si elle apparaît en « b » elle va se déplacer vers la fin de la nuit

en « k ». La durée qui reste avant l'aube peut être déterminée par soustraction du nombre d'heures écoulées à la durée totale de la nuit. Lulle termine sa description en disant que l'instrument en question est utile notamment pour les gardiens de nuit, tant en mer qu'en terre. On est donc en présence d'un instrument simple et pratique pour mesurer le temps de nuit, tant que le ciel n'est pas couvert de nuages. Les gens de l'époque ne manqueront certainement pas de l'utiliser.

On trouve la description de la seconde version du nocturlabe de Lulle, légèrement améliorée, dans son *Opera Omnia* contenu dans son *Livre sur les Principes de la Médecine*. Ce qu'il y a de nouveau dans cette nouvelle version, c'est l'indication des mois et de la durée des nuits qui leur correspondent, ordonné autour du centre du disque. Cela ne peut se faire que pour une plage de latitudes déterminées. La description de cet instrument dans un ouvrage de médecine montre qu'il était donc utilisé dans un but scientifique ; ici pour administrer les médicaments.

Deux questions restent posées : Qui est l'inventeur du nocturlabe de Lulle ? Cet instrument était-il utilisé au Maghreb ? Tout ce qu'on sait pour l'instant, c'est qu'un nocturlabe de type lullien est décrit dans un texte anonyme contenu dans l'almanach de Tortosa (pour l'année 1307) conservé à la Bibliothèque Nationale de Madrid (Ms. 17961, fol. 105v.-106v.). Par ailleurs, certains astronomes andalous, dont al-Qurtubī déjà cité, décrivent un instrument appelé *Dā'ira* qui peut être le précurseur du nocturlabe de Lulle. Celui-ci est formé d'un cercle divisé en 12 heures et d'un autre mobile où les mansions lunaires et les signes du zodiaque sont représentés. De nuit, le déplacement de la mansion opposée à celle du soleil, qui au coucher est placée vers la fin du demi-cercle horaire, indique directement l'heure. Cet instrument utilise donc les mansions lunaires au lieu des deux étoiles circumpolaires, plus facile à reconnaître, ce qui rend son utilisation légèrement plus difficile.



À gauche, la première version du nocturlabe de Lulle décrite dans son *Nova Geometria*. À droite, la seconde version du nocturlabe de Lulle selon la description contenue dans son *Livre sur les Principes de la Médecine* [Farré Olivé, Eduard, 1996].

## Autres instruments

D'autres instruments, quoique moins répandus, peuvent aussi être utilisés pour mesurer le temps. C'est le cas, par exemple, de la sphère armillaire, décrite pour la première fois au Maghreb par Dunash Ibn Tamim (X<sup>e</sup> siècle), un Juif de Kairouan. Une seule copie de son traité nous est parvenue et elle est conservée à Istanbul (Ayasofya, Ms. 4861). C'est le cas également de l'astrolabe sphérique dont un fragment pour la latitude de Tunis est conservé à Milan, ou encore des deux astrolabes universels, al-Zarqāliyya et al-Shakkāziyya (le second est une version simplifiée du premier), développés par al-Zarqālī (m. 1100), et où la projection stéréographique ne se fait plus à partir du pôle Sud sur le plan de l'équateur, mais à partir du point vernal. Techniquement, il s'agit d'une projection stéréographique duale sur le plan du colure des solstices. Cette projection, valable donc pour toutes les latitudes, permet de résoudre le problème majeur de l'astrolabe planisphérique, à savoir la nécessité d'avoir un tympan pour chaque latitude. Les deux derniers types d'astrolabes qu'on vient de citer ont fait l'objet d'un opuscule d'Ibn al-Bannā' et probablement du traité anonyme du XV<sup>e</sup> siècle dont une copie incomplète est conservée à Alger (BNA, Ms. 613). On sait aussi qu'un certain Abū Bakr ibn Yūsuf de Marrakech (XIII<sup>e</sup> siècle) a réalisé un astrolabe universel suivant le modèle inventé par Ibn Khalaf en Andalousie au XI<sup>e</sup> siècle (c'est ce même modèle qui a été développé par al-Zarqālī [King]). Deux astrolabes en laiton avec une projection universelle sont conservés au Musée d'Histoire des Sciences à Oxford. L'un est réalisé au XIII<sup>e</sup> siècle et l'autre en 1324 par le *Mu'adhdhin* 'Alī ibn Ibrāhīm al-Ḥarrār de Taza.

