



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الإخوة منتوري 1- كلية العلوم الدقيقة
مخبر الفيزياء الرياضية والجسيمية



ندوة دولية

Journées d'Ibn al-Haytham

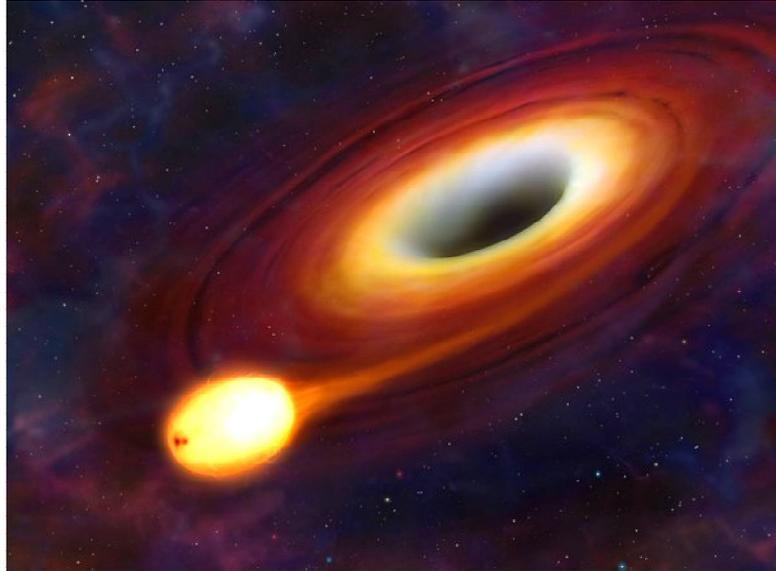
Colloque International & Exposition

21-22 Avril 2015- Constantine



السنة العالمية للضوء
2015
International Year
of Light

PROCEEDINGS



Laboratoire de Physique Mathématique
& de Physique Subatomique- LPMPS
Avec le support de la DGRSDT
et de l'Association Sirius d'Astronomie
Constantine, Algeria 2016



**Ibn Hammad, Ibn Sab`in, Ibn Khaldun
et les autres sources maghrébines relatives à l'optique et à la lumière**
Djamil AÏSSANI, Mohamed Réda BEKLI, Djamel MECHEHED
Société Savante GEHIMAB Béjaia et C.N.R.P.A.H. Alger
E-Mail: lamos_bejaia@hotmail.com

I- Introduction

Les sources maghrébines relatives à l'optique sont quasi-inexistantes. L'objet de cet article est de présenter les éléments disponibles en rapport avec l'optique et la lumière, la vision et les observations localisés ces dernières années : les miroirs de la Qal'a des Béni Hammad et leur utilisation comme moyen de communication (au niveau de *Tariq as-Sultan*), la science optique à Tlemcen (13^e – 15^e siècles), « l'optique » d'Ibn Sab`in (liée aux réponses aux questions siciliennes de l'empereur Frederick II de Sicile) et la circulation de la traduction arabe du traité d'optique de Ptolémée (II^e siècle), les observations des astronomes 'Abu `Ali al-Hassan Murrakushi (XIII^e siècle) et Ibn `Azzuz (XIV^e siècle), la gnomonique et le traité sur les cadrans solaires d'Ibn Raqqam (XIII^e siècle), le traité d'optique géométrique du philosophe catalan Raymond Lulle (XIV^e siècle), la notice sur l'optique d'Ibn Khaldun dans la *Muqqadima* (avec la citation du traité d'Ibn al-Haythem), l'observation d'une comète par ash-Shellati (XVIII^e siècle), les instruments d'observation d'Ibn Hamadouche (XVIII^e siècle), l'observation de l'éclipse solaire de 1860 (du côté autochtone et du côté européen),...

En particulier, nous mettrons l'accent sur l'unique observation en Algérie d'une aurore boréale de basse latitude (par Ash-Shellati en 1770), due à une activité solaire intense [3].

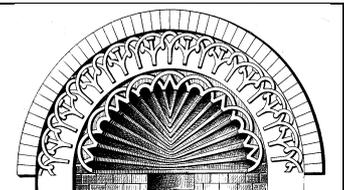
II- Les miroirs de la Qal'a des Béni Hammad

Fondée en 1007 pour devenir la capitale du royaume berbère des Hammadites, la Qal'a des Banī Hammād est le symbole d'une période marquée par l'essor urbain et le développement de la vie intellectuelle. La première et la seule mention relative à l'optique dans la région est rapportée par le célèbre historien Ibn Hammād (1150 –

1230) dans son Histoire des Rois Ubaydides. Il écrit que la Qal'a Kiyāna dans la région de Qal'a des Bani Hammād est appelée par les Berbères, Qal'at al-Marā en raison d'un miroir qui y était placé [8].



Le Manar à la Qal'a des Beni Hammad



Coquille stucquée des niches.

En 1091, la *Qal`a des Béni Hammad* perdit définitivement son statut de capitale au profit de la nouvelle métropole maritime, Béjaïa/Bgayet. Ibn Khaldoun évoque le règne d'al-Mansour, fils d'an-Nasir, qui aurait initié la plupart des édifices d'utilité publique. Il aurait fait venir des architectes et des ouvriers d'Europe pour contribuer aux travaux. A cet effet, Charles Féraud évoque les éléments en rapport avec l'optique : « *Du côté de la ville qui fait face au couchant et au midi, ces ouvriers élevèrent d'abord une tour majestueuse que l'on nomma Chouf-er-Riad, l'observatoire des jardins. Cette tour protégeait trois portes, dont la principale, dite Bab –al-Bounoud (la porte des étendards) était monumentale, garnie de grandes lames de fer, et se trouvait encadrée par deux bastions ; elle ouvrait du côté des jardins et de l'Oued-el-Kebir (Oued Soummam). Au sommet de cette tour existait un appareil à miroirs, correspondant à d'autres semblables, établis sur différentes directions, à l'aide desquels on pouvait correspondre rapidement d'un bout à l'autre de l'empire avec toutes les villes, telles que Constantine, Tunis et la Qal`a (au niveau de Tariq as-Sultan, itinéraire qu'empruntait les souverains et les savants). Pendant la nuit, les signaux se faisaient avec des feux disposés d'une manière convenue ; c'est pour cela que la tour du Chouf er Riad fut également nommée al-Menara, la tour des feux* » [9].



Le village de Chouatra (Bordj Ghedir – Wilaya de Bordj Bou Arreridj, habité par les descendants de Yahya Zwawi). On aperçoit sur les hauteurs le fameux poste d'observation hammadite



Bab el Fouka. La porte des étendards à Bougie (période hammadite)

Ce système « télégraphique » avait déjà été utilisé au III^e siècle de l'hégire par le prince aghlabite Ibrahim. Il aurait fait construire des tours le long du littoral, depuis la frontière de l'Égypte jusqu'à l'Océan [9].

III – La science optique à Tlemcen (XIII^e – XV^e siècles)

L'égyptien Shams ad-Dīn as-Sakhāwī, dans son recueil biographique « *La Lumière éclatante* » (*sur les hommes illustres du XV^e siècle*), nous offre une biographie détaillée de son propre maître Abū al-Fadhl al-Mashdaly al-Bijā'i (1419 – 1460), fils du grand savant Abī Abdullāh Ibn al-Mashdāly.

Après avoir suivi ses premières études à Béjaïa, il se rendit à Tlemcen en 1436 et perfectionna son instruction auprès des plus grands maîtres de son époque. Il étudia, entre autres, l'optique (*‘Ilm al-Marāya wa l-Manāthir*) auprès de Abī ‘Abdullāh Muhammad al-Būrī [4]. Cette information est l'un des rares témoignages qui prouvent l'enseignement de cette discipline au Maghreb.

Dessin : K. Bourhane



© Atelier d'écriture GEHIMAB

Description par Yahia Ibn Khaldun et al-Qalasadi du fonctionnement de la Médersa Ya`koubiyya de Tlemcen. Cours d'Ibn Zaghu aux étudiants al-Qalasadi, al-Mashdaly, as-Sanusi et al-Murrakeshi (vers 1440)

Toujours à Tlemcen, il existe une autre information relative à l'optique. Ainsi, Ibn al-Semak a rencontré le célèbre mathématicien al-Abily (m. 1356) à Tlemcen vers 1340. Ce dernier lui aurait raconté qu'il avait vu à Ceuta des chrétiens qui utilisaient des miroirs pour faire rôti des poulets (édité par Saïdan Ahmed) [4].

