

# Année 2023~2024



# Petite histoire de l'Astronomie

*JNW, le 18 /12/2023*

# 3 - L'ASTRONOMIE ARABE



*!! L'âge d'or de l'Islam !!*

# Résumé de l'épisode précédent

Nous avons laissé l'Astronomie de l'antiquité, au II<sup>ème</sup> siècle après J.-C., avec Ptolémée et son grand livre « la composition mathématique » ou l' ALMAGESTE.

*Les arabes impressionnés par cet ouvrage le qualifieront de Mégiste, qui avec l'article arabe « al » deviendra pour toujours l' ALMAGESTE.*

L'état des connaissances léguées par les grecs reposait sur les principes suivants :

- La Terre est immobile au centre du monde (et elle est ronde).
- Tous les corps tournent autour de la Terre.
- Le cercle étant la seule forme parfaite, ces autres corps tournent selon des Trajectoires circulaires.

Mais bien sûr, les planètes ne suivant pas ces règles parfaites, les systèmes sont devenus compliqués et inextricables.

*Rien ou presque ne se passe en occident entre Ptolémée et le IX<sup>ème</sup> siècle, sauf une différence sur l'origine du monde.*

*Les anciens grecs considéraient que l'Univers n'avait pas de début, .... contrairement aux grandes religions qui apparurent à cette époque.*

# Un peu d'Histoire !



Jésus Christ

Composition Mathématique  
 (Almageste)



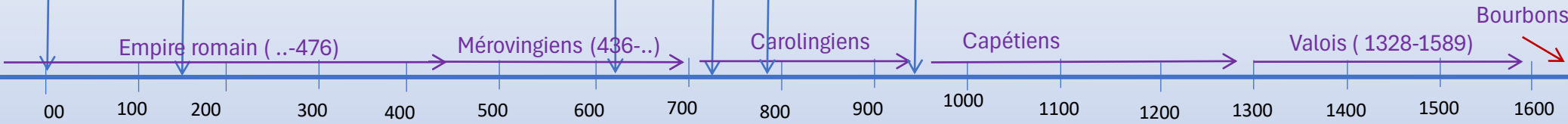
622 Hégire

732 C. Martel arrête  
 les arabes à Poitiers

Roland à Roncevaux  
 Vers 780



Hugues Capet  
 940-996  
 Ancien français



00 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600

Empire romain (...-476)

Mérovingiens (436-...)

Carolingiens

Capétiens

Valois (1328-1589)

Bourbons

Ptolémée  
 100-168

Clovis  
 466-511

Mahomet  
 571-632

Omeyades

Abbassides

Fatimides

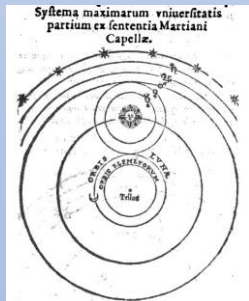
Almoravides

Copernic  
 1473-1543

Age d'Or de l'Islam

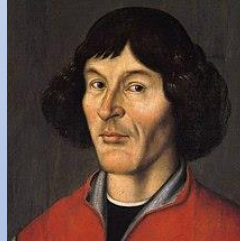


Capella  
 360-428




Dagobert 1°  
 602-638

Isidore  
 530-636





### EXPANSION DE L'ISLÂM AU TEMPS DES OMEYYADES (661-750)

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|    | Domaine des Omeyyades en 661                              |    | Attaques de la flotte et des armées arabes contre l'Empire byzantin |
|    | Conquêtes omeyyades                                       |    | Sièges de Constantinople par les Arabes (674-678 et 717-718)        |
|   | Avance musulmane vers l'est                               |   | Zones disputées entre Byzantins et musulmans                        |
|  | Avance musulmane vers l'ouest                             |  | Empire byzantin dans la seconde moitié du VII <sup>e</sup> s.       |
|  | Conquête de l'Espagne                                     |  | Empire byzantin en 750  |
|  | Tāriq ibn Ziyād (711-714)                                 |  | Protectorat chinois sous la dynastie des Tang (618-907)             |
|  | Mūsā ibn Nuṣayr (712-714)                                 |   |   |
|  | Invasion arabe en royaume franc                           |   |   |
|  | Incursions arabes sur les côtes de Sicile et de Sardaigne |   |   |
|  | Batailles   |   |   |

Les arabes et surtout les musulmans s'intéressent à l'astronomie pour des raisons pratiques et surtout religieuses :

- Pour se repérer dans le désert, pour les populations nomades ou en mer
  - Pour déterminer les heures des 5 prières quotidiennes.
  - Pour prévoir le début du Ramadan, mois lunaire qui débute avec l'apparition du premier fin croissant de Lune
- Pour déterminer la direction de la Mecque, donc sa position géographique.  
Sans horloge fiable la longitude ne l'est pas.
- Enfin, le Coran incite les musulmans à étudier les astres, il énonce  
« **C'est Lui (Dieu) qui a placé pour vous les étoiles dans le ciel afin que vous soyez dirigés dans les ténèbres sur le terre et sur les mers** »

***Il faut donc savoir calculer sa position ( donc savoir l'heure, voir diapo suivante), la direction de la Mecque, le jour de l'apparition du nouveau croissant de lune pour le Ramadan (pour ces 2 problèmes, géométrie sphérique), les heures des prières (encore l'heure).***

***Les savants arabes vont très tôt développer des horloges efficaces et les outils mathématiques nécessaires.***

# Petit rappel : comment se repérer sur Terre

Sur Terre depuis l'antiquité, les positions se repèrent en degrés, minutes et secondes d'angle de latitude et de longitude.

**Latitude** : facile avec un astrolabe par exemple (ou un sextant). On vise l'étoile polaire et l'horizon... l'angle est la latitude.

**Longitude** : c'est beaucoup plus compliqué. On compare l'heure du lieu avec celle du méridien d'origine (en l'occurrence, le méridien de Greenwich, méridien 0°).

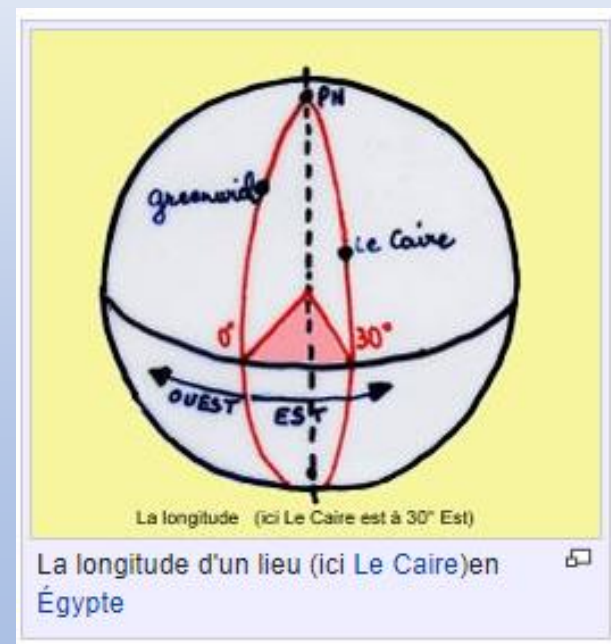
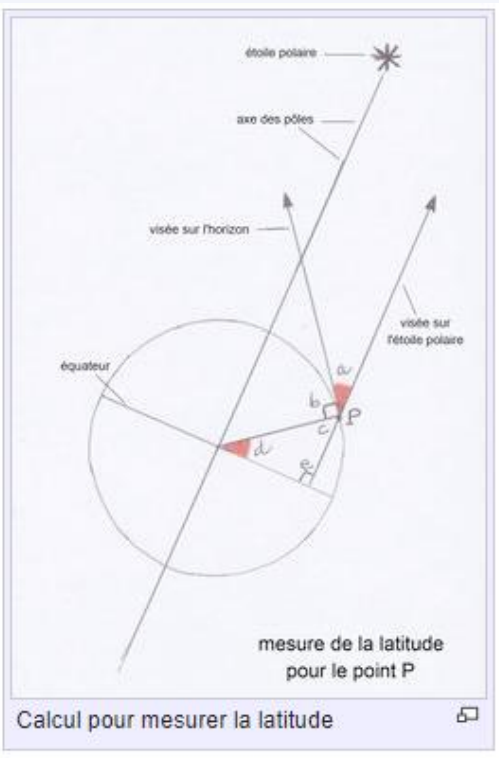
Si un décalage de 2 heures, la nouvelle longitude est  $(360^\circ/24 \text{ h}) \times 2 \text{ h} = 30^\circ$ , longitude du Caire.

Le problème est de conserver l'heure de référence, et donc d'avoir des montres assez précises.

Amboise :

Latitude :  $47^\circ 24' 44''$  Nord

Longitude :  $0^\circ 58' 57''$  Est



***On sait que les arabes étaient très avancés sur la mesure du temps.***

*En 807, par exemple, Haroun-al-Rashid, père de Al-Mamoun fit cadeau à Charlemagne d'une horloge qui marquait les douze heures du jour et de la nuit, et les faisait sonner au moyen de balles tombant dans un vase d'airain.*

Nous allons commencer cette revue des grands astronomes arabes en commençant par un ... **Calife et un mathématicien-astronome**

Abû al-`Abbâs al-Ma'mûn `Abd Allah ben Hârûn ar-Rachîd surnommé al-Mamûn ou Almamon (*Celui en qui on a confiance*)(786 ~ 833). Son règne par ailleurs plutôt agité, fut une grande réussite sur le plan culturel. Il réunit à Bagdad des savants (de toutes les croyances, dont des savants perses et indiens héritiers des babyloniens) et fait venir de Byzance les manuscrits grecs dont le traité d'astronomie d'Hipparque et l'Amageste (qu'il fait traduire en arabe par des érudits chrétiens ou juifs). Il créa en 829 le premier observatoire fixe et permanent au monde : l'école de Bagdad ou « maison de la sagesse ». Ces savants vont en permanence confronter l'observation à la théorie et utiliseront beaucoup les mathématiques pour résoudre les problèmes (trigonométrie et algèbre) Un cratère lunaire porte son nom : Almanon





Al-Khwarizmi ( 783 ~ 850) dit Algorismus >>> le père de l'algèbre. Mathématicien, géographe et astronome d'origine perse il est membre de la « maison de la sagesse », fondateur des mathématiques arabes. Il établit des tables astronomiques (position des 5 planètes, du soleil et de la Lune) basées sur l'astronomie hindoue et grecque. Il étudie la position et la visibilité de la Lune et ses éclipses, du soleil et des planètes. C'est le premier ouvrage astronomique 100 % arabe.



Muhammad Al-Khwarizmi composa le *Zij al-Sindh*, l'une des premières tables astronomiques en langue arabe.



" Chiffre " : l'histoire du mot mérite d'être racontée.

En empruntant aux Indiens leur système de numération et d'écriture de position des nombres (qui facilite grandement les opérations arithmétiques) les Arabes désignèrent le 0 : es-sifr, littéralement, le vide. *(le zéro fut inventé au 5<sup>e</sup> siècle par les indiens, tout comme les nombres négatifs).*

Le mot fut latinisé en cephirum ;

- en Italie, il devient zefero puis zéro ;
- en France, il devient chiffre – pour désigner l'ensemble des caractères numériques – et pour lever l'équivoque on emprunta à l'italien le zéro pour désigner la valeur nulle qui à proprement parler devrait avoir l'exclusivité de s'appeler **chiffre**.