## Gnomonique

La gnomonique est l'art de construire les cadrans solaires. Ces derniers sont des instruments qui indiquent l'heure solaire suite au déplacement de l'ombre du style, sur une surface graduée, au cours de la journée. Le plus ancien qui nous soit parvenu, est un cadran égyptien constitué d'une tige graduée sur laquelle on lit l'heure grâce à l'ombre projetée par un T placé à l'extrémité de la tige, et il date de 1500 avant J.-C. Vers 550 avant J.-C., Anaximandre élabore le premier cadran grec. Un peu plus tard, le système sera amélioré. Vers 300 av. J.-C., Parménion, par exemple, réalise un cadran transportable.

C'est au VII<sup>e</sup> siècle que les musulmans découvrent le cadran solaire, et c'est au célèbre al-Khwārizmī qu'on doit le plus ancien texte sur cet instrument. Ce qui caractérise les cadrans arabes, c'est qu'ils font figurer,

en plus des lignes horaires, celles des prières du *Zuhr* (midi) et du *'Aṣr* (après-midi). Le cadran horizontal de Cordoue, construit par Ibn aṣ-Ṣafār vers l'an 1000, est le plus ancien modèle conservé.

### Données archéologiques

Au Maghreb, les cadrans solaires étaient connus depuis l'antiquité. À Tacape (Gabès), au témoignage de Pline qui paraît l'avoir visitée, la mesure du temps, nécessaire dans le partage de l'eau au niveau des *seguias*, se faisait à l'aide d'un gnomon. De plus, plusieurs cadrans solaires de l'époque romaine et byzantine subsistent toujours.

De l'époque médiévale, quelques cadrans existent toujours, mais ils ne sont pas complètement recensés. Ainsi, nous nous limiterons ci-après de décrire trois d'entre eux. Le plus ancien est conservé au musée national de Carthage, et il est beaucoup plus perfectionné que celui de Cordoue. Cet instrument porte l'inscription suivante : construit par Abū al-Qāsim ibn Ḥasan al-Shadād en l'an 746 Hijra (1345/46) à Tunis. On trouve tracé les courbes du *Zuhr*, du *'Aṣr*, du *Duḥā* (au milieu de la matinée), et du *Ta'hīb* (une heure avant midi). L'analyse de cet instrument montre que les courbes des solstices sont de simples arcs de cercles et non pas des hyperboles [D.A. King, 1988 et 1997].

Sur l'une des colonnes de la mosquée Sīdī al-Ḥalwī de Tlemcen est gravé un cadran solaire de type cylindrique. Celui-ci porte l'inscription suivante : Fait par Aḥmad b. Muḥamad al-Lamṭī au 11<sup>e</sup> mois de l'année 747 (1347 J.C.). Cet écrit constitue un beau spécimen de ce caractère carré, qui se montre sur les instruments d'astronomie, dénommé Coufique astronomique (appelé aussi coufique grêle). On trouve tracées sur ce cadran la ligne de *Zawāl* (midi), les courbes du *Zuhr* et du *'Aṣr*, ainsi que les courbes de l'équinoxe et des solstices. Cependant, on remarque que la mosquée de Sīdī al-Ḥalwī ne date que de 754, que l'inscription en question lui est donc antérieure de sept années. Les colonnes qui la portent devaient primitivement avoir une affectation différente, probablement pour le palais de la Victoire à Maṣūra. Cette hypothèse paraît fort plausible, d'autant plus que le cadran solaire en question se trouve actuellement placé dans un endroit que le soleil n'éclaire jamais ; les colonnes qui le portent ne sont pas donc là où elles devaient primitivement être.

Ces deux premiers cadrans, qui se limitent aux tracés des lignes de prières, ne reflètent pas vraiment le savoir-faire des Musulmans en matière de gnomonique. D'ailleurs, presque à la même époque, l'illustre

Ibn al-Raqqām se plaint de l'oubli, ou presque, des fondements de cette science. Ceci dit, dans la célèbre mosquée az-Zaytūna de Tunis on trouve tout de même un cadran solaire qui contient tout ce qu'un gnomoniste musulman peut exiger de lui. Ce vieux cadran, qui se trouve au milieu de la cour de cette mosquée, est probablement le plus perfectionné du Maghreb. Il était utilisé depuis plusieurs générations pour connaître l'heure et le moment des prières. La complexité de cet instrument, composé de plusieurs cadrans superposés (deux inclinés, quatre gnomons et un cadran horizontal à style polaire) témoigne de l'ingéniosité humaine. Ce qui distingue cet instrument, c'est le fil qui traverse l'ensemble. Celui-ci est parallèle à l'axe des pôles et, par la projection de son ombre sur une surface horizontale graduée de 4 mn en 4 mn, il indique l'heure avec une grande exactitude. Malheureusement, les inscriptions et les tracés sont en grande partie effacés.