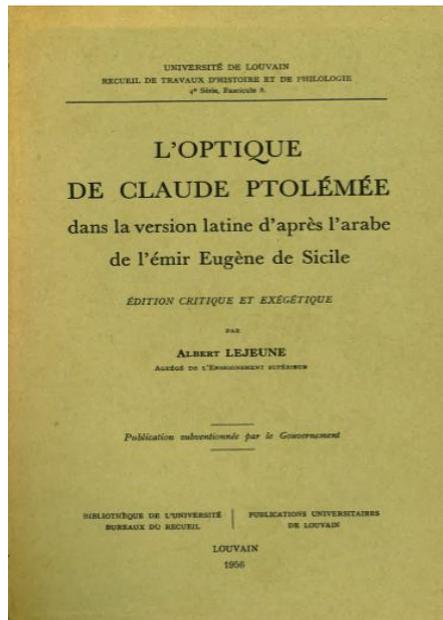
IV – «L'optique» d'Ibn Sab`in (liée aux réponses aux questions siciliennes de l'empereur Frederick II de Hohenstafen et à la circulation de la traduction arabe du traité d'optique de Ptolémée)

Ibn Sab`in (Murcie 1217 – Béjaia 1270) est célèbre pour avoir répondu aux questions philosophiques que l'empereur Frederick II de Hohenstafen avait adressé au Sultan almohade Abd al-Wahid al-Rashid. Ces questions siciliennes tournent principalement autour de problèmes philosophiques, comme la logique d'Aristote, l'immortalité de l'âme et la genèse du monde. Dans ce paragraphe, nous allons aborder deux aspects liés à Ibn S`abin et à l'optique. Le premier est lié à la circulation de la traduction arabe du traité d'optique de Ptolémée autour de la Méditerranée et à sa traduction en latin (à partir de l'arabe) à la Cour de Palerme à l'époque même des « questions siciliennes ». Le deuxième aspect est lié à « l'optique » d'Ibn Sab`in. Cette expression n'est pas utilisée au sens scientifique où on entend ce mot. Elle est employée par les spécialistes de sciences humaines pour désigner « *la façon de voir les choses* » d'Ibn Sab`in (c'est-à-dire, son « *point de vue* »).

a) *Ibn Sab`in, les rapports Béjaia – Sicile et l'optique de Ptolémée*

A l'époque d'Ibn Sab`in, le « Royaume des deux Siciles » est en quelque sorte le carrefour des cultures byzantine, arabe et latine. Les conquérants occidentaux sont ouverts vis-à-vis des communautés grecques et musulmanes. Ils attirent à la Cour des savants musulmans. Cette situation géographique et politique permet l'accès aux sources grecques et arabes.

C'est dans ce cadre que l'Emir Eugène a eu accès aux manuscrits (en arabe) du traité d'optique de Ptolémée. A ce moment là, il était bien connu comme étant l'un des représentants du milieu des érudits qui s'est formé dans l'entourage des Rois Normands de Sicile, qui a puissamment contribué au mouvement de renaissance du XII^e siècle [10].



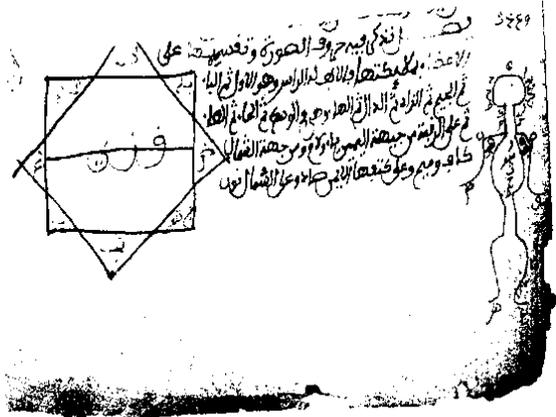
La traduction latine de la version arabe du traité d'optique de Ptolémée

L'optique de Ptolémée (II^e siècle) est le dernier traité écrit sur la question, dont l'apport scientifique est reconnu, et qui précède immédiatement l'ère des compilateurs et des commentateurs [10]. Rappelons que la traduction arabe de ce traité a été réalisée autour du règne du calife al-Ma'mun (m. 833). Il restera un ouvrage fondamental en la matière jusqu'en l'an mille. En effet, même Ibn al-Haithem (al-Hazen, mort en 1039) écrit un abrégé d'optique tiré des deux ouvrages d'Euclide et de Ptolémée. Il considère au début que cela représente l'état de la science [10]. Cependant, cette traduction arabe continuera à circuler en Méditerranée, notamment à l'époque des questions siciliennes.

Contrairement à l'Almageste, « l'optique » de Ptolémée n'est pas devenue un « classique ». Il n'existe aucune copie grecque et « *seul l'heureux concours d'un traducteur arabe et d'un érudit sicilien a permis de posséder une version latine* » [10]. Amiratus Eugenius Sicilus (L'Emir Eugène) est l'auteur de cette traduction. Il travaille donc dans un milieu exceptionnellement favorable, car il avait notamment à sa disposition deux manuscrits arabes. Après l'ouvrage fondamental d'Ibn al-Haytham, l'optique de Ptolémée n'aura plus qu'un intérêt historique.

b) « *L'optique* » d'Ibn Sab`in

Ibn Sab`in s'était distingué à Béjaïa en *Fiqh* et en *Hikma*. C'est dans cette ville qu'il rencontra ash-Shushtari (1213 – 1269), qui deviendra le plus fidèle de ses disciples. L'*isnad* de la méthode d'Ibn Sab`in (*Tariqa Sab`iniyya*) est donné par ash-Shushtari dans l'une de ses *Qasida*. Il montre l'imbrication de deux cultures grecque et musulmane, telle que l'acceptaient les adeptes d'Ibn Sab`in . On y voit figurer entre autre transmetteurs, Platon, Aristote, Alexandre le Grand, al-Hajjaj, Sidi Bou Medienne,... [1].



Ibn sab'in et ash-Shushtari à Béjaïa

Les oeuvres d'Ibn Sab`in ont eu une influence sur les travaux du Philosophe Catalan Lulle

Les travaux d'Ibn Sab`in apparaissent comme un point de contact essentiel entre le philosophe catalan Raymond Lulle et l'Islam. En effet, les travaux du Professeur Lohr ont montré que à partir de 1303, dans son effort pour constituer ce qu'il appelle *Logica Nova*, Lulle a intégré définitivement les principaux éléments de la partie logique du *Budd al-`Arif* d'Ibn Sab`in [4].

V – L'astronomie au Maghreb (X^e – XVIII^e siècles)

Il est possible de cerner la tradition astronomique médiévale du Maghreb en analysant les travaux réalisés par les astronomes au niveau des principaux centres scientifiques: Ibn Ishaq (Tunis, 13^e siècle), Ibn al-Bannā' (Fès et Marrakech, XIV^e siècle), Ibn `Azzuz et Ibn Qunfudh (Constantine, 14^e siècle), al-Habbak et as-Sanusi (Tlemcen, XV^e siècle),... [6].

Quant à Béjaïa et sa région, deux périodes caractérisent leur contribution au développement des connaissances dans le domaine de l'astronomie. Tout d'abord l'époque médiévale. La cité était célèbre par le niveau de son école. Le marocain Abū `Alī al-Hassan (m. 1262) y réalisa des observations astronomiques, alors que l'andalou Ibn Raqqam (m. 1315) y établit ses tables astronomiques. Les débats y étaient si intenses au point que l'astronomie n'était pas intégrée au sein de la même discipline dans la classification de deux savants de Béjaïa (la physique pour Ibn Sab`in au 13^e siècle et *Ilm at-Ta`alim* - les mathématiques pour Ibn Khaldun au XIV^e siècle).

Après la destruction de la ville par les espagnols au début du XVI^e siècle, le relais sera assuré par la province. Commence alors l'épopée des *Zawiyya* – Instituts de la Kabylie.

L'analyse des sources occidentales permet d'avoir une idée du niveau atteint en astronomie en Algérie au 18^e siècle. Ainsi, le témoignage du Docteur Thomas Shaw, qui avait rencontré le premier astronome d'Alger chargé de régler, entre autres, les heures de la prière, est très critique. Il affirme notamment que "*Ces peuples (de l'Afrique du nord) considèrent les quarts de cercle, les astrolabes et les autres instruments de leurs ancêtres, qui ont échappé aux ravages du temps, plutôt comme de simple objets de curiosité que comme des choses d'une utilité réelle*". Pourtant, le Dr Shaw avait une haute opinion de la tradition astronomique médiévale du Maghreb. En effet, il écrit: "*j'ai eu l'occasion d'examiner quelques-uns de leurs calendriers, qui tous ont été dressés par leurs ancêtres, et où la place du soleil, les signes du zodiaque, la durée du crépuscule, et les heures des prières, pour chaque jour, sont très exactement indiqués et distribués par colonnes avec beaucoup de symétrie*" [11].