L'histoire des mathématiques regorge des inventions arabes.

- Le mot " algorithme " vient du nom du grand mathématicien Al Khwarizmi, qui est le père de l'algèbre et l'auteur du livre Kitab al Jabr (de jabara, réduire).

- C'est aux Arabes encore que l'on doit la désignation des inconnues par la lettre x (Xay en espagnol, déformation de chay : la chose).

[Vidéo zéro](#)

<https://youtu.be/N8XCZG5N9Qc>

#### L'ÉVOLUTION DES SYMBOLES NUMÉRIQUES OCCIDENTAUX

|                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                         |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------------|
|                 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | — système indien        |
| système arabe   | ◻ |   | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |                         |
|                 | 0 | 1 | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | 6 | 7 | 8 | 9 | — système hispano-arabe |
| système italien | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |                         |

Du IX<sup>ème</sup> au XIV<sup>ème</sup> siècle, à la suite de ces 2 grands précurseurs, les sciences arabes vont connaître un développement extraordinaire, en ce qui nous intéresse en mathématique ( développement de l'algèbre, de la géométrie sphérique et de la trigonométrie, ...) et en astronomie.

Le tout favorisé par quelques grands califes férus de sciences et de philosophie.

**A noter que le développement de la nouvelle religion ne freine en rien ces travaux.**

On peut diviser cette période faste de l'astronomie arabe en 2 grandes phases :

☛ Du IX<sup>ème</sup> au XI<sup>ème</sup> siècle, phase préparatoire et critique des modèles anciens.

☛ Du XI<sup>ème</sup> au XVI<sup>ème</sup> siècle, avec les avancées les plus significatives, surtout en mathématiques, outil indispensable aux progrès futurs.

Le grand nombre d'astronomes et de mathématiciens illustres de ces périodes reflète le foisonnement intellectuel du monde arabe.



**Al-Kindi (Aboul Yousof...) (801~873) ou Alchindius**

**Mousa ben Schaki & ses fils (803~873)**

**Al-Ferghani (805~880) Al Fergani ou Alfraganus**

**Albumazar(776~885)**

**Thabit-ben-Korrah (836~901)**

**Al-Battani (850~929) ou Albatenius**

**Al-Soufi (903~986) ou Azophi**

**Alboul Jeffa (939~998)**

**Ibn Younis (950~1009)**

**Al-Khujandi (940~1000)**

**Al-Hazen (965~1038) Alhazen**

**Al Biruni (973~1048)**

**Ali Ibn Ridwan (988~1061)**

**Ar-Zarqali (1029~1087) Arzachel**

**Omar Khayyam (1048~1131)**

**Averroes(1120~1198)**

**Moïse Maïmonide (1139~1208)**

**Al Bitrogi (...~1204) Alpétragius ou Alpétrage**

**Aboul Hassan (1197~1258)**

**Al Tûst (1201~1274)**

**Al-Kashi (1380~1439)**

**Ulugh Beg (1394~1449)**

**Tagi Al-Din (1526~1585)**

**Et bien sûr le grand mathématicien**

**Al-Khwarrizmi (783~850)**

**dont nous avons déjà parlé.**

Et bien d'autres  
encore !

**Al-Kindi (abou yusuf) (801~873) Alchindius**

**Mousa ben Schaki & ses fils (803~873)**

**AL-FERGHANI (805~880) AL FERGANI**

**Albumazar(776~885)**

**Thabit-ben-Korraah (836~901)**

**AL-BATTANI (850~929) ALBATENIUS**

**AL SOUFI (903~986)**

**Alboul Jeffa (939~998)**

**Ibn Younis (950~1009)**

**AL-KHUJANDI (940~1000)**

**AL-HAZEN (965~1038) ALHAZEN**

**AL BIRUNI (973~1048)**

**Ali Ibn Ridwan (988~1061)**

**AR-ZARQALI (1029~1087) ARZACHEL**

**Omar Khayyam (1048~1131)**

**Averroes(1120~1198)**

**Moïse Maïmonide (1139~1208)**

**Al Bitrogi (...~1204) Alpétragius ou Alpétrage**

**Aboul Hassan (1197~1258)**

**AL TÔSÎ (1201~1274)**

**AL-KASHI (1380~1439)**

**ULUGH BEG (1394~1449)**

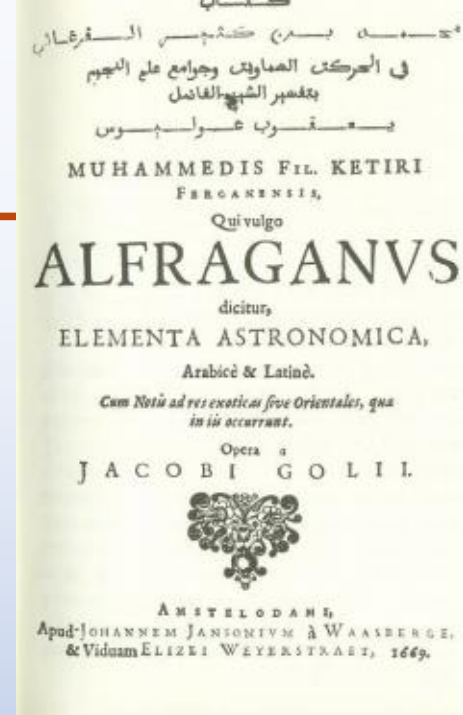
**Tagi Al-Dîn (1526~1585) contemporain de Tycho Brahé**

## Al Farghani (805~880) dit Alfraganus



Né à Ferghana dans l'actuel Ouzbékistan ( la Perse à l'époque), il écrit en 833 les « éléments d'astronomie » basés sur les connaissances grecques de Ptolémée. Il est l'un des plus remarquables astronomes au service de Al-Mamun de la « Maison de la sagesse ».

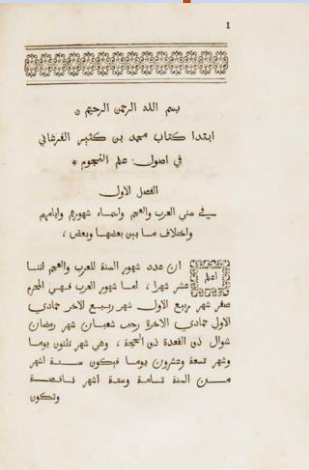
Son livre qui est en fait un résumé de l'Almageste sera traduit en latin aura un très grand succès en occident (et en orient) et fera autorité jusqu' au XV<sup>e</sup> siècle.



*Les astronomes d'Al Mamoun avaient trouvé, pour l'obliquité de la Terre, une valeur sensiblement différente de celle qu'indiquait Ptolémée. Ce résultat était connu d'AlFergani, mais croyant que ses compatriotes n'avaient eu à leur disposition que des instruments insuffisants, il n'en a pas conclu que cette obliquité variée avec le temps.*

Il détermina le diamètre de la Terre qu'il estima à 10 500 km (en réalité 12742 km).

On lui doit également un ouvrage sur les cadrans solaires et un autre sur l'astrolabe.



## Al Battani (850~929) dit Albategnius



Grand seigneur, musulman dévot, Abd Allah-Mohammed surnommé d'après sa ville natale Baten en Mésopotamie Al-Battani.

Il observe le ciel depuis la Syrie. On le surnomme parfois « le Ptolémée des arabes ».

Ses mesures sont remarquables de précision

Il détermine la durée de l'année solaire, la valeur de la précession des équinoxes, l'inclinaison de l'écliptique.

Il découvre que la direction de l'excentricité du soleil est variable, sans aller jusqu'à interpréter ce phénomène comme une trajectoire elliptique.

Il rédige un catalogue de 489 étoiles. On lui doit la première utilisation de la trigonométrie dans l'étude du ciel. C'est une méthode beaucoup plus puissante que celle, géométrique des grecs.

Son œuvre principale est le « livre des tables », composé de 57 chapitres et traduit en latin au XII<sup>e</sup> siècle par Platon de Tivoli (1116).

*Son œuvre a souvent été associée et confondue avec celle d'Alfraganus.*

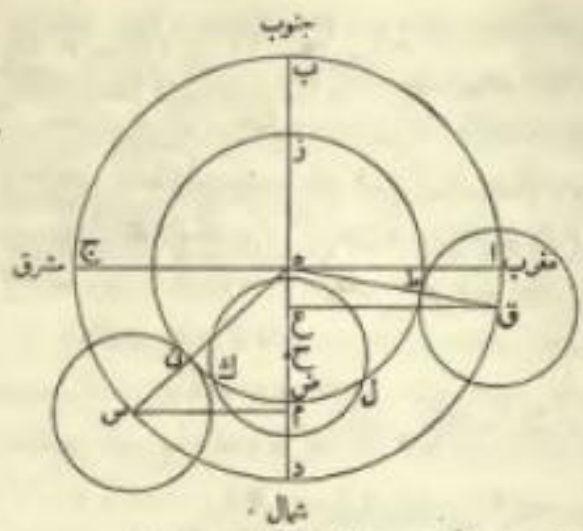
Il influença beaucoup les astronomes européens de la renaissance.



Pages from al-Battani's 'Kitāb Az-Zīj'



c 116x



وكذلك قام الأهلوا من قطة  
 ن وهي في سمت من دائرة  
 الأفق قوس ساج<sup>ا</sup> ومنظوم أن  
 قطة<sup>ب</sup> هي سمت الجزء الغارب  
 وعلامة ح علامة سمت الجزء  
 الطالع وكذلك سمت وسط  
 الكسوف يصكون على زاوية  
 قائمة حيث تقطع خط دائرة<sup>د</sup>  
 الأفق بنسب بعده من وسط  
 الملك وقربه من الأفق كما

يبين في القمر والشمس وفي هذا كفى به شامله وذلك ما أردنا أن تبين إن شاء الله.

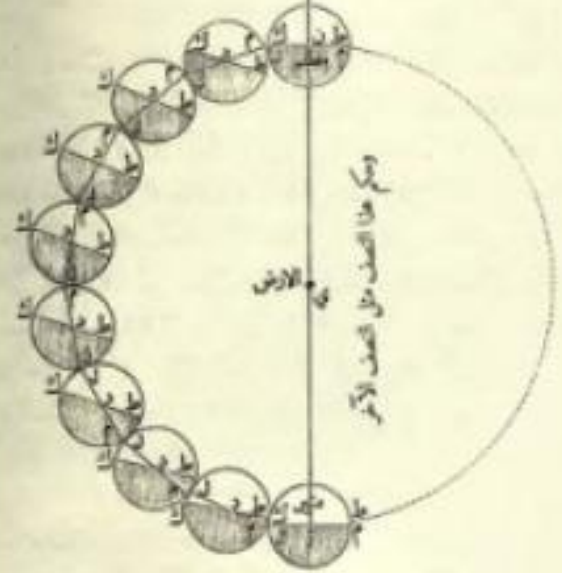
### الباب الخامس والاربعون

في معرفة مواضع الكواكب المتغيرة من تلك البروج بأربع العزب والأوم.

