

## Étude du traité de Radwan al-Sa'ati

### " 'Ilm al-Sa'at wa al-Amal biha"

Mona Sanjakdar Chaarani

La présente étude est basée sur l'unique manuscrit du XIIIe siècle de Radwan al-Sa'ati, qui décrit en détails l'horloge hydraulique de la porte Jayrûn. Loin d'être historique ou critique, cette étude technique et analytique du traité de Radwan permet, en décortiquant ligne par ligne le texte, de mettre en relief les caractéristiques des éléments de l'horloge étudiée. Plus précisément, la nature, la forme, les dimensions et la position des pièces le constituant. Ajoutons à tout cela les précautions à prendre pour un bon fonctionnement de l'appareil.

Nous abordons une étude approfondie, espérant pouvoir dévoiler tous les secrets, de cette horloge, notamment ceux non élucidés par les historiens orientalistes ayant étudié le traité de Radwan al-Sa'ati. Toutefois, leurs analyses détaillées aussi importantes les unes que les autres ont largement éclairé le chemin qu'on a suivi dans cette étude.

#### Introduction

Dès l'Antiquité, l'homme a trouvé la notion du temps dans la nature. Il a cherché à évaluer l'écoulement du temps rythmé par les années, les saisons, les jours et les nuits. Il a mesuré le temps qui passe en observant des phénomènes naturels : la succession du jour et de la nuit, les différentes positions du soleil dans le ciel, les phases de la lune, les marées et autres.

Pour matérialiser ces mesures, l'homme a inventé des instruments, le premier étant le gnomon, simple bâton planté verticalement dans le sol.

Au fil des siècles, le gnomon est perfectionné pour donner naissance au cadran solaire. Un peu plus tard, c'est la clepsydre qui fait son apparition. En effet, pour mesurer l'écoulement du temps, les Grecs de l'époque classique (Ve -IVe siècle av J.C.) utilisèrent la clepsydre, simple vase muni à sa base d'un orifice laissant échapper l'eau qui le remplit. La durée de l'écoulement varie, bien entendu, en fonction du diamètre de l'orifice et de la quantité du liquide à évacuer. Cet écoulement ne suppose aucune corrélation avec la succession du temps solaire et en est complètement indépendant.

Par son simple principe, cet instrument est susceptible de rendre des services très variés.

Dans les tribunaux, la clepsydre, hantise des orateurs prolixes, impartit à chacun son temps de parole, proportionnellement à l'importance des débats. Dans la vie militaire, elle fixe le moment de la relève des sentinelles. Pour les chercheurs, elle sert à déterminer la durée de leurs observations.

C'est à l'époque alexandrine (IIIe-IIe siècle av J.C.), qu'apparaît l'idée d'appliquer le principe de la clepsydre à la mesure des heures diurnes (les cadrans solaires inutilisables par temps couvert). Des difficultés assez importantes surgissent alors concernant la régularisation d'un débit constant de l'eau s'échappant de l'orifice de la clepsydre. À cette fin, plusieurs procédés sont adoptés et la clepsydre dépasse les limites de sa simplicité pour donner naissance à de véritables horloges à eau mesurant, avec pas mal de précision, les heures diurnes et nocturnes.

C'est cette horloge à eau qui envahi l'Orient du IXe au XIVe siècle et plus particulièrement le monde arabo-musulman. Son importance est telle, qu'on la retrouve mentionnée dans les écrits de deux grands littéraires de l'époque :

Al Jahiz<sup>1</sup> dans son traité " Kitab al-Hayawan "mentionne :

"...أن الحدكام العرب المسلمين وعلماءهم كانوا يستعملون في النهار الأسطرلاب وفي الليل البنكومات وهي الساعات المائية الدقيقة"

«...Les gouverneurs et les hommes de sciences musulmans utilisaient le jour l'astrolabe et la nuit les Binkamats qui sont des horloges à eau sonnantes ».

2 –Al-Gazali<sup>2</sup> dans un de ses traités écrit:

"... فيه آلة على شكل اسطوانة تحتوي قدرا معلوما من الماء، وآلة أخرى مجوفة موضوعة في هذه الأسطوانة فوق الماء، وخيط مشدود أحد طرفيه في هذه الآلة المجوفة وطرفه الآخر في اسفل ظرف صغير موضوع فوق الآلة المجوفة، وفيه كرة وتحت طاس بحيث لو سقطت الكرة وقعت في الطاس وسمع طنينها. ثم ثقب اسفل الآلة الأسطوانية ثقباً بقدر معلوم ينزل الماء منه قليلاً قليلاً فإذا انخفض الماء انخفضت الآلة المجوفة الموضوعة على وجه الماء فامتد الخيط المشدود بها في الطاس وتطن وعند فحرك الطرف الذي فيه الكرة تحريكاً يقربه من الانتكاس إلى ان ينتكس فتتدحرج منه الكرة وتقع انقضاء كل ساعة تقع واحدة، وإنما يقدر الفصل بين الوقعتين بتقدير خروج الماء وانخفاضه وذلك بتقدير سعة الثقب الذي يخرج منه الماء."

*« ... il renferme un instrument cylindrique renfermant une quantité d'eau bien déterminée, et un autre instrument creux placé sur l'eau. Un petit contenant, renfermant une balle et placé au-dessus de l'instrument creux est relié à ce dernier par un fil. Au-dessous du contenant se trouve un bol. Le fond de l'instrument cylindrique est percé pour laisser l'eau s'écouler petit à petit. Quand le niveau d'eau baisse, l'instrument creux descend, tire le fil et déplace le contenant. Ce dernier s'incline permettant à la balle de tomber dans le bol et faire résonner un son. Une balle tombe, à chaque heure révolue. Le temps qui s'écoule entre la chute de deux balles varie en fonction du débit d'eau réglé par le diamètre du trou percé ».*

### **L'horloge Hydraulique de la porte de Jayrûn**

Parmi ces horloges, nous distinguons l'horloge hydraulique construite à Damas en Syrie, sous la dynastie des Omeyyades, précisément à la porte Jayrûn de la mosquée portant leur nom.

L'horloge est décrite par le voyageur Ibn Jubayr<sup>3</sup> dans son récit (Rihlat), comme suit :

*« À la droite de la personne sortant de la porte Jayrûn, se trouve dans le mur de la galerie antérieure une chambre ayant la forme d'un grand arc circulaire pourvu de plusieurs fenêtres en bronze. Ces dernières, au nombre des heures du jour, sont munies de petits volets ouverts aménagés avec beaucoup d'art. Quand une heure s'écoule, deux boules de cuivre jaune tombent dans le bec des deux faucons. Ces derniers, conçus du même métal, se dressent chacun sur une écuelle également en cuivre jaune dont l'une se trouve sous la première porte et l'autre sous la dernière. Les écuelles sont trouées pour laisser passer les balles qui s'entassent dans une petite boîte derrière le mur; alors les faucons tendent leur cou vers les écuelles et crachent rapidement les balles. Le mécanisme est si curieux qu'on croyait qu'il fonctionne par magie.*

*Lorsque les balles tombent dans les écuelles on entend un son et la porte correspondant à l'heure qui vient de s'écouler, se referme immédiatement pour faire apparaître une plaque de cuivre jaune. C'est ainsi que le mécanisme se poursuit à chaque heure révolue jusqu'à ce que toutes les portes soient fermées, les heures écoulées et tout revient à sa position initiale.*

*Pendant la nuit c'est un autre mécanisme qui est attribué à l'horloge. Dans l'arcade qui s'incurve au-dessus des fenêtres on a fixé douze disques ajourés de cuivre jaune auxquels s'adapte une vitre placée à l'intérieure du mur de la pièce. Tout ce mécanisme est aménagé derrière les fenêtres précédemment signalées. Derrière chaque vitre est suspendue une lampe dans lequel l'eau tourne durant une heure. À chaque heure révolue le vitre reflète totalement la lumière de la lampe et les rayons lumineux inondent le disque, on aperçoit alors un disque rougeâtre. Le même mécanisme se reproduit pour la vitre suivante jusqu'à ce que toutes les heures de la nuit soient écoulées et que tous les disques prennent une couleur rougeâtre.*

*L'horloge est confiée à un surveillant professionnel chargé de veiller à son bon fonctionnement; il doit rouvrir les portes et remettre les contrepoids à leur place initiale. C'est cette horloge que les gens nomme al-Minjana ».*

Une description plus simplifiée de cette horloge hydraulique est rédigée par le voyageur Ibn Battuta<sup>4</sup>

*« À la droite de la personne sortant de Bab Jayroun ou porte des horloges, on trouve, une chambre très haute en forme d'une grande fenêtre, renfermant d'autres petites fenêtres ouvertes, au nombre des heures du jours, ayant des portes, de couleur jaune à l'extérieur et verte à l'intérieur. À chaque heure révolue, la porte tourne et le jaune est remplacé par le vert. On dirait que quelqu'un, à chaque heure écoulée, fait fonctionner ce mécanisme de l'intérieur »*

Ce n'est qu'au XIII<sup>e</sup> siècle, que Radwan al-Sa'ati s'intéresse à cette horloge et lui dédie un traité qui dévoile tous les détails concernant sa construction et son fonctionnement. Ce traité intitulé : « 'Ilm al-Sa'at wa al-'Amal biha » fait l'objet de notre étude.

### **Radwan al-Sa'ati (deuxième moitié du VI<sup>e</sup> et début du VII<sup>e</sup> siècle de l'hégire)**

Radwan ibn Muhammad ibn Ali al-khurasani fakh al-Din al Sa'ati est né à Damas où il passe toute sa jeunesse. Comme homme de sciences, son père Muhammad était incomparable dans ses connaissances en astronomie et en horlogerie. C'est lui qui a reconstruit l'horloge de la grande mosquée de Damas sous le règne de Nour al -Din al-Zanki qui lui a offert une somme d'argent assez importante. L'horloge resta sous sa direction jusqu'à sa mort.

Son fils Fakhr al-Din Radwan physicien, poète et médecin, est un auteur prolifique. On lui doit des traités en médecine où il note ses remarques sur le Canon d'Ibn Sina. Mais c'est son talent en tant qu'horloger qui nous intéresse dans présente étude. Le traité en question est achevé en l'an 600 H/1203 apr.J.C.

### **Le traité de Radwan al-Sa'ati**

Il existe trois manuscrits de ce traité :

- 1- MS arabe 1348, daté 961/1554, Forschungsbibliothek, Gotha
- 2- MS Istanbul Köprülü.I.949, copié de l'original par l'ingénieur égyptien Abdallah al -Qipjaqi au Caire 658/ 1260.
- 3- MS 24 Taymûr Sina'a. Institut des manuscrits arabes le Caire Égypte

Autres ces manuscrits, le traité est mentionné par les historiens Sutter<sup>5</sup> et Sarton<sup>6</sup> ainsi que le bibliographe ibn Abi Usaybi'a<sup>7</sup>

Ce traité a attiré l'attention de chercheurs orientalistes renommés s'intéressant au domaine de l'histoire des sciences du monde arabo-musulman.

Une première étude de ce traité est faite par Eilhard Wiedman et Fritz Hausser<sup>8</sup> en 1915. C'est une étude analytique assez intéressante dotée d'illustrations techniques bien détaillées, permettant de dévoiler quelques secrets de l'horloge d'al-Sa'ati.

En 1981, Donald Hill<sup>9</sup> publie un article consacré à l'horloge de Radwan al-Sa'ati. Dans cette étude, Hill se réfère à l'article de Weidman and Hausser tout en leur empruntant quelques illustrations. Donald Hill détaille minutieusement les éléments de l'horloge en suivant les descriptions de Radwan, mais

malheureusement il ne met pas en relief les spécificités de chaque élément dans des paragraphes séparés, ce qui confond le lecteur non spécialisé.

Malgré tous les détails importants inclus dans cette étude, quelques procédés techniques, décrits par Radwan sont omis. Notamment, Hill ne fait aucune allusion à l'hélice الحلزون décrite dans le texte. Il ne mentionne pas le cercle hélicoïdal dans lequel tourne la tête pointue de l'axe des heures nocturnes le porteur hélicoïdal des heures nocturnes désigné par Radwan comme étant une importante invention de son père.