### Le traité sur les cadrans solaires d'Ibn al-Raqqām

Les cadrans solaires ont fait l'objet de quelques ouvrages. C'est le cas de *Ikhlaṣ an-Naṣā'ih* de 'Abd al-Raḥmān at-Tūzurī, rédigé en 1447 et dont deux copies manuscrites sont conservées à la Bibliothèque al-Ḥasaniya. Cependant, nous nous bornerons ci-après à présenter le traité d'Ibn al-Raqqām qui semble être le plus important et qui a été édité, traduit en espagnol et commenté par Joan Carandell en 1988.

Astronome et Mathématicien d'origine andalouse (Murcie), mais qui a vécu à Bougie, à Tunis et à Grenade, Ibn al-Raqqām doit être considéré comme l'un des plus éminents scientifiques de son époque. Ses nombreux ouvrages témoignent d'un exceptionnel savoir qui ne se rencontre pas, à un degré aussi élevé, même chez de grands esprits. En effet, dans chacune des villes où il a vécu (Bougie, Tunis et Grenade), il a rédigé des tables astronomiques selon la tradition de l'école initiée par les célèbres astronomes Arzachel et le Maghrébin Ibn Ishāq. Ibn al-Raqqām a également rédigé des ouvrages dans des disciplines aussi diverses que la géométrie, la médecine, l'agronomie et la philosophie. D'autre part, ses talents d'enseignant en algèbre, calcul, astronomie et médecine sont attestés par son biographe Ibn al-Khaṭīb et les brillants disciples qu'il a formés, tels le philosophe Ibn Hudhayl et le roi de Grenade Naṣr al-Khazrajī [M. Diaz-Fajardo, 2007, Samsó, 2006].

Animé par un personnage notable de l'Ifriqiya (cette dénomination recouvre la Tunisie actuelle, l'Algérie orientale et la Tripolitaine), Ibn al-Raqqām



Le balconnet de la maison des Ibn Marzuk dans la Médina de Tlemcen

compose une deuxième version de son traité sur les cadrans solaires, intitulé *Risāla fī 'Ilm al-Thilāl*, et qui permet d'accéder, selon lui, à la connaissance de tous les instruments de l'ombre. Une copie complète de ce traité est conservée à l'Escurial. Nous avons pu également identifier une autre copie, mais incomplète, à la Bibliothèque Nationale de Rabat sous le numéro 2233 et qui est répertoriée avec une fausse dénomination, ce qui a induit en erreur certains chercheurs. Dans ce traité, composé de 44 chapitres, Ibn al-Raqqām explique la construction de huit types de cadrans solaires qui se distinguent par leurs formes (plan ou semi-sphérique) ou par la disposition du plan du cadran (horizontal ou non). Il utilise le cadran solaire horizontal comme base pour la construction des autres cadrans. Le style de ce dernier est parallèle à l'axe des pôles. Les huit cadrans solaires en question sont : le cadran horizontal, le cadran portatif, le cadran vertical, le cadran diptyque vertical et déclinant, le cadran équatorial, le cadran incliné, le cadran incliné et déclinant, le cadran semi-sphérique.



Urjuza sur la science du temps composé par Ibn Marzuq al-Hafid (mort en 1439)

Enfin, Ibn al-Raqqām se montre original et innovateur dans l'élaboration de ces cadrans. En effet, il se sert d'un analemme de tradition hellénique (représentation d'une sphère sur une surface plane) pour tracer les lignes du cadran.

### L'ouvrage encyclopédique d'al-Ḥasan al-Marrākushī

Abū 'Alī al-Ḥasan b. 'Alī b. 'Umar al-Marrākushī était un astronome et mathématicien de grande renommée, qui a vécu au XIII<sup>e</sup> siècle. Il a parcouru en observateur quarante-et-une localités, où il a relevé lui-même la hauteur de l'étoile polaire, depuis diverses villes du Maroc et du Sahara Occidental, et les deux villes de l'Espagne musulmane, Séville et Cadix, jusqu'en Égypte (Le Caire, Alexandrie...), en passant par quelques villes de l'Afrique septentrionale, tel que Bougie, Tunis et Tripoli.

Concernant sa production, le bibliographe Ḥājī Khalifa nous donne les titres de deux de ses ouvrages concernant les instruments astronomiques. Le premier est *Ālāt at-Taqwīm*. Le second est l'impressionnant ouvrage intitulé *Jāmi' al-Mabādī' wa al-Ghāyāt fī 'Ilm al-Mīqāt* (Collection des commencements et des fins dans la science du temps), considéré par le même bibliographe, comme le plus imposant ouvrage composé sur *al-Mīqāt*, et précise qu'il est divisé en quatre disciplines, à savoir le calcul (comportant 87 chapitres),

l'élaboration des appareils (divisée en 7 parties), l'utilisation des appareils (comportant 15 chapitres), et des études pour acquérir connaissances et puissance créative (comportant 4 chapitres). Les trois premiers livres de la seconde partie sont presque entièrement consacrés aux instruments relatifs à la mesure du temps.