قال اذا اردت معرفة موضع أي الكواكب المتغيرة اردت فأعرف وسط الكوكب في اليوم الذي  
 تريد والساعة المروضة بساعات الرقة بأي التاريخين ثبت على ما وصفت في معرفة وسط الشمس  
 واعرف وسط الشمس أيضا في ذلك الوقت الذي تعرف فيه وسط الكوكب وإن كان جسابك لرسل

c 117x

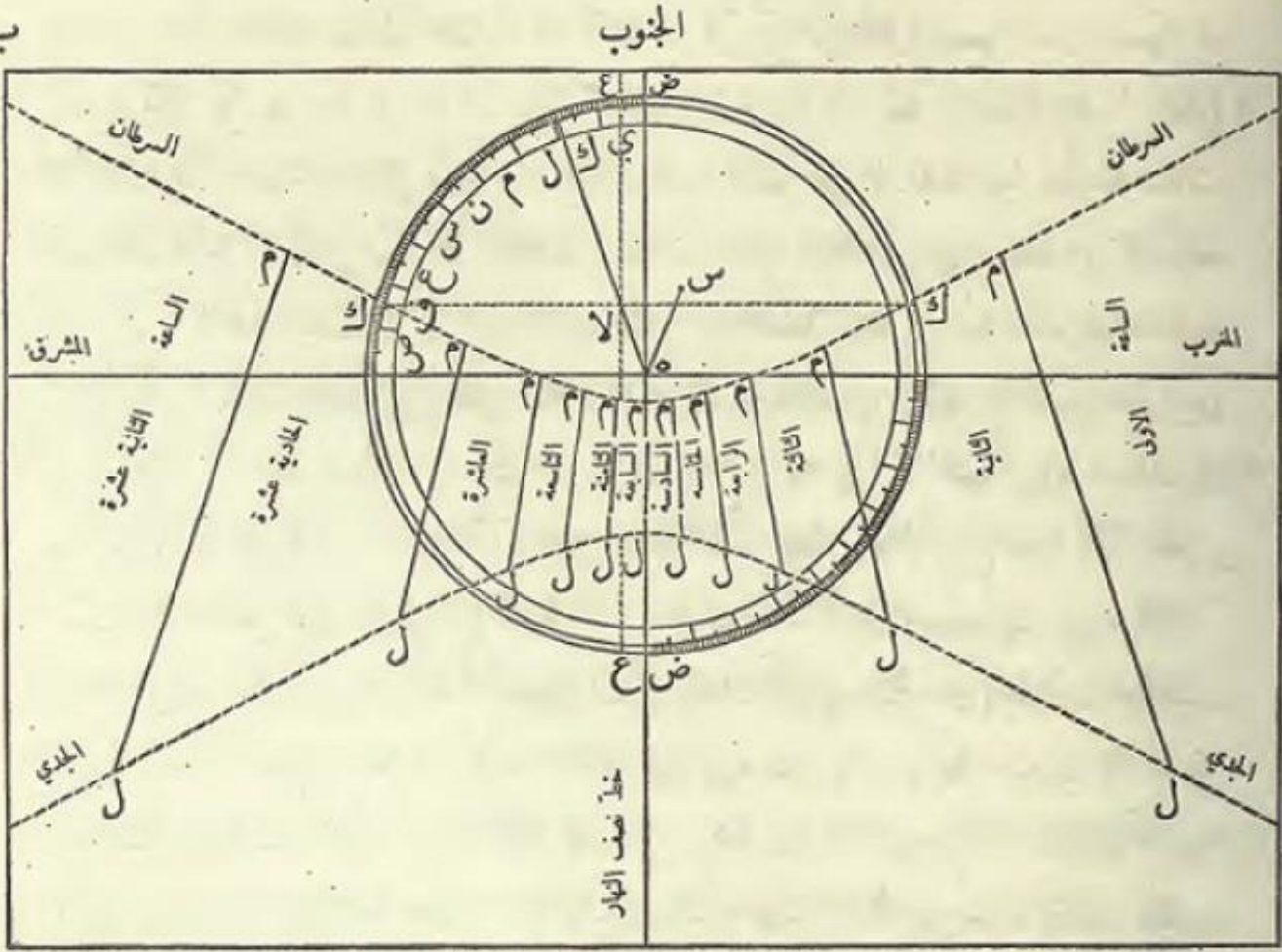
وقد تبين بما قد ظهر أن الكواكب  
 الذي به تكون دائرة القمر التي تدعى فيها  
 العزب كما لا تحسب عسرة به يكون كل  
 التي عشر جزءا من بعده عن الشمس  
 جزءا واحدا إلى تمام ما التي تستكمل  
 الخمس عشرة كلها وانما كانت دائرة القمر  
 أب جزءا كان كل خمسة عشر جزءا من  
 اليد جزءا واحدا من أجزاء العزب وعلى  
 هذه القسب تسنن الدارين ويبدأها  
 إن شاء الله تعالى.



Figures extraites de l'édition de l'Escurial des oeuvres d'Al-Battani.



ب. ب. ب.



د

الشمال

ج. د.

وعلى نحو قسمة هذين الربعين تقسيم الربعين الباقيين<sup>2</sup> ان شاء الله

## Al-Soufi (903~986) dit Azophi



Astronome perse, il traduit des ouvrages grecs dont l'Almageste et améliore les estimations des magnitudes d'étoiles.

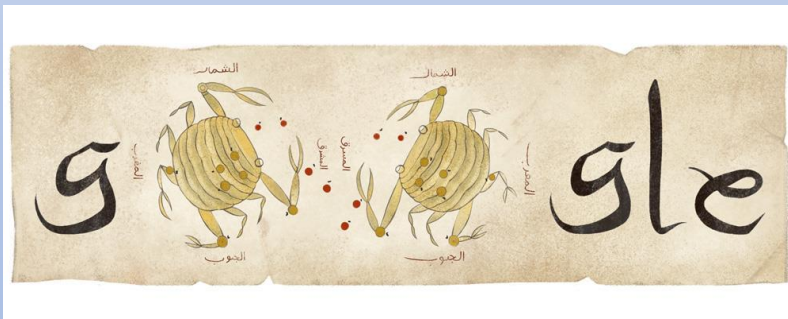
En 964, il publie « le livre des étoiles fixes » où il dessine les constellations et nomme les étoiles.

Les noms arabes des étoiles passeront en occident.

Il semble avoir été le premier à rapporter une observation du grand nuage de Magellan, visible au Yémen, mais pas à Ispahan.

De même on lui doit une première représentation de la Galaxie d'Andromède, probablement déjà observé avant lui.

Il la décrit comme un « petit nuage » dans la bouche de la constellation arabe du grand poisson.

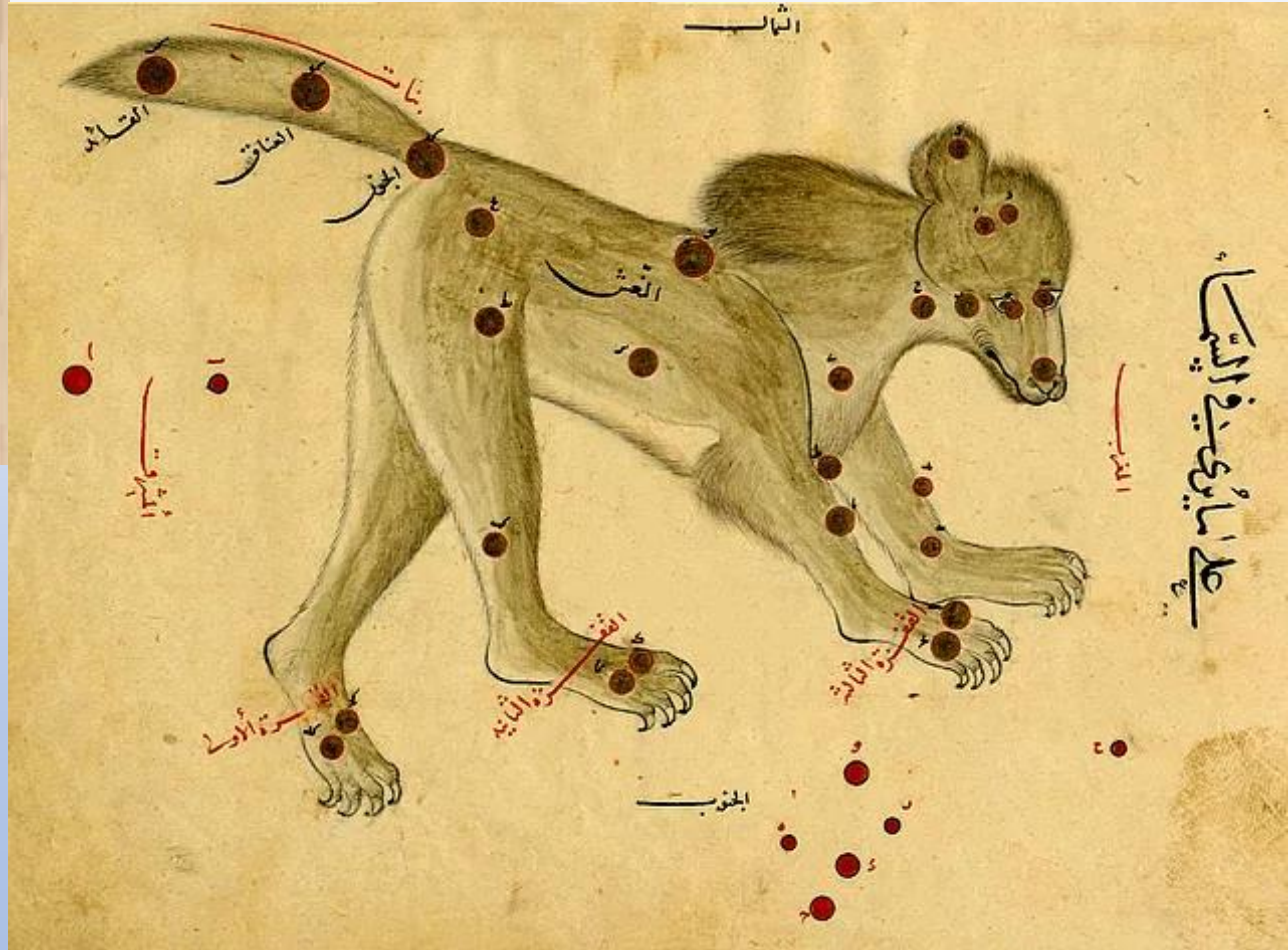


Son nom a été donné à un cratère de la Lune et comble de la célébrité moderne même google lui a rendu hommage

صورة الفرس اعلم على ما ترى في السماء



La grande Ourse





La constellation des Gémeaux d'après le *Livre des étoiles fixes* d'al-Sufi, qui décrit en détail environ un millier d'étoiles et donnait les premières descriptions de la Galaxie d'Andromède et du Grand Nuage de Magellan.





## Al-Khujandi (940~1000)

Mathématicien et astronome perse.

Il construit un observatoire à Ray, près de Théhéran, comportant un énorme sextant, fabriqué en 994.

C'est le premier instrument apte à mesurer des angles plus précis que la minute d'angle. Il mesure avec cet instrument l'obliquité de l'écliptique, en observant les passages au méridien du Soleil.

Il trouve  $23^{\circ} 32' 19''$ . Ptolémée trouvait  $23^{\circ} 51'$  et les indiens, bien plus tôt  $24^{\circ}$ .