Une contribution audacieuse et assez importante est attribuée à Fuat Sezgin<sup>10</sup>, qui a été le premier à construire, dans les années 80, une maquette de cette horloge et l'exposer au musée de son institut à Frankfurt.

Abdel Aziz Al-Jaraki<sup>11</sup> critique cette maquette sous prétexte qu'elle ne correspond pas aux détails décrits par Radwan. De son côté, Abdel Aziz analyse le traité de Radwan dans deux articles édités au site " Muslim Héritage" , mais se contente de développer le côté historique tout en simplifiant l'étude technique et analytique .

Muhammad Ahmad Dahman <sup>12</sup> publie une édition spéciale du manuscrit sans toutefois mentionner aucun commentaire technique ou analytique de la construction ou du fonctionnement de l'horloge.

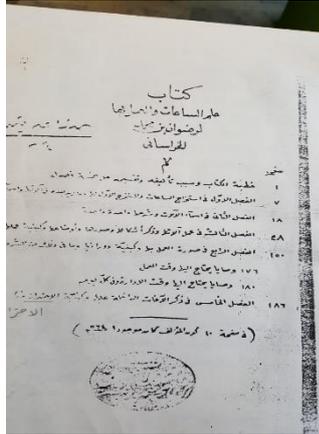
### **Étude du traité**

Ce traité intitulé " Ilm al-sa'at wa al'amal biha" (la science des horloges et leur utilisation) est composé de 198 pages d'une écriture claire, nette et bien lisible, mais l'ordonnance des idées laisse à désirer, des répétitions inutiles encombrant le traité.

Dans l'introduction de son traité, Radwan affirme ce qui suit : « ... *L'horloge de la grande mosquée de Damas est confiée, durant de longues années, à plusieurs personnes qui veillent à son bon fonctionnement. Mon père est le dernier horloger à s'en occuper.*

*Cette horloge possède un long réservoir d'eau de capacité 20 jarres, le technicien avait de la peine à le remplir chaque jour. L'horloge du soleil ne faisait pas partie de l'horloge principale ainsi que le demi-cercle qui cache les fenêtres illuminées l'une après l'autre. Une seule roue est raccordée aux heures diurnes. Un demi-cercle est consacré au plateau des signes du zodiaque. Juste les becs des faucons sont visibles. D'autres anomalies se présentent concernant les poulies, les cordes, les contrepoids et beaucoup d'autres éléments de la machine.*

*Dans cet état, mon père veille, pendant plusieurs années, à son fonctionnement et ceci jusqu'à l'an 564H/1168 ap.J.C, où un incendie ravage le lieu de "Labbadine " et l'horloge est complètement détruite. Mon père assure alors sa reconstruction et s'en occupe jusqu'à sa mort. .*



Deux pages du manuscrit de Radwan al-Sa'ati

Par cette reconstruction, mon père corrige les simples anomalies tout en ajoutant des nouveautés. Il remplace le grand réservoir principal de capacité vingt jarres par un autre beaucoup plus petit de capacité deux jarres. Il ajoute le demi-cercle qui cache successivement les fenêtres illuminées. Il accorde aux heures diurnes deux roues coaxiales. Il consacre un cercle complet pour les signes du zodiaque. À droite et à gauche de la machine, il place deux faucons qui s'inclinent tout en ouvrant leur bec pour cracher des balles et il ajoute l'horloge du soleil. Il associe à l'axe des heures nocturnes le porteur hélicoïdal.

Après son décès, trois horlogers techniciens se succèdent à sa maintenance, Ibn al-Nanaccache, son élève connu sous le nom d'Ibn al -Hajeb et Abi al-Fadl al-Najjar. Aucun des trois n'a jamais réussi à la maintenir en bon fonctionnement, et chaque pièce endommagée est détruite sans être remplacée. Ibn al-Naccach a détruit le demi-cercle ainsi que l'horloge du soleil. Celle-ci fonctionne parallèlement au mouvement du soleil dans le ciel. À l'apparition du soleil, le disque solaire de l'horloge apparaît à son tour. À midi, ce disque se place au milieu des signes de zodiaque...

... Ayant remarqué, qu'avec le temps, l'horloge perd la majorité de ses fonctions, j'ai décidé, à la mémoire de mon père de la rénover. Je l'ai reconstruite pièce par pièce tout en ajoutant de nouveaux mécanismes assez importants. J'ai remplacé le tuyau d'al-Jaz'a d'Archimède par un tube recourbé, dont le rôle est de régulariser le débit de l'eau d'al-Jaz'a. J'ai ajouté un robinet au réservoir principal afin de le laver et le débarrasser des résidus de l'eau...

... Après la renaissance de l'horloge, j'ai décidé de rédiger ce traité afin de sauvegarder toutes ces connaissances à ceux qui veulent en bénéficier. »

Après cette longue introduction, Radwan divise son traité en cinq chapitres. Les trois premiers sont consacrés à la description des différents éléments de l'horloge, le quatrième détaille le fonctionnement de ces éléments et le cinquième est réservé aux conseils importants pour veiller au bon fonctionnement de l'appareil.

### Description générale de l'horloge

La fig.1.tirée du traité de Radwan permet de décrire l'aspect général de l'horloge.

À l'extrême droite de la figure, on trouve le mécanisme de base de l'horloge. C'est le réservoir d'eau (1) المنيكان muni de son flotteur (2) الطفاف . Ce dernier est relié à la roue des heures diurnes (4), par l'intermédiaire d'une chaîne enroulée sur la gorge d'une roue (3) fixée sur son axe. À ce même flotteur

on relie la roue des heures nocturnes (13) par l'intermédiaire d'une autre chaîne terminée par un contrepoids (5). Cette chaîne s'enroule sur plusieurs poulies à double gorges (33).

En bas à gauche de la figure apparaît le mécanisme de déclenchement des portes qui indiquent respectivement les heures écoulées. Ce mécanisme est formé d'une boîte métallique la souris (7) portant un index surmonté d'une pièce métallique en forme de croissant (32). Le rôle de ce dernier est d'indiquer les fractions d'heures. La souris (الفأرة) surmontée de son croissant se déplace sur un rail (23) fixé devant les portes. Son mouvement est assuré par deux chaînes (29), l'une est reliée à la roue des heures diurnes (4), l'autre par l'intermédiaire d'une poulie, à un contrepoids.

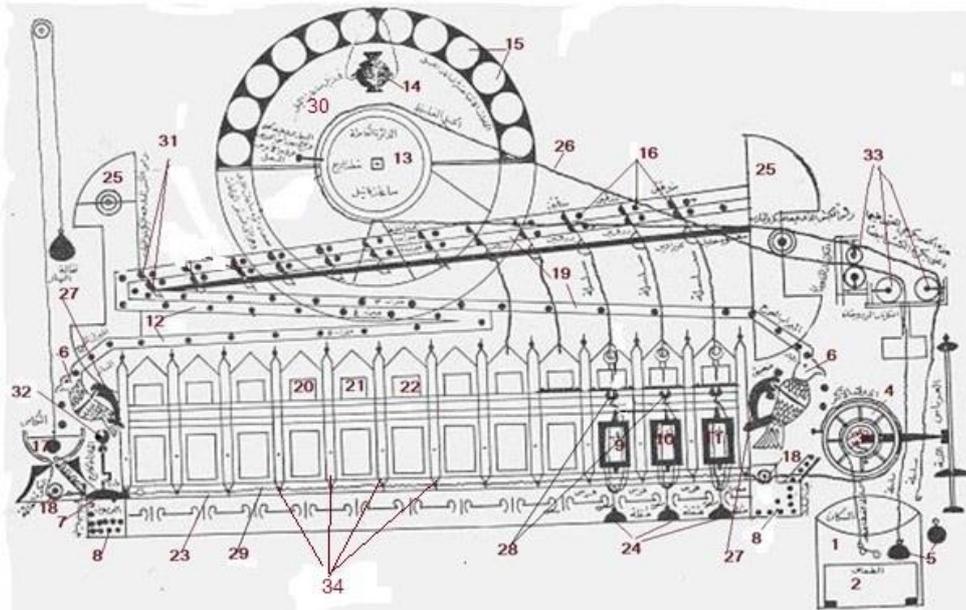


Fig . 1- Aspect général de l'horloge. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

Au centre, on trouve les douze portes (9,10,11...) insérées entre les treize colonnes (34). Chaque porte est surmontée d'un arc dans lequel se dresse un volet. Les trois portes de droites sont représentées avec les cordes et les contrepoids (24). Au-dessus de la série des volets (20,21,22...), apparaissent les canaux (12, 19) des balles. Ces canaux se recourbent de part et d'autre de la machine afin que chaque canal aboutisse à la tête d'un faucon (6). Ce dernier, mobile autour d'un axe horizontal, se penche sous l'action de la balle, la crache dans le bol approprié (8) et se redresse sous l'action d'un contrepoids (27). Les faucons apparaissent des deux côtés de la figure.

Au-dessus des volets apparaît le mécanisme de déclenchement des balles. C'est une simple tige métallique munie; à l'une de ses deux extrémités d'un anneau, et à l'autre, deux demi-disques métalliques (31) qui s'insèrent dans les deux conduits du canal principal et emprisonnent deux balles (16).

Au centre de l'illustration et vers le haut apparaît le demi-disque des heures nocturnes (30); il est perforé de douze ouvertures (15) qui s'illuminent successivement pour indiquer l'écoulement des heures. L'illumination est assurée par une lampe à kérozène (14) accrochée au plafond par des chaînes mobiles qui assurent son déplacement vers le centre de l'arc des fenêtres. Sur le même axe du demi-disque est fixé la roue des heures nocturnes (13). Sur sa gorge s'enroule la chaîne (26) qui aboutit au contrepoids (5). À droite apparaissent les poulies (33) nécessaires à l'équilibre des chaînes. Deux piliers (25) sont accordés à l'horloge.

## Description technique

Nous abordons une description technique de chaque élément de l'horloge selon le texte d'al-Sa'ati .

### I - Description des éléments de base de l'horloge

#### 1 - le réservoir principal (appelé par Radwan al-Binkan)

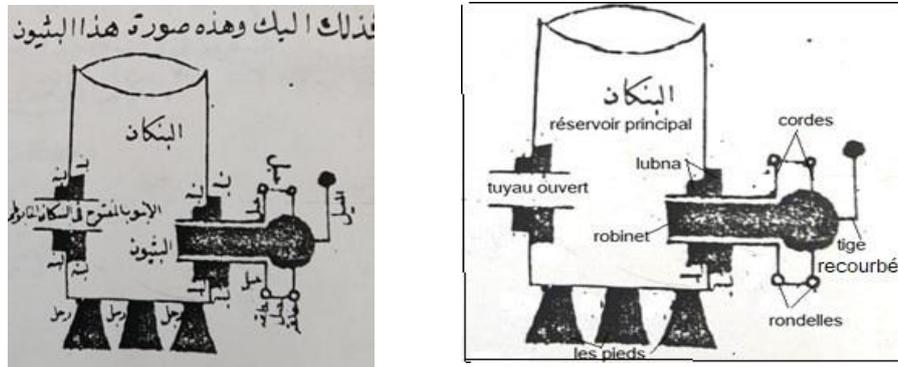


Fig.2- Le réservoir principal. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

C'est un cylindre métallique en cuivre battu, de hauteur 6,5 empan (1,43m), de périmètre quatre empan (88cm) et six doigts joints (12cm), soit un périmètre de 1m. Sa base formée d'une tôle métallique assez épaisse, est soudée à sa couronne. Ce cylindre doit être bien étamé et monté sur trois pieds équidistants. Un tuyau de six doigts joints (12 cm) de diamètre et de sept empan (1,54m) de longueur est inséré dans une ouverture pratiquée, à sa surface latérale, à une distance de six doigts joints (12cm), de sa base. Pour que ce tuyau soit adhérent solidairement au cylindre, Radwan nous conseille de souder, des deux côtés de la surface du cylindre, un morceau de métal de forme carrée, d'épaisseur convenable et évidé en son centre d'un cercle de même diamètre que le tuyau, appelé "al-Lubnah " (fig.2.).

