



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

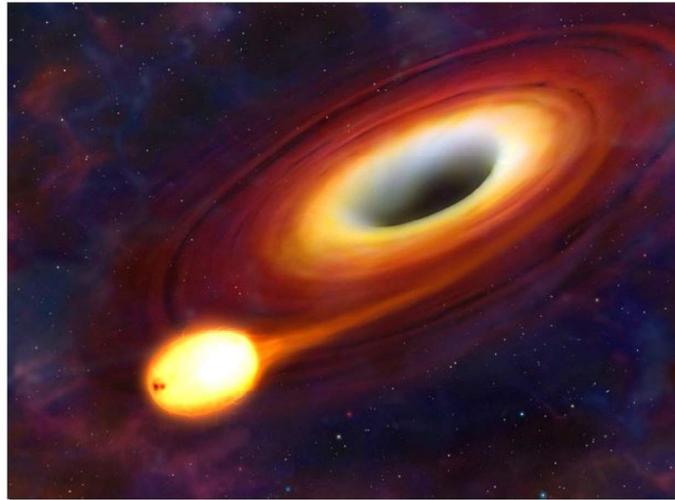
Colloque International & Exposition

21-22 Avril 2015- Constantine



السنة العالمية للضوء
2015
International Year
of Light

PROCEEDINGS



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



Proceedings of the International Colloquium organized by the LPMPS
within the Celebrations of the International Year of Light 2015

*We gratefully acknowledge the support
of the Faculty of Fundamental Sciences and the DGRSDT*

PROCEEDINGS
ندوة دولية
Journées d'Ibn al-Haytham
Colloque International & Exposition
21-22 Avril 2015- Constantine



Editors:

Prof. N.Mebarki
Prof. J.Mimouni

LPMPS publications - 2016



The Welcome Message

This International Colloquium and Exhibit -Ibn el-Haitham Days- aims at celebrating the IYL-2015 in Eastern Algeria. Lecturers from Algeria and several countries in the World gave some 10 talks about light, its history, and its various applications in science and industry.

The exhibit accompanying the Colloquium is about light and it is made of 40 large panels describing its various aspects, the physics of light, light in the Lab, light in daily life, and light in the cosmos. We note the participation of "The Caravan of Light" from the CDTA Research Center at Setif. It also included a series of experiments related to optics that was staffed by graduate students at the physics department. School groups from all over the region have been visiting the exhibit during the two days as arrangements has been made with the Educational Directorate of the Constantine Prefecture.

The Proceedings produced by our Laboratory includes most of the talks given to the general public during those days.

نظمت 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 فيضم 50 لوحة تعليمية وفنية تصف الجوانب المختلفة للضوء، فيزياء الضوء، الضوء في المخبر، الضوء في الحياة اليومية والضوء في الكون. وتضم المعرض "قافلة النور" المتخصصة في البصريات من إنجاز مركز البحث CDTA كما سيضم عدد من تجارب مرتبطة بالبصريات يُقدمها طلبة قسم الفيزياء. وقد تم تنظيم بالتنسيق مع مديرية التربية زيارات لأفواج مدرسية للمعرض.

Prof.J.Mimouni
The Colloquium Director

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

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

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

متبوع 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



Proceedings Ibn al- Haitham Days, 21-22 April 2015, LPMPs, Mentouri Univ.



**IBN AL-HAYTHAM ET SES CONTRIBUTIONS
EN MATHÉMATIQUE, EN ASTRONOMIE ET EN OPTIQUE**

Ahmed DJEBBAR

Université des Sciences et des Technologies de Lille

ahmed.djebbar@wanadoo.fr

IBN AL-HAYTHAM CITOYEN DE DEUX CALIFATS

Abû ʿAlî al-Hasan ibn al-Hasan Ibn al-Haytham a été un grand scientifique polyvalent qui s'est rendu célèbre, de son vivant, grâce à ses contributions originales dans au moins trois domaines : l'optique, les mathématiques et l'astronomie. Mais c'est un savant dont la vie nous est pratiquement inconnue. D'ailleurs, jusqu'à maintenant, on s'interroge sur sa véritable identité puisque certaines sources arabes l'appellent al-Hasan et d'autres Muhammad suggérant peut-être l'existence de deux personnages bien distincts ayant vécu à la même époque et dont les domaines d'activités se recoupent¹. Mais, avant d'aborder le contenu de ses différentes activités, il nous paraît nécessaire de dire quelques mots sur les caractéristiques de l'époque d'Ibn al-Haytham puis de présenter les éléments connus relatifs à sa vie, à sa formation, à ses conceptions et à ses activités de recherche ou de publication.

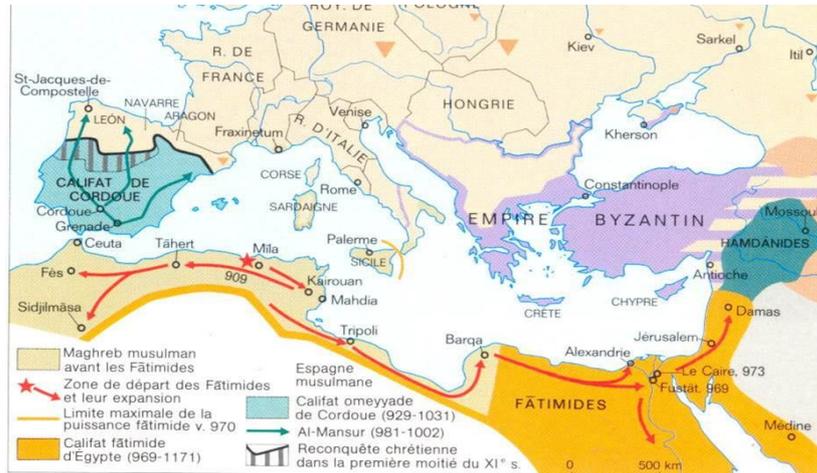
Ibn al-Haytham est né en 965 et il est mort aux environs de 1040. Il a donc vécu durant la seconde moitié du X^e siècle et la première moitié du XI^e. Sur le plan économique, cette période est caractérisée par le monopole musulman sur le commerce international, en particulier celui qui empruntait les différentes routes de la soie et celui de la Méditerranée, de la Mer rouge et de l'Océan indien. Mais, la nécessité de contrôler les sources, les grands axes et les débouchés principaux de ce commerce a favorisé l'émergence de nombreux pouvoirs locaux ou régionaux, totalement indépendants du califat abbasside ou bien liés à lui par une allégeance peu contraignante. Certains de ces pouvoirs ont profité de cette prospérité économique pour contester l'autorité du pouvoir central et, dans le meilleur des cas, pour concurrencer Bagdad, la capitale de l'empire, dans le domaine scientifique et culturel. Mais, il faut préciser que le moteur économique n'a pas été le seul facteur de l'émergence de ces pouvoirs. Il y avait aussi des facteurs idéologiques et politiques divers qui ont réussi à mobiliser de puissantes forces sociales et qui ont alimenté des dynamiques nouvelles.

Cette situation faite à la fois de conflits violents et de concurrence pacifique est encore plus nette au centre de l'empire musulman et plus particulièrement dans les

¹ - M. A. Heinen : *Ibn al-Haithams Autobiographie in einer Handschrift aus dem Jahr 556H/1161 A. D.* In U. Haarman & P. Bachmann (edit.) : *Die Islamische Welt zwischen Mittelalter und Neuzeit, Beirut Texts and Studies*, 22, 1979, pp. 254-277 ; A.I. Sabra : *Kitâb al-manâzîr li l-Hasan Ibn al-Haytham, al-Maqâlât 1-2-3*, Koweït, al-Silsila al-turâthiya, 1983, pp. 21-31 ; R. Rashed : *Les mathématiques infinitésimales du IX^e au XI^e siècle*, vol. II : Ibn al-Haytham, Londres, Al-Furqân, 1993, pp. 8-19.

deux régions où a vécu Ibn al-Haytham : l'Irak et l'Égypte. En effet, dans la seconde moitié du X^e siècle, l'offensive fatimide venue du Maghreb a abouti au contrôle politique de l'Égypte, considérée comme une étape dans la stratégie de conquête de Bagdad et donc de la prise de contrôle politique de l'empire musulman. A défaut d'atteindre ce but, les Fatimides ont réussi, en quelques décennies, à structurer un pouvoir régional puissant contrôlant la Mer rouge et une grande partie de la Méditerranée, devenant ainsi la première puissance économique et politique de la région².

Comme citoyen de l'empire, Ibn al-Haytham a été probablement un bon observateur de cette opposition et de cette concurrence entre les deux puissances de la région dans la mesure où il a vécu la première moitié de sa vie comme sujet du califat de Bagdad et la seconde comme personnalité éminente de la capitale du califat fatimide.



LA PERIODE IRAKIENNE D'IBN AL-HAYTHAM

Dans son livre *'Uyûn al-anbâ' fî tabaqât al-atibbâ'* [Les sources de l'information sur les catégories de médecins], Ibn Abî Usaybi^ca (m. 1269) nous informe qu'Ibn al-Haytham est né à Basra, en Irak, sous le règne du calife abbasside al-Mut^ci (946-974) et qu'il a passé la première partie de sa vie dans sa ville natale et dans ses environs. Mais, il ne dit rien sur sa famille, son enfance, son adolescence et le milieu dans lequel il a grandi. Les autres biobibliographes n'ajoutent rien à ces bribes d'informations. Il semble donc qu'il ait acquis sa première formation dans cette ville. On sait aussi qu'il a séjourné plus ou moins longtemps dans des villes voisines comme Ahwaz qu'il évoque explicitement dans un texte écrit en 1027 et dans lequel il parle de ses premiers travaux qui *"étaient entre les mains de certaines personnes de Basra et d'Ahwaz, dont les originaux avaient été perdus et que les occupations de la vie et les voyages n'ont pas permis qu'ils soient copiés"*³.

Les sources biographiques connues ne nous apprennent presque rien sur la formation d'Ibn al-Haytham. Mais, en nous basant sur les titres et le contenu de son œuvre (à condition d'admettre que nous sommes en présence d'un seul personnage et pas de deux), on peut avoir une idée approximative au sujet des disciplines

² - B. Lewis, Ch Pellat & J. Schacht (édit.) : *The Encyclopaedia of Islam*, New edition, Leiden, Brill, vol. 2, 1991, pp. 850-862.

³ - Ibn Abî Usaybi^ca : *'Uyûn al-anbâ' fî tabaqât al-atibbâ'*, N. Ridâ (édit.), Beyrouth, Dâr maktabat al-hayât, non datée, pp. 550-553.

scientifiques qu'il a étudiées dans son adolescence, ainsi que sur les ouvrages qui lui ont permis de se former dans chacune de ces disciplines. Après avoir acquis une formation solide en arabe, il aurait étudié des textes philosophiques d'Aristote et de nombreux traités médicaux de Galien. Il est d'ailleurs tout à fait possible que ses premiers écrits aient été consacrés à ces deux domaines. On sait en effet qu'il a résumé certains traités d'Aristote et qu'il en a commenté d'autres. On sait également qu'il a résumé un grand nombre de traités de Galien. Mais, malgré les connaissances théoriques qu'il aurait acquises en médecine, Ibn al-Haytham n'aurait jamais exercé le métier de médecin.