Mais jamais l'idée de la variation de cet angle ne vint aux arabes.

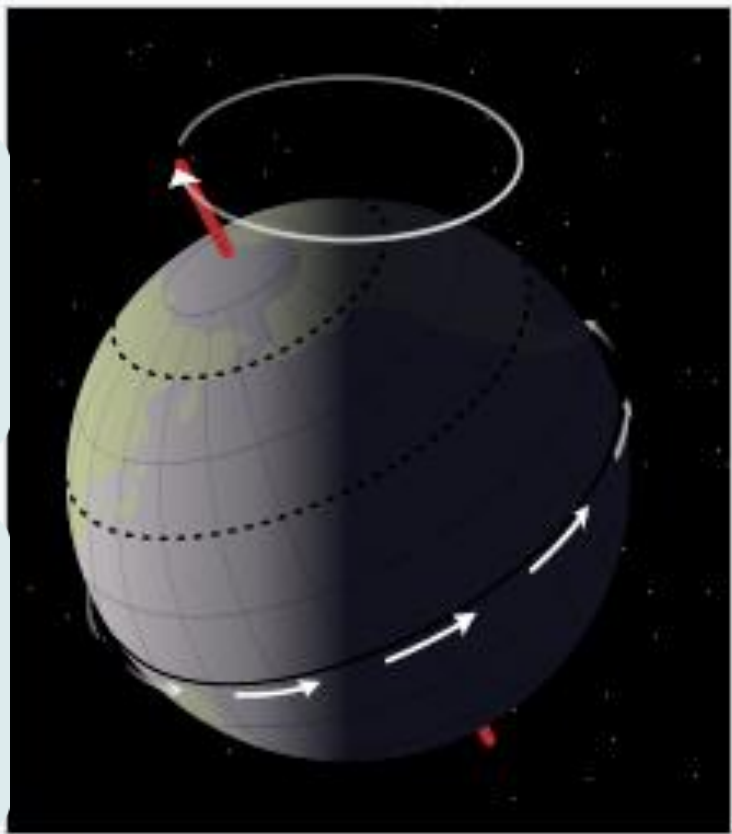
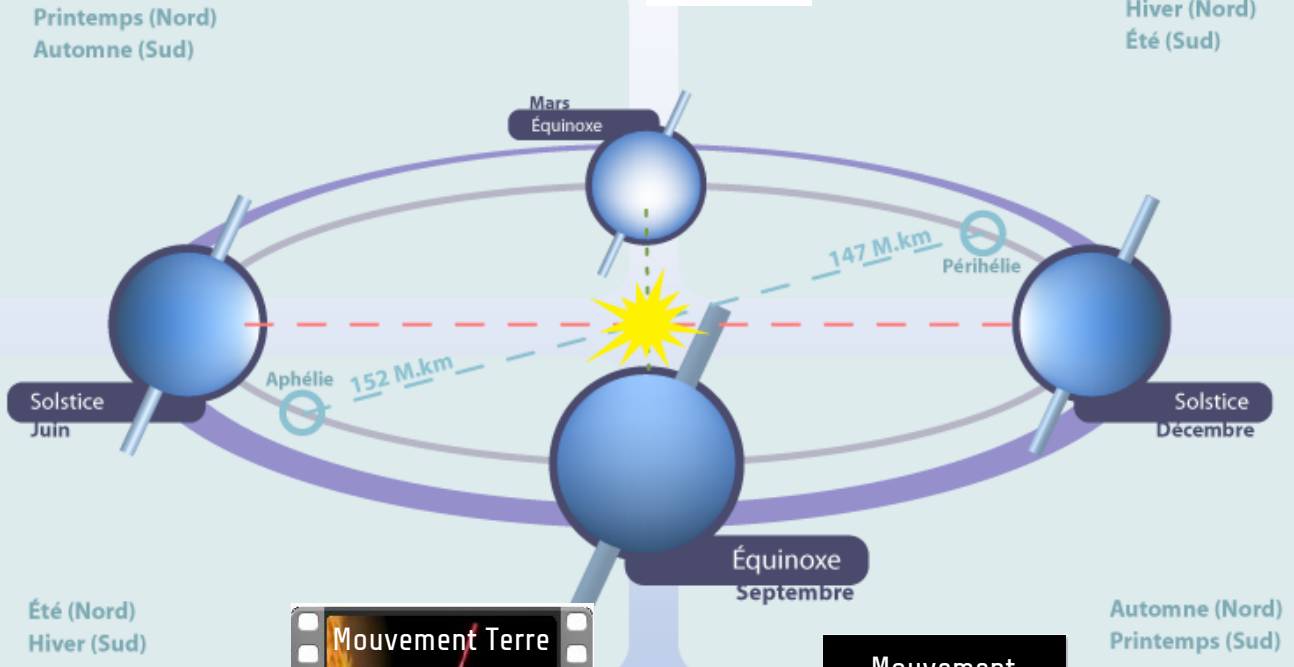
Ils dissertèrent longtemps sur la précision des mesures, ce qui fit avancer leur science



Figure 3: al-Khujandi's mural sextant was a precursor to other well known sextants such as Tycho Brahe's sextant (Source)

Voir plus loin ... Rappel  
Précession des équinoxes

# Précession des équinoxes



Mouvement de précession (flèche blanche au niveau du pôle).

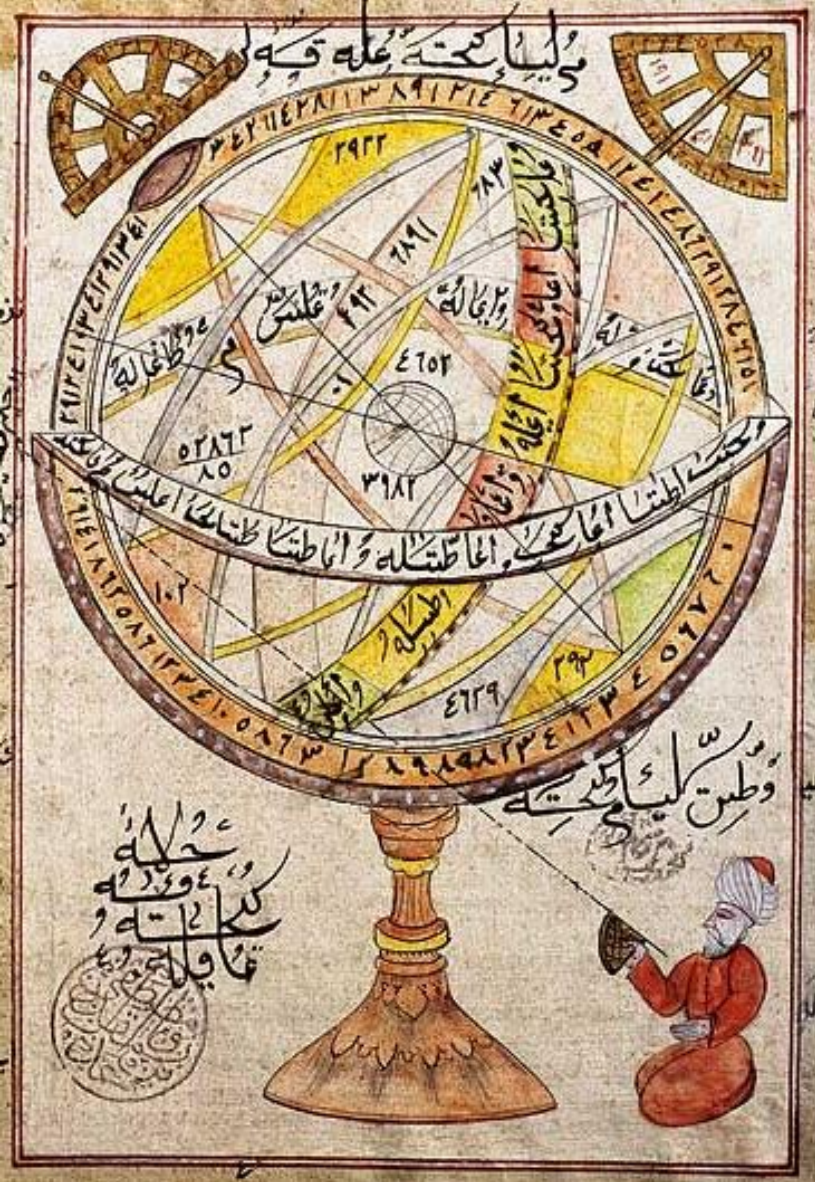


<https://youtu.be/qKFXhmUUafA>



| Année | Équinoxe de mars <sup>2</sup> |          | Solstice de juin <sup>3</sup> |          | Équinoxe de sept. <sup>4</sup> |          | Solstice de déc. <sup>5</sup> |          |
|-------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------|--------------------------------|----------|-------------------------------|----------|
|       | jour                          | heure    | jour                          | heure    | jour                           | heure    | jour                          | heure    |
| 2024  | 20                            | 03:06:21 | 20                            | 20:50:56 | 22                             | 12:43:36 | 21                            | 09:20:30 |

[https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca\\_esv=589119146&sxsrf=AM9HkkIG1U4i6cT5Dag9ZIG7-POIVd2ZyA:1702057506800&q=Precession+equinoxe&tbm=vid&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwiZydGosoCDAxTRaQEHT9RBc4Q0pQJegQIDRAB&biw=1920&bih=919&dpr=1#fpstate=ive&vld=cid:e751d22b,vid:rp3CPuO6AHw,st:0](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=589119146&sxsrf=AM9HkkIG1U4i6cT5Dag9ZIG7-POIVd2ZyA:1702057506800&q=Precession+equinoxe&tbm=vid&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwiZydGosoCDAxTRaQEHT9RBc4Q0pQJegQIDRAB&biw=1920&bih=919&dpr=1#fpstate=ive&vld=cid:e751d22b,vid:rp3CPuO6AHw,st:0)



Astrolabe by al-Khujandi of Baghdad, A.D. 985





Ibn Al-Haytam (965~1039) dit Alhazen

Fondateur de l'optique moderne

Mathématicien et opticien, née à Bassorah dans l'Iran actuel perse.  
Il écrit « Doutes sur Ptolémée », un bilan critique des thèses de Ptolémée et de ses prédécesseurs, dans lequel il fait la liste des incohérences de cette théorie sans y apporter de solution : variation du diamètre apparent de la Lune et de la position des planètes en latitude, organisation des sphères grecques, il place la voie lactée très loin de la terre...  
Malgré ces doutes, il conserve la place centrale de la Terre dans l'Univers.

Reprenant les travaux des grecs pour qui lumière et vision sont liées, il étudie les mécanismes de la vision : il montra que les 2 yeux voyaient des images séparés.  
Il comprit que la lumière se reflétait sur les objets et ensuite entrait dans l'œil (pour lui, l'image se forme sur le cristallin..).  
Il étudie la réflexion de la lumière sur un miroir, la réfraction (déviations des rayons lumineux au passage d'un milieu à un autre, sans en calculer l'angle) et pressent que la vitesse de la lumière est finie mais très grande.