*Pour fabriquer ce cylindre Radwan propose d'utiliser des tôles en cuivre jaune d'épaisseur moyenne, les enrouler en cercle selon le périmètre du cylindre, les superposer et les souder fortement l'une à l'autre afin d'éviter toute fuite d'eau. Une tôle métallique épaisse à bordure tournée vers le haut, constitue la base du cylindre. Pour consolider ce cylindre, il suffit de souder sur son pourtour trois couronnes métalliques.*

Ce cylindre est muni d'un robinet de vidange situé près de la base. Ce robinet est formé d'un tuyau ouvert inséré dans une ouverture pratiquée à sa surface latérale. Une tige métallique pleine terminée par une boule, est introduite dans ce tuyau. Par l'intermédiaire des rondelles, on accorde au tuyau ouvert et à sa tige des petites cordes capables de serrer les deux pièces pour empêcher les fuites d'eau. Une tige fine recourbée à angle droit, soudée à la boule sert de bras pour faciliter l'ouverture du robinet. Pour être élevé du sol d'une hauteur convenable, trois pieds triangulaires, du même métal, sont fixés à sa base, (fig.2.).

#### 2 - Le réservoir secondaire (appelé par Radwan "al-Kayl")

C'est un petit cylindre semblable à "al-Kayl" qui sert de mesure de capacité pour les matières sèches. Ce cylindre formé du même métal que le réservoir principal, dont la hauteur ne dépasse pas les deux tiers d'empan (presque 14,7 cm), est percé, à sa surface latérale, d'une ouverture carrée faisant face au tuyau ouvert du réservoir principal (البنكان). Ce tuyau est inséré dans cette ouverture tout en remarquant

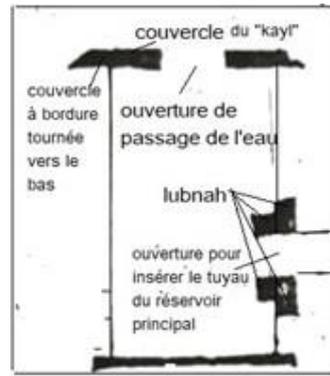
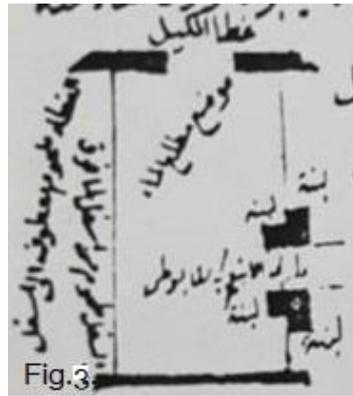


Fig.3- Le réservoir secondaire.- Traité de Radwan al-Sa'ati

que ses bords doivent présenter une courbure facilitant l'écoulement de l'eau. Un couvercle à bordure recourbée vers le bas ferme hermétiquement le cylindre. Ce couvercle est percé, en son centre d'une large ouverture permettant le libre passage de l'eau. Les deux faces de ce cylindre sont étamées par de l'étain (fig.3.).

Radwan mentionne : les bases des deux réservoirs, principal et secondaire, doivent être dans un même plan horizontal(fig.9.).

### 3 - Le réservoir régulateur (appelé par Radwn "al-Rub' ")

C'est un cylindre métallique de même section que le réservoir secondaire " al-Kayl" et de hauteur double. Son couvercle à baïonnette est perforé d'une ouverture circulaire à laquelle on fixe, vers l'intérieur, un petit cylindre métallique plein percé d'une ouverture tronconique prête à recevoir l'index, également tronconique, du flotteur. De part et d'autre de son centre, deux trous sont percés dans ce couvercle, selon un diamètre horizontal, laissant libre passage au fils de soie liés au flotteur. À la surface de ce couvercle et selon un diamètre horizontal on fixe une lame métallique munie d'une bordure tournée vers le bas. Cette lame, plus longue que ce diamètre, portant des crochets à ses deux extrémités, sert à maintenir le couvercle à son cylindre (fig.4.). Ce dernier doit-être monté sur un support en bois ayant la forme d'un tronc de cône, il forme avec son couvercle le réservoir régulateur du débit de l'eau. Sa surface latérale est percée d'une ouverture rectangulaire dans laquelle on introduit un tuyau, qui joue le rôle de pièce femelle (fig.4) dont la pièce mâle est un tuyau cylindrique fixé au centre du disque régulateur d'al-Jaz'a.

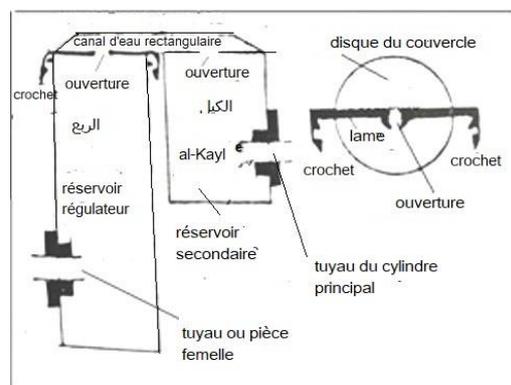
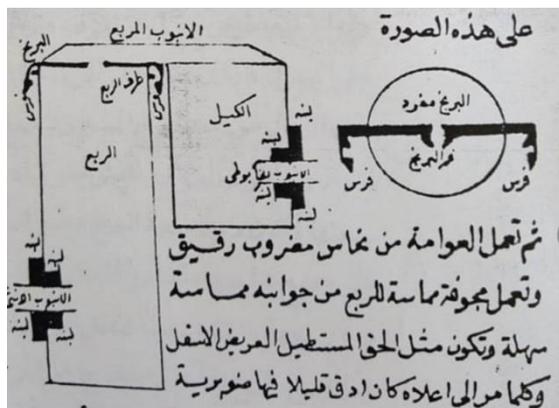


Fig.4- Le réservoir régulateur et le réservoir secondaire rassemblé par le tuyau rectangulaire. Traité de Radwan al-Sa'ati

Afin d'assembler le réservoir secondaire "al-Kayl "et le réservoir régulateur "al-Rub' " Radwan propose ce qui suit :

Un canal formé par tuyau parallélépipédique percé, tout proche de ses deux extrémités, de deux ouvertures, est fixé sur les couvercles des deux réservoirs. Chaque ouverture de ce canal doit coïncider avec l'ouverture correspondante de chaque réservoir. Ainsi l'eau qui monte, de l'ouverture du réservoir secondaire plein, dans le canal, s'écoule par l'ouverture d'al- Rub' pour le remplir (fig.4.).

#### 4 - Les flotteurs

##### a- Flotteur du réservoir principal

Il est formé d'une demi-sphère creuse lestée par deux disques métalliques de diamètres différents. Le plus grand a un diamètre légèrement inférieur à celui du réservoir. Le petit disque concentrique au premier est lesté par du plomb. Ce flotteur porte une tige métallique surmontée d'un anneau suivi d'un crochet et d'un second anneau. Ce dernier reçoit respectivement les chaînes des heures diurnes et nocturnes (fig.5.)

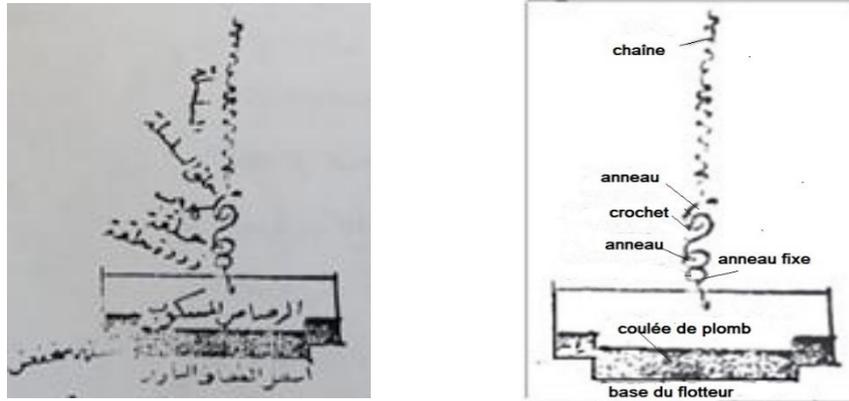


Fig.5- Le flotteur du réservoir principal. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

Dans le texte, Radwan explique comment on pourra assurer ce lest. À ce sujet il dit: " On fait fondre le plomb et on l'étend uniformément sur la surface du petit disque de façon à avoir une couche homogène assez épaisse et on le laisse refroidir. La masse du plomb à étendre doit être de cinq ratl".

##### b- flotteur du réservoir régulateur

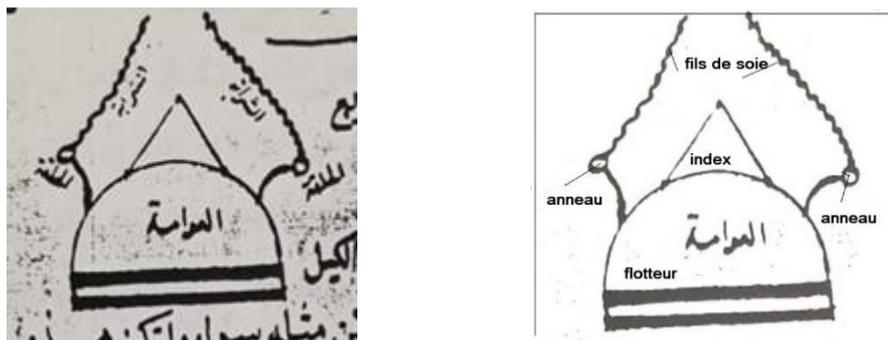


Fig. 6 - Flotteur du réservoir régulateur. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

Il a la forme d'une poire métallique vide très légère à base horizontale, de diamètre légèrement inférieur à celui du réservoir et d'une hauteur égale au tiers de celui d'al-Kayl. Cette poire est surmontée d'un index métallique de forme tronconique capable de s'adhérer à l'ouverture d'eau de son réservoir. Deux anneaux sont soudés de part et d'autre de cet index, auxquels on a fixé des fils de soie (fig.6). Ces derniers sortent du couvercle par des trous qui leur sont associés.

## 5 - Le système régulateur du débit de l'eau

Ce système est formé des éléments suivants:

### a – ( al-jaz'a ) "الجزعة"

Définition de Radwan :

الجزعة الجسم المثقوب من جزع او عقيق او ذهب او نحاس ومنها يخرج الماء.

"Al-Jaz'a, c'est le corps percé, d'onyx, de cornaline, d'or ou de cuivre, duquel l'eau jailli."

Ce corps percé peut être une petite pierre d'onyx, de cornaline ou d'or,

### b -Le tube d'al-Jaz'a " أنبوب الجزعة "

C'est un petit tube vide à extrémités ouvertes, encastré dans le disque d'al-Jaz'a, L'une de ses deux extrémités donne accès au tube recourbé, l'autre est couverte par al-Jaz'a.

### c- Le disque d'al-Jaz'a ( صفيحة الجزعة ) ou disque régulateur

C'est un disque métallique de même diamètre que la partie creuse du plateau des signes du zodiaque, capable de s'encaster dans ce dernier. Au centre de ce disque est fixé, perpendiculairement à son plan, un tuyau (p) appelé par Radwan la pièce mâle dont la pièce femelle est un autre tuyau (q) inséré dans l'ouverture latérale du réservoir régulateur al-Rub'. Le tuyau (p), percé d'une ouverture latérale, peut tourner librement dans le tuyau (q) une fois encastré dans ce dernier. C'est le disque régulateur qu'on tourne dans le plateau des signes du zodiaque qui assure cette rotation.

Un tube recourbé (J), ayant une extrémité fermée munie d'une ouverture latérale, est soudée à l'ouverture du tuyau (p) par son extrémité ouverte, de sorte que ce tube longe verticalement un rayon au dos du disque régulateur. Ce dernier est percé d'un orifice, juste en face de celle du tuyau recourbé (J). Sur le bord, au-dessus de cette ouverture on fixe un index. Ce dernier est une cheville en cuivre jaune à bout pointu. Un autre index identique est fixé au bord du disque en un point distinct opposé au premier selon un diamètre (fig.7.) Un tube vide très fin (t), appelé par Radwan le sifflet الصفارة, est encastré dans l'orifice du disque régulateur, une de ses deux extrémités traverse ce disque et aboutit à l'ouverture latérale au tube recourbé, l'autre extrémité est couverte par al-Jaz'a. Cette dernière sera fixée sur le disque régulateur tout en couvrant l'ouverture de ce dernier. La rotation du disque est assurée par une petite tige fixée perpendiculairement à son plan, près de son périmètre.