VI – Les observations d'Abu `Ali al-Hassan (Murrakushi)

Ayant vécu à Marrakech, l'astronome Abū `Alī al-Ḥassan (Murrākushī) « a ajouté par ses voyages, aux connaissances qu'il avait acquises, celles des plus savants hommes des seules contrées où les sciences fusses alors cultivées avec succès » [6]. Son ouvrage *Jāmi' al-Mabādi' wa al-Ghāyāt fī 'Ilm al-Mīqāt* (Collection des commencements et des fins dans la science du temps) est divisé en quatre disciplines, à savoir le calcul (comportant 87 chapitres), l'élaboration des appareils (divisée en 7 parties), l'utilisation des appareils (comportant 15 chapitres), et des études pour acquérir connaissances et puissance créative (comportant 4 chapitres).



أبو علي الحسن المرزكشي في القرن الثالث عشر
مخطوطة جامعة آل سعود

CHAPITRE XXVI. 205

NOTE DE LA TABLE DES LATITUDES DE QUINZE LIEUX TERRESTRES.

NOM DES VILLES.	LATITUDE		NOM DES VILLES.	LATITUDE	
	HAUTEUR	PROFONDEUR		HAUTEUR	PROFONDEUR
11. Mekkah.....	21	30	11. Zohal.....	3	24
12. Sines.....	31	30	12. Khosentinah.....	3	24
13. Sindh.....	3	30	13. Sindh.....	3	24
14. Sindh.....	3	30	14. Sindh.....	3	24
15. Sindh.....	3	30	15. Sindh.....	3	24
16. Sindh.....	3	30	16. Sindh.....	3	24
17. Sindh.....	3	30	17. Sindh.....	3	24
18. Sindh.....	3	30	18. Sindh.....	3	24
19. Sindh.....	3	30	19. Sindh.....	3	24
20. Sindh.....	3	30	20. Sindh.....	3	24

Les observations de l'astronome al-Murrakshi : Bougie, Kosentinah (Constantine),...

Au XIII^e siècle, il a parcouru en observateur quarante-et-une localités, où il a relevé lui-même la hauteur de l'étoile polaire, depuis diverses villes du Maroc et du Sahara Occidental, et les deux villes de l'Espagne musulmane, Séville et Cadix, jusqu'en Égypte (Le Caire, Alexandrie...), en passant par quelques villes de l'Afrique septentrionale, tel que Bougie, Tunis et Tripoli.

En particulier, Abū `Alī al-Ḥassan a mesuré la Latitude de la ville de Khosentinah (Constantine), en mesurant directement la hauteur de l'étoile polaire. Il obtient la valeur : 34° 15' (trop petite par rapport à la valeur actuelle qui est de 36° 17').

Voici la méthode utilisée :

On prend la hauteur méridienne du soleil au dessus de l'horizon :

- 1) Si cette hauteur est de 90° :
 - a) le soleil n'a pas de déclinaison, alors, il n'y a pas de latitude ;
 - b) le soleil a une déclinaison, alors la latitude est égale à cette déclinaison
- 2) Si cette hauteur prise [à midi] est au dessous de 90° :
 - a) le soleil n'a pas de déclinaison. Dans ce cas, on retranche cette hauteur de 90° . Le reste sera la latitude.
 - b) si le soleil a une déclinaison, on l'ajoute à la hauteur observée si elles sont de même dénomination (respectivement, on y retranche la hauteur si elles ne sont pas de même dénomination). Si le résultat de l'addition ou de la soustraction est de 90° , il n'y a pas de latitude. Sinon, la différence à 90° sera la latitude.

VII – La gnomonique au Maghreb

La gnomonique est l'art de construire les cadrans solaires. Ces derniers sont des instruments qui indiquent l'heure solaire suite au déplacement de l'ombre du style, sur une surface graduée, au cours de la journée. Le plus ancien qui nous soit parvenu, est un cadran égyptien constitué d'une tige graduée sur laquelle on lit l'heure grâce à l'ombre projetée par un T placé à l'extrémité de la tige, et il date de 1500 avant J.-C. Vers 550 avant J.-C., Anaximandre élabore le premier cadran grec. Un peu plus tard, le système sera amélioré. Vers 300 av. J.-C., Parménion, par exemple, réalise un cadran transportable [7].

C'est au VII^e siècle que les musulmans découvrent le cadran solaire, et c'est au célèbre al-Khwārizmī qu'on doit le plus ancien texte sur cet instrument. Ce qui caractérise les cadrans arabes, c'est qu'ils font figurer, en plus des lignes horaires, celles des prières du *Zuhr* (midi) et du *Aṣr* (après-midi). Le cadran horizontal de Cordoue, construit par Ibn aṣ-Ṣafār vers l'an 1000, est le plus ancien modèle conservé.

Au Maghreb, les cadrans solaires étaient connus depuis l'antiquité.



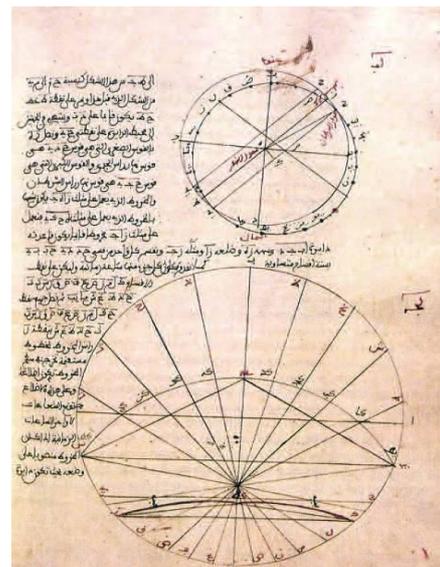
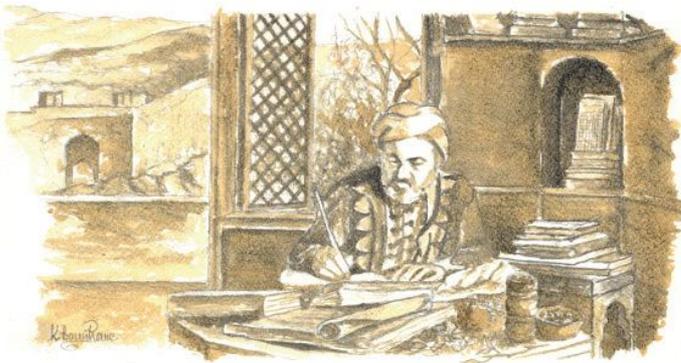
Un cadran solaire est un instrument qui indique l'heure solaire suite au déplacement de l'ombre du gnomon, sur une surface graduée, au cours de la journée. Ici, le cadran solaire du Musée de Tlemcen.

Sur l'une des colonnes de la mosquée Sīdī al-Ḥalwī de Tlemcen est gravé un cadran solaire de type cylindrique. Celui-ci porte l'inscription suivante : « *Fait par Aḥmad b. Muḥamad al-Lamṭī au 11^e mois de l'année 747 (1347 J.C.)* ». Cet écrit constitue un beau spécimen [7].

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

Astronome et Mathématicien d'origine andalouse (Murcie), mais qui a vécu à Bougie, à Tunis et à Grenade, Ibn al-Raqqām doit être considéré comme l'un des plus éminents scientifiques de son époque. Ses nombreux ouvrages témoignent d'un exceptionnel savoir qui ne se rencontre pas, à un degré aussi élevé, même chez de grands esprits. En effet, dans chacune des villes où il a vécu, il a rédigé des tables astronomiques selon la tradition de l'école initiée par les célèbres astronomes Arzachel et le Maghrébin Ibn Ishāq.

Le traité d'Ibn al-Raqqām sur les cadrans solaires se compose de 44 chapitres. Il y explique la construction de huit types de cadrans solaires qui se distinguent par leurs formes (plan ou semi-sphérique) ou par la disposition du plan du cadran (horizontal ou non). Il utilise le cadran solaire horizontal comme base pour la construction des autres cadrans. Le style de ce dernier est parallèle à l'axe des pôles. Les huit cadrans solaires en question sont : le cadran horizontal, le cadran portatif, le cadran vertical, le cadran diptyque vertical et déclinant, le cadran équatorial, le cadran incliné, le cadran incliné et déclinant, le cadran semi-sphérique.