En ce qui concerne sa formation scientifique, nous n'avons aucune information au sujet de ses professeurs de physique, d'astronomie et de mathématiques, mais nous sommes relativement bien renseignés, d'une manière indirecte (c'est-à-dire à partir de ses écrits), sur le contenu de cette formation : Dans le domaine de l'optique, Ibn al-Haytham a dû disposer de l'ensemble des ouvrages grecs traduits en arabe et que nous évoquerons par la suite. Il a également pu, dans ce domaine, bénéficier de certaines contributions de savants arabes des IX^e-X^e siècles, comme celles d'al-Kindî (m. 870) et de °Utârid (IX^e s.). En astronomie, il a étudié l'*Almageste* de Ptolémée ainsi que d'autres classiques grecs qui composaient ce que les astronomes des pays d'Islam appelaient les *Mutawassitât* [Livres intermédiaires], comme ceux de Ménélaüs (m. vers 140), d'Autolykos (m. 290 av. J.C.)⁴ et de Théodose (II^e s. av. J.C.)⁵. A ces ouvrages de base, il faut ajouter les commentaires arabes rédigés au IX^e siècle et au X^e, comme celui d'al-Nayrîzî sur l'*Almageste*.

En mathématique, la seule lecture des titres des ouvrages écrits par Ibn al-Haytham nous permet d'affirmer qu'il a acquis et maîtrisé, très tôt, les fondements et le contenu de la *géométrie des figures constructibles* d'Euclide (III^e s. av. J.C.), la *géométrie des coniques* d'Apollonius (III^e s. av. J.C.) et la *géométrie de la mesure* d'Archimède (m. 212 av. J.C.). Il a également étudié les ouvrages de base de la théorie des nombres, en particulier les livres VII, VIII et IX des *Eléments* d'Euclide, *L'Introduction arithmétique* de Nicomaque de Gérase (II^e s.) et *Les Arithmétiques* de Diophante (III^e s.). Pour les autres disciplines mathématiques, comme la science du calcul et l'algèbre, le silence d'Ibn al-Haytham ne permet pas de préciser quels ont été ses livres de chevet dans ces différents domaines, mais on peut supposer, raisonnablement, qu'il avait une connaissance approfondie de leurs outils et de leurs résultats. Cela dit, et au vu du contenu des écrits qui nous sont parvenus, on peut affirmer qu'il a eu très tôt un penchant plus fort pour la géométrie et pour les disciplines qui lui sont étroitement liées comme l'astronomie et, surtout, l'optique⁶.

On peut supposer que les premières activités d'Ibn al-Haytham, après qu'il ait achevé sa formation de base, ont été l'enseignement et la recherche; mais ni lui ni ses biographes ne le disent explicitement. On sait en revanche que durant son séjour à Basra, il a occupé de hautes fonctions. Mais, certains de ses biographes laissent

⁴ - F. Sezgin : *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, Leiden, Brill, vol. VI, 1978, pp. 73-96.

⁵ - Op. cit., vol. V, 1974, pp. 158-164.

⁶ - A. I. Sabra : *Ibn al-Haytham*. In Ch. Gillispie (édit.) : *Dictionary of Scientific Biography*, New York, Scribner'sons, 1981, pp. 189-210.

entendre qu'il s'était vite lassé de cette charge parce qu'elle le détournait de ses activités scientifiques. Il aurait alors fait semblant d'avoir l'esprit quelque peu dérangé jusqu'à ce qu'il fût remercié. On ne sait pas si l'abandon de son poste lui a valu une disgrâce de la part des autorités qui l'avaient recruté. On ne sait pas non plus si elle fût la cause principale de son départ d'Irak et de son installation au Caire, la nouvelle capitale de l'Égypte, fondée par les Fatimides.

LA PERIODE EGYPTIENNE D'IBN AL-HAYTHAM

Lorsqu'Ibn al-Haytham arrive au Caire, il découvre une ville relativement neuve puisque ses premières fondations avaient été jetées en 970, c'est à dire cinq ans après la naissance du savant. La prestigieuse mosquée d'al-Azhar sera achevée en 972 et celle dont la construction avait été ordonnée par le calife al-^cAzîz (975-996) ne sera inaugurée qu'en 1012 par son successeur al-Hâkim (996-1021). Parallèlement, l'activité scientifique et, d'une manière générale, l'activité intellectuelle de la ville connaissent un réel dynamisme. L'achèvement, en 1010, de la construction du Dâr al-^cilm [La Maison de la science] concrétisera la volonté des Fatimides de concurrencer Bagdad dans le domaine des sciences. Ce fait est confirmé par le mécénat d'al-^cAzîz et d'al-Hâkim qui a profité à de nombreux savants comme l'astronome ^cAlî Ibn Yûnus (m. 1009) et le médecin Ibn Ridwân (m. 1061)⁷.

La date de l'arrivée d'Ibn al-Haytham au Caire n'est pas connue, mais un certain nombre d'éléments nous permettent de la situer dans la première décennie du XI^e siècle ou même plus tard. D'après les informations dont nous disposons, le voyage d'Ibn al-Haytham en Égypte n'avait pas été improvisé. En effet, il semble qu'à cette époque notre savant s'était déjà fait connaître, soit par un enseignement brillant, soit par la publication d'œuvres scientifiques originales et puissantes, soit enfin par des prises de position philosophiques. Il semble aussi que sa célébrité ait dépassé les frontières du califat de Bagdad, puisque c'est le calife fatimide al-Hâkim lui-même, qui régnait alors sur l'Égypte depuis 996, qui l'a invité à venir s'installer au Caire. Or ce calife est monté sur le trône à l'âge de onze ans. Il est donc raisonnable de penser que son intérêt pour les sciences ne s'est exprimé que quelques années plus tard, c'est-à-dire au début du XI^e siècle.

Quant à la raison qui a motivé l'invitation d'Ibn al-Haytham au Caire, les biographes la lient à une préoccupation majeure des dirigeants, celle de trouver une solution pour réguler les crues du Nil et éviter les catastrophes humaines et économiques que subissaient les populations vivant et travaillant sur ses deux rives. Le biobibliographe Ibn al-Qifî précise d'ailleurs, à ce sujet, que c'est Ibn al-Haytham lui-même qui aurait affirmé, du temps où il était encore à Basra, qu'il pouvait trouver une solution à ce problème. Cette information est vraisemblable car, comme nous l'avons déjà dit, Ibn al-Haytham a maîtrisé très tôt les aspects théoriques et appliqués de la géométrie de son époque et qu'il les a même enrichis par des contributions originales. Il est alors tout fait possible que le calife al-Hâkim ait eu confirmation de la valeur d'Ibn al-Haytham à la fois à travers des écrits théoriques, comme les épîtres

⁷ - B. A. Rosenfeld & E. Ihsanoğlu : *Mathematicians, Astronomers and other Scholars of Islamic Civilization and their Works (7th -19th c.)*, Istanbul, IRCICA, 2003, pp. 106-107, 159.

sur la mesure des surfaces et des volumes de certaines figures planes ou solides, et à travers des ouvrages de géométrie appliquée, comme le traité qu'il aurait consacré à "*La réalisation des percements et des constructions à l'aide de toutes les figures géométriques*".

Toujours selon les informations rapportées par Ibn al-Qiftî, c'est le calife al-Hâkim en personne qui s'est déplacé jusqu'au village d'al-Khandaq pour accueillir Ibn al-Haytham, le jour de son arrivée au Caire. Cela n'est pas impossible et peut s'expliquer soit par la célébrité dont jouissait déjà Ibn al-Haytham dans son pays et au-delà, soit par le tempérament du jeune calife dont le comportement, souvent inattendu, avait frappé ses contemporains⁸.

Si l'on en croit les biobibliographes que nous avons déjà cités, les premières années du séjour de notre savant au Caire n'ont pas été de tout repos pour lui. Elles lui auraient même créé beaucoup de soucis à cause, principalement, de la mission scientifique dont l'aurait chargé le calife et qui aurait consisté à descendre la vallée du Nil jusqu'aux cataractes, en vue de mettre au point le projet de barrage devant réguler les crues du fleuve. Voici comment Ibn al-Qiftî nous rapporte cet épisode de la vie d'Ibn al-Haytham : "*Il s'en alla, accompagné d'un groupe d'artisans spécialisés dans la construction et qui devaient l'aider à réaliser son projet architectural. Et lorsqu'il eut traversé le pays de tout son long et qu'il vit les vestiges de ses anciens habitants qui constituaient les nations disparues et qui avaient atteint la perfection artistique et architecturale, il eut la conviction que son projet n'était pas réalisable puisque ses prédécesseurs, qui n'ignoraient aucun aspect des sciences qu'il connaissait, aurait pu le réaliser s'il avait été, <à leurs yeux> réalisable. Alors, son ardeur s'est brisée sa réflexion s'arrêta. Puis, lorsqu'il arriva au lieu-dit al-Janâdil, à l'est de la ville d'Aswân, et qui est un endroit surélevé d'où se déversent les eaux du Nil, et lorsqu'il l'inspecta, l'observa et le testa sur ses deux rives, il trouva que sa situation ne correspondait pas à ce qu'il voulait et il se persuada de l'erreur de sa promesse et de son incapacité à la réaliser. Il revint alors <au Caire>, confus et embarrassé et il présenta ses excuses pour ce qu'il avait accepté al-Hâkim et sur lequel ils s'étaient mis d'accord*"⁹.

Cet échec ne semble pas avoir discrédité Ibn al-Haytham aux yeux d'al-Hâkim puisque ce dernier lui aurait proposé un poste important dans une des administrations de l'état fatimide, avec probablement un salaire confortable; mais, nous dit Ibn al-Qiftî, connaissant le caractère versatile d'al-Hâkim et craignant d'être, un jour ou l'autre, victime de son humeur changeante, Ibn al-Haytham aurait simulé une nouvelle fois une crise de démence. Ce qui lui aurait valu d'être déchargé de toute activité officielle et d'être contraint de rester chez lui en compagnie d'un serviteur rétribué par l'Etat. Cette situation aurait duré jusqu'à la mort du calife qui survint en 1021, date à laquelle notre savant aurait retrouvé sa raison. Il se serait alors installé près de la mosquée al-Azhar et aurait poursuivi ses différentes activités scientifiques jusqu'à sa mort que l'on situe, généralement, autour de 1040.

⁸ - Ibn al-Qiftî : *Kitâb ikhbâr al-^culamâ' bi akhbâr al-hukamâ'* [Livre qui informe les savants sur la vie des sages], Beyrouth, Dâr al-âthâr, non datée, p. 115.

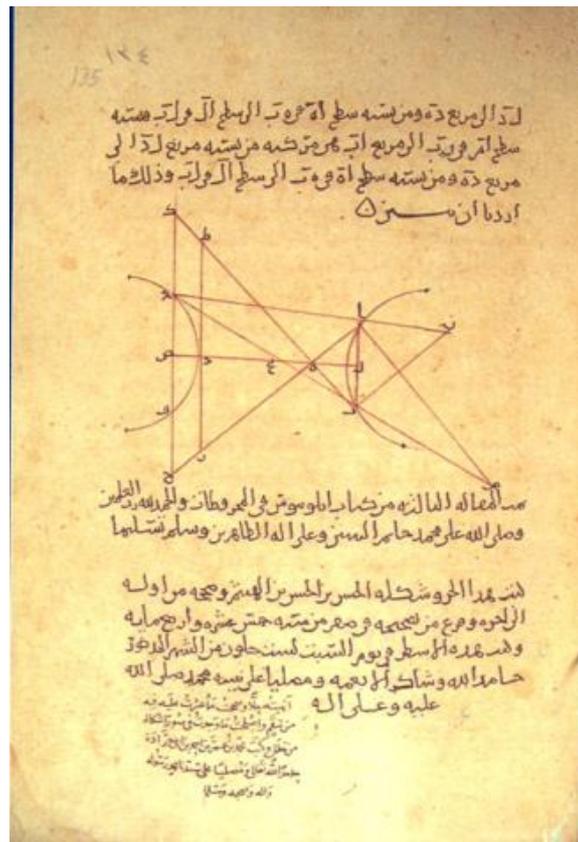
⁹ - Op. cit.