*Remarque : le tuyau qui forme la pièce mâle, est percé à son extrémité d'une ouverture fine rectangulaire. Cette extrémité est à l'intérieur du réservoir régulateur al-Rub'. On introduit dans cette ouverture une tige de bois fine capable de maintenir les deux tuyaux l'un à l'intérieur de l'autre au moment du fonctionnement de l'horloge.*

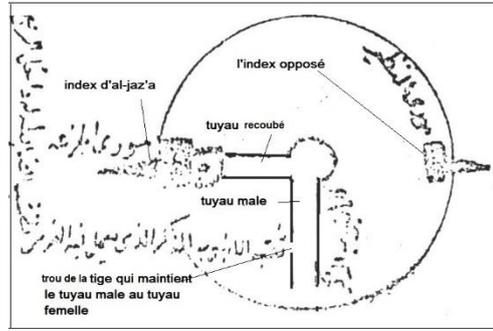


Fig. 7- Position, dans le plateau régulateur, du tube recourbé, du tuyau formant la pièce mâle et les deux index.  
Traité de Radwan al-Sa'ati

#### d- Le tube recourbé (الأنبوب المعوج)

C'est un tube recourbé (J), de longueur égale au rayon du disque régulateur ou un peu moins. Il est percé tout près de son extrémité fermée d'une ouverture laissant un libre passage à l'eau. Ce tuyau est inséré dans l'ouverture pratiquée dans le tuyau (p) de façon à longer un rayon sur le dos du disque tout en le touchant, il doit être bien soudé dans cette position (fig.7.). On insère dans ce tuyau un très petit tube vide (t) qui traverse l'orifice d'al-Jaz'a puis on soude al- Jaz'a sur le disque régulateur tout en cachant le petit tube et l'ouverture déjà pratiquée en face de l'ouverture du tube recourbé.

#### e- Le plateau des signes du zodiaque (صينية البروج)

Ce plateau est formé d'un disque métallique divisé en quatre parties égales par deux diamètres perpendiculaires. Chaque partie est divisée en trois secteurs égaux. On inscrit dans chaque secteur le nom d'un signe du zodiaque en commençant par le Bélier à partir de l'origine trigonométrique et en tournant dans le sens positif.

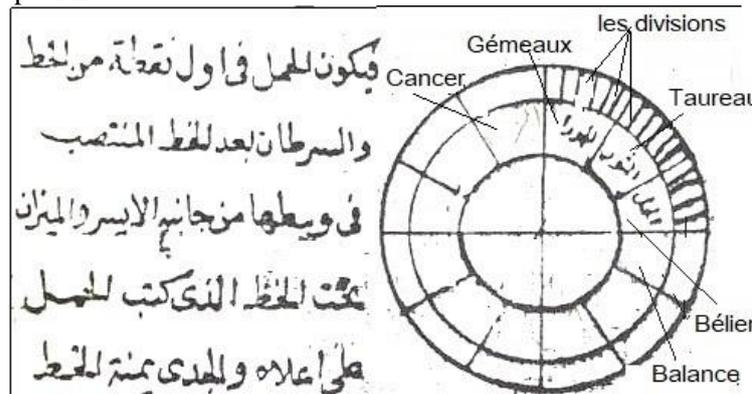


Fig.8- Le cercle complet des signes du zodiaque. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

Une couronne est tracée autour des signes du zodiaque. On trace dans cette couronne, au-dessus de chaque signe, six traits équidistants (fig.8). Ce plateau est fixé, en son centre et perpendiculairement à son plan, au tuyau (q) formant la pièce femelle de l'ouverture latérale d'al-Rub'.

*Remarque : Radwan explique les avantages du cercle entier du plateau des signes du zodiaque au demi-cercle comme suit : " Nous avons favorisé le cercle complet pour les signes du zodiaque au demi -cercle proposé par Archimède. Dans le cas du cercle entier les heures diurnes sont marqués par la position d'al-Jaz' à sa position initiale et les nocturnes par sa position à son opposé. Ainsi, le débit d'eau est équilibré avec le temps écoulé.*

*Pour le demi- cercle, la situation n'est pas la même, car chaque signe n'a pas son opposé. Concernant le cercle complet : lorsque le soleil se trouve sur le signe du Gémeaux, le tube d'al-Jaz'a pointe les signes appartenant au demi-cercle supérieur, dans ce cas, le débit de l'eau est faible et correspond à la longueur de cette journée. La nuit le tube d'al-Jaz'a sera tournée vers le signe opposé (le Sagitaire), elle occupera une position dans le demi-cercle inférieur et le débit de l'eau sera plus fort. Ainsi la longueur du jour avec un faible débit correspond à la courte durée de la nuit avec un fort débit."*

## Montage des éléments

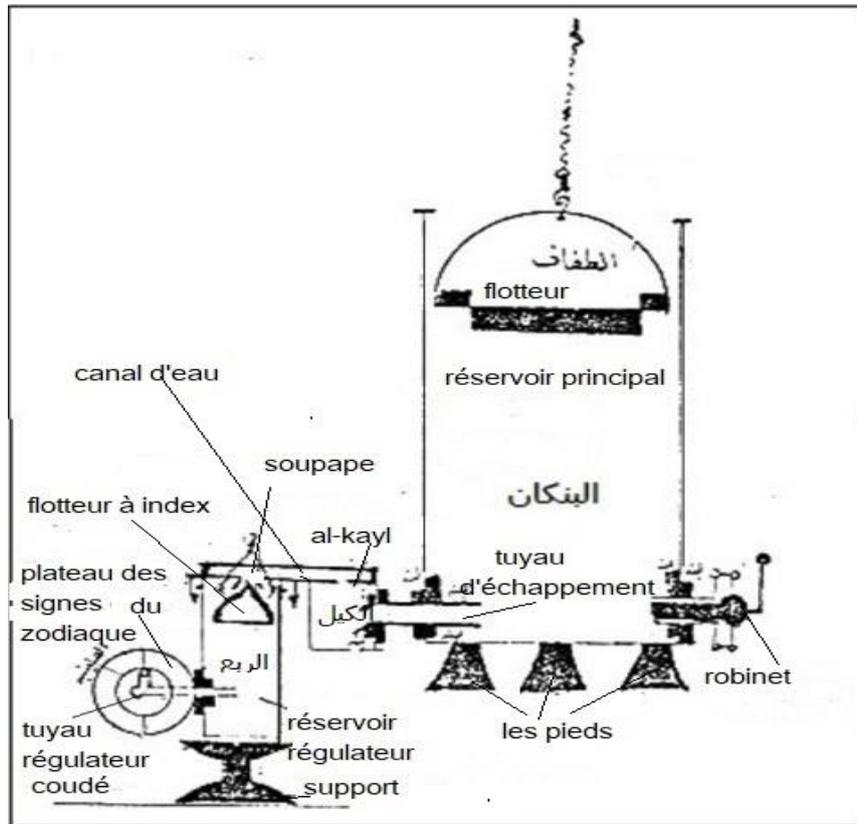


Fig . 9-. Les éléments précédemment décrits, rassemblés. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

On distingue le réservoir principal al-Binkan, (البنكان) monté sur ses trois pieds. Il est muni de son robinet et de son flotteur. Ce dernier est suspendue par une chaîne. Le réservoir secondaire al-kayl (الكيل) est relié au réservoir principal par le gros tuyau d'échappement. Le réservoir régulateur al-Rub' (الربيع) muni de son flotteur à index tronconique, communique avec le réservoir secondaire par le canal rectangulaire qui permet le libre passage de l'eau. Le plateau des signes du zodiaque avec son disque régulateur et son tuyau coudé (fig.9.).

*On remarque que les bases du réservoir principal et celle d'al-Kayl, appartiennent à un même plan horizontal.*

## Description des éléments indicateurs du temps de l'horloge.

### 1 - Les colonnes et les portes

Tout le mécanisme de l'horloge monumentale de Radwan est encastré dans une chambre rectangulaire assez rigide construite en pierres cimentées. Dans la façade de cette chambre on pratique une ouverture rectangulaire dans laquelle on monte douze colonnes équidistantes en cuivre rouge. Ces colonnes de forme plate vers l'intérieur et arrondie vers l'extérieur, sont

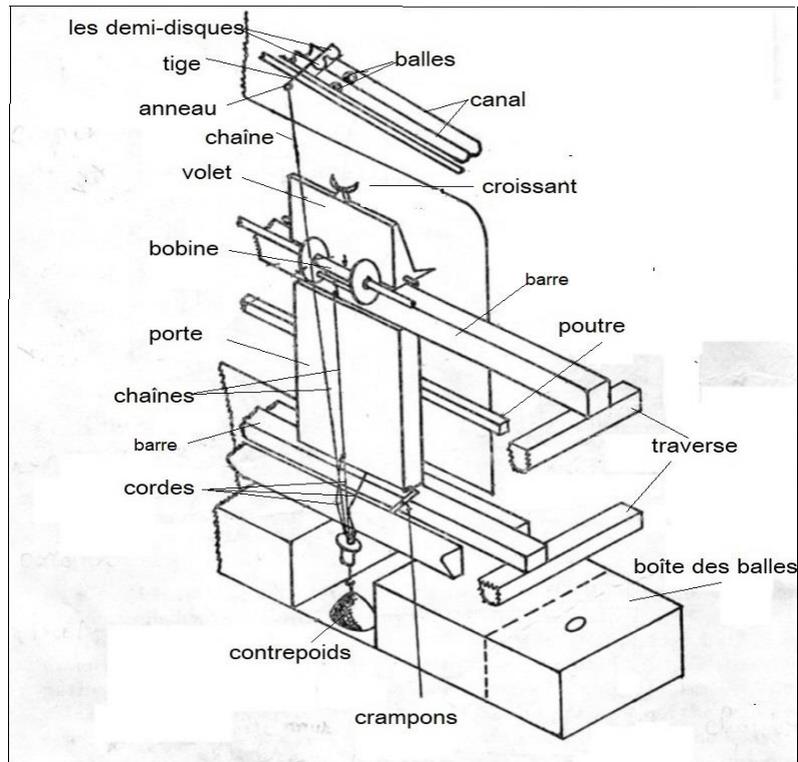


Fig.10. – la porte et ses accessoires

décorées par des clous dorés et incrustées de gravures variées. Elles sont percées des deux côtés, tout près du sommet, de petits trous capables de recevoir les tenons des volets. Entre deux colonnes se dresse une porte mobile autour d'un axe de rotation vertical (fig.10). Un crampon maintient cette porte dans sa position d'équilibre stable. Deux tenons saillants sont fixés, sur chaque porte, de part et d'autre de son axe de rotation. Deux barres de cuivre rouge sont fixées au-dessus et en dessous des portes. Ces barres sont dorées et percées chacune de douze trous faisant face aux tenons des portes. Une chambre réservée au contrepois est construite au-dessous des portes. La rotation de ces dernières est assurée par des chaînes métalliques qui lient les tenons au contrepois, et des cordes de soie pour la rotation des volets.

Pour reconnaître les fractions d'heures, Radwan propose la méthode suivante: *On prend une lame métallique de longueur égale à la distance qui couvre les douze portes. On la divise en douze parties égales dont chacune renferme douze divisions équidistantes, on aura en tout 144 divisions (12x12). On perce un trou à chaque division et on le bouche par un clou à tête dorée. La lame est fixée devant les portes de sorte que l'une de ses deux extrémités précède la première porte d'une distance égale à la moitié de sa largeur, l'autre extrémité se trouve alors au milieu de la dernière porte. Le déplacement du croissant sur cette lame permet de mesurer la moitié du sixième de l'heure soit 5 mn ( $60 : 6 = 10$ ,  $10 : 2 = 5$ ).*

## 2 - Les volets

Dans chaque arc qui surmonte la porte se dresse un volet. Ce dernier est une plaque carrée mince de cuivre rouge avec une base beaucoup plus épaisse en forme d'un trapèze. De part et d'autre de cette base on fixe un tenon capable de tourner dans les trous des colonnes pour entraîner la rotation du volet. Au milieu du côté horizontal de ce dernier, on fixe une tige de cuivre jaune terminée par un croissant doré. La rotation du volet permet au croissant d'occuper deux positions : l'une d'elle montre la tige portant le croissant se dressant verticalement tandis que l'autre montre cette même tige horizontale. Une longue bobine (al-barbakh) est associée à chaque volet.