العالم الفلكي والزراعي الأندلسي المشهور ابن رقام (توفي في 1315م) وهو يفكر في كيفية تأليف كتابه الربيع الشامل وكتاب الفلاحة ببجاية.

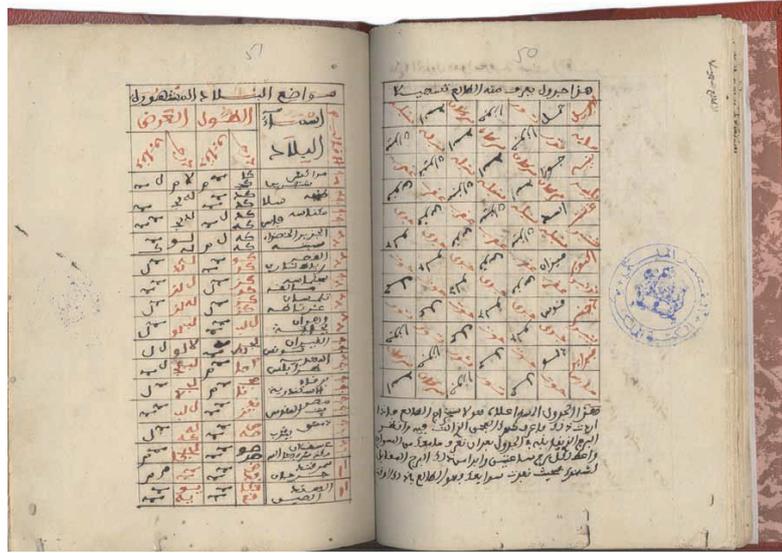
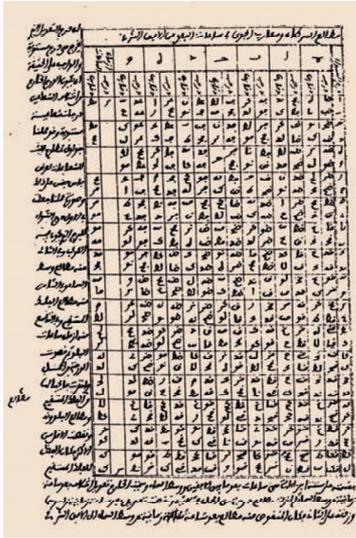
Traité d'Ibn Raqqam sur les cadrans solaires. Manuscrit N° 918. Bibliothèque de l'Escorial.

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

IX - Le Zij d'Ibn `Azzuz al-Qusantini

L'astronome et historien Ibn `Azzuz al-Qusantini (mort en 755h./1354) constate dans son al-Zij al-Muwafiq, que les astronomes du Maghreb ont découvert, moyennant des observations visuelles, que les positions planétaires observées ne s'accordent pas avec ceux que l'on obtient en employant les Zijs de l'école d'Ibn Ishaq. Ibn `Azzuz

croit que cela est dû aux tables de mouvements moyens. A cet effet, il fait des observations à Fès en 745h./1344 avec une grande sphère armillaire, qui lui permettent de corriger ces tables.



al-Zij al-Muwafiq. Tables astronomiques d'Ibn 'Azzuz al-Qasantini (mort en 1354).

Traité d'astronomie d'Ibn al-Qunfud. Il donne la latitude et la longitude des principales villes du Maghreb

X – Le traité d'optique géométrique du philosophe catalan Raymond Lulle

Pour interpréter la loi de la réflexion, il a été nécessaire d'imaginer une théorie de la lumière. La propagation rectiligne de la lumière et sa réflexion sur un miroir rappellent le mouvement d'une balle dans l'air et sa réflexion sur un mur. Ce rapprochement a conduit à concevoir pour la lumière une structure corpusculaire [10].

A partir de cette conception de la propagation rectiligne de la lumière s'édifie une optique géométrique. Pour Ibn al-Haytham (965 – 1039), la lumière a une origine extérieure à l'œil. Elle émane de l'objet et se propage rectilignement. Dans son traité d'optique, il a décrit de nombreuses expériences utilisant des lentilles sphériques et des miroirs. La grande diffusion de ses travaux et de ceux de Ptolémée en Europe occidentale au 16^e siècle a été le début du développement de l'optique expérimentale [10]. Précisons néanmoins que c'est au 13^e siècle que l'Occident s'est réellement intéressé à l'optique. Vincent de Beauvais parle le premier des miroirs entamés avec du plomb. Mais, c'est le philosophe catalan Raymond Lulle, dans son traité d'optique géométrique, qui a décrit longuement les procédés de fabrication de miroirs entamés avec du plomb [10].

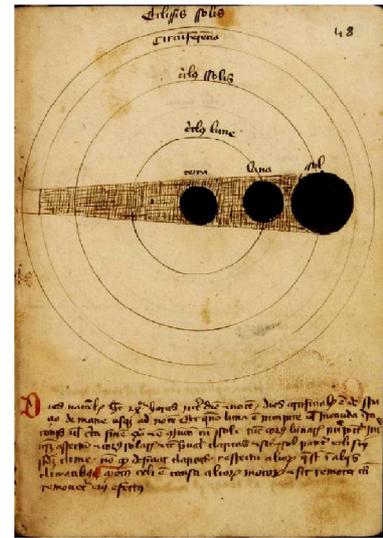
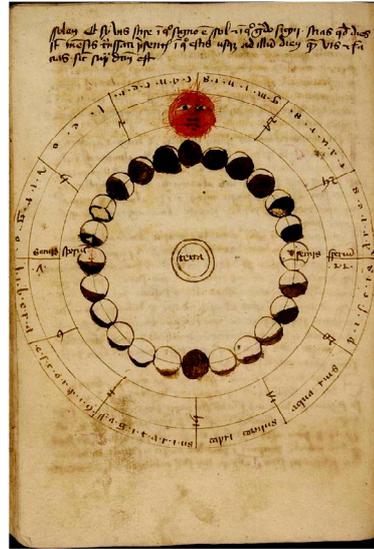
Raymond Lulle (en espagnol Raimundo Lullo, Palma de Majorque 1235 – Bougie (?) 1315), surnommé "*le docteur illuminé*", est surtout connu par son traité *Ars Magna* qui souleva l'admiration de Leibniz. Son art consiste à obtenir mécaniquement toutes les combinaisons possibles entre les concepts fondamentaux.

Raymond Lulle aurait effectué plusieurs voyages à Bougie. C'est cependant son voyage de 1307 qui va entrer dans l'histoire. En effet, il permet la seule

discussion méthodique de Lulle avec un savant musulman dont il reste un compte rendu. Cette discussion n'aura été possible que grâce à la bonne volonté des *Uléma*.



R. Lulle à Bougie (1307)
(Edition de Valence,
1515)

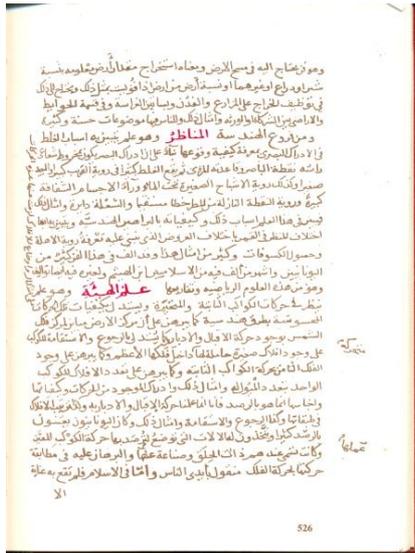


Le "Tractatus Novus de Astronomia", de Raymond Lulle.

L'apport de Lulle pendant son séjour à Bougie est difficile à cerner. Nous ignorons les noms des savants qui le fréquentèrent ainsi que sa production, car, après ses "déboires", le bateau génois qui le ramène fait naufrage et il perd ses manuscrits dans la tempête. Cependant, à Pise, il essaye de reconstituer ses travaux. Une chose est sûre, Lulle a pu travailler en toute liberté à Bougie. Tous les témoignages le précisent et même le voyageur Peyssonnel qui visite la ville quatre siècles après (1725) signale plusieurs emplacements que les pêcheurs majorquins appellent "la caverne de Raymond Lulle". Il est probable qu'une partie du « *Ars Generalis Ultima* » ait été conçu à Bougie. En effet, Lulle le commence à Lyon en 1305 et le termine à Pise en mars 1308 avant de s'attaquer à la nouvelle version de la « *disputatio* ». Dans cet ouvrage, il s'intéresse aux techniques et aux moyens d'accéder aux disciplines scientifiques et à leurs méthodes.