Parmi ses activités pendant cette période, une seule est décrite en détail par Ibn al-Qiftî qui la tient du mathématicien Ibn ^cAqnîn, un des élèves de Maïmonide (m. 1204) : il s'agit du travail de copiste qu'aurait exercé Ibn al-Haytham, après la mort d'al-Hâkim. Le savant aurait ainsi consacré, chaque année, une partie de son temps à copier les *Eléments* d'Euclide, l'*Almageste* de Ptolémée et les *Mutawassitât*. D'après Ibn ^cAqnîn, chaque copie était vendue à de riches mécènes au prix de 150 dinars-or égyptiens. Ce fait, qui est une indication sur le prestige dont jouissait Ibn al-Haytham dans les milieux intellectuels du Caire, correspond à une certaine réalité puisqu'il existe au moins un manuscrit qui a été copié par lui en 1024. Il s'agit des *Coniques* d'Apollonius dont une copie est aujourd'hui conservée à la Bibliothèque Sulaymaniyé d'Istanbul¹⁰.

En dehors de cette activité, on sait aussi qu'il a consacré un peu de son temps à l'enseignement, mais on ne sait pas où il l'a assuré et pendant combien de temps. Mais, contrairement à d'autres grands savants, comme al-Râzî (m. 935) et Ibn Sînâ (m. 1037), Ibn al-Haytham n'a pas eu beaucoup d'élèves. Un seul nom est cité par Ibn Abî Usaybi^ca, celui d'Ibn Fâtik, un médecin-mathématicien originaire de Damas et qui était allé vivre et étudier au Caire. A ce nom, il faudrait ajouter celui du médecin Ishâq Ibn Yûnus dont parle Ibn al-Haytham en disant qu'il lui a dicté un commentaire des problèmes de l'*Arithmétique* de Diophante.

Mais les témoignages fournis par le savant lui-même, ainsi que la liste impressionnante et la qualité des ouvrages écrits par lui, après la mort d'al-Hâkim, montre que la plus grande partie de son temps a été en fait consacré à la recherche dans différents domaines scientifiques. On sait, par exemple, grâce à un texte qu'il a lui-même rédigé en 1028, qu'en l'espace de 17 mois seulement, Ibn al-Haytham a publié six ouvrages scientifiques dont un sur l'astronomie, deux sur la physique et trois sur les mathématiques. Il continuera d'ailleurs à produire jusqu'à la fin de sa vie puisque l'un de ses derniers livres de géométrie a été écrit en 1040¹¹.

On ne sait pas si, durant son long séjour au Caire, il a eu l'occasion de rencontrer d'autres savants de son époque qui y vivaient, ou bien de voyager et de séjourner dans d'autres métropoles de la région, comme Bagdad et Damas. Mais, on remarque qu'il mentionne la capitale du califat abbasside dans deux de ses articles : le



¹⁰ - Ms. Istanbul, Aya Sofya, n° 3762.

¹¹ - Ibn Abî Usaybi^ca : *Uyûn al-anbâ' fî tabaqât al-atibbâ'*, op. cit., pp. 554-560.

premier est intitulé « *Réponses à sept questions mathématiques qui m'ont été posées à Baghdad et auxquelles j'ai répondu* ». Le titre du second est « *Réponse à une question géométrique qui lui a été posée à Baghdad durant les mois de l'année 418* ». Ceci laisse supposer qu'il a eu l'occasion d'aller dans cette dernière ville et qu'il y a rencontré des mathématiciens. Si ce n'était pas le cas, cela voudrait dire au moins qu'Ibn al-Haytham avait entretenu une correspondance scientifique avec certains de ses collègues, pratique qui était courante à cette époque comme le montrent les échanges épistolaires entre Abû l-Wafâ' (m. 997) et al-Bîrûnî (m. 1050)¹², ou entre ce dernier et Ibn Sînâ (m. 1037)¹³.

LES TRAVAUX D'IBN AL-HAYTHAM

Grâce aux deux biobibliographes arabes que nous avons longuement sollicités, nous connaissons aujourd'hui la plupart des titres des travaux qu'Ibn al-Haytham a publiés avant 1038, c'est à dire deux ans environ avant sa mort. A cette liste, il faut ajouter d'autres ouvrages publiés après cette date, comme le texte intitulé *Juz' fi l-handasa* [Opuscule sur la géométrie] que possédait Ibn al-Qiftî et qui aurait été écrit en 1040, c'est à dire peu avant la mort du savant, ainsi que des ouvrages non mentionnés par les deux biographes, comme la *Maqâla fi tamâm Kitâb al-Makhrûtât* [Epître sur la complétion du livres des coniques]¹⁴. Le nombre total des écrits attribués à Ibn al-Haytham dépasse la centaine. Mais, il faut préciser que les titres peuvent correspondre soit à des traités volumineux, comme le *Kitâb al-manzir* [Livre de l'optique], soit à de tout petits articles, comme son *Qawl fi istikhrâj mas'ala 'adadiyya* [Propos sur la résolution d'un problème arithmétique] qui ne dépasse pas deux pages.

Comme nous l'avons déjà dit, l'essentiel de ces travaux concernent l'optique, les mathématiques et l'astronomie. D'autre part, les travaux bibliographiques de ces vingt dernières années nous permettent de dire qu'une soixantaine d'ouvrages seulement nous est parvenue, dont plus du tiers n'a pas encore été analysé ou publié. Malgré tout, les recherches déjà faites, depuis la fin du XIX^e siècle jusqu'à aujourd'hui, nous permettent de présenter les aspects essentiels de la production d'Ibn al-Haytham en optique, en mathématiques et en astronomie.

LES TRAVAUX D'IBN AL-HAYTHAM EN OPTIQUE OU L'ABOUTISSEMENT D'UNE DOUBLE TRADITION

Du IX^e au XVI^e siècle, de nombreuses contributions ont été réalisées en optique dans le cadre des activités scientifiques et technologiques des pays d'Islam. Les écrits qui concernent ce domaine ont tous un seul et même héritage, celui qui a été produit en grec pendant la période hellénistique (III^e s. av. J.C.-I^e s.) et dont une grande partie a été traduite en arabe à partir du IX^e siècle. C'est également en arabe que se sont exprimés tous les auteurs de l'espace musulman dont les ouvrages d'optique nous sont parvenus.

¹² - E. S. Kennedy : *Al-Bîrûnî*. In Ch. Gillispie (édit.) : *Dictionary of Scientific Biography*, p. 149.

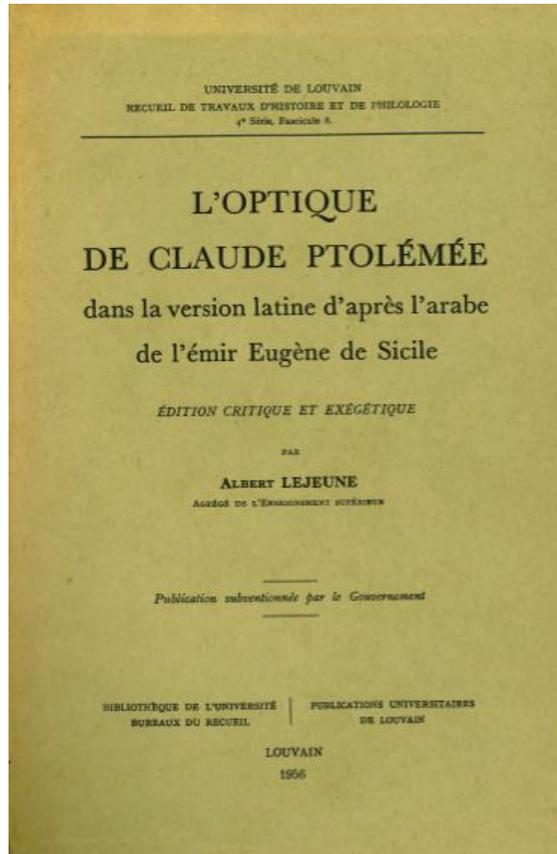
¹³ - B. A. Rosenfeld & E. Ihsanoğlu : *Mathematicians, Astronomers and other Scholars*, op. cit. p. 126.

¹⁴ - J.-P. Hogendijk : *Ibn al-Haytham's Completion of the Conics*, New York, Springer-Verlag, 1985.

Avant d'aborder le contenu des premières productions optiques arabes et de décrire les grandes orientations qu'a connues cette discipline, jusqu'à l'époque d'Ibn al-Haytham, puis les contributions originales de ce dernier, il nous paraît nécessaire d'évoquer, brièvement, les sources grecques traduites et les différents thèmes qui y sont traitées.

L'HERITAGE GREC EN OPTIQUE

Dès le début du IX^e siècle, ou peut-être avant, des écrits grecs traitant de différents thèmes de l'optique ont commencé à être traduits en arabe. Et ce phénomène s'est poursuivi tout au long de ce même siècle, au hasard de la découverte des manuscrits dans différentes bibliothèques du Croissant Fertile. Certains des ouvrages traduits portent le titre général de « *Livre de l'optique* », c'est-à-dire l'étude des phénomènes visuels, ou celui de « *Catoptrique* » (étude géométrique du phénomène de réflexion). Certains des auteurs de ces écrits sont bien connus comme mathématiciens. C'est le cas d'Euclide (III^e s.) et de Héron d'Alexandrie (I^e s.). D'autres, comme Ptolémée (m. vers 168) et Théon d'Alexandrie (m. vers 405), sont des astronomes. Le second grand thème traité par les scientifiques grecs est celui des *miroirs ardents*, instruments qui, une fois conçus et réalisés, devaient devenir une arme redoutable entre les mains des militaires puisqu'ils devaient permettre de brûler à distance les forteresses et les bateaux ennemis. Quatre ouvrages consacrés à ce sujet ont été traduits en arabe : ceux d'Anthémus de Tralles (m. 558 av. J.C.) et de Dioclès (II^e s.), pour les plus importants, et ceux de Didyme et de Ditrums, deux auteurs qu'il n'est pas possible encore de situer dans le temps¹⁵. Un troisième thème a intéressé les premiers spécialistes musulmans de l'optique, celui de la physiologie de l'œil. Les connaissances grecques sur ce sujet étaient disponibles dans les écrits du célèbre Galien (m. vers 216)¹⁶. Il faut enfin signaler l'apport d'Aristote (m. 322 av. J.C.) et de son commentateur Alexandre d'Aphrodise (m. vers 215 av. J.C.) sur des sujets ayant



¹⁵ - Rashed : *L'optique géométrique*. In R. Rashed (édit.) : *Histoire des sciences arabes*, Paris, Seuil, 1997, vol. 2, pp. 293-295.

¹⁶ - G. A. Russell : *La naissance de l'optique physiologique*. In R. Rashed (édit.) : *Histoire des sciences arabes*, op. cit., pp. 323-324.

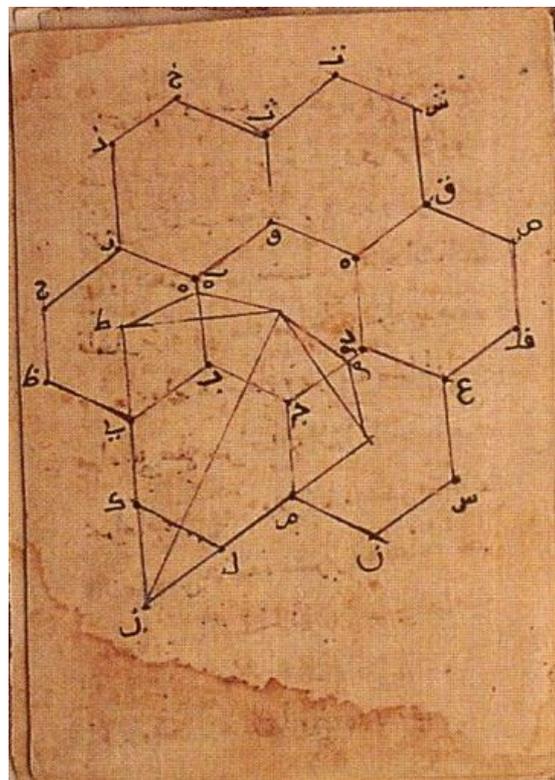
un lien avec la lumière, comme les phénomènes météorologiques et celui de la couleur¹⁷.