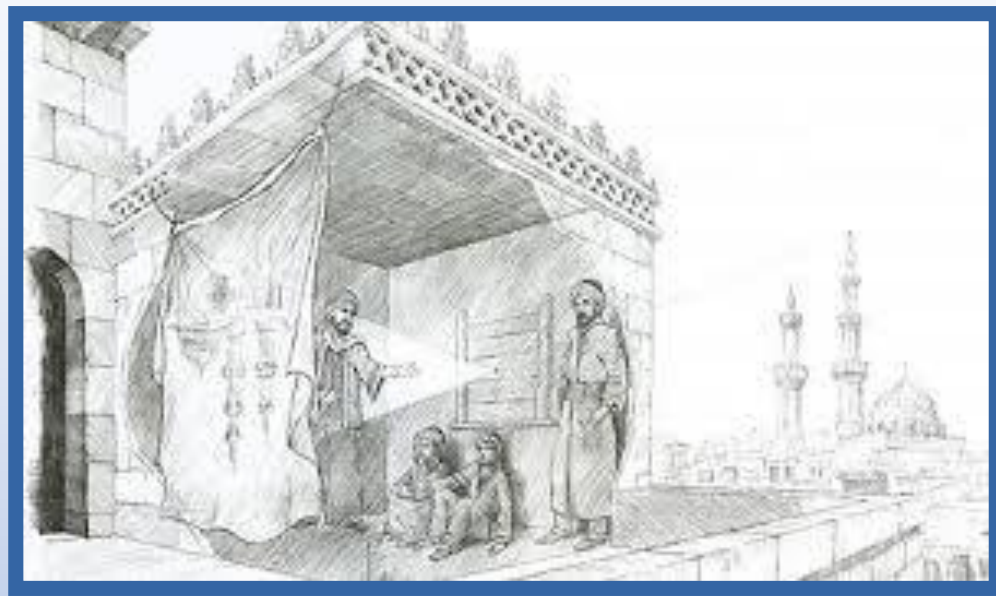




# Ibn Al-Haytam (965~1039) dit Alhazen      Fondateur de l'optique moderne

Déjà connue dans l'antiquité, on lui doit une description très précise et l'utilisation à des fins d'expériences, de la chambre noire (caméra obscura), pièce noire qui projette une image sur un mur en passant par un petit trou percé sur le mur d'en face.

Le résultat de toutes ces recherches optiques est consigné dans son « traité d'optique » qu'il mit 6 ans à écrire et qui fut traduit en latin en 1270.



En mécanique, il affirme qu'un objet en mouvement continue de bouger aussi longtemps qu'aucune force ne l'arrête. C'est le principe d'inertie avant la lettre.

Un astéroïde porte son nom : 59239 Alhazen.

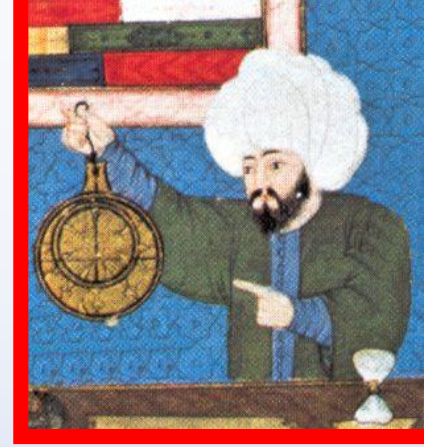




## Al-Biruni (973~1048)

Certainement l'un des plus grands savants de l'Islam médiéval, il s'intéresse à l'astronomie, à la géographie, à l'histoire, à la médecine et aux mathématiques, bref, à la philosophie en général. Il rédigea plus de 100 ouvrages.

*Il sera aussi percepteur des impôts, et un grand voyageur, en particulier en Inde, où il étudia leur langue, leur religion et leur science.*

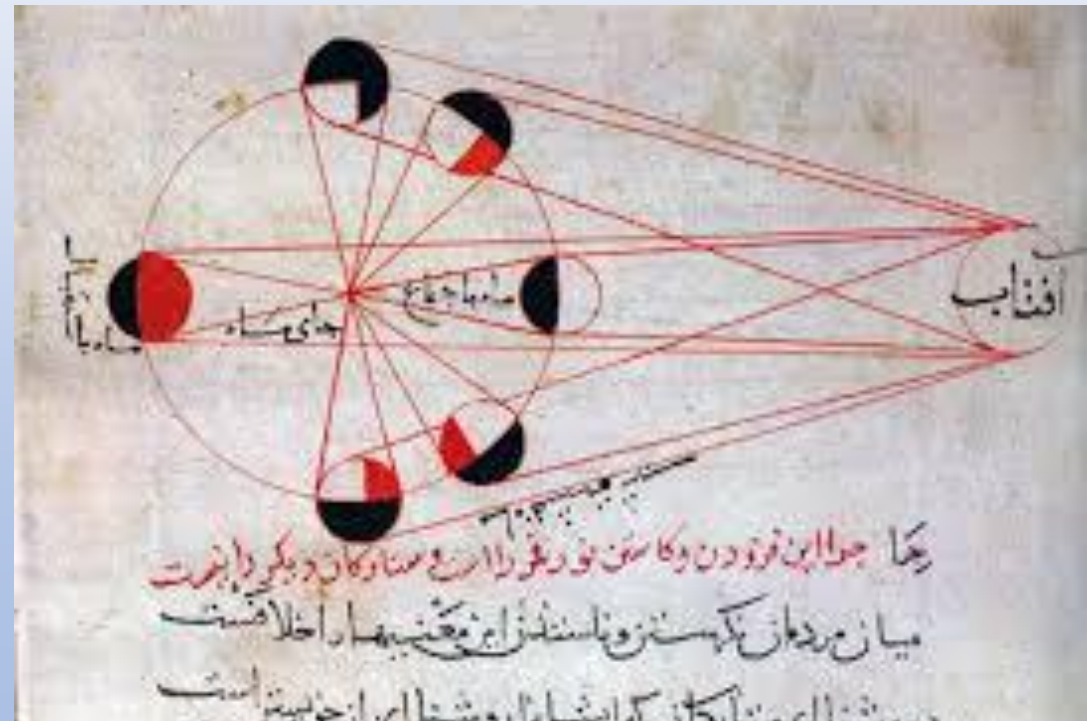


- A l'âge de 17 ans, il calcule la latitude de sa ville natale de Kath (en Perse, actuellement en Ouzbékistan).

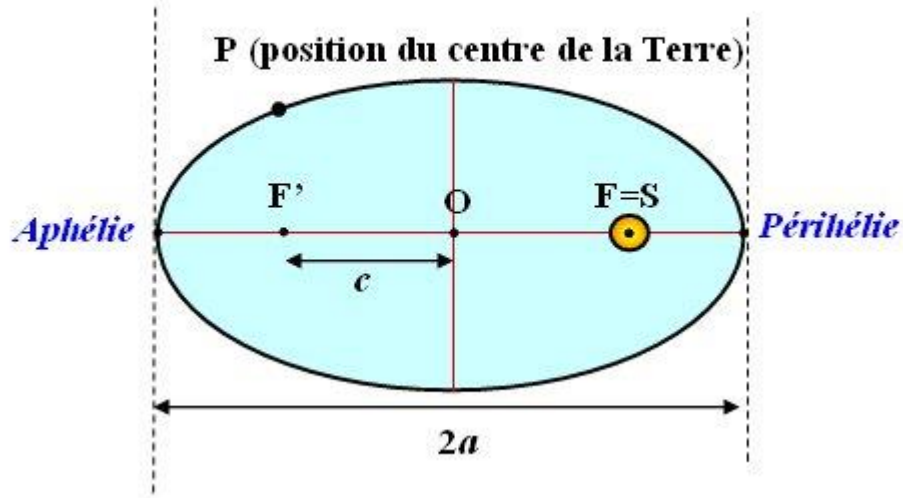
- A 22 ans, il a déjà écrit plusieurs ouvrages courts, dont un sur la projection des cartes.

- En astronomie, il observe les éclipses de Lune et de Soleil. Il est l'un des premiers à évaluer les erreurs sur ses mesures et celles de ses prédécesseurs.

Il constate une différence entre la vitesse moyenne et la vitesse apparente d'un astre.

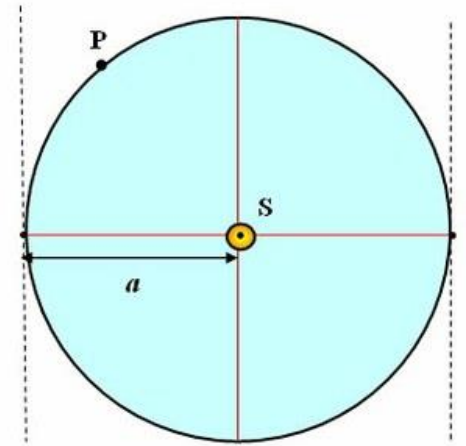


Excentricité maximum (excentricité fortement exagérée)



| Planète | Excentricité orbitale<br>Époque J2000 |
|---------|---------------------------------------|
| Mercure | 0,205 630 69                          |
| Vénus   | 0,006 773 23                          |
| Terre   | 0,016 710 22                          |
| Mars    | 0,093 412 33                          |
| Jupiter | 0,048 392 66                          |
| Saturne | 0,054 150 60                          |
| Uranus  | 0,047 167 71                          |
| Neptune | 0,008 585 87                          |

Excentricité nulle (trajectoire circulaire)



$$e = c/a$$

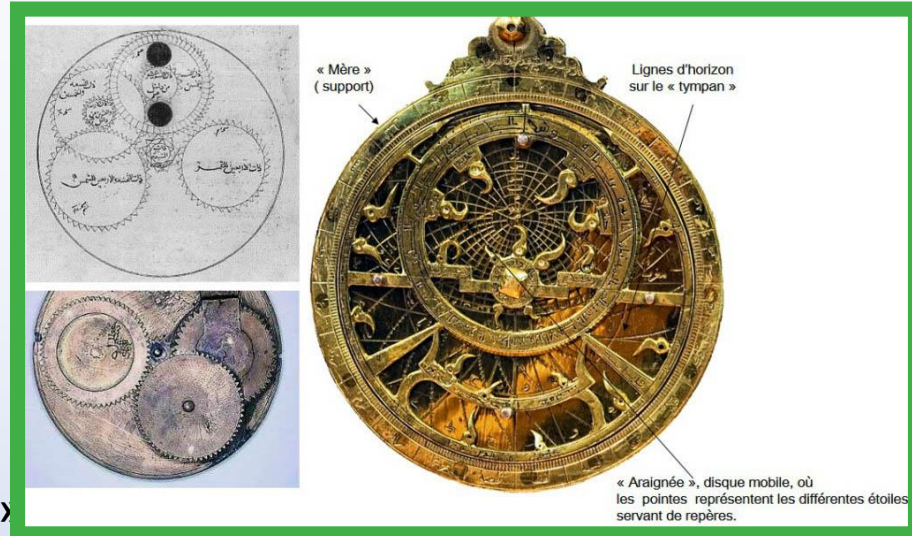
L'excentricité actuelle de l'orbite terrestre est de 0,0167. Ce qui entraîne une variation de la distance Terre-Soleil de 3 % sur un an : de 147 100 000 km au périhélie le 3 janvier à 152 100 000 km à l'aphélie le 6 juillet

- Il mesure le rayon de la Terre à 6939,6 km ( 6378 km) Europe jusqu'au XVI<sup>ème</sup> siècle
- Lors de ses voyages, il rencontre des astronomes indiens partisans de l'héliocentrisme et de la rotation de la Terre sur son axe. Il sera toujours sceptique, car cette théorie implique le mouvement de la Terre.