XI – La notice sur l'optique d'Ibn Khaldoun

Ibn Khaldoun (1332 – 1406), grand historien et sociologue maghrébin, a été en poste à Béjaia vers 1365 – 1366. Dans ses écrits, il nous fournit de précieuses informations sur la transmission des connaissances astronomique depuis l'antiquité jusqu'à son époque. Imprégné par les idées de Ptolémée, Ibn Khaldun a montré dans les Prolégomènes un niveau élevé de savoir en astronomie. Fidèle au dogme aristotélicien, il place la terre au centre du monde (géocentrisme), et reprend en gros l'idée des huit sphères cristallines (celles des planètes, de la Lune, du Soleil et des fixes), des cercles excentriques et des épicycles. Cependant, il s'interroge sur leur véritable existence.



Muqqadima, Manuscrit autographe d'Ibn Khaldoun. Bibliothèque d'Istanbul. A droite, la Mosquée de la Qasaba à Béjaia où Ibn Khaldun assurait des cours de Fiqh et de mathématiques

Ibn Khaldoun a consacré une notice sur l'optique dans la *Muqqadima* (avec la citation du traité d'Ibn al-Haythem) :

« Cette science explique les causes des illusions optiques en faisant connaître la manière dont elle ont lieu. L'explication qu'elle donne est fondée sur ce principe que la vision se fait au moyen d'un cône de rayons ayant pour sommet la pupille de l'œil de l'observateur et pour base l'objet vu. Une grande partie des illusions optiques consiste en ce que les objets rapprochés paraissent grands et les objets éloignés petits, que des objets petits vus sous l'eau ou derrière des corps transparents paraissent grands, qu'une goutte de pluie qui tombe fait l'effet d'une ligne droite, et un tison (tourné avec une certaine vitesse) celui d'un cercle, et autres choses semblables. Or on explique dans cette science les causes et la nature de ces phénomènes par des démonstrations géométriques. Elle rend raison des différentes phases de la lune par ses changements de longitude, changements qui servent de base (aux calculs) qui font connaître (d'avance) l'apparition des nouvelles lunes, l'arrivée des éclipses et autres phénomènes semblables [2].

Il ajoute ensuite : *« Beaucoup de Grecs ont traité de cette branche des mathématiques. Le plus célèbre parmi les musulmans qui aient écrit sur cette science est Ibn al-Haitham, mais il y a aussi d'autres auteurs qui ont composé des traités d'optique. L'optique fait partie des mathématiques, dont elle est une ramification » [2].*

Rappelons ici qu'Ibn Khaldun a consacré dans *les prolégomènes* deux chapitres au problème des conjonctions de Jupiter et de Saturne. La sphéricité de la terre était

une idée admise, non seulement par Ibn Khaldun, mais aussi par de nombreux savants de Bougie, tel Ibn Sab`in, bien avant Galilée.

XII – La Célèbre « vision » d’Ibn Arabi à Béjaia

Le cosmologiste Ibn `Arabi (1165 – 1240) expose un système différent du précédent [4]. En plus des huit sphères cristallines, il ajoute une neuvième, la sphère environnante. Cette dernière, animée d’un mouvement de rotation (24 heures), entraîne avec elle toutes les autres sphères. Ainsi, le mouvement de chaque sphère se décompose en deux : un qui lui est propre, appelé mouvement naturel, un autre qui lui est imposé.



La célèbre vision d’Ibn `Arabi à Béjaia (1201). La légende veut que lors de son séjour à Béjaia, il aurait rendu visite à Sidi Yahia az-Zwawi (voir son Mausolée ci-après). En tout cas, il lui a consacré une notice élogieuse dans ses Futuhat.

Ibn `Arabi (Murcie 1165 – Damas 1241) est l’une des principales personnalités du Soufisme et apparaît notamment comme le « pivot » de la pensée métaphysique en islam. Plusieurs faits importants le lie à Bougie. Il y séjourna vers 1200 et probablement vers 1193. Il y eut divers contacts. Il appelait Sidi Bou Medienne « *notre Shaykh et Imam...le Maître des Maîtres* » et se référait souvent à lui [6].

C’est en 597 de l’hégire qu’Ibn Arabi parvint à Bougie. La vision qu’il eut dans cette ville est rapportée dans les Futuhat : *”Une nuit, je me vis en conjonction avec toutes les étoiles du ciel ; j’étais uni à chacune avec une grande joie spirituelle”*. Après avoir été uni aux astres, les lettres de l’alphabet lui furent données en mariage spirituel. Cette vision a été rapportée à un homme versé dans la science de visions, qui s’exclama : *” C’est un océan infini, et celui qui a eu cette vision se verra révéler la connaissance des plus grandes choses, de mystère et des influences des astres, telle qu’elle ne sera partagée par quiconque en son temps”*.

Après un moment de silence, il ajouta : *” Si celui qui a eu cette vision et dans cette ville, ce ne peut être personne d’autre que le jeune andalou qui est venu ici ”* (cf. Futuhat, IV).

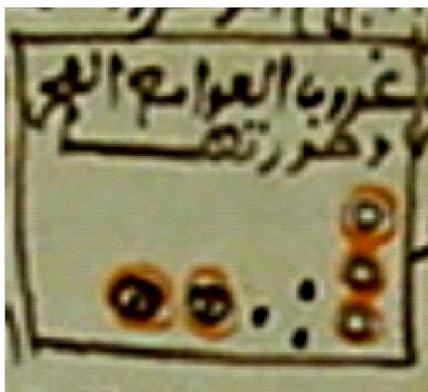
XIII – L’observation d’une comète par Ash-Shellati

L'un des traités d'astronomie utilitaire les plus connus en Algérie a été rédigé dans la deuxième moitié du 18^e siècle à la Zawiyā – Institut de Chellata (Vallée de la Soummam). Selon H. Aucapitaine, cette dernière était considérée comme étant « l'un des centres religieux et scientifique les plus renommés de l'Afrique Septentrionale » [3]. Réputée pour ses enseignements Coraniques, elle peut surtout s'enorgueillir d'avoir été le centre d'activités d'un astronome renommé, à savoir Mohammad Ben Ali Sherif Ash-Shellātī, commentateur d'as-Susi [3].

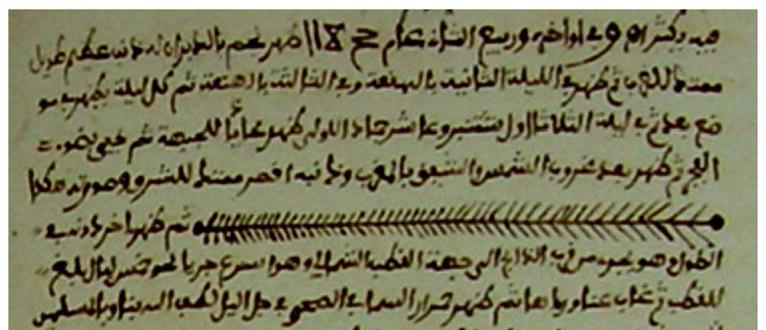
La situation de la Kabylie au moment du fonctionnement de cette institution est bien mise en évidence par l'extraordinaire récit daté de 1808 du grand astronome François Arago. En effet, après avoir effectué le premier calcul du méridien terrestre aux îles Baléares, le navire qui le ramène en France échoue accidentellement à Bougie (alors qu'il croyait pouvoir entrer dans le port de Majorque) [3].

Ash-Shellātī a également consacré une partie de son ouvrage aux phénomènes célestes. Il nous donne, par exemple, des informations sur l'apparition et la disparition des constellations du zodiaque, suivant les mois de l'année, avec de nombreuses illustrations.

En effet, les différents phénomènes célestes, tels que les étoiles invitées (qui semblent être une source d'angoisse), intéressaient énormément les gens de cette époque. Ils les répertoriaient consciencieusement. Ash-Shellātī rapporte ainsi que vers la fin du mois d'Août de l'année 1769, est apparu une comète, qui possède une très longue queue, dans la constellation du Taureau et qui changeait de position au fil du temps. Il s'agit certainement de la comète C/1769 P1, observée également à Paris au même moment.



Représentation du coucher de al-
'Uwā', élément de la constellation de
la Vierge, à l'aube du 24^e jour du
mois de mars (Ms. B.N. Alger).