La traduction et l'étude des différents ouvrages optiques, médicaux et philosophiques qui viennent d'être évoqués ont permis aux premiers scientifiques des pays d'Islam de disposer d'un corpus exceptionnellement riche en théories diverses et variées, en analyses mathématiques et en descriptions anatomiques. Au niveau théorique, ils ont pris connaissance des différentes explications du phénomène de la vision élaborées au cours des siècles. La première, attribuée à Epicure (autour de 341-270 av. J.C.), affirmait que la vision est le résultat de la diffusion, par l'objet, de minces pellicules contenant toutes les caractéristiques de l'objet observé (théorie de l'*eidôla*). En entrant dans l'œil, ces pellicules provoquent la vision. Une seconde théorie, dite de « l'émission » affirmait que l'œil diffuse des rayons invisibles formant un cône de base circulaire, permettant ainsi la vision de tout objet se trouvant à l'intérieur du cône. Platon (m. 347 av. J.C.), quant à lui, ajoutait à cette théorie l'existence d'une lumière externe à l'œil qui se combinait avec les rayons provenant de l'œil. Dans leur théorie du « *pneuma* », les Stoïciens (à partir du III^e s. av. J.C.) remplaçaient le cône de lumière par une colonne d'air tendue par la lumière externe. De son côté, Aristote affirmait que la propriété essentielle d'un objet visible est la couleur et il considérait que la lumière n'était ni une substance matérielle ni un mouvement¹⁸.

Sur le plan strictement mathématique, les continuateurs des physiciens grecs ont bénéficié de travaux géométriques de grande valeur qui ont permis d'expliquer le phénomène de propagation de la lumière et celui de la réflexion des rayons lumineux sur des surfaces de différentes formes. Enfin, sur le plan physiologique, les descriptions détaillées de l'œil et de ses connexions avec le cerveau, exposées par Galien, ouvraient la voie à de nouveaux développements dans l'étude de la relation entre la lumière et la vision.

L'OPTIQUE ARABE JUSQU'AU DEBUT DU X^e SIECLE

Sans attendre la fin des traductions du grec à l'arabe, certains scientifiques des pays d'Islam ont étudié et enseigné le contenu des écrits traduits. Ce premier effort a abouti à la publication de commentaires critiques puis d'ouvrages traitant les mêmes sujets que ceux hérités de la tradition grecque mais avec quelques améliorations au niveau de la



¹⁷ - Op. cit., pp. 324-325.

¹⁸ - Op. cit., pp. 320-322.

présentation et de la justification des résultats. En ce qui concerne le système optique de l'œil, la contribution arabe la plus ancienne est celle de Hunayn Ibn Ishâq (m. 873), dans ses deux livres, intitulés « *Les dix traités sur l'œil* » et le « *Traité des questions sur l'œil* »¹⁹. Quant à l'optique géométrique, son premier représentant arabe est al-Kindî (m. vers 873). Il s'est intéressé au phénomène de la vision en général et à celui de la réflexion. Il leur a consacré quatre ouvrages. A la suite des auteurs grecs que nous avons cités, il s'est également occupé des miroirs ardents en étudiant, dans trois écrits distincts, les différentes formes géométriques qui pouvaient permettre de concentrer efficacement les rayons lumineux pour permettre de brûler une cible à distance. Ses études théoriques ont concerné les miroirs plans de forme hexagonale et, surtout, solides, comme les miroirs coniques, sphériques, paraboliques et pyramidaux à 24 faces²⁰.

Après lui, Qustâ Ibn Lûqâ (m. 910), plus connu comme traducteur du grec à l'arabe, a apporté quelques contributions nouvelles dans trois domaines de l'optique : Etude de la réflexion sur des miroirs sphériques convexes et concaves, justification de certains postulats d'Euclide et, surtout, étude d'une catégorie de mémoires dont la forme permet de déformer les images des objets réfléchis²¹.

Les contributions de ces deux pionniers de l'optique arabe caractérisent bien la première phase de cette discipline : assimilation des différents héritages grecs, reformulation plus rigoureuse de certaines démarches ou de certains résultats et nouvelles investigations autour de thèmes anciens. Il faudra attendre le X^e siècle pour que se manifestent les premières ruptures avec la tradition grecque. Dans une épître intitulée « *Kitâb fî kayfiyyat al-ibsâr* » [Livre sur la propriété de la vision], le grand médecin et chimiste Abû Bakr al-Râzî (m. 925) aurait démontré que la vision n'est pas le résultat de la propagation de rayons sortant de l'œil, rejetant ainsi l'hypothèse unanimement admise dans la tradition optique grecque²². Il a également affirmé que la dilatation de la pupille n'est pas dû à la pression interne du *pneuma lorsqu'il se dilate*, comme Galien l'avait expliqué, mais à une baisse de la lumière externe. Il est également le premier à avoir affirmé que le mouvement de la pupille est un mécanisme régulant la quantité de lumière pénétrant dans l'œil. Un siècle plus tard, le médecin et philosophe Ibn Sînâ (m. 1037) rejetait à son tour les théories grecques de la vision, en particulier celle de la diffusion du rayon lumineux par l'œil de l'observateur²³.

Mais, c'est Ibn Sahl (X^e s.) qui sera, à notre connaissance, le premier grand novateur en s'attaquant à des problèmes nouveaux. Dans son « *Kitâb al-harrâqât* » [Livre des <miroirs> ardents], il étudie, pour la première fois, les propriétés de réfraction des lentilles plan-convexes et biconvexes dans le but de les substituer aux miroirs ardents. Son analyse aboutit à la caractérisation du milieu où se déplace la

¹⁹ - Op. cit., pp. 330-331.

²⁰ - R. Rashed : *L'optique et la catoptrique d'al-Kindî*, Leiden, Brill, 1997.

²¹ - R. Rashed : *L'optique géométrique*, op. cit., pp. 295-305.

²² - B. A. Rosenfeld & E. Ihsanoğlu : *Mathematicians, Astronomers and other Scholars ...*, op.cit., p. 66.

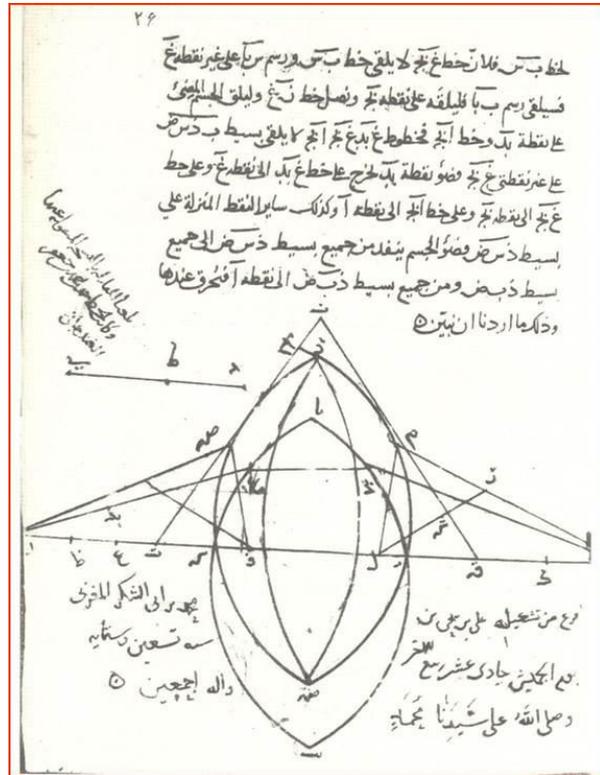
²³ - G. A. Russell : *La naissance de l'optique physiologique*, op. cit., p. 331-334.

lumière par un certain rapport qui correspond exactement à l'inverse de l'indice de réfraction. Ce résultat ne semble pas avoir attiré l'attention des scientifiques des pays d'Islam postérieurs à Ibn Sahl, et il faudra attendre le XVI^e siècle pour qu'il soit de nouveau établi par Snell (m. 1613)²⁴.

LES CONTRIBUTIONS D'IBN AL-HAYTHAM EN OPTIQUE

La majorité des écrits de physique d'Ibn al-Haytham sont consacrés à l'optique. Les thèmes traités concernent différents aspects de cette discipline qui avaient déjà fait l'objet de recherche de la part de savants grecs ou qui avaient été traités, pour la première fois par les physiciens des pays d'Islam, comme al-Kindî, Qustâ Ibn Lûqâ ; Ibn 'Îsâ, 'Utârid et Ibn Sahl. Il s'agit de la propagation de la lumière, de la vision, de la réflexion et de la réfraction, des miroirs ardents, de l'arc-en-ciel et de différents phénomènes astronomiques (halo, éclipses, etc.).

Après avoir étudié attentivement les différentes contributions produites avant le milieu du X^e siècle, Ibn al-Haytham s'engage dans une réflexion et une recherche nouvelles, en rupture avec ses prédécesseurs sur plusieurs points fondamentaux. Cette recherche, qui sera menée selon une triple démarche, inductive, expérimentale et déductive, aboutira à la rédaction de son fameux *Kitâb al-manâZir* [Livre de l'optique] qui reste, aux yeux des spécialistes, le plus important ouvrage écrit sur l'optique, depuis l'Antiquité grecque jusqu'au XVII^e siècle européen.



Ce traité, qui a été magistralement analysé, en 1942, par le grand historien des sciences égyptien Mustafa Nazîf²⁵, est divisé en 7 chapitres, précédés par une introduction. Dans cette introduction d'une grande importance méthodologique, il affirme d'abord que la recherche en optique doit combiner les outils et les démarches

²⁴ - R. Rashed : *Géométrie et dioptrique au X^e siècle*, Paris, Les Belles Lettres, 1993, pp. 1-52 ; R. Rashed : *L'optique géométrique*, op. cit., pp. 295-309.

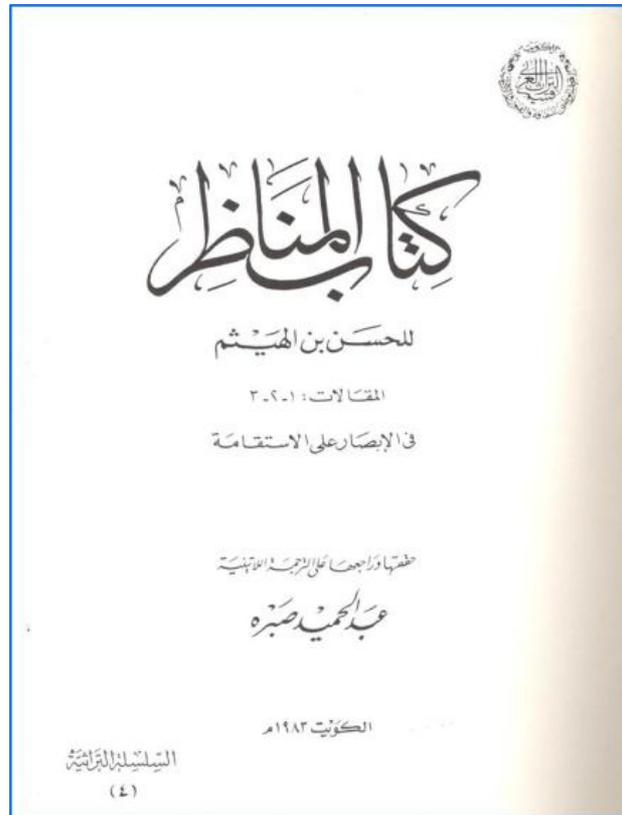
²⁵ - M. Nazîf : *Al-Hasan Ibn al-Haytham, buhûthuhû wa kushûfuhû al-basariyya* [al-Hasan Ibn al-Haytham, ses recherches et ses découvertes optiques], Le Caire, Matba'at Nûrî, 1942. Seconde édition (fac-similé) : F. Sezgin (édit), Frankfurt, Publications of the Institute for the History of Arabic-Islamic Science, Natural Sciences in Islam, n° 35, 2001.

de la physique et des mathématiques. Puis, il précise sa méthode d'investigation en ces termes : *"Nous commençons la recherche par une induction des choses existantes et l'observation des choses visibles, la distinction des propriétés des choses particulières. Nous rassemblons, par induction, ce qui est particulier à la vue dans l'état de la vision et ce qui est général, qui ne varie pas, qui est apparent et sur lequel n'influe pas le procédé de perception; puis nous nous élevons graduellement et d'une manière ordonnée dans l'investigation et la justification en critiquant les prémisses et en étant prudent quant aux résultats, et nous fixons comme but dans tout ce que nous faisons par induction et dans tout ce que nous observons de suivre ce qui est juste et non point nos penchants, et nous nous fixons dans tout ce que nous distinguons et nous critiquons, la recherche de la Vérité et non pas l'inclination vers les opinions"*²⁶.