Après la mort de son auteur, *Jāmi' al-Mabādi'*, devient l'une des inspirations les plus fécondes. Voici ce que dit l'astronome al-Mizzī (m.1349) : « Actuellement, il n'existe aucun traité satisfaisant sur cet instrument (quadrant-sinus), à l'exception du traité composé par le cheikh, l'imam, le représentant le plus éminent de cet art, Abū 'Alī al-Marrākushī, que Dieu le bénisse, qui fait partie de son ouvrage intitulé *Jāmi' al-Mabādi'*, de cent onze chapitres. Les autres traités des différents auteurs sont absurdes ». C'est là un jugement de connaisseur. Car al-Mizzī était le *Muwaqqit* de la grande mosquée omeyyade de Damas ; de plus, il a composé d'innombrables ouvrages sur les instruments astronomiques. La notoriété de cet ouvrage ne s'arrête pas là. On ignore à quelle date, le savant encyclopédique Ibn al-Akfānī, qui est décédé au Caire en 1348, va le résumer. Cependant, au Maghreb, seul le prolifique astronome Ibn Ḥamādūsh (XVIII<sup>e</sup> siècle) a exploité cet ouvrage dans son traité sur un instrument sphérique nommé *al-Kura* (Bibliothèque al-Ḥasaniya, Ms. 1573). Celui-ci n'est pas un simple globe céleste, car il est muni de deux anneaux (l'horizon et le méridien) et d'un quadrant auxiliaire, et permet de réaliser, entre autres la mesure du temps.

Dans *Jāmi' al-Mabādi'*, on y trouve exposée toute la gnomonique des musulmans. Grâce aux travaux de L. A. Sédillot et M. Delambre, il nous est possible d'énumérer tous les cadrans en question. Ainsi, au nombre des cadrans nous distinguons le *Ḥafīr* (ce mot signifie Sabot, du fait de la forme de l'instrument) et le *Ḥalazūn* (Hélice), le cadran cylindrique, propre à toutes les latitudes, le cadran conique, le *Sāq al-Jarāda*, ou la jambe de saute-elle. Quant aux cadrans qui restent à énumérer, l'heure est indiquée par l'extrémité de l'ombre du gnomon. Ces derniers sont plus commodes que ceux qui précèdent parce que les quatre points cardinaux et l'azimut de la *Qibla* doivent y être marquées par des lignes droites. Il est aussi facile de reconnaître le moment de *al-'Aṣr* et celui auquel le soleil est sur l'azimut de la *Qibla*. Les cadrans en question sont : le cadran horizontal, le cadran oriental et occidental sur le plan du méridien, le cadran sur le plan du premier vertical, le cadran vertical déclinant et le cadran incliné, les cadrans dont le gnomon, au lieu d'être perpendiculaire au plan, est parallèle à l'horizon, les cadrans parallèles à des horizons quelconques, le cadran horizontal des heures égales, les cadrans dans un

hémisphère creux, horizontal ou vertical, les cadrans sur des feuilles de paravent, les cadrans cylindriques perpendiculaires à l'horizon, etc.

## Clepsydras

Les clepsydras sont apparues il y a plusieurs millénaires. La plus ancienne est conservée au musée du Caire et remonte à 3 500 avant J.-C. sous le règne d'Aménophis III. C'est un vase en albâtre de forme tronconique (36 cm de haut), richement décoré à l'extérieur et gravé à l'intérieur. Plus tard, elle sera copiée ou redécouverte dans tous les continents. Ce type d'instrument ne se limite pas à suppléer les erreurs des autres horloges astronomiques lors des jours nuageux. Les Grecs, par exemple, l'ont utilisé pour limiter le temps de plaidoirie dans les tribunaux.

Dans les premières clepsydras, l'heure était indiquée en repérant le niveau du liquide dans un récipient en albâtre et percé d'un trou à la base. Toutefois, même si le principe de son fonctionnement paraît simple, cet instrument est difficile à graduer et à régler suite à la variation de la viscosité de l'eau avec la température et la variation du débit qui dépend de la hauteur du liquide. L'autre inconvénient provient des impuretés et du calcaire capable de réduire l'orifice. De plus, elle doit être adaptée aux heures inégales qui partagent le jour et la nuit en 12 intervalles égaux. Quoi qu'il en soit, plus tard les musulmans, héritiers de la science antique, vont tenter de développer ce type d'instruments.