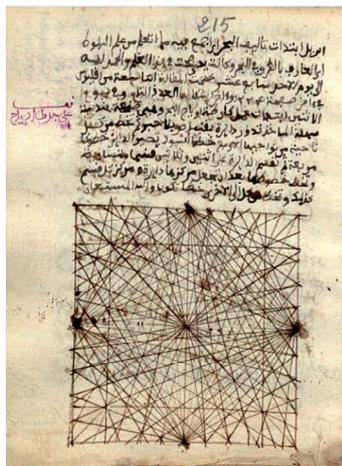


Représentation de la comète C/1769 P1 par
l'astronome ash Shallātī au 18^e siècle. On retrouve
mentionné l'apparition d'une autre comète, moins
importante, à côté du pôle Nord céleste.

XIV – Les instruments d’observation d’Ibn Hamadouche

Dans sa *Rihla al-Maghribiyya*, Ibn Hamadouche al-Djaza’iri (né en 1695) décrit son voyage d’études au Maroc (Tétouan, Meknès, Fès,...). Il donne des détails sur les savants rencontrés, sur les observations réalisées, sur les manuscrits scientifiques consultés, copiés ou rédigés (astronomie,...). Ainsi, il affirme avoir observé une grande comète en 1744 : « *wa fi yaoum al-Joum`aa, at-tasa` min Shahr ... al-Madhkour, Ra`ayt Laylataho an-Najm Dha ash-Shu`aa muklan ila al-Janub wa Shu`aaho khuyut Kathiran al-Mahruqa Yazid ...* ». Cette comète a été observée en même temps par le physicien Chessaux en Suisse

Enfin, Ibn Hamadouche a eu accès aux sources européennes. Dans ce cadre, il a été initié à certains instruments scientifiques. C’est le cas de l’arbalète.



Rihlat d'ibn Hammadouche Manuscrit n° 463. 174.BG Rabat. Il y explique la manière de réaliser un portulan

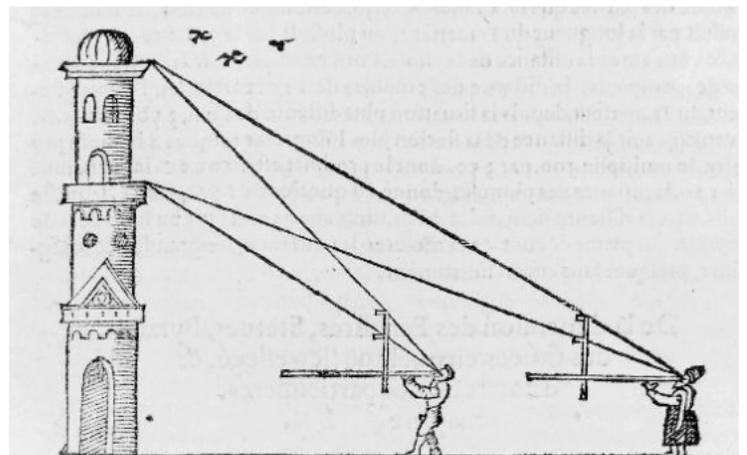


Illustration de l’arbalète de Gemma Frison Qu’Ibn Hamadouche aurait utilisé d’après son témoignage dans la Rihla

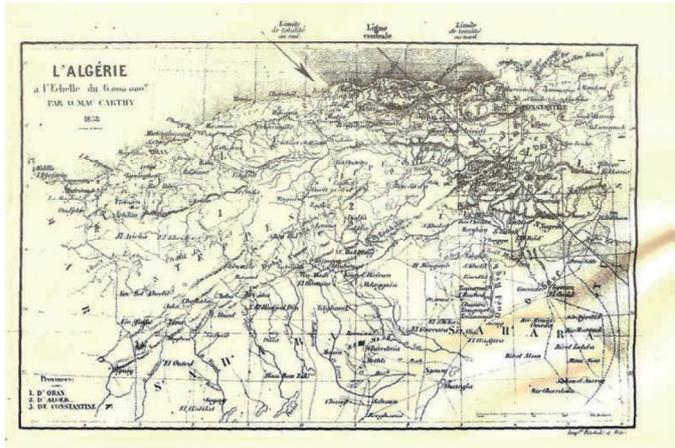
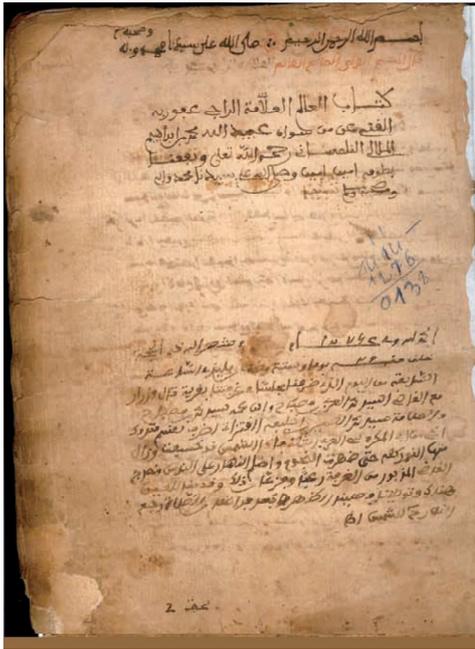


La grande comète observée par Ibn Hamadouche en 1744 a été observée en même temps par le physicien Chessaux en Suisse

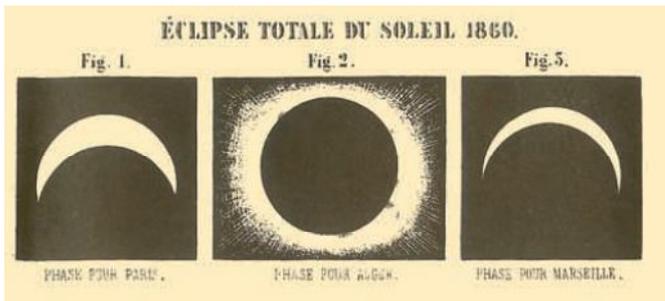
XV – L’observation de l’éclipse solaire de 1860 (du côté autochtone et du côté européen)

L’importance accordée à l’éclipse totale du soleil de juillet 1860 par les scientifiques français peut être appréciée à travers les deux expéditions organisées, notamment celle de l’école polytechnique à Batna [11]. La notice de l’astronome Bulak de l’observatoire d’Alger, publié par la revue africaine de 1860 mais rédigé avant l’éclipse, montre que le phénomène avait été prédit avec précision par les savants occidentaux (faisceau, début et fin de l’éclipse dans plusieurs régions, obscurité totale...). Par ailleurs, plusieurs expéditions avaient été programmées pour l’observer et l’étudier (dont celle de l’École polytechnique à Batna).

Par contre, du côté autochtone, le phénomène a été « subit ». En effet, nous avons retrouvé dans *Afniq n’Ccx Lmuhub* (Bibliothèque savante de manuscrits) [4], une notice indiquant que Cheikh Lmuhub (né en 1822) avait observé ce phénomène. Elle figure sur le premier feuillet du manuscrit « *Sharh al-’Aqida as-Sanusiiyya* » de Mohammed Ben Ibrahim al-Mellali (mort en 1492) : « *Al Hamdullah wa fi 1276 fi Shahr Allah dhi al-Hija Khalat minhu 29 yawman wa Satat Madhat min Yaliz fi as-Sa’a as-Sabi’a min Yawm al Ladhi Dharabna Majlisan fi Ghurfatina bi Qariyat Tala Uzrar ma’a al-Qadhi as-Sayid Mohamed al-La’rbi Ben Masbah* » [11].



Carte géographique qui montre la ligne centrale de l’éclipse totale de 1860 qui devrait traverser Dellis, le Sud-Est de la Kabylie, le Sud-Est de Sétif et de Batna.