Le premier chapitre du traité est consacré à l'exposé d'une théorie générale de la lumière et de la vision : en faisant, comme il le dit lui-même, la synthèse des points de vue des physiciens et des mathématiciens qui l'ont précédé, il définit la lumière et ses différents types de diffusion : primaire, secondaire, réfléchi et réfractée. Puis, il décrit de nombreuses expériences utilisant un certain nombre d'instruments, comme les tubes luminescents et les chambres noires, et qui permettent d'établir la propriété de propagation rectiligne pour ces quatre types de diffusion de la lumière.

La lumière étant indissociable de la vision, Ibn al-Haytham expose dans ce même chapitre l'anatomie de l'œil en se basant sur les recherches des médecins grecs et arabes, mais il innove en introduisant des considérations purement géométriques dans la forme de l'œil et dans la position de ses différents éléments : cristallin, pupille, cornée, etc. A cette occasion, il rejette l'explication de la vision basée sur la notion grecque des formes en lui substituant une explication basée sur la lumière et sur sa propagation rectiligne et, surtout, il abandonne le postulat ancien de la vision, qui disait qu'un objet était visible grâce à son éclaircissement par un cône lumineux provenant de l'œil, et il affirme, puis il démontre, que c'est la propagation de rayons lumineux de l'objet vers l'œil qui permet de voir l'objet.

Le deuxième chapitre du traité expose une théorie de la connaissance basée sur la perception visuelle alors que le troisième traite de la vision binoculaire, des erreurs



²⁶ - A. I. Sabra : *Kitâb al-manâzir li l-Hasan Ibn al-Haytham*, op. cit., p. 62.

de la vision et de la reconnaissance. Le quatrième chapitre est consacré à la réflexion. Ibn al-Haytham y étudie, expérimentalement, la réflexion des lumières essentielles et accidentelles et y donne une formulation complète de la loi de la réflexion. On y trouve également la description d'un instrument permettant de mesurer les réflexions sur différentes surfaces -planes, sphériques, cylindriques, coniques-, suivant qu'elles sont convexes ou concaves. Il termine le chapitre en montrant comment déterminer le rayon incident lorsqu'on connaît les positions de l'œil et du rayon réfléchi.

Les cinquième et sixième chapitres traitent aussi de la réflexion mais selon deux démarches différentes. En effet, dans le sixième, Ibn al-Haytham traite, d'une manière concrète, des erreurs de vision dues à la réflexion alors que, dans le cinquième, il étudie, selon des démarches purement géométriques, le fameux problème qui sera connu en Europe sous le nom de "*Problème d'Alhazen*" : Il consiste à déterminer le ou les points de réflexion, sur un miroir plan, sphérique, conique ou cylindrique (convexe ou concave), d'un rayon lumineux partant d'une source donnée et aboutissant à un point également donné, extérieur au miroir.

Le septième et dernier chapitre du traité est entièrement consacré à l'étude de la réfraction. Pour cela, Ibn al-Haytham perfectionne un instrument qui avait été conçu par Ptolémée et il l'utilise pour mesurer la réfraction air-eau, air-verre et eau-verre, par rapport à des surfaces planes et sphériques. Mais, il ne se contente pas de rassembler les résultats de l'expérience dans des tableaux, comme l'avait fait son prédécesseur grec. Il les regroupe en tenant compte de huit règles qui expriment des relations entre l'angle d'incidence et l'angle de déviation²⁷.

La plupart des autres écrits optiques d'Ibn al-Haytham sont consacrés à des problèmes concrets. En effet, en dehors du texte intitulé *Maqâla fî d-daw'* [Epître sur la lumière], qui reprend un sujet déjà abordé dans son grand traité, dix écrits sur les onze restants concernent soit des instruments optiques, comme les miroirs ardents (sphériques et paraboliques), soit certains phénomènes astronomiques liés à la lumière (ombres, éclipses, halo, arc-en-ciel, lumière de la lune et des étoiles). Dans chacune de ces études, il continue à mettre en pratique, d'une manière féconde, la nouvelle démarche scientifique qui combine la déduction mathématique à la démarche expérimentale. Cela ne lui a pas toujours permis de résoudre les problèmes qu'il s'était proposé d'étudier, mais ses investigations ont préparé le terrain à l'explication de certains phénomènes physiques. C'est le cas de l'arc-en-ciel pour lequel il a fourni des explications incomplètes et partiellement erronées qui amèneront un de ses successeurs, que nous évoquerons plus loin, à reprendre l'étude du phénomène et à en donner une explication satisfaisante pour l'époque. Mais c'est surtout son analyse de la propagation des rayons lumineux et de la constitution de l'image d'un objet dans l'œil qui lui ont permis de donner une impulsion nouvelle à l'optique, avec l'utilisation, pour la première fois dans l'Histoire, des propriétés de la chambre noire.

Pour conclure ce chapitre, il est utile de résumer les apports des spécialistes de l'optique arabe et en particulier ceux d'Ibn al-Haytham. Sur le plan « technique », on note les contributions suivantes : Etude de l'embrassement par réfraction, abandon de

²⁷ - Op. cit., pp. 11-36.

l'angle de déviation (entre le rayon incident et le rayon réfracté), adoption de l'angle d'incidence et de l'angle de réfraction, tabulation du sinus des angles d'incidence et de réfraction. Sur le plan méthodologique, on observe une rupture essentielle avec la tradition grecque antique par l'affirmation de l'existence de la lumière comme un objet matériel indépendant de l'œil. A cela, il faut ajouter les contributions d'Ibn al-Haytham qui s'inscrivent dans le prolongement des travaux des IX^e-X^e siècles. Se basant sur une analyse critique des travaux de ses prédécesseurs grecs et arabes, il a élaboré une théorie complète et cohérente de la perception visuelle, basée sur les principes anatomiques et physiologiques ainsi que sur la géométrie des rayons lumineux. Il est le premier scientifique à avoir analysé la vision comme un phénomène distinct de la lumière et à avoir étudié l'œil comme un système optique. Pour ce faire, il a remplacé les explications qualitatives anciennes par des démarches quantitatives mêlant observation, expérimentation et théorisation.

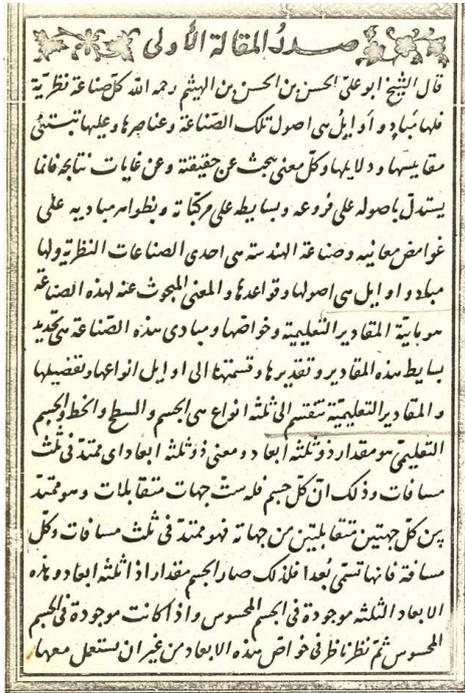
Les travaux mathématiques d'Ibn al-Haytham

Pendant longtemps, la seule contribution mathématique d'Ibn al-Haytham, connue et étudiée par les historiens des sciences, a été la résolution géométrique du fameux problème d'optique du Livre V de son *Kitâb al-manâzîr*, appelé "*Problème d'Alhazen*". Il faudra attendre le XIX^e siècle pour que les historiens des sciences commencent à s'intéresser à ses autres écrits mathématiques. Et si on connaît un peu mieux, aujourd'hui, la contribution d'Ibn al-Haytham dans ce domaine, il y a encore beaucoup à savoir sur le contenu et l'importance qualitative de cette contribution car, malgré les progrès réalisés dans la recherche, il y a encore un certain nombre d'écrits, dont certains très importants, qui n'ont pas encore été analysés et comparés avec le reste de son œuvre, ou bien qui n'ont même pas encore été retrouvés. En effet, si on se base sur les derniers résultats de l'analyse des textes et de la recherche bibliographique concernant l'œuvre mathématique d'Ibn al-Haytham, on aboutit au bilan suivant : parmi les 64 écrits mathématiques qui lui sont attribués seuls 23 nous sont parvenus, mais ils n'ont pas tous été étudiés. C'est la raison pour laquelle, comme pour l'astronomie, notre jugement concernant la contribution réelle de ce savant, en mathématique, ne peut être aujourd'hui que partiel.

En géométrie euclidienne, les travaux de ce savant s'inscrivent dans la tradition grecque mais ils renouvellent cette tradition et ils la prolongent. Ainsi, dans son livre intitulé *Maqâla mustaq̄sât fî l-ashkâl al-hilâlîya* [Epître exhaustive sur les lunules], il reprend le problème du calcul de l'aire d'une lunule dont un cas simple avait été étudié par le grec Hippocrate de Chios (V^e s. av. J.C.), et il en fait une étude approfondie²⁸. Dans ses deux livres intitulés *Kitâb fî hall shukûk Uqlîdis* [Livre sur la résolution des doutes <des *Eléments*> d'Euclide] et *Sharh musâdarât Uqlîdis* [Commentaire sur les prémisses <des *Eléments*> d'Euclide], il fait une analyse critique des postulats, des définitions et des démarches géométriques ou arithmétiques d'Euclide en leur substituant parfois ses propres postulats et de nouvelles démonstrations. C'est ce qu'il fait en particulier à propos de deux problèmes

²⁸ - A. I. Abd al-Latif : *Ibn al-Haytham*, Ch. 14 : *Ashkâl Ibn al-Haytham al-hilâlîya* [Les lunules d'Ibn al-Haytham], Amman, Manshûrât al-jâmi'â al-urduniyya, 1993, pp. 417-522.

importants, celui des parallèles et celui des grandeurs incommensurables. Dans les deux cas, il ne donne pas de solutions complètes, mais son travail, a permis à des mathématiciens postérieurs, comme ^cUmar al-Khayyâm (m. 1139) et plus tard Nasîr al-Dîn al-Tûsî (m. 1274), d'avancer dans l'étude de la théorie des parallèles et dans l'élaboration du concept de nombre réel positif²⁹.