Mais il se posera la question :

« **voilà un problème difficile à résoudre et à réfuter** »

Il estime que cette théorie n'entraîne aucun problème sur le plan mathématique.

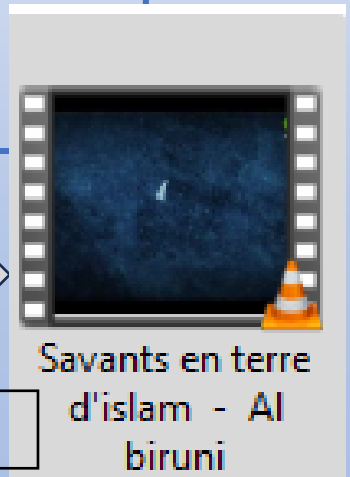


En mathématiques, il développe le calcul des proportions (règle de trois), démontre que le rapport de la circonférence d'un cercle à son diamètre est irrationnel (futur nombre pi), calcule des tables trigonométriques, et met au point des méthodes de triangulations géodésiques.



Mais certains en parlent mieux que moi

<https://youtu.be/McmLLBYvU8A>



## Ali Ibn Ridwan (988-1061)



Pour terminer cette période, citons enfin Ali Ibn Ridwan (988-1061) qui observa et commenta une supernovae (SN 1006) sans doute la plus brillante connue.

Elle resta visible 1 an. Aujourd'hui visible en rayons X, gamma ou radio .



Sur les bases des travaux de ces grands précurseurs, des observatoires plus importants sont construits. Le premier d'entre eux, modèle des suivants, est celui de **Marâgha**, dans l'Iran actuel. Leur but est d'établir des modèles planétaires, de comprendre leur mouvement. Les architectes de ce premier observatoire sont Nasir Al-Tûsî (1201-1274) et AlUrdi (?-1266). L'école ainsi constituée aura son apogée avec Ibn Al-Shâtir (1304-1375). D'autres observatoires suivront, comme **Samarkand** au 15ème siècle, **Istanbul** au début du 16ème siècle, et celui de **Tycho Brahé** en occident à la fin du 16ème siècle.

Les nouveaux modèles ne sont plus d'inspiration Ptoléméenne, mais restent géocentriques.

La physique de l'époque refuse toujours de mettre la Terre en mouvement et de l'enlever du centre du monde.

Ces modèles s'inspirent des épicycles grecs, en conservant les cercles, mais en les simplifiant.

*Par exemple, Al-Tûsî propose un système comprenant un cercle roulant à l'intérieur d'un autre cercle de rayon double. Ce système transforme deux mouvements circulaires en un mouvement rectiligne alternatif, et explique les variations de la latitude des planètes. En outre, il rend compte des variations des diamètres apparents des astres.*

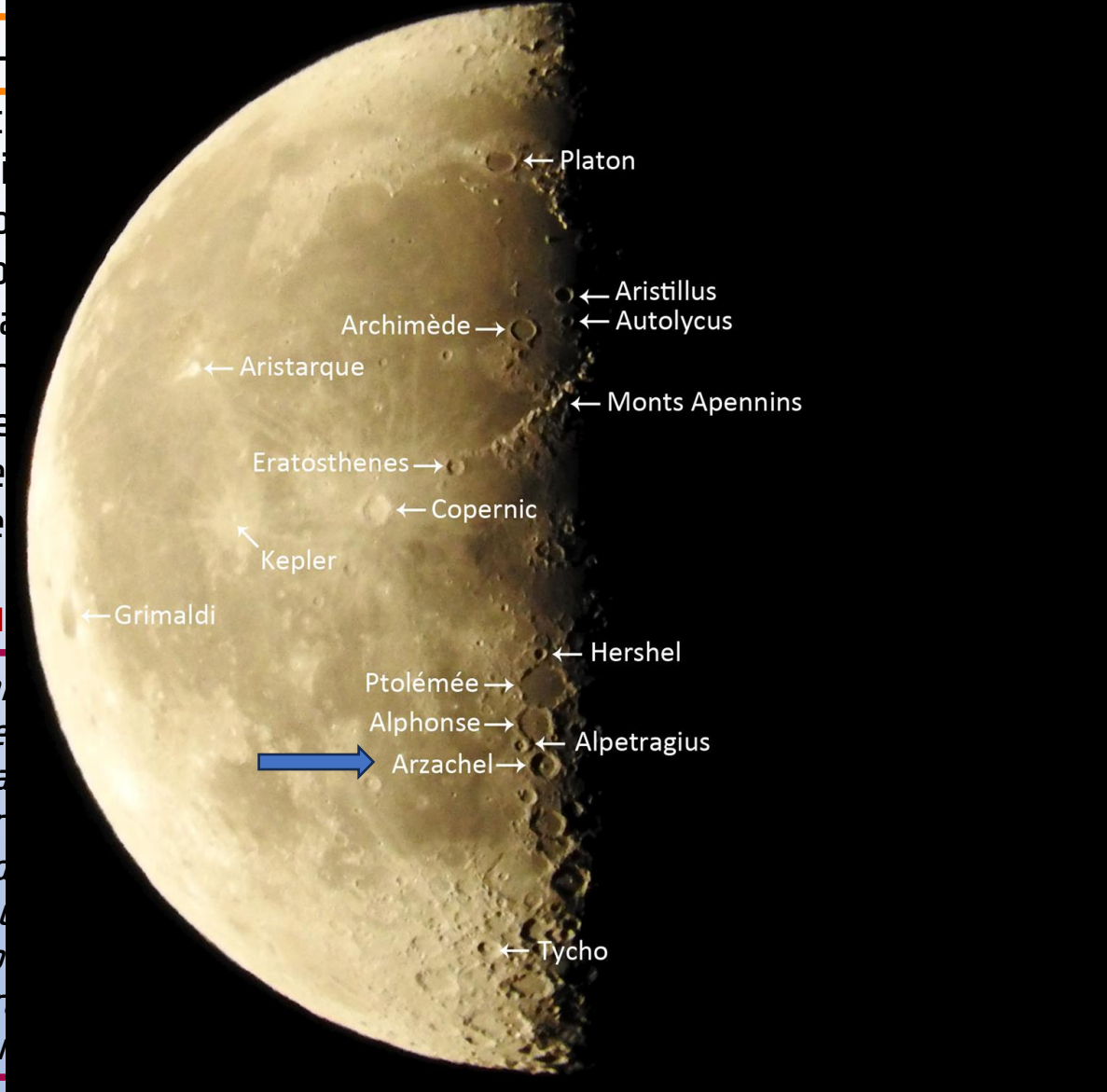
Mais pour aller plus loin, il faudra changer de philosophie, ce que les arabes se sont refusés de faire. Ce changement interviendra avec la révolution copernicienne, à la renaissance, dans laquelle la Terre perd son statut de centre du monde





**Al-Zarqali (1029-**

Mathématicien, ast  
il discute la possibi  
ses écrits seront co  
Il conçoit des astro  
utilisées par les gra  
Colomb, et servir  
Il établit que l'exce  
du cercle sur leque  
périodiquement de



← Platon

← Aristillus

← Autolycus

Archimède →

← Aristarque

← Monts Apennins

Eratosthenes →

← Copernic

← Kepler

← Grimaldi

← Hershel

Ptolémée →

Alphonse →

→ Arzachel →

← Alpetragius

← Tycho

**Un cratère de la Lune porte son nom, ainsi qu'u**

*Les écrits d'al-Zarqali ont exercé une profonde influence sur les tables alphonsines, en référence au roi Alphonse X de Castille. En occident, les travaux d'al-Zarqali ont suscité un profond intérêt. Ainsi, au XII<sup>ème</sup> siècle, Gérard de Crémone traduit les œuvres d'al-Zarqali. Au XV<sup>ème</sup> siècle, Regiomontanus élabore un ouvrage sur l'astronomie. En 1530, le savant bavarois, Jacob Ziegler, écrit un commentaire sur les œuvres d'al-Zarqali. En 1530 aussi, Nicolas Copernic cite les noms d'al-Zarqali dans son ouvrage «De Revolutionibus Orbium Celestium» (Des révolutions des sphères célestes).*





## Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī

Astronome et mathématicien, né à Tus dans l'Iran actuel, il fit construire et dirigea l'observatoire de Maragha.

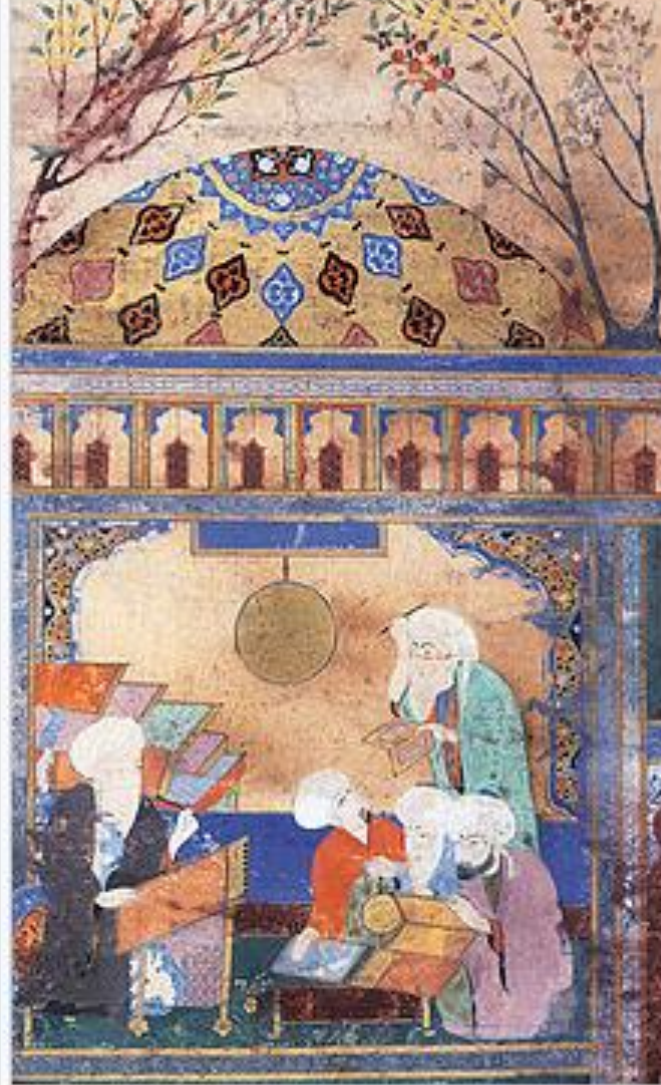
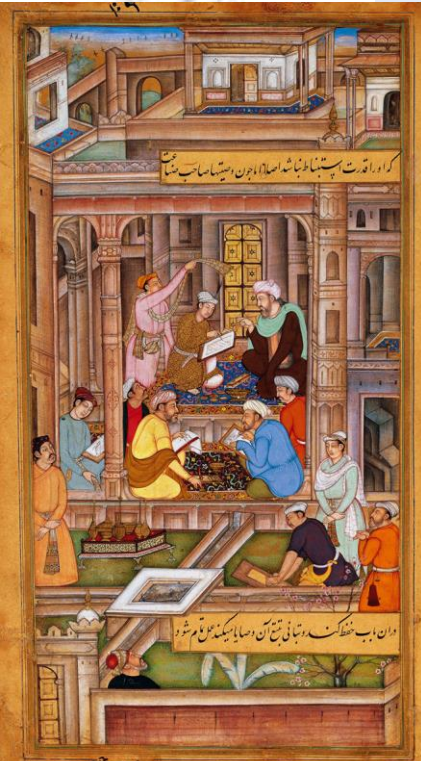
Le projet l'occupa pendant plus de dix ans avec la mise en place d'une bibliothèque, d'une Communauté scientifique regroupant des savants musulman mais aussi chinois.