Revenons maintenant au Maghreb. 'Alī al-Jaznā'ī (XIV<sup>e</sup> siècle), dans *Zahrāt al-'Aṣr*, rapporte qu'à côté de quelques cadrans solaires de la mosquée al-Qarawiyyīn de Fès, le cadī Ibn Yankul avait chargé en 1286-7 le *Muwaqqit* Ibn al-Ḥabbāk de mettre en œuvre une clepsydra pour déterminer le moment des prières et l'heure durant les jours nuageux. Selon le même chroniqueur, celle-ci était constituée d'un bassinnet en poterie avec une auge (*Tanjīr*), tracée de lignes et percée de trous, placée sur le bassinnet rempli en eau. Les lignes ou marques du *Tanjīr*, probablement de forme tronconique, permettaient de repérer le niveau d'eau et de déterminer ainsi le temps passé.

Du fait que les dimensions des clepsydras ne permettent pas une autonomie de plusieurs heures, en plus des nombreuses contraintes déjà citées, on pense qu'elles sont utilisées beaucoup plus pour limiter le temps de certaines activités. Le voyageur Léon l'Africain rapporte que les agriculteurs d'al-Burj, une région d'Algérie située au pied des Bibans, utilisaient des clepsydras. Celles-ci ne sont certainement pas d'une grande complexité, car elles répondent à une seule exigence,

celle de limiter le temps d'arrosage de leurs champs (Dans l'antiquité, dans certaines régions du Maghreb, on utilisait un gnomon au lieu de la clepsydre, selon le témoignage de Pline).

Ceci dit, de grandes et de petites clepsydes ajustables étaient utilisés par certains citadins, c'est du moins ce qu'on déduit du récit du Docteur Thomas Shaw qui a parcouru le Maghreb au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. Ainsi, il nous paraît raisonnable de penser que ces instruments n'étaient pas utilisés uniquement en agriculture, mais aussi pour d'autres motifs, tels que la détermination des heures de prières.

## Sabliers

L'idée de substituer le sable à l'eau ne s'est présentée à l'esprit que tardivement. Le sablier est moins ancien que la clepsydre et il nécessite le savoir-faire d'un verrier. Le sable a l'avantage de ne pas geler. Cet instrument est constitué de deux récipients superposés, communiquant par un étroit conduit où s'écoule du sable fin. Cependant, étant donné que le sable est moins fluide que l'eau, l'instrument en question est mieux adapté aux courtes durées. Il est donc peu commode pour les longues durées. Autre difficulté de taille, il fallait le retourner à chaque fois que le sable s'était complètement écoulé.

On ignore depuis quand on utilise le sablier au Maghreb. À ma connaissance, le seul auteur maghrébin ayant mentionné cet instrument, qu'il nomme à l'occasion *al-Ramlia*, est l'astronome 'Abd al-Raḥmān at-Tājūrī (m. 1554). Cet instrument est cité dans son opuscule sur la Boussole-cadran (un instrument mixte, constitué d'une boussole, d'un cadran solaire et d'un indicateur de Qibla, qu'il nomme Bayt al-Ibra), intitulé *Waraqāt fī Ma'rifat Waḍ' Bayt al-Ibra*. Il l'utilise pour vérifier la mesure de la Boussole-cadran. Aussi, on devine que le sablier en question porte des graduations, qu'il mesure des périodes de deux à trois heures, et qu'il était utilisé pour fixer l'intervalle entre deux prières consécutives, le *Zuhr* et le 'Aṣr, notamment.

## Horloges monumentales

En plus des simples clepsydes, les Grecs ont utilisé l'eau pour actionner des horloges plus complexes. Parmi les auteurs qui s'y sont particulièrement distingués citons notamment Ctésibios (entre 300 et 230 av. J.-C.), cité par l'ingénieur et architecte romain Vitruve et les deux techniciens qui suivent, Philon de Byzance (3<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), dont deux de ses ouvrages *les pneumatiques* et *le traité des clepsydes* nous sont parvenus en langue arabe, et Héron d'Alexandrie dont treize de

ses ouvrages sont connus par des traductions arabes ou latines [C.H. Eyraud, 2004]. Les Arabes traduisirent également un traité sur les horloges hydrauliques attribué à Archimède (287-212). Les auteurs arabes avaient donc à leurs dispositions tout ce qu'il faut pour exceller dans cette discipline. Ici, nous évoquerons notamment le célèbre al-Jazarī (m. 1206), qui est cité comme référence par de nombreux auteurs, et l'Andalous du XI<sup>e</sup> siècle Ibn Khalaf al-Murādī, dont la seule copie manuscrite de son traité intitulé *Kitāb al-Asrār fī Natā'ij al-Afkār* (Le livre des secrets sur les résultats des pensées) est conservée à Bibliothèque Laurent de Médecins de Florence. Dans cet ouvrage, édité récemment à Milan sous le titre *The Book of Secrets in the Results of Ideas*, 18 modèles d'horloges à eau et un cadran solaire y sont décrits.