En géométrie de la mesure, les travaux d'Ibn al-Haytham s'inscrivent dans la tradition d'Archimède (m. 212 av. J.C.), en l'enrichissant par de nouvelles méthodes comme l'utilisation de lemmes arithmétiques pour le calcul des volumes de la sphère et du parabolôïde de révolution (obtenu par rotation autour de l'axe des ordonnées), ou bien en la complétant par des résultats nouveaux, comme le calcul du volume du parabolôïde rhomboïde (obtenu par rotation autour de l'axe des abscisses)³⁰.

En géométrie des coniques, Ibn al-Haytham a publié au moins sept livres ou articles. Trois d'entre eux reprennent le contenu des *Coniques* d'Apollonius, d'abord en le résumant, puis en le complétant par onze propositions qui sont une tentative de reconstitution du chapitre VIII du livre qui n'a jamais été retrouvé. Trois autres sont consacrés à certaines propriétés des propriétés des coniques, en particulier l'étude des asymptotes d'une hyperbole. Le septième traité est une application des propriétés des coniques à la conception et à la description du compas parfait, un instrument devant permettre la construction, à l'aide d'un tracé continu, de la parabole, de l'hyperbole et de l'ellipse.

²⁹ - K. Jaouiche : *La théorie des parallèles en pays d'Islam*, Paris, Vrin, 1986, pp. 57-74 ; A. Djebbar : L'épître d'al-Khayyâm sur "L'explication des prémisses problématiques du livre d'Euclide", *Revue Farhang* (Téhéran), Vol. 14, n° 39-40 (2002), pp. 79-136.

³⁰ - R. Rashed : *Traité sur la mesure du parabolôïde*. In : *Les mathématiques infinitésimales du XI^e au XII^e siècle*, vol. II, Londres, Al-Furqân, 1993, pp. 208-293.

Dans le domaine de la science du calcul, le contenu de la contribution d'Ibn al-Haytham n'est pas bien connu. Nous savons seulement que parmi les livres qu'il a écrits sur ce sujet, quatre traitent de problèmes de calcul et d'algèbre, résolus à l'aide de systèmes d'équations et de la méthode de fausse position. Un seul de ces livres a été étudié, il s'agit de sa *Maqâla fî masâ'il at-talâqî* [Epître sur les problèmes de rencontre] dans laquelle Ibn al-Haytham résout des systèmes d'équations en donnant, pour la première fois à notre connaissance, des justifications mathématiques sur l'existence des solutions³¹.

En théorie des nombres, un seul des écrits d'Ibn al-Haytham a été retrouvé et publié, il s'agit de son *Qawl fî istikhrâj mas'ala^c adadiya* [Propos sur la résolution d'un problème arithmétique], dans lequel il établit un cas particulier du problème chinois qui consiste à trouver un nombre divisible par 7 et dont le reste de sa division par 2, 3, 4, 5 et 6 est toujours 1. Dans cette même épître, Ibn al-Haytham donne un énoncé général d'une propriété importante des nombres premiers, énoncé qui est attribué, aujourd'hui, au mathématicien anglais John Wilson (m. 1793). Le mathématicien arabe l'exprime ainsi : " *Tout nombre premier, c'est à dire qui n'est divisible que par un, est tel que si on multiplie les nombres qui le précèdent les uns par les autres selon ce que nous avons montré et qu'on ajoute un au résultat, la somme est telle que si on la divise par chacun des nombres qui précèdent le nombre premier, il en reste un et si on le divise par le nombre premier, il n'en reste rien* "³².

Il faut enfin signaler une épître importante sur les carrés magiques, intitulée *Maqâla fî a^c dâd al-wafq* [Epître sur les nombres harmonieux], qui n'a pas encore été retrouvée mais qui a été utilisée par un mathématicien arabe anonyme du XII^e siècle dont le livre nous est parvenu. Là aussi Ibn al-Haytham apparaît comme un novateur en exposant une méthode générale de construction de carrés magiques d'ordre impair et une autre méthode pour les carrés magiques dont l'ordre est pair et de la forme $(8k+2)$ ³³.

En plus de ses contributions originales dans la résolution de nombreux problèmes mathématiques, Ibn al-Haytham a réfléchi sur les outils théoriques qui lui ont permis de résoudre ces problèmes et qui sont l'induction, le raisonnement par l'absurde, l'analyse et la synthèse. L'induction est utilisée dans ses recherches pour l'établissement de résultats arithmétiques et le raisonnement par l'absurde intervient dans l'établissement de résultats de propriétés géométriques. Quant à l'analyse et à la synthèse, non seulement il les a utilisées comme outils de démonstration mais il leur a également consacré un ouvrage théorique, intitulé *Risâla fî t-tahlîl wa t-tarkîb* [Epître sur l'analyse et la synthèse] qui nous est parvenu. Après avoir fait une classification des différents types d'analyse et de synthèse, basée sur la nature des propositions à démontrer, Il y étudie les raisonnements analytiques et synthétiques puis les instruments de l'analyse et, dans une seconde partie, il illustre son propos en

³¹ - U. Rebstock : Der Mu^câmalât-Traktat des Ibn al-Haytham, *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, Band 10 (1995/96), pp. 61-121.

³² - R. Rashed : *Ibn al-Haytham et le théorème de Wilson*. In R. Rashed : *Entre arithmétique et algèbre*, Paris, Les Belles Lettres, 1984, pp. 227-243.

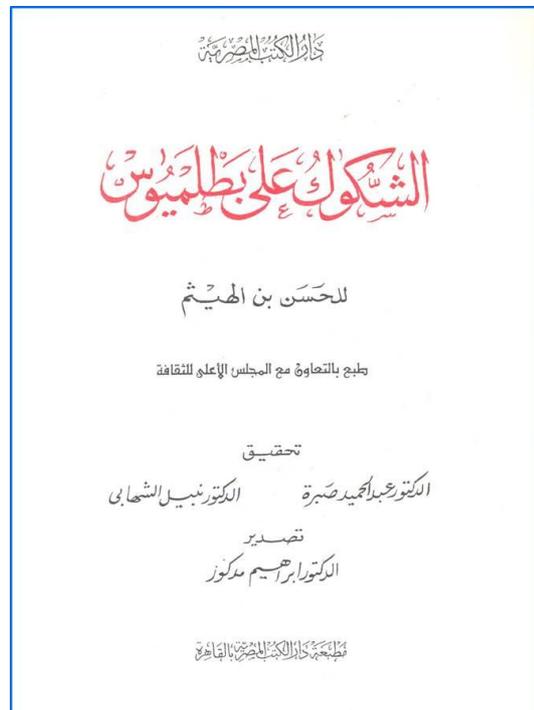
³³ - J. Sesiano : *Les carrés magiques dans les pays islamiques*, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2004, pp. 12-15.

appliquant ces types de raisonnement à l'établissement de propositions arithmétiques et géométriques. Ce sera d'ailleurs l'occasion pour lui de compléter, par des analyses qui n'avaient pas été faites auparavant, les démonstrations de certains résultats célèbres, comme celui de la proposition 36 du Livre IX des *Eléments* d'Euclide sur la détermination des nombres parfaits ou celui sur la construction d'un cercle tangent à trois cercles donnés³⁴.

LES TRAVAUX ASTRONOMIQUES D'IBN AL-HAYTHAM

Ibn al-Haytham a écrit 28 traités ou articles sur différentes questions astronomiques. Sa contribution dans ce domaine revêt à la fois un caractère théorique, comme ses critiques contre le modèle planétaire de Ptolémée, et un caractère pratique, comme l'observation astronomique, l'étude des gnomons, la détermination des distances des corps célestes et leurs diamètres, ou le calcul de la parallaxe.

Dans un de ses premiers écrits, intitulé *Risâla fî hay'at al-^câlam* [Epître sur la structure de l'univers], Ibn al-Haytham se propose de découvrir la réalité physique sous-jacente aux modèles planétaires de Ptolémée, mais il le fait en restant dans le cadre des conceptions grecques relatives au mouvement circulaire uniforme, à la permanence de ce mouvement et à l'absence du vide. Dans son traité intitulé *Harakat al-iltifâf* [Le mouvement d'enrouement], il propose un modèle physique permettant de produire les oscillations des épicycles que requiert la théorie mathématique. Plus tard, il reprendra cette question dans son important ouvrage, intitulé *al-Shukûk ^calâ Batlamyûs*, dans lequel il critique certains aspects du contenu de l'*Almageste* et des *Hypothèses planétaires* de Ptolémée. Malgré la faiblesse de l'argumentation d'Ibn al-Haytham, due au fait qu'il est lui-même prisonnier des conceptions grecques sur le mouvement des corps célestes, ses critiques ont stimulé la réflexion des astronomes et philosophes de l'Orient et d'al-Andalus qui lui ont succédé.



Une autre contribution d'Ibn al-Haytham aura des conséquences plus importantes : il s'agit de sa critique de la théorie qui avait permis à Ptolémée d'expliquer le mouvement des cinq planètes (Lune, Mercure, Mars, Jupiter, Saturne).

³⁴ - R. Rashed : *L'analyse et la synthèse selon Ibn al-Haytham*. In R. Rashed (dir.) : *Mathématiques et philosophie de l'Antiquité à l'âge classique : hommage à Jules Vuillemin*, Paris, 1991, pp. 131-162

Le savant arabe montrera que cette théorie contredit le principe du mouvement uniforme des corps célestes qui était alors admis par tous. Ces critiques reposaient sur une conviction, celle de la possibilité de concevoir un nouveau modèle, différent de celui de Ptolémée, pour tenter d'expliquer tous les phénomènes astronomiques visibles à son époque. Voici d'ailleurs ce qu'il dit à ce sujet, dans un passage d'un de ses livres perdus que nous a rapporté al-Bayhaqî (m. 1170) dans son *Tatimmat siwân al-hikma* [Le complément au conservatoire de la sagesse] : "*Nous avons imaginé des configurations qui satisfont aux mouvements célestes <mais> si nous avons imaginé d'autres configurations satisfaisant aussi à ces mouvements, rien n'aurait interdit cette imagination, car il n'a pas été démontré qu'il n'y a pas, en dehors de ces configurations, d'autres qui satisfont à ces mouvements et qui leur correspondent*"³⁵.

Le quatrième ouvrage d'Ibn al-Haytham sur l'astronomie théorique, intitulé *Tahdhîb al-Majistî* [L'arrangement de l'Almageste], est un commentaire du fameux ouvrage de Ptolémée. La copie tronquée qui nous est parvenue révèle que l'auteur connaissait bien les commentaires de ce traité écrits par les astronomes arabes des IX^e-X^e siècles, comme celui d'al-Nayrîzî (X^e s.). De plus, il utilise dans ce livre des ouvrages originaux arabes, comme *Risâla fî al-Shakl al-qattâc*, de Thâbit Ibn Qurra (m. 901), *Kitâb al-kura* des frères Banû-Mûsâ (IX^e s.) et la *Risâla fî âlât al-azlâl* [Epître sur les gnomons] d'Ibrâhîm Ibn Sînân (m. 946). Ce qui confirme la continuité de la tradition astronomique arabe et sa vigueur.

Dans le domaine de l'astronomie pratique, Ibn al-Haytham s'est intéressé aux problèmes de l'observation auxquels il a consacré plusieurs études. Dans sa *Maqâla fî kayfiyat al-arsâd* [Epître sur les méthodes d'observation], il adopte les démarches de ses prédécesseurs. Mais, dans sa *Maqâla fî t-tanbîh 'alâ mawâdîc al-ghalat fî kayfiyyat ar-rasd* [Epître sur le signalement des erreurs dans les méthodes d'observation], il se montre plus novateur en critiquant en particulier l'utilisation du *cercle indien*. Cette critique se précisera dans sa *Maqâla fî istikhrâj khatt nisf an-nahâr 'alâ ghâyat at-tahqîq* [Epître sur la détermination du méridien avec la meilleure précision] dans laquelle il révèle encore une fois ses capacités d'innovation en mettant au point un instrument et un nouveau procédé pour déterminer le méridien du lieu.