Il étudie les travaux de Al-Khayyam sur les proportions, s'intéresse à la géométrie et en particulier à la géométrie sphérique.

Côté astronomie, il commente l'almageste et le complète, comme plusieurs astronomes (Al-Battani...) avant lui.

Il estime l'obliquité de l'écliptique à  $23^{\circ}30'$ .

**Il publie 2 ouvrages d'astronomie qui prendront plus tard le titre de « Trésor de l'Astronomie »**



Al-Tusi à l'observatoire de Maragha.

Avec son équipe, il élabore de nouvelles tables astronomiques, les Tables Ilkhaniennes



L'observatoire de Marâgheh

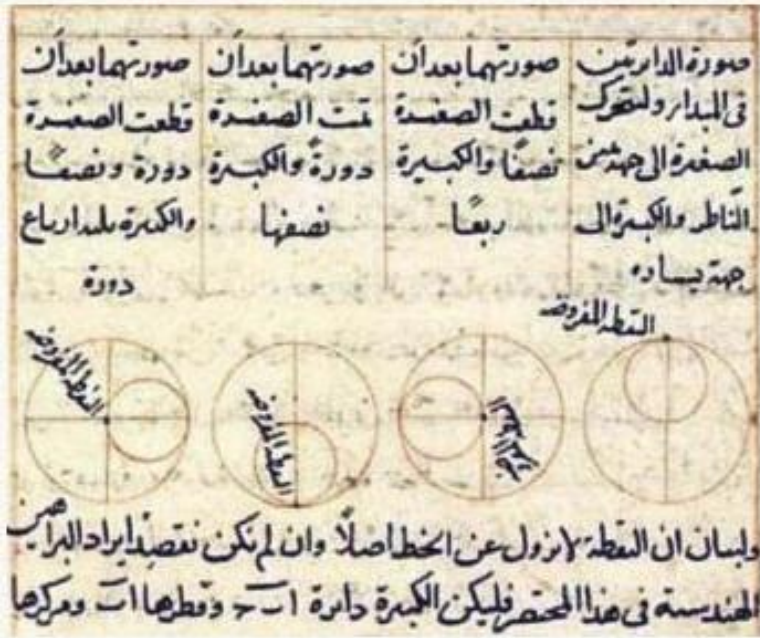


Diagramme du célèbre couple de Tûsi, XIIIe siècle, manuscrit no319 (folio 28v) arabe, conservé aujourd'hui à la Bibliothèque du Vatican

*Dans ces deux ouvrages, al-Tusi tente de trouver des solutions aux problèmes soulevés par le modèle astronomique de Ptolémée (mouvement non uniforme, mouvement non circulaire). Il met en place un modèle, appelée couple d'al-Tusi, utilisant deux cercles, le plus petit roulant à l'intérieur d'un cercle deux fois plus grand. Ce modèle permet d'expliquer une rotation non uniforme et de remplacer un mouvement d'oscillation rectiligne par la combinaison de deux rotations. Al-Tusi l'utilise dans le modèle de la Lune et des planètes supérieures. Il en démontre également une version sphérique qui lui permet d'expliquer le phénomène de la prosneuse (oscillation de l'axe de l'épicycle lunaire). Ce modèle se retrouve ensuite dans l'œuvre de Copernic laissant supposer une éventuelle influence.*

Un cratère de 52 kilomètres de diamètre sur l'hémisphère sud de la Lune a été baptisé « **Nasireddin** » pour lui rendre hommage, par l'Union astronomique internationale en 1935.



## Al-Kashi (1380-1439)

Mathématicien et astronome perse, il assiste à une éclipse de Lune en 1406 et rédige plusieurs ouvrages astronomiques par la suite.

C'est à Samarkand qu'il passe le reste de sa vie, sous la protection du prince Ulugh Beg (1394-1449) qui y a fondé une université.

Il devient le premier directeur du nouvel observatoire de Samarkand.

Ses tables astronomiques proposent des valeurs à 4 (5 selon les sources) chiffres en notation sexagésimale (base 60 comme notre mesure des angles ou du temps)

de la fonction sinus. Il donne la manière de passer d'un système de coordonnées à un autre.

**Son catalogue contient 1018 étoiles. Il améliore les tables des éclipses et de visibilité de la Lune**

**IV Formule d'Al-Kashi**

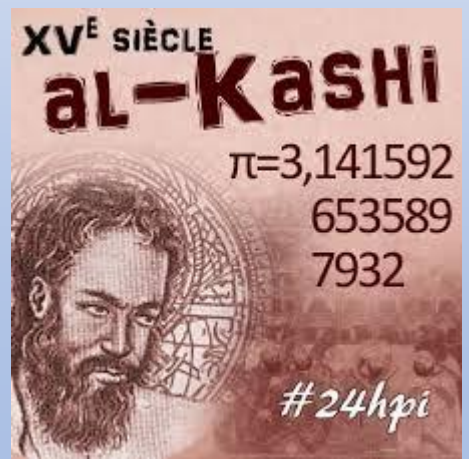
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \hat{A}$$

On obtient aussi :  $S = \frac{1}{2} c h = \frac{1}{2} c (b \sin \hat{A})$   
et aussi  $S = \frac{1}{2} c a (\sin \hat{B})$  et  $S = \frac{1}{2} a b (\sin \hat{C})$

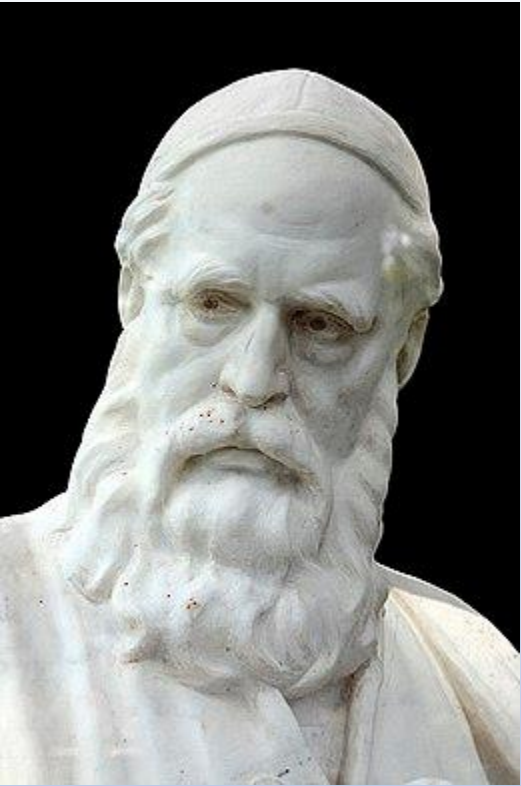
qui donne  $\frac{abc}{25} = \frac{a}{\sin \hat{A}} = \frac{b}{\sin \hat{B}} = \frac{c}{\sin \hat{C}}$   
appelée **Formule des sinus**



*Dans son traité sur le cercle, il obtient une valeur approchée de Pi ( $\pi$ ) avec 9 positions exactes en notation sexagésimale, soit 16 décimales exactes.*



## Ulugh Beg (1394-1449)



Petit fils de Tamerlan (Timur Lang, descendant de Gengis Khan ?), prince des Timourides (descendants de Tamerlan), il accède au trône en 1447.

C'est un remarquable savant et un piètre politicien, charge qu'il délègue pour s'adonner à la science.

Son professeur est Qadi-zadeh Roumi (1364-1436) qui développe chez lui le goût pour les mathématiques et l'astronomie.

Il fait bâtir plusieurs écoles dont une à Samarkand en 1420 où il enseigne, et un observatoire en 1429.

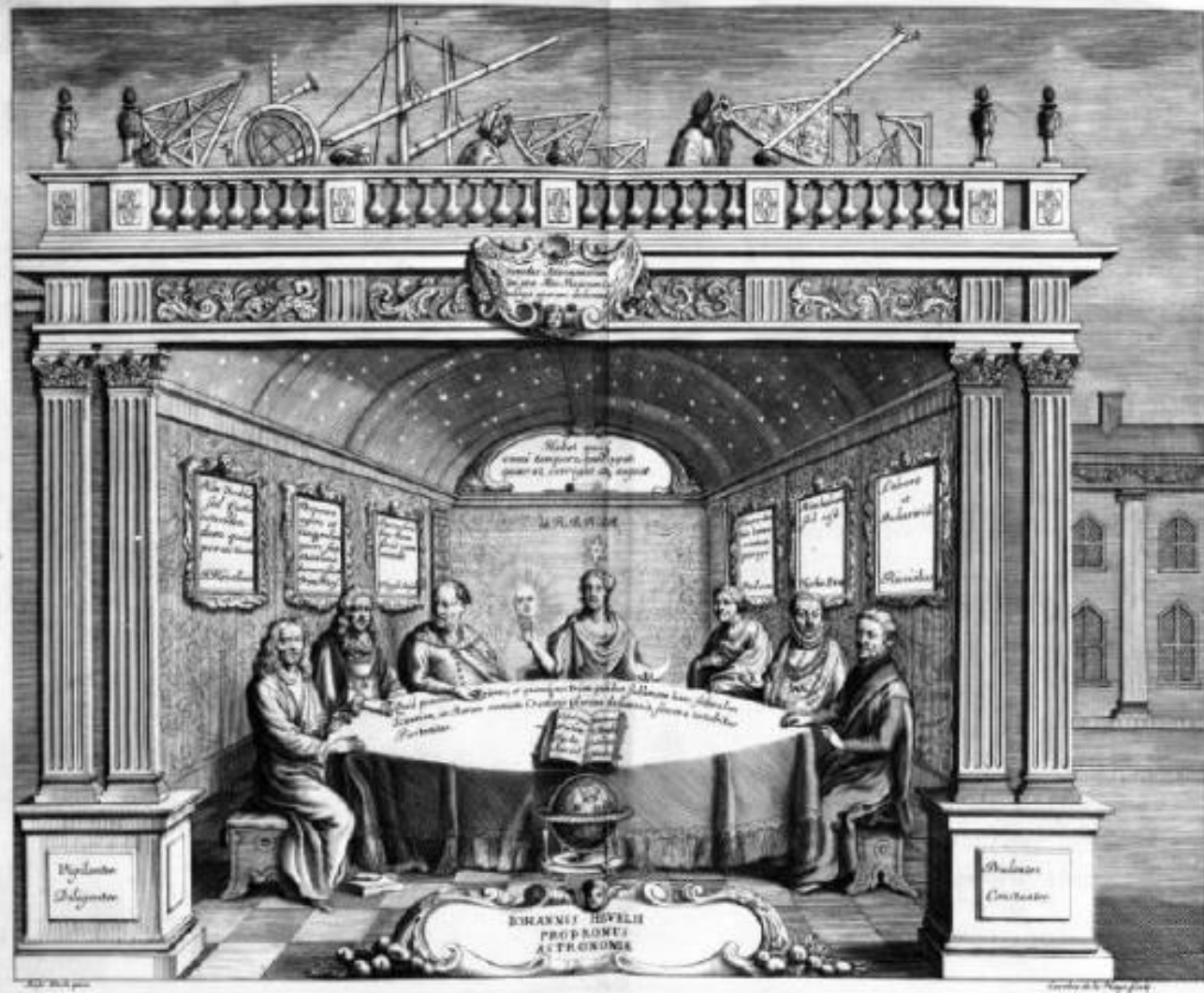
Il y travaille avec quelque 70 mathématiciens et astronomes (dont Al-Kashi) pour rédiger les « tables sultaniennes » parues en 1437 et améliorées par Ulugh Beg lui-même peu avant sa mort en 1449.