D'après Radwan : « Cette bobine est formée de deux petits disques perforés en leur centre laissant passer une tige de fer autour duquel ils peuvent tourner. Cette tige longe la longueur de la barre horizontale qui surmonte les portes. Les deux disques sont reliés entre eux par une petite tige dont les deux extrémités sont soudées sur leurs surfaces près du périmètre. Sur cette tige, de longueur égale à la largeur d'une porte, est soudé un crochet auquel on noue les cordes de soie du volet ».

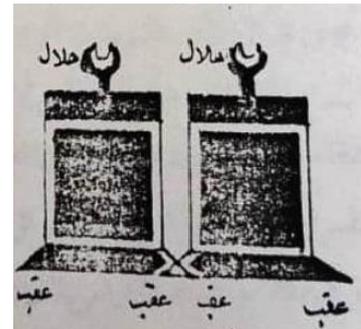


Fig.11- Les volets.-Traité de Radwan al-Sa'ati

« Pour faire tourner le volet il faut :

- a- Percer un premier trou, d'avant en arrière, au fond de la plaque mince du volet. Un second trou commençant en haut de la base épaisse la traverse pour sortir par son fond.
- b- Faire passer une corde de soie, respectivement, par le premier et le second trou et la nouer au crochet de la bobine correspondant à ce volet. L'autre extrémité de la corde porte un nœud capable de la maintenir en place.

Lorsque la porte tourne, son contrepoids tire la chaîne liée à la bobine. Cette dernière tourne, attire la corde du volet pour la basculer et faire redresser son croissant verticalement ».

### 3- Les contrepoids des portes

Le contrepoids de 900 dirhams (2,25 kg) en forme d'une poire métallique terminée en son sommet par un anneau auquel on a accroché une tige portant trois petits anneaux. À l'un de ces anneaux on noue un fil de soie qui se rattache aux tenons des portes. Au second anneau on relie l'extrémité de la corde du mécanisme de déclenchement des balles. Au troisième, on attache une corde reliée à la bobine du volet.

### 4-Le traineau (la souris)

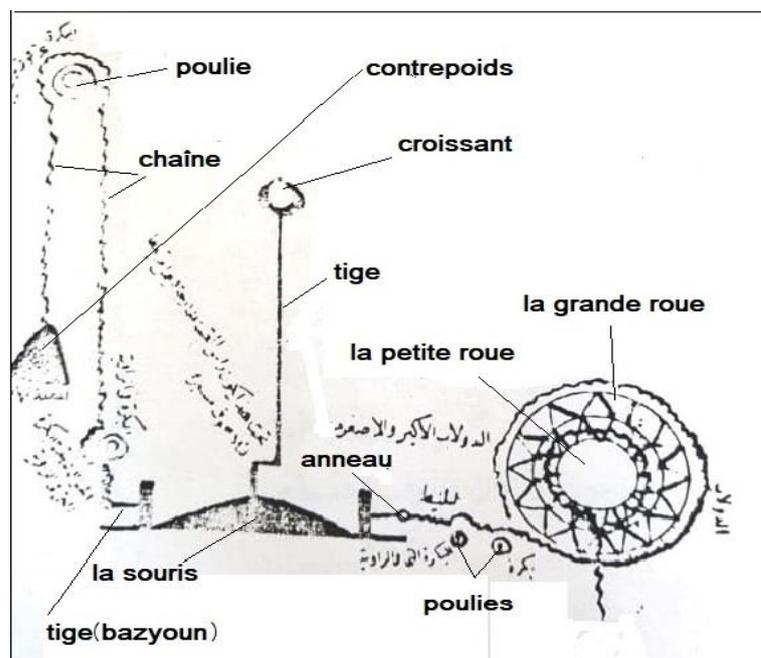


Fig.12- La souris avec ses accessoires et les roues des heures diurnes. -Traité de Radwan al-Sa'ati

Un petit traineau, appelé la souris, selon sa forme, porte un petit index vertical surmonté d'un croissant métallique doré. Ce traineau se déplace sur le plan horizontal formé par le plafond des chambres des contrepoids. Son mouvement est entraîné par deux chaînes fixées à deux

anneaux solidaires à son corps. L'une d'elles s'enroule sur la gorge de la grande roue des heures diurnes, l'autre s'enroule sur la gorge d'une poulie et se termine par un contrepoids.

Une petite tige de cuivre (al-Bazyoun اليزيون) fixée au corps de la souris, (fig.12) est capable de décrocher le crampon de la porte pour lui permettre une rotation libre autour de son axe vertical. Cette rotation est entraînée par des cordes qui lient chaque porte à son contrepoids.

## 5 – Les faucons

Le corps métallique du faucon est mobile autour d'un axe horizontal. Un contrepoids assure le redressement de ce corps une fois incliné. Le bec du faucon, mobile autour d'un axe horizontal, s'ouvre sous l'action du poids de la balle et se referme dès que le faucon se redresse (fig.13). Au-dessous du bec de chaque faucon, on fixe, sur un support en bois bien décoré, un grand bol métallique muni d'un tuyau qui donne accès à la chambre des balles. En son centre, on fixe un miroir métallique. Le choc entre le miroir et la balle fait entendre un son qui résonne pour indiquer le passage d'une heure.

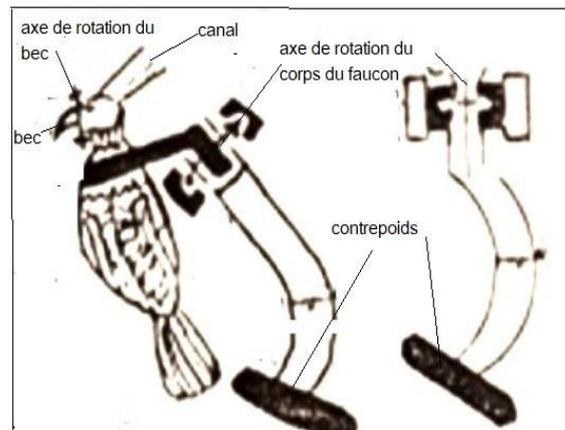


Fig .13- Les faucons. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

## 6- Les balles et leur mécanisme de déclenchement

Les balles au nombre de vingt-quatre, sont des sphères métalliques vides qui, une fois libérées, se déplacent dans des canaux pour arriver à la tête des faucons. Un mécanisme de déclenchement est capable de libérer deux balles à chaque heure dont chacune roule dans son propre canal.

Le canal principal possède deux conduits bien soudés entre eux. A chaque conduit on accorde, dans des directions convenables, d'autres identiques pour aboutir à la tête d'un faucon.

*D'après Radwan : « Pour assurer un bon roulement, le diamètre des conduits doit être légèrement inférieur à celui des balles. Ces conduits sont au nombre de sept (fig-1) cinq principaux auxquels on ajoute deux autres pour les faucons ».*

Le déclenchement des balles, deux à deux, est assuré par une tige portant à l'une de ses deux extrémités un anneau tandis que l'autre est munie de deux demi-disques qui s'insèrent dans les conduits du canal principal. Chacun de ces demi-disques emprisonne une balle pour la libérer au moment voulu. Une tige identique, à celle précédemment décrite, est associée à chaque porte. Elle est reliée par une chaîne à son contrepoids (fig. 10.)

On compte ainsi douze tiges équidistantes dans le canal principal (fig.1.).

## 7 – Les roues

Deux roues coaxiales forment les roues des heures diurnes. La plus grande est une simple couronne très légère en bois sec, sur sa gorge s'enroule une chaîne reliée à la souris. Son

périmètre est égal à la distance parcourue par la souris pendant une journée. Son axe métallique en cuivre jaune est relié à sa couronne par des tringles en bois. Sur la gorge de la petite roue, également en bois mais pleine, s'enroule une chaîne reliée au flotteur du réservoir principal.

« Radwan précise que cette roue a un diamètre égal au tiers de celui de la grande roue, afin qu'à chaque tour de la grande roue correspond un tour de la petite (fig -12-15.) ».

### Description des éléments des heures nocturnes

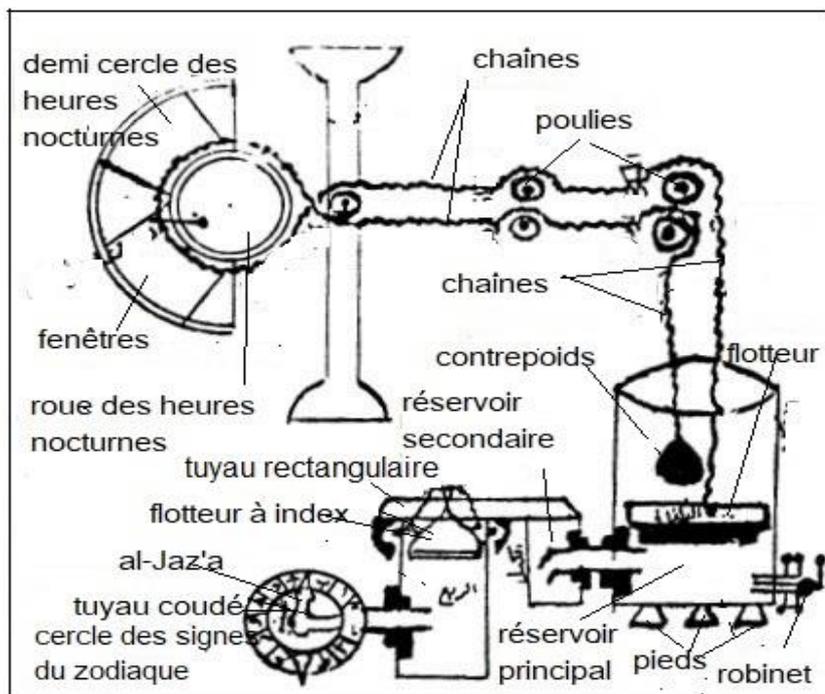


Fig .14- Montage des éléments des heures nocturnes. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

Les heures nocturnes sont indiquées par les douze ouvertures pratiquées dans la façade de bois de l'horloge. Ces ouvertures rondes appartiennent à la couronne d'un demi-cercle. Chaque ouverture est fermée par un disque de verre opaque de mêmes dimensions. Un cadre de cuivre rouge ajouré, orné de dorures, est ajusté à ces ouvertures afin de les fixer dans leur position durant le fonctionnement de l'horloge. Ces ouvertures se nomment "al-Jamat" الجامات genre de petites fenêtres.

Un demi-disque léger de bois, d'épaisseur de la largeur de la phalange du pouce, fixé sur l'axe de l'arc des fenêtres, couvre ces dernières, sa rotation permet de les dévoiler une à une. Une fois toutes les fenêtres dévoilées, le demi -disque forme avec le demi-cercle de la couronne des fenêtres, un cercle complet.

À ce même axe on fixe la roue des heures nocturnes. C'est un disque lourd de bois à rainure périphérique sur laquelle s'enroule une chaîne. Cette dernière s'attache par l'intermédiaire des poulies, d'une part au flotteur du réservoir principal et d'autre part à un contre-poids(fig.14).

« Radwan précise que cette roue doit avoir une épaisseur trois fois plus grande que celle du demi-disque. »

## Les heures solaires ou l'horloge solaire

La définition donnée par Radwan : « ...les heures solaires forment le mécanisme le plus important de l'horloge . Le disque solaire se déplace parallèlement au mouvement du soleil dans le ciel, il apparaît avec l'apparition du soleil et disparaît avec sa disparition. À midi ,ce disque se place au centre du cercle des signes du zodiaque ...ce disque nous permet de vérifier le bon fonctionnement de l'horloge.de sorte que si le soleil monte dans le ciel l'équivalent de deux heures, on aperçoit un seul signe des douze signes du zodiaque . Et si le soleil se trouve au centre de la voûte céleste le disque solaire sera au milieu du cercle des signes du zodiaque. On aperçoit alors trois signes et le temps passé est de six heures... »

L'horloge solaire est formée des éléments suivants :

### a- Le disque des signes du zodiaque

C'est un cercle complet, possédant, sur son périmètre, une couronne divisée en douze parties égales, chaque partie renfermant un cercle indiquant un des signes de zodiaque. Chaque signe est percé de trois trous équidistants de sorte que le soleil puisse en occuper, respectivement les trois positions durant un mois. Ce cercle a le même périmètre que la roue des heures diurnes, son centre est percé d'une ouverture circulaire de diamètre légèrement supérieur à celui de son axe de rotation (fig.18).