Nous ne connaissons aucun traité de ce type rédigé au Maghreb. Toutefois, les témoignages qui suivent prouvent l'existence de spécialistes dont les écrits ne nous sont pas parvenus ou qui ont réalisé des horloges sans éprouver le besoin d'en parler. Ces techniciens se sont peut-être inspirés de l'unique traité de mécanismes attribué aux Banū Mūsa ibn Skākir (IX<sup>e</sup> siècle), intitulé *Kitāb al-Hiyal* (Le livre des mécaniques ingénieuses), qui semble avoir circulé au Maghreb selon le témoignage d'Ibn Khaldūn dans les prolégomènes : *Un certain auteur a traité cette branche des mathématiques à part (automatisme et mécanique pratique) dans un ouvrage sur la mécanique pratique, contenant tout ce qu'il y a de merveilleux en fait de procédés curieux et d'artifices ingénieux. Ce traité est très répandu, bien qu'il ne soit pas facile à comprendre, à cause des démonstrations géométriques qu'il renferme. On l'attribue aux Banī Shakīr.*

## L'horloge anaphorique de Fès

L'horloge de la mosquée al-Qarawiyīn, qui a remplacé la première clepsydre déjà décrite, fut construite en 1317. Celle-ci est conçue par al-Qarastūnī et réalisée par aṣ-Ṣanhājī. Selon le récit d'al-Jaznā'ī, l'ingénieur artisan, qui a réalisé le système hydraulique sous-jacent, installa une règle, dont le mouvement est gouverné par un flotteur, pour indiquer les heures, les minutes et les moments de prières de la nuit et du jour. Après avoir fonctionné toute la journée, l'horloge doit être alimentée à nouveau en eau.

Cette horloge fut, par la suite, laissée à l'abandon, avant d'être restaurée vers 1347. En 1361, l'astronome et mathématicien Abū Zayd 'Abd al-Raḥmān al-Lujā'ī (m.1371), le célèbre élève d'Ibn al-Bannā', va lui associer un instrument similaire à l'astrolabe planisphérique



Traité anonyme d'astronomie rédigé vers 1781.

Plusieurs notices et instructions montrent qu'il était destiné principalement aux navigateurs. Manuscrit 1491 de la BNA

de 0,42 m de diamètre, qu'on retrouve encore de nos jours et qui fonctionne par le même mécanisme hydraulique de l'horloge. Grâce au mouvement de l'araignée de l'astrolabe entraînée par le mécanisme hydraulique dissimulé, sur un tympan correspondant à la latitude de Fès (33°), celle-ci reproduit les déplacements du mouvement diurne. Cette horloge ressemble à l'horloge anaphorique décrite par l'ingénieur et architecte romain Vitruve (I<sup>er</sup> Siècle av. J.-C.). Selon le témoignage d'Ibn Qunfudh (1339-1407), dans son ouvrage biographique *Uns al-Faqīr wa 'Iz al-Haqīr* édité et commenté par Najāh 'Awḍ Šiyām en 2002, l'horloge astrolabique inventée par son maître al-Lujā'ī, permet de connaître d'un simple coup d'œil : la hauteur du soleil, l'heure de jour et la hauteur des étoiles de nuit.

### L'horloge publique de Fès

Il existait à Fès une autre horloge qui se trouvait à côté de *Madrasat Abī 'Inān* (Mosquée al-Bu'nāniyya) réalisée par le *Muwaqqit* tlemcenien Ibn al-Faḥḥām. C'est Abū 'Inān, lors de son installation à Tlemcen, qui ordonna la construction de cette horloge en 1357.

Une fois de plus, c'est al-Jaznā'ī qui nous décrit cette horloge publique. Celle-ci était constituée d'une série d'écuelles-timbres, treize en tout, en laiton. À chaque heure, un poids tombait dans une des coupes en même temps que l'ouverture d'une fenêtre. En fait, la fenêtre restait ouverte de façon qu'un passant puisse connaître l'heure au premier regard.