LA CIRCULATION DES TRAVAUX D'IBN AL-HAYTHAM EN PAYS D'ISLAM ET EN EUROPE

Les manuscrits scientifiques et les sources bibliographiques qui nous sont parvenus nous permettent d'affirmer que, du XI^e siècle au XVII^e, un certain nombre d'ouvrages d'Ibn al-Haytham a circulé dans différentes régions de l'empire musulman et même à l'extérieur de ses frontières. Déjà, de son vivant, à l'époque où il vivait en Irak, certains de ses écrits avaient commencé à circuler et parfois sans que leur auteur ait pu en garder une copie pour lui. Pendant son séjour au Caire, on peut penser que ses élèves, et en particulier Ishâq Ibn Yûnus et Ibn Fâtik, ont été un relais efficace dans la diffusion de ses découvertes. De son côté, Ibn al-Qiftî nous apprend que le célèbre médecin Ibn Ridwân, un contemporain d'Ibn al-Haytham, et qui vivait

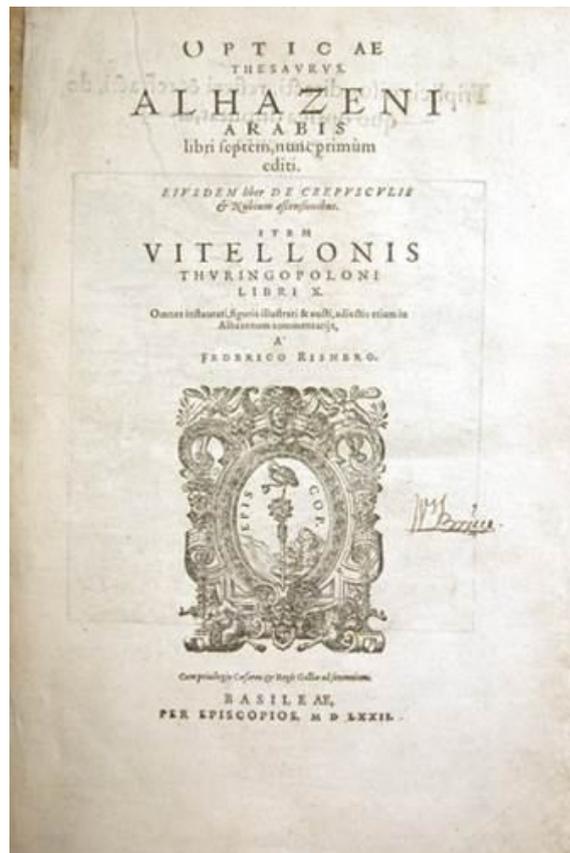
³⁵ - Al-Bayhaqî : *Tatimmat siwân al-hikma* [Le complément au conservatoire de la sagesse], Al-Warrâq, <http://www.alwaraq.net/Core/index.jsp?option=1> (29.09.15), p. 17.

également au Caire, aurait, en 1031, réalisé une copie de sa *Maqâla fî daw' al-qamar* [Epître sur la lumière de la Lune]³⁶.

D'autre part, nous savons, d'après un témoignage de Sâ'id al-Andalusî (m. 1070), dans son *Tabaqât al-umam* [Les catégories des nations], qu'un intellectuel andalou nommé 'Abd al-Rahmân Ibn 'Îsâ, avait rencontré Ibn al-Haytham au Caire, en 1040. Il est donc probable qu'à son retour en Andalus, il ait ramené, comme cela se faisait habituellement, quelques copies de travaux de notre savant.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons affirmer, en nous appuyant sur différentes sources, que des écrits importants d'Ibn al-Haytham ont été étudiés à Cordoue, à Tolède et à Saragosse : Le même Sâ'id al-Andalusî, qui était aussi astronome, appelle Ibn al-Haytham "*l'auteur des publications sur les miroirs ardents*", et il le classe parmi "*les célébrités qui se sont occupées de l'astronomie mathématique et démonstrative*". Venant d'un spécialiste, ces formulations, même générales, ne laissent aucun doute sur la circulation de certaines œuvres d'Ibn al-Haytham. Mais, d'autres informations sont encore plus précises : l'analyse du *Kitâb al-Istikmâl* [Livre du perfectionnement] d'al-Mu'taman Ibn Hûd (m. 1085) a révélé que ce savant avait non seulement lu et étudié le contenu du *Kitâb al-manâzir*, mais qu'il avait amélioré certaines de ses démonstrations. Il semble même, si l'on en croit Ibn Khaldûn qu'al-Mu'taman ait rédigé un ouvrage sur l'optique³⁷. Mais, il peut s'agir du chapitre sur le même thème qu'il devait insérer dans le second volume de l'*Istikmâl*. Malheureusement, la seconde partie de ce livre, dont nous connaissons la table des matières, ne nous est pas parvenue³⁸.

Nous pensons aussi qu'al-Mu'taman a utilisé la matière d'un autre ouvrage d'Ibn al-Haytham, celui sur *l'Analyse et la synthèse*, ce qui favorisera la circulation de ces deux méthodes de raisonnement au Maghreb, par l'intermédiaire du *Kitâb fiqh al-hisâb* [Livre de la science du calcul] d'Ibn Mun'im (m. 1228), un grand mathématicien d'al-Andalus qui a enseigné à Marrakech³⁹. Il faut enfin signaler l'étude et la critique du livre d'Ibn al-



³⁶ - Ibn al-Qifî : *Ikhbâr al-ulamâ' bi akhbâr al-hukamâ'*, op. cit., p. 288.

³⁷ - A. Djebbar : *Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XI^e siècle : al-Mu'taman et Ibn Sayyid*. In M. Folkerts et J.P. Hogendijk (édit.): *Vestigia Mathematica, Studies in medieval and early modern mathematics in honour of H.L.L. Busard*, Amsterdam-Atlanta, GA, 1993, p. 82.

³⁸ - A. Djebbar : La rédaction de l'*Istikmâl* d'al-Mu'taman (XI^e s.) par Ibn Sartâq un mathématicien des XIII^e-XIV^e siècles, *Historia Mathematica*, n° 24 (1997), pp. 185-192.

Haytham, *al-Shukûk  al  Batlamyûs*, par le philosophe et mathématicien andalou Ab  Bakr Ibn B jja (m. 1183).

A peu près   la même époque, mais en Orient cette fois, le grand mathématicien  Umar al-Khayyâm (m. 1131) lira attentivement la *Risâla f  hall shuk k Uqlidis* d'Ibn al-Haytham et critiquera sévèrement la partie concernant le postulat des parallèles dans laquelle Ibn al-Haytham avait introduit le mouvement, une démarche audacieuse qui était contraire aux conceptions philosophiques de l'époque. Le même al-Khayyâm nous apprend dans son célèbre *Kitâb al-jabr* [Livre d'algèbre], qu'il avait lu la *Maqâla f  istikhrâj arba   khut t bayna khattayn* [Epître sur la détermination de quatre lignes entre deux lignes], en précisant, au sujet de la résolution de l'équation du 5  degré qui y est traitée : "*Ceci a été démontré par Ab   Al  Ibn al-Haytham, seulement c'est très difficile. Aussi ne pouvons-nous le joindre   notre livre*"⁴⁰.

Pour le XII  siècle, il faut signaler le résumé que fera al-Kh zin  (m. 1155) dans son *Kitâb Miz n al-hikma* [Livre sur la balance de la sagesse], du *Kitâb mar kiz al-athq l* [Livre sur les centres de gravité] d'Ibn al-Haytham. Au XIII  siècle, et toujours en Orient, on observe un regain d'intérêt pour les travaux optiques du savant. En effet, sur les recommandations de l'astronome Qutb al-Dîn al-Shir z  (m. 1311), son élève Kam l ad-Dîn al-F ris  (m. 1321) reprendra l'étude de quelques uns de ses travaux et publiera un ouvrage important, intitulé *Tanq h al-manâzir li dhaw  l-abs r wa l-basé'ir* [Révision de l'optique pour les gens qui ont une vue et du discernement], qui renferme une rédaction révisée de certains écrits d'Ibn al-Haytham, en particulier son *Kitâb al-manâzir*. Dans son livre, al-F ris  apportera des contributions originales, comme par exemple son explication complète du phénomène de l'arc-en-ciel pour lequel Ibn al-Haytham avait donné une analyse incompl te⁴¹.

Après le XIII  siècle, les écrits d'Ibn al-Haytham ont continué   circuler et   être recopiés en Orient, comme en témoigne Ibn al-Akf n  (m. 1348) dont l'ouvrage bibliographique contient des références   plusieurs écrits du savant dans les trois disciplines scientifiques que nous avons évoquées. Parfois ces références sont accompagnées de remarques brèves qui nous permettent de dire qu'Ibn al-Akf n  (qui était aussi mathématicien)  tait au courant du contenu de certains de ces livres⁴².

A la même époque, certains savants du Maghreb connaissaient une partie de l'œuvre d'Ibn al-Haytham ou en avaient entendu parler, comme c' st le cas pour Ibn Khald n qui évoque, dans sa *Muqaddima*, les travaux optiques du savant mais en donnant l'impression qu'il ignorait totalement leur contenu. En effet, en voulant définir l'optique, il reprend la théorie grecque du cône visuel dont le sommet est l' cil, théorie qu'Ibn al-Haytham avait rejetée. De son côté, le mathématicien Ibn Hayd r al-

³⁹ - A. Djebbar : *L'analyse combinatoire au Maghreb : l'exemple d'Ibn Mun im (XII -XIII  siècles)*, Paris, Université Paris-Sud, Publications Mathématiques d'Orsay, 1985, né 85-01.

⁴⁰ - A. Djebbar & R. Rashed ( dit. & trad.) : *Le livre d'algèbre d'al-Khayyâm*, Alep, Publications de l'Université d'Alep, 1981, pp. 65-66.

⁴¹ - Al-F ris  : *Kitâb tanq h al-manâzir* [Livre de la révision de l'Optique <d'Ibn al-Haytham>], M. Hijazi & M. Mukhtar ( dit.), Le Caire, Al-Hay'a al-misriyya al- amma li l-kit b, 1983.

⁴² - Ibn al-Akf n  : *Kitâb Irsh d al-q sid il  asn  al-maq sid* [Livre qui guide le chercheur vers les buts les plus élevés], M. Fakhuri, M. Kamal & H. al-Siddiq ( dit.) : Beyrouth, Maktabat Lubn n N shir n, 1994, pp. 76, 80-81, 84-85.

Tâdlî (m. 1413) se réfère explicitement, dans l'un de ses ouvrages, au *Kitâb fî hall Shukûk Uqlîdis*⁴³.

Pour l'Europe, la circulation et l'utilisation des travaux d'Ibn al-Haytham n'ont pas encore fait l'objet d'une étude systématique, mais les recherches déjà faites dans ce domaine, ne laissent subsister aucun doute au sujet de l'influence de certains de ses écrits astronomiques et surtout optiques sur les travaux de même nature, réalisés dans cette région entre le XIII^e et le XVII^e siècle.

En astronomie, il semble que la *Risâla fî hay'at al-^câlam* [Epître sur la structure de l'univers] soit le seul ouvrage d'Ibn al-Haytham qui ait été connu en Europe. Il sera d'abord traduit en castillan, au XIII^e siècle, par Abraham Hebraeus qui le dédiera au roi Alphonse X (1252-1284). Plus tard, deux traductions latines seront réalisées à partir de cette version. A la même époque, l'ouvrage bénéficiera de deux traductions en hébreu, la première par Jacob Ibn Mahir et la seconde par Salomon Ibn Pater⁴⁴.