La précision de ces tables restera inégalée pendant plus de 200 ans, et furent utilisées en occident. Elles contiennent les positions de plus de 1000 étoiles.

Leur première traduction date d'environ l'an 1500, et fut réalisée à Venise.

La fin d'Ulugh Beg fut tragique ; son fils aîné, Abdallatif, le détrôna et le fit mettre à mort en 1449.

***Avec lui se termine la période des travaux astronomiques et mathématiques de l'Orient musulman.***



Extrait du *Prodromus Astronomiae* d'Hévélius (édition de 1690), présentant notamment le prince Ulugh Beg (le troisième en partant de la gauche)

## Les observatoires arabes

L'observatoire moderne, dans sa conception, est un digne successeur des observatoires arabes de la fin du moyen-âge.

A l'inverse de l'observatoire privé des philosophes grecs, l'observatoire islamique est une institution astronomique spécialisée, avec ses propres locaux, du personnel scientifique, un travail d'équipes avec observateurs et théoriciens, un directeur et des programmes d'études.

Ils ont recours, comme aujourd'hui, à des instruments de plus en plus grands, afin d'améliorer constamment la précision des mesures.

Le premier de ces observatoires est construit sous le règne d'Al-Mamoun (*la maison de la sagesse*) en Irak actuel au IX<sup>ème</sup> siècle, puis l'observatoire de *Ray*, proche de Téhéran, avec son monumental sextant mural en 994.

Il faut y ajouter ceux de *Tolède* et *Cordoue* en Espagne, de Bagdad, d'Ispahan.

Les plus réputés ne furent établis qu'à partir du XIII<sup>ème</sup> siècle avec *Marâgha* au nord de l'Iran actuel, construit en 1259 avec les fonds prélevés pour entretenir les hôpitaux et les mosquées.

Nous l'avons vu le grand Al-Tûsi y travailla.

Vint ensuite l'ère de *Samarkand*, en 1420 dont les vestiges ont été retrouvés en 1908 par une équipe russe. A Samarkand, le sextant mesuré presque 60 m de rayon.

# Meragha

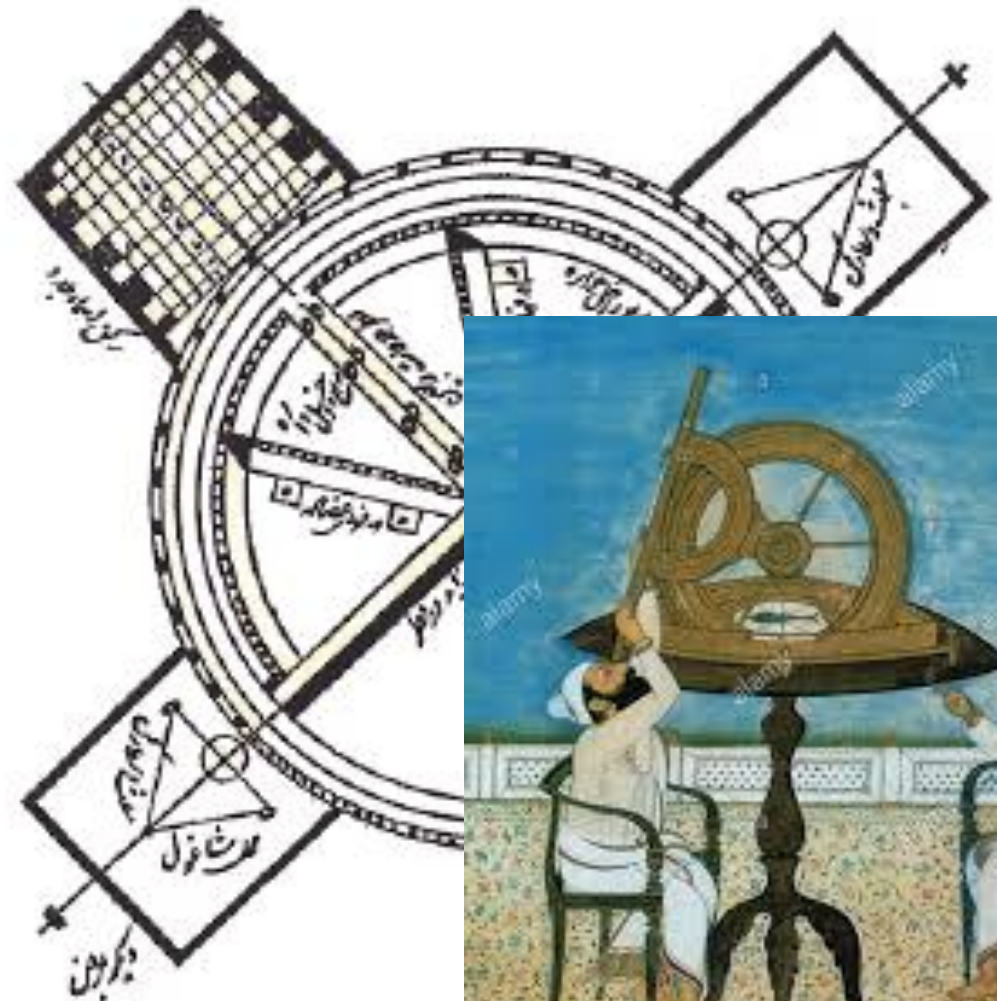


Figure extraite d'un manuscrit où sont décrits les instruments utilisés à Meragha.

Samarkand





Observatoire de Samarkand  
(reconstitution)



Site de l'observatoire astronomique d'Ulugh Beg à  
Samarcande

## Observatoire d'Istanbul

En 1574, Murad III devient le nouveau sultan de l'Empire ottoman. L'astronome officiel de l'empire, Taqi al-Din, présente au Sultan un mémoire justifiant la construction d'un observatoire astronomique à Constantinople (Istanbul) pour mettre à jour les tables existantes. Le sultan accepte, et fait construire l'observatoire qui sera terminé en 1577.

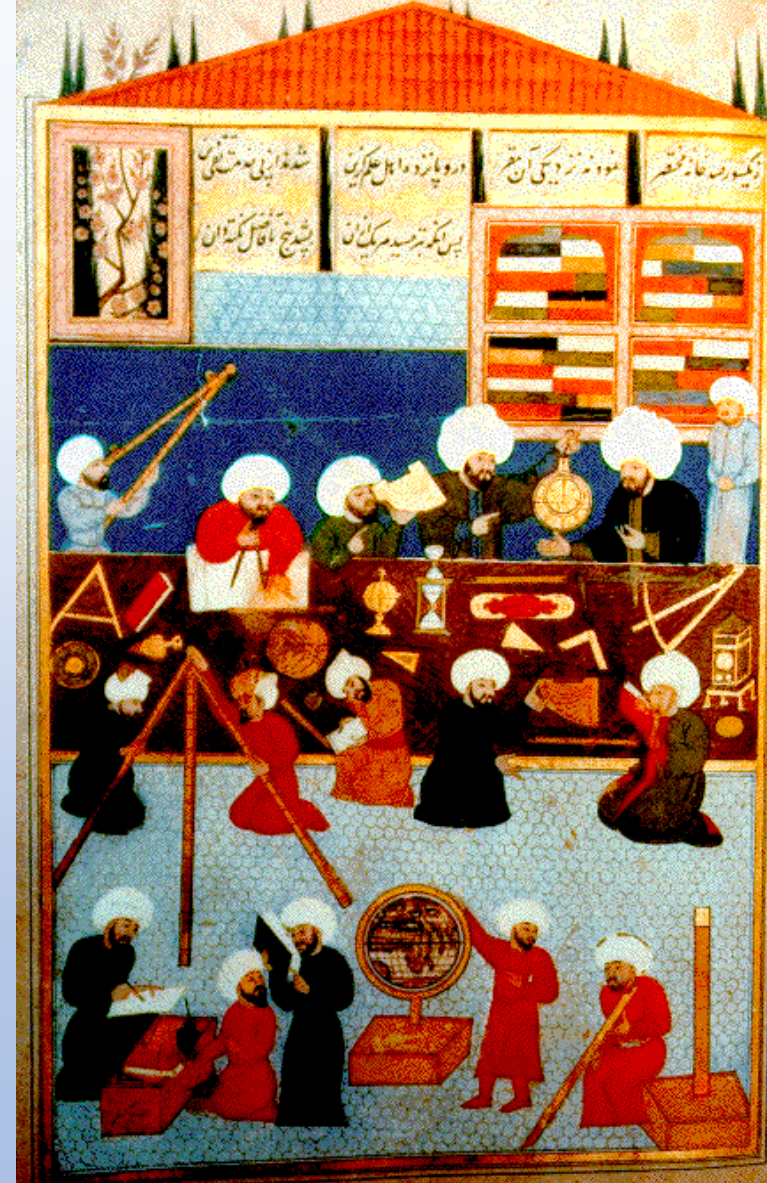
Cet observatoire est composé de deux grandes structures perchées sur une colline, sur la partie européenne de Constantinople.

Le bâtiment principal était réservé à la bibliothèque, et les chambres du personnel.

Un autre bâtiment plus petit contenait certains instruments de Taqi al-Din, dont une sphère armillaire géante et une horloge pour mesurer la position et la vitesse des planètes du système solaire.

Taqi al-Din espérait mettre à jour les tables astronomiques décrivant le mouvement des planètes, du soleil et de la lune.

Al-Din voit une comète depuis son observatoire, il pense que c'est un présage qui annonce une prochaine victoire militaire de l'Empire ottoman. Cependant, cette prévision était fautive, l'Empire ottoman perd cette bataille, et sous la pression de son entourage, le sultan Murad III décide la destruction de l'observatoire en 1580.



A medieval manuscript illustration depicting a group of people in a landscape. The scene is set at night under a dark blue sky filled with numerous white, star-like symbols. In the foreground, several figures are shown in period clothing. On the left, a woman in a red and white robe looks upwards. Next to her, a man in a blue and white robe is looking down. In the center, a figure in a red and white robe is holding a book or document. To the right, another man in a blue and red robe is looking down, and a woman in a red and white robe is also looking down. The background features green trees and a yellowish ground. The overall style is characteristic of medieval manuscript illumination.

*Merci de votre attention*