### b- Le soleil et son plateau.

C'est un disque métallique mince, de diamètre légèrement inférieur à celui du petit cercle d'un des signes de zodiaque, sur lequel est dessiné, en noir, le soleil et son nom. Une petite plaque rectangulaire mince, percée, à chaque extrémité d'un trou carré, est fixée sur le périmètre du disque du soleil (fig.18.).

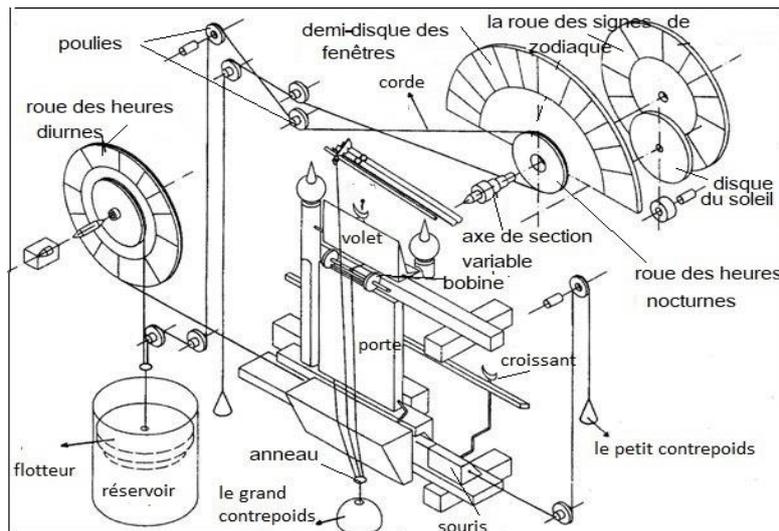


Fig.15- Montage groupant : les heures diurne, nocturnes et l'horloge solaire.

Dans l'un de ces trous s'insère dans l'axe de rotation, tandis que l'autre est attaché par un clou à l'un des trous percés au périmètre de la roue des signes du zodiaque. Le disque du soleil doit dépasser le périmètre de cette dernière roue

D'après Radwan : Le disque du soleil est toujours rattaché au cercle des signes du zodiaque par un clou qui rentre, d'une part dans l'ouverture pratiquée dans la plaque du soleil et d'autre part dans l'un des trous percés sur le plateau des signes de zodiaque. Tous les dix jours il faut déplacer

le clou successivement dans chacun des trous précédemment signalés. De cette façon le soleil parcourt 10 degrés d'un clou à l'autre soit 30 degrés par mois. On s'aperçoit que le soleil apparaît à la fin du signe vers la fin du mois, au milieu vers la moitié de ce mois, et au début, le premier du mois (fig.18.).

D'autre part il faut fixer le disque du soleil à son axe de rotation de sorte que lorsque le demi-cercle cache les fenêtres des heures nocturnes, le soleil sera au-dessous de l'est de l'horizon.

### c- L'horizon de l'horloge solaire

C'est un rectangle en bois mince orné de dorure, de largeur égale au diamètre du cercle des heures nocturne et de longueur convenable. On le fixe devant le mur des horloges à une distance de quatre doigts joints, de sorte que le côté de sa largeur soit parallèle au diamètre du cercle des heures nocturnes. C'est dans cette espace que doit tourner l'horloge solaire avec tous ses éléments.

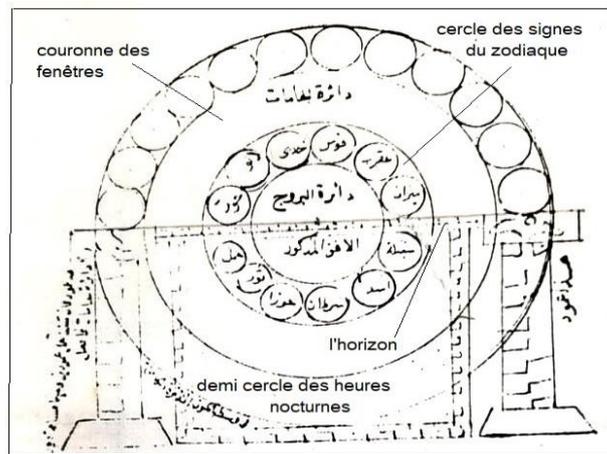


Fig .16 – L'horizon de l'horloge solaire. -Traité de Radwan al'Sa'ati

On fixe des deux côtés de cet horizon, deux colonnes bien décorées, reliées par une base, de sorte que les ouvertures des heures nocturnes aient l'aspect d'un mihrab au centre duquel apparaît l'horloge solaire. Cet horizon cache la moitié inférieure du cercle des signes du zodiaque. Ainsi, lorsque le signe du bélier apparaît, son signe opposé, la balance sera cachée sous l'horizon (fig. 16.).

### d- L'axe de rotation de la roue des heures nocturnes et de l'horloge solaire

La rotation des roues et des disques précédemment décrits est entraînée par un axe à sections variables. Cet axe de cuivre possède deux grandes sections carrées de grandeur différente dont chacune est suivie par une section circulaire. À ces sections peuvent s'adapter des roues l'une à la suite de l'autre afin de tourner sur un même axe. Cet axe traverse le centre de l'arc des fenêtres fixé au mur.

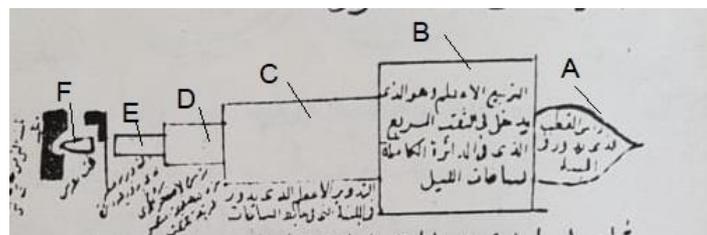


Fig.17 – Axe à sections variables. -Traité de Radwan al-Sa'ati.

Radwan précise comment faut-il perfectionner cet axe : « ... C'est un axe métallique vide de cuivre de longueur 1,5 empan . Son extrémité ronde et pointue tourne dans al-Lubnah fixé au centre du demi-cercle. Cet axe est limé d'une section carrée identique à celle du cercle complet de sorte que l'extrémité de l'axe soit en relief pour s'encaster et tourner dans al-Lubnah fixé au centre du cercle hélicoïdal. Par le même moyen ciseler une section circulaire, une autre carrée plus petite et une dernière circulaire, qui suivent la première section. Ainsi on aboutit à l'autre extrémité de l'axe également pointue qui tourne dans al-lubnah de l'horizon des heures solaires... ».

Le montage des roues se fait comme suit :

A : L'extrémité pointue de l'axe qui tourne dans al-Lubnah pratiqué au centre du cercle hélicoïdal

B : La grande section carrée qui porte la roue des heures diurnes et le demi-cercle.

C ; La grande section circulaire .

D : La petite section carré qui porte le disque du soleil.

E : la petite section circulaire autour duquel tourne le disque des signes du zodiaque.

F : L'extrémité pointue de l'axe qui tourne dans al-Lubnah de l'horizon des heures solaires.

J ; La roue des heures nocturnes.

L : le clou qui rattache le disque du soleil à celui des signes du zodiaque.

M : le disque du soleil.

N : Les trous du disque des signes du zodiaque.

P : le demi-cercle qui cache les fenêtres.

q : le disque des signes du zodiaque dont le diamètre du trou centrale doit être légèrement supérieur à celui de la petite section circulaire de l'axe..

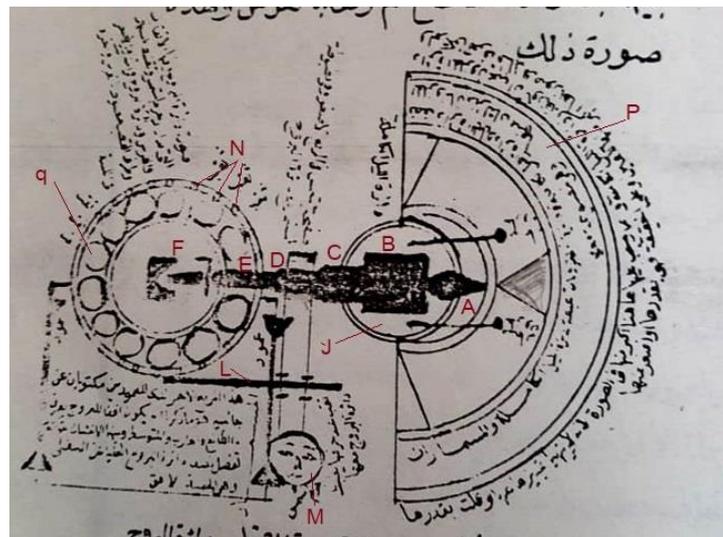


Fig .18. – Montage complet- Horloge solaire, roue des heures nocturnes avec ses accessoires –  
Traité de Radwan al'Sa'ati

Remarque : Dans la phrase suivante : « ...l'extrémité pointue de l'axe tourne dans al-Lubnah fixée au centre du cercle hélicoïdal ... »

Radwan n'explique pas comment ce cercle est hélicoïdal.

## Fonctionnement de l'horloge

D'après la description de Radwan : « Une fois toutes ces pièces accordées et l'horloge montée, il suffit de relier les chaînes pour la mettre en marche. À cette fin, à l'aube on remplit le réservoir principal jusqu'au niveau demandé. La soupape du réservoir régulateur étant toujours fermée, on tourne l'index du tube recourbé sur le degré qui convient à ce jour. La souris est placée à sa position initiale; cette position doit se trouver à une distance, du centre de la première porte, égale à la largeur d'une porte.

On ouvre la soupape d'al- Rub' en dénouant les fils qui la rattache au tuyau rectangulaire. L'eau s'écoule et gagne l'orifice régulateur (al-Jaz'a) à travers les tuyaux rassemblés à cette fin. L'écoulement de l'eau, par l'orifice d'(al-Jaz'a,) fait baisser son niveau dans le réservoir principal. Le grand flotteur suit ce niveau, tire la chaîne enroulée sur la gorge de la petite roue des heures diurnes et entraîne sa rotation. La grande roue des heures diurnes tourne entraînant le déplacement de la souris. Le croissant de cette dernière parcourt les clous de la lame métallique indiquant le déroulement du temps toutes les cinq minutes. Une heure passée, la petite tige de la souris (al-Bazyoun) décroche le crampon de la première porte pour la libérer. Cette dernière tourne d'un angle de 180 degrés et présente sa face postérieure. Le contrepoids descend et déclenche deux mouvements: La bobine tourne, bouleverse le volet pour que son croissant se redresse verticalement, et la tige à demi-cylindre se soulève pour libérer deux balles dont chacune se dirige vers la tête d'un faucon à travers son propre canal. Les faucons se penchent, crachent les balles et se redressent sous l'action des contrepoids. L'écoulement de l'eau continu, la souris suit son chemin et le même phénomène se reproduit à chaque heure.

À la tombée de la nuit chaque porte aura changé de face et chaque volet aura redressé verticalement son index et toutes les balles auront été déchargées.

Pour lire les heures nocturnes, on déconnecte la chaîne de la souris reliée au flotteur et on accroche ce dernier à la chaîne de la roue des heures nocturnes. Dès que l'eau s'écoule de l'orifice régulateur, le flotteur du réservoir principal se déplace entraînant la rotation de la roue des heures nocturnes, du plateau du soleil et du demi-disque. Ce dernier dévoile à chaque heure une fenêtre éclairée par la lampe. À la fin de la nuit, toutes les fenêtres s'illuminent ».

Radwan fait remarquer qu'il faut déplacer, tous les cinq jours al-Jaz'a d'un trait, des six tracés dans chaque signe du zodiaque.