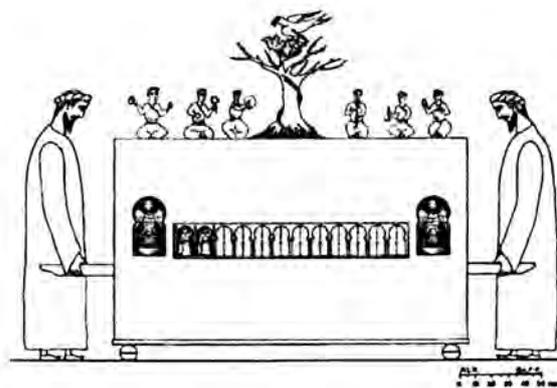
L'horloge en entier faisait environ onze mètres de long, et derrière le mur, qui accueillait les structures apparentes, se trouvait le mécanisme qui fait fonctionner l'horloge. Malheureusement, rien ne reste de ce mécanisme hydraulique.

### Khizānat al-Manjāna de Tlemcen

On sait selon plusieurs historiens, dont Yahya Ibn Khaldūn, qu'il y avait à Tlemcen une horloge à automates, et qui cachait un jeu complexe d'engrenages, conçue à l'époque du souverain Abū Hammū (1307-1318) et qu'on faisait fonctionner spécialement à l'occasion du *Mawlid* (Anniversaire du prophète). Au milieu de l'horloge, il y avait plusieurs portes, autant que l'on a d'heures dans la nuit, et deux plus grandes aux deux



Horloge de Fès



La Mangana. Horloge à eau de Tlemcen

extrémités. Au sommet de cette horloge était un arbre portant un oiseau qui abritait sous ses ailes ses petits. Au cours d'une heure, un serpent, sortant d'un trou ménagé à la base de l'arbre, monte peu à peu vers cet oiseau, et s'empare de l'un des petits, tandis que le père sifflait pour effrayer le serpent. À ce moment même, la porte de l'heure, qui s'est placée automatiquement au centre de la caisse, s'ouvrait, et une jeune fille en sortait en tenant dans sa main droite un feuillet sur lequel était tracé en vert le chiffre de l'heure. Enfin, le talentueux constructeur a placé au-dessus de toutes les portes et un peu au-dessous du bord supérieur, selon toujours le récit de Yaḥya Ibn Khaldūn, un globe lunaire qui se mouvait selon une trajectoire analogue à celle de la lune sur le zodiaque.

### L'horloge de Marrakech

À la mosquée de la Kutubiya de Marrakech, Chihāb ad-Dīn al-'Umarī, qui écrivait entre 1342-1349, signalait l'existence d'une horloge hydraulique, mais qui ne fonctionnait plus à son époque, et qui était placée à 50 coudées en l'air. Ainsi, chaque heure de la journée, un poids tombait et faisait sonner par sa chute des cloches dont le bruit s'étendait au loin.

### Notations

« AD » arc diurne, « AN » arc nocturne, « d » nombre de degrés d'une heure saisonnière, « H » angle horaire, « h » hauteur instantanée, «  $h_m$  » hauteur méridienne, «  $N_E$  » nombre d'heures équinoxiales, «  $N_S$  » nombre d'heures saisonnières, « q » nombre d'heures équinoxiales, « S » l'ombre du gnomon instantanée, «  $S_m$  » l'ombre du gnomon lorsque le soleil est au méridien, « s » nombre d'heures saisonnières, « T » temps écoulé depuis le lever, ou le temps qui reste avant le coucher du soleil, «  $\alpha$  » ascension droite du soleil, «  $\alpha_s$  » ascension droite du soleil, «  $\delta$  » déclinaison du soleil, «  $\lambda$  » longitude du soleil, «  $\phi$  » latitude géographique, «  $\varepsilon$  » obliquité de l'écliptique.