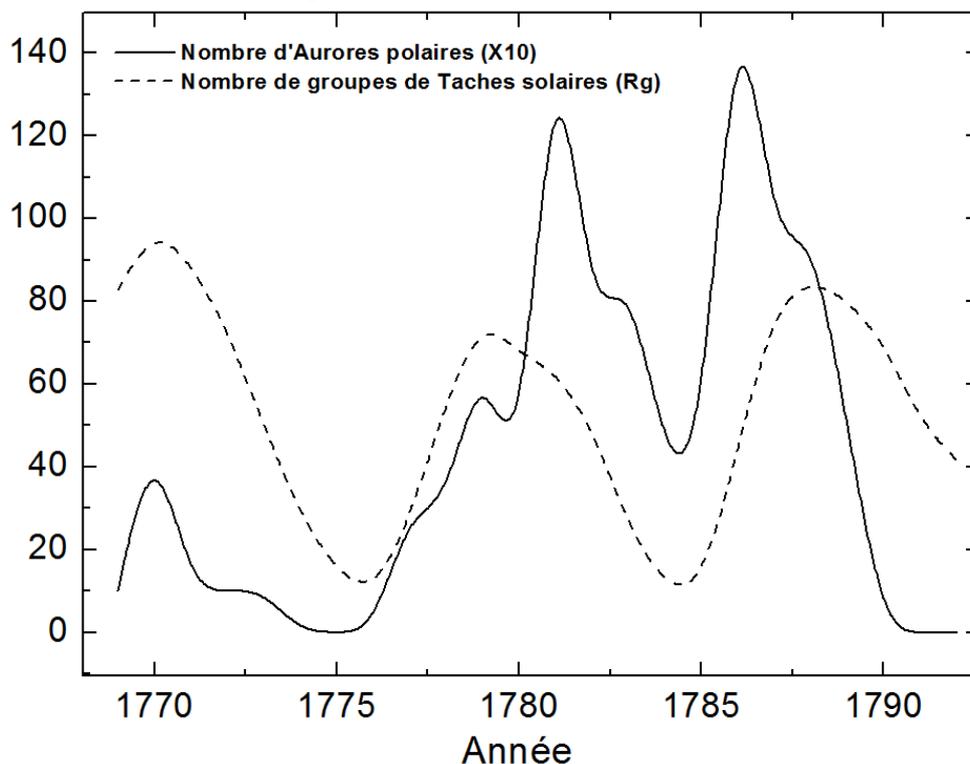
Dans cette notice, Cheikh Lmuhub affirme que c’est à Tala Uzrar, en compagnie du Qadi Ben Mesbah, qu’il a observé l’éclipse totale du soleil de juillet 1860.

XVI – L'aurore boréale de basse latitude de 1770

L'astronome Muhammad ash-Shellātī a travaillé au centre de la vallée de la Soummam, à 60 Km de la ville de Bejaia (36°N 5°E). Vers 1778 il a rédigé un traité d'astronomie intitulé *Ma'ālim al-Istibsār* qui a eu une grande résonance (deux copies manuscrites de cet ouvrage existent à la B.N.A.). Il s'agit d'un commentaire du traité de l'astronome marocain as-Sūsī (m. 1679), continuateur d'Abī Miqra' (14^e siècle) [3].

Dans la troisième partie de son ouvrage, ash-Shellātī nous informe avoir observé durant une nuit claire (ciel dégagé), vraisemblablement vers 1770, une lueur rouge dans le ciel (couleur typique d'une Aurore boréale de basse latitude) qui a duré presque toute la nuit. Ce type d'événement se produit très rarement. en Algérie, il s'agit de l'unique observation de ce genre.

Par ailleurs, en Afrique du Nord, on ne connaît jusqu'à ce jour qu'une observation de ce genre, antérieure à 1770. Il s'agit de l'aurore boréale du 25 Janvier 1880 mentionnée dans *Rawdh al-Qirtās*.



Variation du nombre de groupes de tâches solaires R_G (courbe en pointillées) et du nombre annuel d'aurores boréales de basses latitudes observées entre 1769 à 1792 (courbe continue). Au total, 106 différentes aurores de basses latitudes, tirées de nombreuses sources, ont été incluses. On remarque que l'observation de l'aurore boréale par ash-Shellātī en 1770 correspond exactement au maximum de l'activité solaire

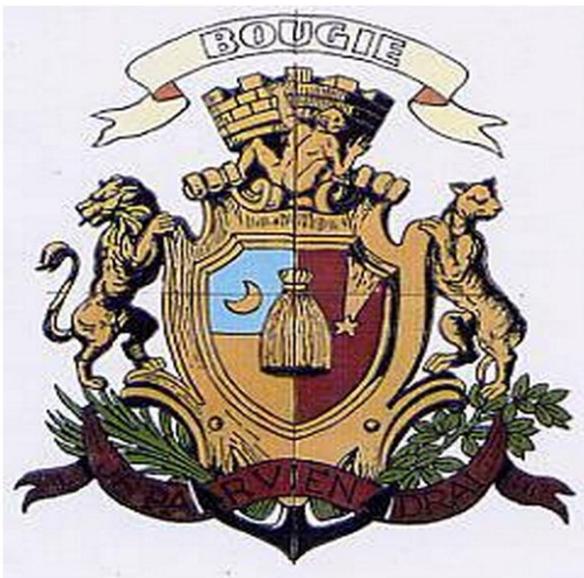
Même si cette apparition correspond exactement à un maximum de l'activité solaire, observer une aurore boréale à une latitude aussi basse est l'indice d'une activité solaire beaucoup plus importante que la normale. D'ailleurs, d'autres aurores ont été observées la même année, en 1770, à de très basses latitudes, à travers le monde entier:

- L'aurore boréale du 18 Janvier qui a été observée dans toute l'Europe (voir ci-dessous).
- Deux aurores boréales, le 17 et le 25 Septembre, ont été observées au Japon.
- le 16 Septembre, le capitaine James Cook est le premier Européen à observer une aurore australe, durant son expédition au sud de l'océan pacifique et autour de l'Australie, et cela à 10° au Sud de l'équateur. Les chinois l'ont observée la même nuit dans l'hémisphère nord.

XVII – La ville la plus lumineuse

«*Quelle est la ville la plus lumineuse*»? «*Bougie !!*». Cette devinette d'un célèbre jeu de notre enfance est encore au centre des activités culturelles dans l'hexagone. En effet, les petites chandelles («*les bougies*») portent ce nom car elles étaient fabriquées dans la ville de Bougie (Béjaia en arabe, Bgayet en berbère, Bugia en italien et en espagnol, Bougie en français, Buzzea en latin), à base de cire d'abeille (de Toudja).

Les armoiries de la ville de Bougie à l'époque coloniale sont assez significatives. L'interprète Charles Féraud en fait la description (voir illustration jointe) : « L'écu est chargé d'un croissant, d'une comète et d'une ruche: le croissant rappelle la domination musulmane; la comète fait allusion à celle qui parut à l'époque où l'on construisait l'église (1858); la ruche, enfin, doit être l'emblème de l'activité des colons et des populations kabyles, à moins qu'elle ne rappelle la cire dont on fait les bougies, qui auraient pris leur nom de celui de la ville » [9].



Sur les armoiries coloniales de la ville de Bougie, la comète fait allusion à celle qui parut à l'époque où l'on construisait

Conclusion

La célébration mondiale de l'*IYL'2015* (Année Mondiale de la Lumière) a été une heureuse opportunité de faire cette synthèse sur les éléments (en rapport avec l'optique et la lumière) disponibles au Maghreb à travers les siècles.

Références

- [1] Aïssani D., *Les rapports Béjaïa – Sicile au moment des séjours du philosophe Catalan Raimundo Lullo*, In the book « *Il Mediterraneo nel 300 : Raimondo Lullo e Federico IV, Re di Sicilia* », Brepols Ed., Brussels, 2007 , pp. 241 – 272. ISBN: 978-2-503-52511-2.
- [2] Aïssani D., *Ibn Jaldun, las Matematicas y los sabios de Bejaia*, In the Book « *Ibn Jaldun, entre al-Andalus y Argelia* », Fundacion El Legado Andalusi Ed., Grenada (Spain), 2007, pp. 132 – 141, ISBN 978–84–96395–35-0 (voir également l'édition arabe, pp. 139 – 149).
- [3] Aïssani D. et Bekli M.R., *Le Traité Ma`alim al-Istibsar de l'astronome ash-Shellati (18^e siècle)*, Actes du Printemps de Cirta : Colloque Maghrébin « *Eclosions Philosophique et Mathématique* », Constantine, Avril 2009, pp. 01 - 14.
- [4] Aïssani D. et Djehiche M., *Al Makhtutat al-`Ilmiyya lil Maghrib*, Département Expositions Ed., Ministère de la Culture, Tlemcen/Alger, Février 2013, 165 pages. ISBN : 978-.9931-361-06-0. (en arabe) ;
- [5] Aïssani D. et Amara A., *La Qal`a des Banu Hammad*. Revue Internationale *L'Encyclopédie Berbère*, Fasc. XXXIX, Peeters Publisher, Leuven (The Netherland), 2015, pp. 6642 - 6658.
- [6] Bekli M. R. et Aïssani D., *1000 ans d'Astronomie à Bougie et en Kabylie*. International Journal *L'Astronomie*, Vol. 24, S.A.F. Ed., Paris, 2010, pp. 27 – 31. ISSN: 0004 – 6302. <http://www.saf-lastronomie.com>.
- [7] Bekli M.R., Aïssani D., Chadou I., *Quelques Aspects des Techniques sur la Mesure du Temps et les Instruments d'Observations dans le Maghreb Musulman*. International Journal *SUHAYL (International Journal for History of Exact Sciences and Natural Sciences in Islamic Civilisation)*, Vol. 13, University of Barcelona Ed (Julio Samsó), Barcelona, 2014, pp. 07 – 44.
- [8] Bekli M.R., Aïssani D. and Chadou I., *Low Latitude Aurora : Index of Solar Activity*. In the Book « *Astronomy and Astrophysique* », American Institute of Physics Ed., 2010, pp. 251 - 253. ISBN: 978-0-7354-0852-4. and ISSN: 0094-243X
- [9] Féraud Ch., *Histoire de Bougie*, 1968. Réédition : Talantik Ed., 2012.
- [10] *L'optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'Emir Eugène de Sicile*, Albert Lejeune Ed., E.J. Brill, Leiden, 1989.
- [11] Romera-Lebret P., Verdier N. et Aïssani D., « *Mathématiques au Maghreb au XIX^e siècle : Regards Croisés* », Séminaire d'Histoire des Sciences de l'IHP, Institut Henri Poincaré, Paris, Novembre 2013.