Au lever du jour, le soleil apparait occupant sa position sur l'un des signes du zodiaque.

Radwan mentionne ce qui suit : « Concernant la rotation du demi-cercle, la corde de la roue des heures nocturnes doit être enroulée de la façon suivante : On prend une corde formée par un gros fil trop long, bien tordu dont on vérifie la ténacité en lui accrochant un lourd contrepoids. On noue le milieu de cette corde à un clou fixé à l'extrémité d'un diamètre horizontal de la roue des heures nocturnes (fig. 18.). La première moitié de cette corde sera enroulée sur la gorge de cette roue en la faisant passer par la moitié supérieure du périmètre tandis que l'autre sera enroulée dans le sens contraire. Par cet enroulement, quand la roue tourne chaque moitié de la corde fait tourner le demi-cercle dans son propre sens.

Pour plus de précision, si on accroche l'une des deux extrémités de cette corde au flotteur et l'autre au contrepoids, et que l'horloge fonctionne, le demi-cercle, actionné par la rotation de la roue, tourne de gauche à droite pour couvrir ou dévoiler les fenêtres. Cependant, si on accroche l'extrémité de l'autre moitié au flotteur, le demi-cercle tourne de droite à gauche.

Par cet enroulement, le demi-cercle reste en fonction jour et nuit, durant le jour les fenêtres seront fermées par le demi-cercle et la nuit elles seront respectivement illuminées. Si l'on veut inverser le sens

*de rotation du demi-cercle, il suffit de fixer le clou à l'autre extrémité du diamètre horizontal de la roues des heures nocturnes ».*

*D'ailleurs Radwan propose que le disque des signes du zodiaque de l'horloge solaire et le plateau du soleil, soient cachés derrière le mur de l'horloge et qu'une ouverture carrée dans ce mur permet de dévoiler le soleil dans sa position sur l'un des signes du zodiaque, durant le fonctionnement de l'horloge.*

### **Les altérations qui peuvent affecter l'horloge et les précautions à prendre pour le bon fonctionnement de l'appareil.**

C'est dans le dernier chapitre de ce traité que Radwan mentionne ces altérations (page 186 à 197). Vu qu'il y a beaucoup de répétitions nous retenons l'essentiel. D'ailleurs al- Sa'ati débute son chapitre par cette phrase : *'' Ce qui est expliqué dans ce chapitre est déjà mentionné dans le texte. J'ai choisi de le répéter pour qu'on puisse en profiter ''*.

*« Ces altérations touchent les flotteurs, les réservoirs, les tuyaux d'eau, les contrepoids, les chaînes, les cordes, les poulies, les roues, les rails, les canaux des balles ...etc  
Si une pièce se casse on la remplace, mais le tube recourbé doit fonctionner à long terme, pour cela il faut faire attention à ce que la boue ne la bouche pour garder un bon débit d'eau. Si cela arrive il faut le démonter, le laver et souffler fortement à l'intérieur, même remplir la bouche d'eau et souffler dans le tuyau pour le débarrasser des résidus de l'eau.*

*Concernant les chaînes il faut faire attention à leur rigidité, empêcher toute souplesse et faire attention aux nœuds qui peuvent se former. De même pour les cordes il faut se méfier de leur extension. À cette fin il suffit de tracer deux traits parallèles, l'un sur la corde et l'autre sur le mur opposé. Observer le lendemain leur parallélisme, s'il ne se coïncide pas il faut réparer cette extension. Si ces cordes se durcissent il faut les assouplir avec du savon.*

*Il faut toujours surveiller les réservoirs pour signaler toute fuite d'eau et renforcer les soudures. Les axes de rotation des roues doivent être lubrifié pour assurer une bonne rotation. Pour la fabrication des roues, il faut choisir du bois ancien, le laisser durcir avant de l'utiliser. Les roues peuvent s'alourdir par l'accumulation des poussières, il faut les brosser.*

*Pour la souris, il faut s'assurer que son rail est lisse, sa trajectoire libre et son croissant n'est, ni trop lourd ni trop léger.*

La lubrification des tenons des portes et des volets est très importante.

La forme des balles doit être parfaite et leurs canaux peu profonds pour faciliter leur roulement.

Le demi-cercle des heures nocturnes doit être bien fixé au mur afin qu'il ne se renverse pas durant le fonctionnement de l'horloge. La couronne de la roue de ces mêmes heures doit être lisse et plus étroite que le diamètre de la corde afin d'assurer une bonne rotation.

Les contrepoids doivent être bien réglé, ni trop lourds, ni trop légers.

Il ne faut pas oublier de renverser l'enroulement des deux moitiés de la corde sur la gorge de la roue des heures nocturnes, sans quoi le demi-disque qui dévoile les fenêtres illuminées fonctionne dans un seul sens.

Radwan mentionne également la fabrication de chaque élément tout en précisant ses dimensions, la nature de la matière utilisée, la façon de la manipuler. Il n'oublie pas de mentionner les détails des ornements nécessaires pour l'horloge.

En conclusion, à la lumière de cette description détaillée et précise, nous ne pouvons pas ignorer le talent de Radwan en tant que technicien expert dans le domaine de la mécanique horlogère.

### Les unités de mesures

#### Description des anciennes unités de mesure adoptées, basées sur la main :

- 1 empan varie entre 20 et 22cm
- Largeur d'un doigt varie entre 1,85 et 2 cm
- Une phalange varie entre 2 et 2,22 cm

#### D'autres unités de mesure

- Plusieurs valeurs ont été adoptées pour 1 dirham; 1,5g, 2,5g, 3g

Dans notre étude nous avons utilisé les mesures suivantes :

- 1 empan = 22cm
- Largeur d'un doigt = 2cm
- 1 dirham = 2,5g
- 1 ratl = 1,5 kg (moyen âge -monde arabe)

N.B. Toutes les figures tirées du traité de Radwan sont annotées.

### Notes

- 1- Al-Jahiz, de son vrai nom Abu Uthmân Amrû ibn Baḥr Mahbûn al-Kinânî al-Lîthî al-Baṣrî est un écrivain, encyclopédiste et polygraphe arabe. (159 H/781 ap.J.C – 225 H/886 apr.J.C). الجاحظ ، كتاب "الحيوان" الجزء الأول والثاني -دار المعارف للطباعة والنشر سوسة -تونس 1993
- 2-Abu- Hamed Muhammad ibn Muhammad al-Gazali théologien, philosophe et juriste (450H/1058 apr.J.C- 505H/1111 apr.J.C.)  
محمد بن محمد الغزالي " المقصد الأسنى في شرح أسماء الله الحسنى " في مقطع الشرح عن معنى "الحكم
- 3- *Rihlat Ibn jubayr*, édition Dar Sader Beyrouth-Liban 1985 p. 243
- 4- .B.R. Sanguinetti and C.Defremery, *Voyages* (texte arabe suivi d'une traduction française) paris 1853 , vol. I, p.209
- 5- H.Suter, '*Die mathematiker und Astronomer der Araber und ihre Werke*', Abhandl.zur Gesh. Der mathematischen Wissenschaften, 10(1900)
- 6- George Sarton, *Intrduction to the History of science* (Baltimor,1927-1947),3vols.
- 7- Ed. A.Muller *Ibn Abi Usaybi'a AU, Uyun al-anba*, , 2 vols.(Cairo, 1882
- 8- E.Wiedeman, .and F. Hauser, "*Über die Uhren in bereich der Islamischen Kultur* (Hall 1915. 1-272
- 9- Donald R. Hill, *Arabic Water -Clock* -University of Aleppo -Institute for the History of Arabic science Aleppo, Syria 1981.
- 10- ,Fuat Sezgin .  
*Eilhard Wiedemann , Gesammelte Schriften, zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte Gesammelt und bearb, von Dorothea Girke Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, 1984,3 vols.*
- 11- Abdel Aziz al-Jaraki.*From Frankfurt and Cairo to Damascus: Recent Models of the Umayyad Mosque Clock*  
" <https://muslimheritage.com/recent-models-umayyad-clock/> Published on: 6th January 2011

And

12 - Ridwan b. Muhammad al-Sa'ati, 'Ilm al-Sa'at wa al-'Amal biha", édité par Muhammad Ahmad Dahman. Damas: Maktab al-dirasat al-islamiyya, 1981".

---

## Appendice

Dans cette étude nous nous sommes limités à la description des éléments de l'horloge sans trop entrer dans les détails de la construction. Pourtant quatre passages méritent d'être signalés.

Nous abordons une traduction littérale :

### 1- Tube recourbé : Un manque de précision dans la forme du tube recourbé.

À plusieurs reprises, Radwan mentionne dans le texte Le tube recourbé الأنبوب المعوج sans toutefois y préciser la forme de la courbure de ce tube. Ce dernier est signalé dans les pages suivantes :

« Moi j'ai inventé le tube recourbé signalé à l'intérieur, ainsi si on tourne al-Jaz'a sur les signes du zodiaque mentionnés à la moitié supérieur du disque, ce tube sera dirigé verticalement vers le haut et le débit de l'eau est faible. Cependant si al-Jaz'a est tournée vers les signes opposés le tube sera dirigé vers le bas et le débit de l'eau est plus fort ...page 16 »

« : ... le grand tuyau, la femelle, collé au plateau, le tuyau mâle lié au disque d'al-Jaz'z et au tube recourbé ». ( page 17)

«... le tube d'al-jaza'a c'est celui qui est fixé à la surface du disque d'al-Jaz'a et sortant de cette surface pour aboutir au tube recourbé ... ». ( page 19)

« ... Le tube recourbé, c'est le tube collé au dos du disque d'al-Jaz'a,, l'une de ses deux extrémités est lié au tuyau mâle duquel il reçoit l'eau. L'autre extrémité est reliée au tuyau d'al-Jaz'a ... » (page20).

« ...puis vous faites le tube recourbé. C'est un tube de longueur égale à la moitié du diamètre du disque d'al-Jaz'a ou un peu moins. De diamètre légèrement supérieur à celui du tuyau mâle. Son extrémité reliée à ce dernier est percée d'une ouverture qui coïncide avec l'ouverture du tuyau mâle afin que l'eau puisse circuler librement. Une ouverture latérale sera pratiquée tout près de l'autre extrémité. Vous soudez proprement le tube recourbé, vous y ajoutez du plomb pour le consolider. On obtient alors le tuyau mâle en position vertical au centre du disque d'al-Jaz'a et le tube recourbé longe le rayon au dos du disque tout en ayant une extrémité reliée au tuyau mâle pour laisser passer l'eau et l'autre extrémité libère l'eau au tube d'al-Jaz'a ... ». (pages 55-56)

### 2 - Porteur hélicoïdal : manque de précision dans la description de la forme hélicoïdale.

Mon père a inventé le porteur hélicoïdal des heures diurnes ». (page 13)

« ...puis faites le porteur du demi-cercle de la nuit et de son cercle complet de l'intérieur et ceci de plusieurs façons. Ce que mon père a inventé revient à faire un cercle identique au cercle de la nuit de même épaisseur, au centre duquel vous fixez une pièce métallique carrée, creuse (al-Lubnah) dans lequel tourne l'extrémité de l'axe. Cette pièce sera percée de deux trous hélicoïdaux en faces de deux trous également hélicoïdaux aménagés dans le cercle complet. Faites insérer l'extrémité de l'axe dans

cette pièce, puis fixer les deux ensembles par de clous hélicoïdaux en bois de sorte qu'ils forment une seule pièce- fig.19». (page 108)

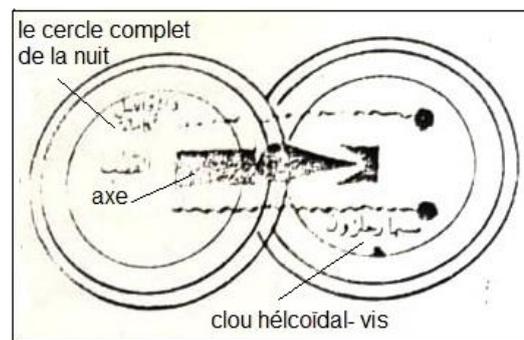


Fig.19- le cercle porteur de l'axe des heures nocturnes – Traité de Radwan al-Sa'ati