### RÉFÉRENCES

- E. Calvo, *Two Treatises on Miqāt from the Maghrib (14<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> cent. A.D.)*, *Suhayl* **4**, pp. 159-206 (2004).
- M. Diaz-Fajardo, *Un astrónomo de origen murciano del siglo XIV: Ibn al-Raqqām*, *Las artes las ciencias en el occidente musulmán*, Museo de la Ciencia y el Agua (2007).
- Farré Olivé, Eduard, *La Sphaera Horarum Noctis de Ramon Llull*, *La Busca de Paper* **22**, printemps, pp. 3-12 (1996).
- C.H. Eyraud, *Horloges astronomiques au tournant du XVIIIe siècle : de l'à-peu-près à la précision*, Thèse de Doctorat, Université de Lyon (2004).
- D.A. King, *An Overview of the Sources for the History of Astronomy in the Medieval Maghrib*, Deuxième Colloque maghrébin sur l'histoire des mathématiques arabes, Tunis (Décembre 1988).
- D.A. King, *Astronomie et Société Musulmane : Qibla, Gnomonique, Miqāt*, in *Histoire des Sciences arabes, Astronomie, théorique et appliquée*, Seuil, Paris (1997).
- M. Marin, *The Making of a Mathematician: al-Qalasādī (d. 891/1486) and his Rihla*, *Suhayl* **4**, pp. 295-310 (2004).
- A. Meziane, *Figig. Musāhama fi Dirāsati al-Mujtama', al-Wāhī al Maghribī Khilāla al-Qarn al-Tāsi' 'Ashar* (1845-1903), Rabat (1988).
- J. Samsó, *Ibn al-Raqqām, Abū 'Abd Allāh*, *Biblioteca de al-Ándalus, Enciclopedia de la Cultura Andalusí*, 4. Almería, pp. 440-444 (2006).
- J. Samsó, *Lunar Mansions and Timekeeping in Western Islam*, *Suhayl* **8**, pp. 121-161 (2008).
- T. Madani, *Le partage de l'eau dans l'oasis de Figuig (Maroc oriental)*, *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 36-2 (2006). Mis en ligne le 11 octobre 2010. URL : <http://mcv.revues.org/2016>.
- A. Fernández-Puertas, *Clepsidras y horologios musulmanes* *MEAH, Sección Árabe-Islam* **55**, pp.135-185 (2006).

عشر وان كانوا من الاشكال الداخلة بالانسان المحيطة وان كانوا من الخارجة فهو خير من المدينة والله اعلم فصل  
 سبعة في خارفة بالمسجونين والاسيرين بطلون وان كانوا الاشكال الداخلة بالمسجونين ببعثته مكتوب والاسيرين  
 الحاجة تغنيهم الوقت والعين من غير تعطل ولا تعب وذلك ان تكون الاشكال سبعة داخلة وان كان في الخارج  
 اوضح في بيان ومارس وان بين واجمع مع الباطن والظاهر باع العنق ونيس على هذا والله اعلم



١٧٨١	١٥	١٦	١٨٠٢	١٧	١٨
١٧٨٢	١٦	١٧	١٨٠٣	١٨	١٩
١٧٨٣	١٧	١٨	١٨٠٤	١٩	٢٠
١٧٨٤	١٨	١٩	١٨٠٥	٢٠	٢١
١٧٨٥	١٩	٢٠	١٨٠٦	٢١	٢٢
١٧٨٦	٢٠	٢١	١٨٠٧	٢٢	٢٣
١٧٨٧	٢١	٢٢	١٨٠٨	٢٣	٢٤
١٧٨٨	٢٢	٢٣	١٨٠٩	٢٤	٢٥
١٧٨٩	٢٣	٢٤	١٨١٠	٢٥	٢٦
١٧٩٠	٢٤	٢٥	١٨١١	٢٦	٢٧
١٧٩١	٢٥	٢٦	١٨١٢	٢٧	٢٨
١٧٩٢	٢٦	٢٧	١٨١٣	٢٨	٢٩
١٧٩٣	٢٧	٢٨	١٨١٤	٢٩	٣٠
١٧٩٤	٢٨	٢٩	١٨١٥	٣٠	٣١
١٧٩٥	٢٩	٣٠	١٨١٦	٣١	٣٢
١٧٩٦	٣٠	٣١	١٨١٧	٣٢	٣٣
١٧٩٧	٣١	٣٢	١٨١٨	٣٣	٣٤
١٧٩٨	٣٢	٣٣	١٨١٩	٣٤	٣٥
١٧٩٩	٣٣	٣٤	١٨٢٠	٣٥	٣٦
١٨٠٠	٣٤	٣٥	١٨٢١	٣٦	٣٧
١٨٠١	٣٥	٣٦	١٨٢٢	٣٧	٣٨

تسمى بالشمس  
 تسمى بالليل  
 تسمى بالليل  
 تسمى بالليل

وهذه اليد تخرج منها  
 الباطن اذا لم تكون مائة



عشر وان كانوا من الاشكال الداخلة بالانسان المحيطة وان كانوا من الخارجة فهو خير من المدينة والله اعلم فصل  
 سبعة في خارفة بالمسجونين والاسيرين بطلون وان كانوا الاشكال الداخلة بالمسجونين ببعثته مكتوب والاسيرين  
 الحاجة تغنيهم الوقت والعين من غير تعطل ولا تعب وذلك ان تكون الاشكال سبعة داخلة وان كان في الخارج  
 اوضح في بيان ومارس وان بين واجمع مع الباطن والظاهر باع العنق ونيس على هذا والله اعلم

Traité anonyme d'astronomie rédigé vers 1781.

Plusieurs notices et instructions montrent qu'il était destiné principalement aux navigateurs. Manuscrit 1491 de la BNA