Université des Frères Mentouri - Constantine 1
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
LPMPS- Département de Mathématiques - Département de Physique
Association Sirius d'Astronomie
En coordination avec la DGRSDT - IYL-2015

أيام ابن الهيثم

ندوة دولية ومعرض علمي

Journées d'Ibn el-Haytham - Colloque International & Exposition
21-22 Avril 2015- Constantine
En Célébration de l'Année Mondiale de la Lumière IYL-2015
<http://siriusalgeria.net/iyl015.htm#b1>

Programme

Mardi 21 Avril

9h30- 9h45	Cérémonie d'Ouverture - Allocutions d'introduction - Inauguration par Mr le Doyen de la Faculté des Sciences Exactes
9h45- 10h45	Ahmed DJEBBAR , Université de Lille, France <i>Ibn al-Haytham, mathématicien et physicien</i>
10h45- 11h15	Pause café, visite de l'Exposition: « Monts et Merveilles de la Lumière » Dépt. de Physique & LPMPS & Assoc. Sirius
11h15- 12h15	Daniel ROUAN , Académie des Sciences, France <i>Lumière et Exoplanètes</i>

13h30- 14h30	Marc OLIVERAS , Université de Barcelone, Espagne <i>A History of Maghribi medieval astronomy & Ibn Qunfudh al-Qacentini</i>
14h30- 15h30	Nassim SEGHOUANI , CRAAG, Alger وقياس سرعة الضوء (Foucault) الفيزيائي فوكو <i>Foucault et la détermination de la vitesse de la lumière</i>
15h30- 16h30	Abdelhamid BOULDJEDRI , Université de Batna الضوء النووي وأسرار الشمس <i>La lumière nucléaire et les secrets du Soleil</i>

Mercredi 22 Avril

8h30- 9h30	Djamil AISSANI Mohamed BEKLI, Djamel MECHEHED , Univ. de Béjaia <i>"Ibn Hammad, Ibn Sab`in, Ibn Khaldun et les autres sources maghrébines relatives à l'optique et à la lumière" (13e - 19e siècle)"</i>
9h30- 10h30	- Mahdi RAHMANI, CDTA Sétif : <i>"Applications de la lumière: de l'identification des substances à l'impression 3D"</i> - Courtes interventions d'étudiants de mathématique et de physique: H.Guergouri , Gravitational lenses
10h30- 11h00	Pause café - Exposition
11h00- 12h00	Jamal MIMOUNI , Université Mentouri <i>Les Avatars de la Lumière</i> الضوء في كل أحواله

Après Midi: Table Ronde

"La Lumière au XXI siècle"

متبوع بمائدة مستديرة:

"الضوء في القرن واحد وعشرين"

13h30-15h00

Présidé par Prof.J.Mimouni

Participation de: D.Rouan, N.Seghouani, A.Bouldjedri, M. Rahmani...

L'Exposition Scientifique:

« Monts et Merveilles de la Lumière »

L'Exposition « Monts et Merveilles de la Lumière » comprend une exposition "Symphonie Cosmique" mise en place par l'Association Sirius d'Astronomie en collaboration avec la Direction de la Recherche Scientifique d'Alger (DGRSTD) avec 50 panneaux illustrant la lumière des Cieux et de la Terre, ainsi que le déploiement de la "Caravane de la Lumière" du CDTA de Sétif avec ses 40 expériences d'optique. De plus, quelque 15 étudiants du département de Physique de l'Université Mentouri spécialement formés animeront les visites guidées pour les groupes d'écoliers et de lycéens qui sont programmés durant ces deux jours, et ce à travers une collaboration avec la Direction de l'Education de Constantine. Cette exposition géante est sans nul doute la plus grande exposition scientifique en Algérie et même en Afrique, ce qui en fait une manifestation phare de l'Année Mondiale de la Lumière en Algérie. Elle coïncide avec les célébrations liées à Constantine, Capitale de la Culture Arabe 2015.

المعرض: عجائب الضوء

تنظم أيام ابن الهيثم للاحتفال بالسنة العالمية للضوء 2015 في المنطقة الشرقية للجزائر، وذلك بحضور محاضرين في شتى تخصصات. أما المعرض الذي يقام بالموازاة مع الملتقى فسيضم 50 لوحة فنية وتعليمية تصف الجوانب المختلفة للضوء، فيزياء الضوء، الضوء في المخبر، الضوء في الحياة اليومية والضوء في الكون. وتساهم في المعرض قافلة النور المتخصصة في البصرييات من مركز البحث CDTA كما سيضم عدد من تجارب مرتبطة بالبصرييات يُقدمها طلبة قسم الفيزياء. وقد برمجت بالتنسيق مع مديرية التربية لولاية قسنطينة زيارات أفواج مدرسية للمعرض.

ندوة دولية ومعرض علمي

21-22 أفريل

احتفالا بالسنة الدولية للضوء 2015

المكان: قاعة 500 مقعد بيداغوجي- جنب المجمع التيجاني هدام

<http://siriusalgeria.net/iyl015.htm#b1>

- محاضرات في تاريخ البصريات والبصريات الحديثة
- معرض علمي متنوع

المحاضرات

أحمد جبار	Université de Lille	إبن الهيثم: رياضي وفيزيائي
Daniel ROUAN	أكاديمية العلوم، فرنسا	الضوء والكواكب خارج النظم الشمسي
Marc OLIVERAS	جامعة برشلونة، إسبانيا	تاريخ علم الفلك والتنجيم في المغرب خلال العصور الوسطى
نسليم سغواني	CRAAG، الجزائر، مرصد الجزائر	فوكو وقياسه لسرعة الضوء
جميل عيساني، محمد بكلي، جميا مشهد	جامعة بجاية	إبن حماد، إبن سبعين إبن خلدون ومصادر مغربية أخرى حول البصريات والضوء
عبد الحميد بوالجدي	جامعة باتنة	الضوء النووي وأسرار الشمس
جمال ميموني	جامعة قسنطينة	تحولات الضوء وألوان الكون

متنوع بمائدة مستديرة:

"الضوء في القرن الواحد وعشرين"

بمشاركة أساتذة المحاضرين

TALKS

Auteur	Titre	Page
Ahmed DJEBBAR	<i>Ibn al-Haytham, mathématicien et physicien</i>	15
Daniel ROUAN	<i>Lumière et Exoplanètes</i>	38
Marc OLIVERAS	<i>A History of Maghribi medieval astronomy & Ibn Qunfudh al-Qacentini</i>	48
Abdelhamid BOULDJEDRI	<i>La lumière nucléaire et les secrets du Soleil</i> الضوء النووي وأسرار الشمس	62
Nassim SEGHOUANI	<i>Foucault et la détermination de la vitesse de la lumière</i> الفيزيائي فوكو وقياس سرعة الضوء	70
Djamil AISSANI Mohamed BEKLI, Djamel MECHEHED	<i>Ibn Hammad, Ibn Sab`in, Ibn Khaldun et les autres sources maghrébines relatives à l'optique et à la lumière</i>	72
Mahdi RAHMANI	<i>"Applications de la lumière: de l'identification des substances à l'impression 3D"</i>	90
H.Guergouri	<i>Gravitational lenses</i>	92
Jamal MIMOUNI	<i>Les Avatars de la Lumière</i> الضوء في كل أحواله	94