« Si vous voulez, vous pouvez fabriquer une alidade en bois semblable à celui de l'astrolabe, elle est rectangulaire, à côtés carrés, de longueur égale à la largeur des douze portes. Ses extrémités semblables aux chevilles de l'alidade de l'astrolabes, se recourbent et se fixent au mur des heures. Fixer au centre de cette alidade en son centre, juste en face de l'axe, al-Lubnah. ... de même, en face de cet axe, fixer un clou dans l'alidade auquel vous attachez une corde dont l'autre extrémité est fixée au plafond, fig- 20. Cette corde sert à relever l'alidade à la position convenable (page 109) ou vous pouvez faire l'hélice comme on l'a décrit précédemment... »

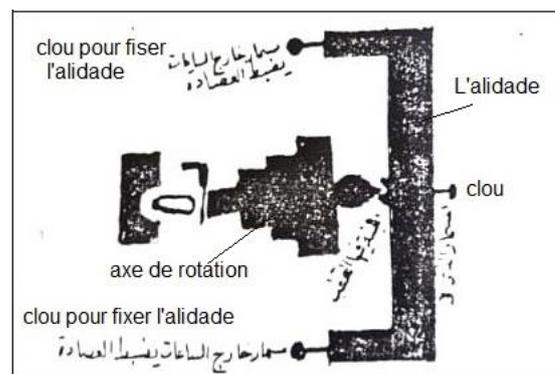


Fig. 20- L'alidade porteur de l'axe des heures nocturnes – Traité de Radwan al-Sa'ati

### 3- Description de l'hélice : le nom utilisé ne correspond pas à la description

« ... Faire l'hélice (al-Halazoun ) الحزون C'est une hélice en bois, carrée . On lui accorde un clou qu'on fixe à l'alidade dans laquelle est encastré al-Lubnah de l'axe , Ce clou passe de l'extérieur vers l'intérieur de l'alidade. On lui attache quatre fils qui se relient aux quatre coins du carré de l'hélice. À cette dernière on a fixé une corde rattachée au plafond. De ce fait lorsque vous tirez les quatre cordes et vous les nouer fortement au clou, l'alidade se relève et le sommet de l'axe sera bien encastré dans cette dernière. La rotation sera bien rétablie sans aucune perturbation... ».

« ... le cercle de l'hélice, c'est un cercle qui remplace l'alidade, de même diamètre que le cercle des heures diurnes, percé de chaque côté d'un trou hélicoïdal laissant passer un clou également hélicoïdal afin de la fixer au carré de l'hélice... ». (page 36)

Ce cercle n'est autre que le porteur de l'hélice décrite plus haut.

Ces passages ne confirment pas que le creux d'al-Lubnah est fraisé en spirales.

#### **4-Mesures des dimensions : Des passages importants démontrent la précision des mesures décrites par Radwan.**

*« ... le périmètre de la grande roue des heures diurnes correspond à la distance parcourue par le croissant du lever au coucher du soleil, celui de la petite roue est telle que si ce dernier fait un tour, la grande roue accomplit également un tour ... ». (page 24)*

*« ... al-Binkan , sa longueur est 6 emfans plus 5 doigts joints, son tuyau de longueur 8 doigts joints. La partie insérée dans le bikam est d'un doigt et demi, dans al-Kayl un demi- doigt, au-dessus d'al-Lunbah deux doigts. La partie libre qui reste est de 4 doigts. ... le périmètre du Binkam est la longueur d'une corde de 4 emfans et 5 doigts joints. La longueur d'al-Kayl est de 7 doigts joints, son périmètre est tel qu'une main pleine peut rentrer... La grande roue des heures diurnes a un diamètre de deux emfans et sept doigts joints, celui de la petite roue est de neuf doigts joints ... ». ( page 197)*

*« ...la longueur du mur des heures est de neuf emfans et six doigts joints. On enlève de chaque côté un emfan et six doigts joints pour les faucons, il reste pour la largeur totale des douze portes, du premier au dernier colonne, sept emfans ... ». (page 197)*

*« ...le trajet du croissant à partir de la première heure, est la distance parcourue à partir de la dernière colonne jusqu'à l'origine où al-Bayzoun se trouve au début de la journée. Cette distance est de 7 emfans et 7 doigt joints... ». (page 198)*

## Appendice

Dans cette étude nous nous sommes limités à la description des éléments de l'horloge sans entrer dans les détails de la construction. Pourtant quatre passages méritent d'être soulignés (à noter que la traduction suivante est une traduction littérale) :

- 2- Tube recourbé : Un manque de précision dans la forme du tube recourbé.

À plusieurs reprises, Radwan mentionne dans le texte le tube recourbé الأنبوب المعوج sans toutefois préciser la forme de la courbure de ce tube. Ce dernier est signalé dans les pages suivantes :

« Moi j'ai inventé le tube recourbé signalé à l'intérieur, ainsi si on tourne al-Jaz'a sur les signes du zodiaque mentionnés à la moitié supérieur du disque, ce tube sera dirigé verticalement vers le haut et le débit de l'eau est faible. Cependant si al-Jaz'a est tournée vers les signes opposés le tube sera dirigé vers le bas et le débit de l'eau est plus fort ... ». (page 16)

« : ... le grand tuyau, la femelle, collé au plateau, le tuyau mâle lié au disque d'al-Jaz'z et au tube recourbé ». ( page 17)

«... le tube d'al-jaza'a c'est celui qui est fixé à la surface du disque d'al-Jaz'a et sortant de cette surface pour aboutir au tube recourbé ... ». ( page 19)

« ... Le tube recourbé, c'est le tube collé au dos du disque d'al-Jaz'a, l'une de ses deux extrémités est lié au tuyau mâle duquel il reçoit l'eau. L'autre extrémité est reliée au tuyau d'al-Jaz'a ... ». (page20)

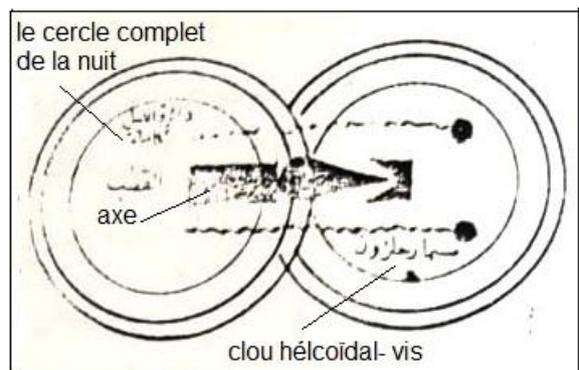
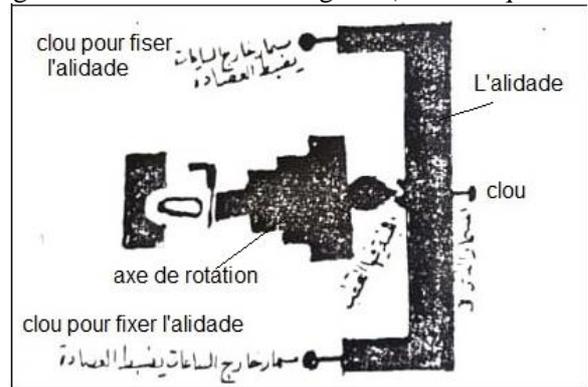
« ...puis vous faites le tuyau recourbé. C'est un tube de longueur égale à la moitié du diamètre du disque d'al-Jaz'a ou un peu moins. De diamètre légèrement supérieur à celui du tuyau mâle. Son extrémité reliée à ce dernier est percée d'une ouverture qui coïncide avec l'ouverture du tuyau mâle afin que l'eau puisse circuler librement. Une ouverture latérale sera pratiquée tout près de l'autre extrémité. Vous soudez proprement le tube recourbé, vous y ajoutez du plomb pour le consolider. On obtient alors le tuyau mâle en position vertical au centre du disque d'al-Jaz'a et le tube recourbé longe le rayon au dos du disque tout en ayant une extrémité reliée au tuyau mâle pour laisser passer l'eau et l'autre extrémité libère l'eau au tube d'al-Jaz'a ». (pages 55-56)

- 3- Porteur hélicoïdal : manque de précision dans la description de la forme hélicoïdale.

« Mon père a inventé le porteur hélicoïdal des heures diurnes ». (page 13)

« ...puis faites le porteur du demi-cercle de la nuit et de son cercle complet de l'intérieur et ceci de plusieurs façons. Ce que mon père a inventé revient à faire un cercle identique au cercle de la nuit de même épaisseur, au centre duquel vous fixez une pièce métallique carrée, creuse (al-Lubnah) dans lequel tourne l'extrémité de l'axe. Cette pièce sera percée de deux trous hélicoïdaux en faces de deux trous également hélicoïdaux aménagés dans le cercle complet. Faites insérer l'extrémité de l'axe dans cette pièce, puis fixer les deux ensembles par de clous hélicoïdaux en bois de sorte qu'ils forment une seule pièce ». (page 108)

« Si vous voulez, vous pouvez fabriquer une alidade en bois semblable à celui de l'astrolabe, elle est rectangulaire, à côtés carrés, de longueur égale à la largeur des douze portes. Ses extrémités semblables aux chevilles de l'alidade de



*l'astrolabes, se recourbent et se fixent au mur des heures. Fixer au centre de cette alidade en son centre, juste en face de l'axe, al-Lubnah. ... de même, en face de cet axe, fixer un clou dans l'alidade auquel vous attacher une corde dont l'autre extrémité est fixée au plafond. Cette corde sert à relever l'alidade à la position convenable figure ci- contre (page 109) ou vous pouvez faire l'hélice comme on l'a décrit précédemment... »*

4- Description de l'hélice : le nom utilisé ne correspond pas à la description.

*« ... Faire l'hélice (al-Halazoun ) الحزرون C'est une hélice en bois, carrée . On lui accorde un clou qu'on fixe à l'alidade dans laquelle est encastré al-Lubnah de l'axe, Ce clou passe de l'extérieur vers l'intérieur de l'alidade. On lui attache quatre fils qui se relient aux quatre coins du carré de l'hélice. À cette dernière on a fixé une corde rattachée au plafond. De ce fait lorsque vous tirez les quatre cordes et vous les nouer fortement au clou, l'alidade se relève et le sommet de l'axe sera bien encastrer dans cette dernière. La rotation sera bien rétablie sans aucune perturbation... ».*

*« ... le cercle de l'hélice, c'est un cercle qui remplace l'alidade, de même diamètre que le cercle des heures diurnes, percé de chaque côté d'un trou hélicoïdal laissant passer un clou également hélicoïdal afin de la fixer au carré de l'hélice... ». (page 36)*

Ce cercle n'est autre que le porteur de l'hélice décrit plus haut.

Ces passages ne confirment pas que le creux d'al-Lubnah est fraisé en spirales.

5- Mesures des dimensions : Un passage important qui démontre la précision dans les mesures décrites par Radwan.

*« ... le périmètre de la grande roue des heures diurnes correspond à la distance parcourue par le croissant du lever au coucher du soleil, celui de la petite roue est telle que si ce dernier fait un tour, la grande roue accomplit également un tour ... ». (page 24)*

*« ... al-Binkan, sa longueur est 6 empan plus 5 doigts joints, son tuyau de longueur 8 doigts joints. La partie insérée dans le bikam est d'un doigt et demi, dans al-Kayl un demi- doigt, au-dessus d'al-Lunbah deux doigts. La partie libre qui reste est de 4 doigts. ... le périmètre du Binkam est la longueur d'une corde de 4 empan et 5 doigts joints. La longueur d'al-Kayl est de 7 doigts joints, son périmètre est tel qu'une main pleine peut rentrer... La grande roue des heures diurnes a un diamètre de deux empan et sept doigts joints, celui de la petite roue est de neuf doigts joints ... ». (page 197)*

*« ...la longueur du mur des heures est de neuf empan et six doigts joints. On enlève de chaque côté un empan et six doigts joints pour les faucons, il reste pour la largeur totale des douze portes, du premier au dernier colonne, sept empan ... ». (page 197)*

*« ...le trajet du croissant à partir de la première heure, est la distance parcourue à partir de la dernière colonne jusqu'à l'origine où al-Bayzoun se trouve au début de la journée. Cette distance est de 7 empan et 7 doigt joints... ». (page 198)*