Dans le domaine de l'optique, on peut considérer qu'à la veille du phénomène de traduction des ouvrages scientifiques arabes en latin, l'optique européenne était pratiquement inexistante tant au niveau de l'enseignement, de la recherche que des publications. Les rares éléments disponibles se trouvaient dans les encyclopédies, comme celles de Pline l'Ancien (m. 79), de Solin (III^e-IV^e s.) et d'Isidore de Séville (VII^e s.). De plus, les informations qui y sont exposées avaient été rejetées ou corrigées depuis longtemps par les travaux des physiciens arabes des X^e-XI^e s. On y lit, par exemple, que la vue est produite par la lumière diffusée par l'œil et que le siège de la vision est la pupille. Quant à l'analyse mathématique de la propagation de la lumière, elle est tout simplement absente des ouvrages qui traitent de ce sujet. Il faudra donc attendre la fin du XII^e siècle pour que la situation change avec la traduction, en latin, de quelques écrits grecs ou arabes. Parmi ces traductions, il y a deux ouvrages d'Ibn al-Haytham : *Kitâb al-marâyâ al-muhriqa bi l-qutû^c* [Livre sur les miroirs ardents <réalisés> à l'aide des sections <coniques>] et, surtout, le *Kitâb al-manâzir* [Livre de l'optique] qui sera le livre de chevet des premiers spécialistes européens dans ce domaine. Le plus ancien d'entre eux est Robert Grossetête (m. 1253) qui découvrira cette discipline à travers la traduction du *De Aspectibus* d'al-Kindî. Mais, c'est Roger Bacon (m. 1292) qui donnera l'impulsion décisive à l'optique européenne, grâce à sa connaissance du contenu du *Kitâb al-manâzir* d'Ibn al-Haytham. A la même époque, Vitello (m. 1281) et John Pecham (m. 1292) publieront leurs ouvrages intitulés, respectivement, « *Perspectiva* » et « *Tractatus de perspectiva* », qui sont des adaptations et des prolongements du traité du savant du Caire. Au XIV^e siècle, ce même ouvrage bénéficiera d'une traduction en italien et les philosophes s'intéresseront à son contenu. A partir du XV^e siècle, on observe un regain d'intérêt pour l'ouvrage d'Ibn al-Haytham, en particulier après sa nouvelle édition réalisée par Risner, à Bâle, en 1572.

⁴³ - A. Moslih : *Tuhfat al-tullâb wa umniyat al-hussâb fî sharh mâ ashkala min Raf^c al-hijâb* [La parure des étudiants et le souhait des calculateurs sur le commentaire des difficultés du Lever du voile <d'Ibn al-Bannâ>], Thèse de Doctorat, Rabat, Université Mohammad V, 2006-2005, vol. II, p. 595.

⁴⁴ - A. I. Sabra : *Ibn al-Haytham*, op. cit., p. 197.

Parmi les scientifiques qui s'intéresseront de nouveau à son contenu, on peut citer Leonard de Vinci (m. 1519) et Huygens (m. 1695) qui tenteront de résoudre, chacun à sa manière, le fameux « *problème d'Alhazen* »⁴⁵. Au cours de cette longue période qui va du début du XIII^e siècle à la fin du XVI^e, on n'observe pas de progrès significatifs dans la tradition optique européenne, comme le souligne un spécialiste de cette période qui parle de « *continuité frappante entre Ibn al-Haytham au XI^e siècle et Johannes Kepler au XVII^e siècle* », en explicitant son jugement ainsi : « *On assiste à des développements intéressants et importants de la théorie optique pendant cette période, mais il est étonnant de constater combien ont été faibles les changements dans les questions posées par la théorie, dans ses hypothèses de base* »⁴⁶, et en concluant par ces termes : « *Quand Johannes Kepler aborda le problème de la vision, au début du XVII^e siècle, il commença là où Ibn al-Haytham s'était arrêté* »⁴⁷. Ce « passage de témoin » est explicité par A. I. Sabra, l'éditeur de « *L'Optique* » d'Ibn al-Haytham, en particulier au niveau de la mathématisation de certaines lois de l'optique. Il laisse entendre que l'analyse, par ce dernier, du phénomène de la réfraction a probablement aidé à la découverte de cette loi en Europe, en faisant remarquer que la méthode du parallélogramme, introduite par lui, et qui consiste à décomposer les rayons incidents et réfractés en deux composantes perpendiculaires, a pu aider à établir de nouveaux résultats. Quoi qu'il en soit, les sources disponibles montrent clairement que cette décomposition n'est pas passée inaperçue et qu'elle a été utilisée par les scientifiques européens du XVII^e siècle qui ont écrit sur les problèmes de l'optique, comme Vitello, Kepler (m. 1630), et Descartes (m. 1650), ce dernier l'ayant utilisée pour établir la loi des sinus⁴⁸.

EN GUISE DE CONCLUSION

Les recherches de ces dernières décennies ont permis d'exhumer de nouveaux ouvrages arabes traitant de thèmes mathématiques, astronomiques et physiques et permettant ainsi de compléter nos informations et parfois même de réécrire certains chapitres de l'Histoire des activités scientifiques en pays d'Islam, en particulier dans le domaine de l'optique. Par ailleurs, l'édition d'un certain nombre d'ouvrages, produits à partir du IX^e, a permis de suivre, avec plus de précisions, les préoccupations, les orientations, et les contributions originales des chercheurs de cette époque, comme al-Kindî, Ibn Sahl et, surtout Ibn al-Haytham. Pour ce dernier, les recherches ont permis de contextualiser ses travaux et de les inscrire dans une dynamique qui a démarré au IX^e siècle et qui s'est épanouie à la fin du X^e et au début du XI^e.

En ce qui concerne Ibn al-Haytham, l'analyse détaillée de ses contributions a permis de mieux cerner sa méthodologie globale, ses démarches et les outils à l'œuvre dans l'établissement de ses résultats les plus importants. Elle a aussi révélé sa vision de l'activité scientifique et les règles déontologiques qu'il s'est appliqué tout

⁴⁵ - D. C. Lindberg : *La réception occidentale de l'optique arabe*. In R. Rashed (édit.) : *L'Histoire des sciences arabes*, op. cit., pp. 355-367.

⁴⁶ - Op. cit., p. 355.

⁴⁷ - Op. cit., p. 367.

⁴⁸ - A. I. Sabra : *Ibn al-Haytham*, op. cit., p. 194.

au long de sa vie de chercheur, règles qu'il exprime en ces termes : « *Celui qui recherche la vérité n'est pas celui qui étudie les livres des prédécesseurs et s'abandonne à la bonne opinion qu'il a d'eux. Celui qui recherche la vérité s'inscrit plutôt en faux contre l'opinion qu'il a d'eux et prend son temps dans ce qu'il comprend d'eux, se fiant aux arguments et aux preuves, non pas aux propos des auteurs, qui ne sont que des hommes dont le propre est de tomber dans toutes sortes d'erreurs et de défauts. Il est du devoir de celui qui étudie les ouvrages scientifiques, s'il aspire à connaître la vérité, de se faire l'adversaire de tout ce qu'il étudie, examinant minutieusement le texte et tous ses commentaires, le mettant en question sous tous les aspects imaginables. Il est aussi de son devoir de se mettre lui-même en question. C'est en suivant cette voie que se révéleront à lui les vérités et que se manifesteront les insuffisances et les incertitudes que peuvent recéler les ouvrages de ses prédécesseurs* »⁴⁹.

⁴⁹ - Ibn al-Haytham : *Al-Shukûk 'alâ Batlamyûs* [Les doutes sur Ptolémée], A. I. Sabra & N. Shehaby (édit.), Le Caire, Publications de la Bibliothèque Nationale, 1996, pp. 3-4.

LUMIÈRE ET EXOPLANÈTES

DANIEL ROUAN

LESIA, Observatoire de Paris, CNRS, UVSQ, Université Paris-Diderot
Meudon, 92195, France
daniel.rouan@obspm.fr

On montre comment l'analyse fine de différentes propriétés de la lumière (longueur d'onde, nombre de photons, polarisation, vitesse, cohérence, etc.) permet de découvrir des exoplanètes et de les caractériser.

Mots-clefs: Exoplanètes; Rayonnement électromagnétique; lumière.

1. La découverte d'exoplanètes : une quête difficile

1.1. Les premiers penseurs d'exoplanètes

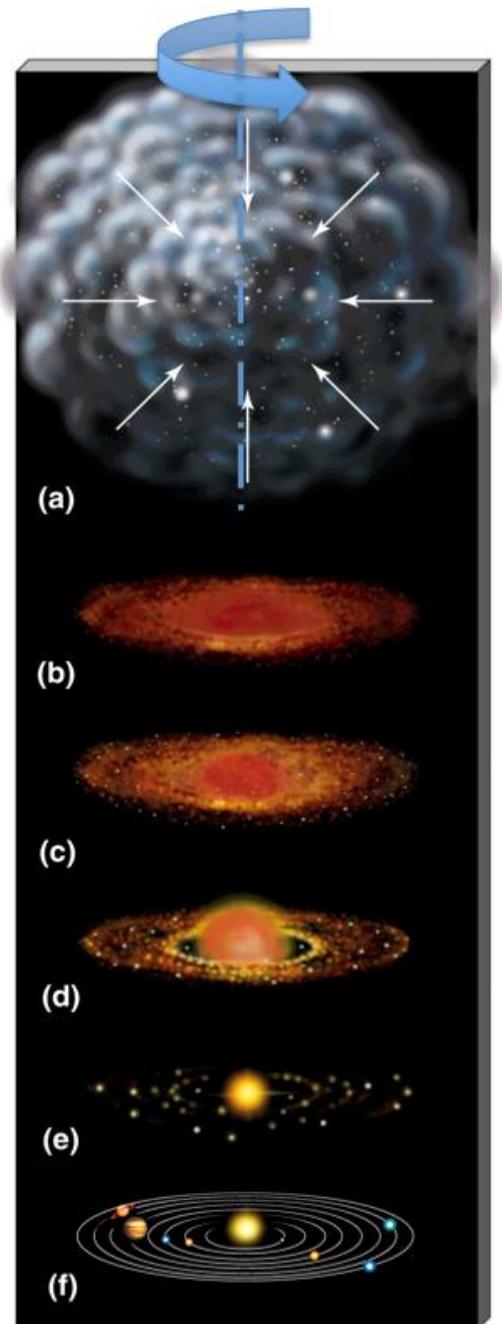
En cette année mondiale de la lumière, il était légitime que soit célébré Ibn al Haytham dont on commémore le millénaire. Avec son approche empirique et expérimentale de la physique et de la science, il est à juste titre considéré comme le pionnier de la méthode scientifique moderne.

Parmi les ouvrages qu'il a écrit au moins deux se rapportent au thème qui est abordé dans ce qui suit, celui de la détection et la caractérisation des exoplanètes : *Le Modèle des Mouvements de chacune des sept Planètes* (1038) et le *Traité de la Lumière* (*Opticae thesaurus : Alhazeni Arabis libri septem*).

La pluralité des mondes ? Cette question, en fait, il aurait pu l'aborder, car il connaissait sûrement l'oeuvre d'un grand penseur qui l'a précédé de quelques 1300 ans : Epicure. Celui-ci écrivait en effet dans une lettre à Hérodote :

« Les mondes sont en nombre infini, les uns semblables à celui-ci, les autres dissemblables. Car les atomes étant en nombre infini [...], il n'est rien qui fasse obstacle à l'infinité des mondes.».

Fig. 1 Scénario classiquement admis pour la formation d'une étoile et de son cortège planétaire. Un gigantesque nuage interstellaire d'hydrogène, d'hélium et de petites particules solides (1 % en masse seulement) s'effondre sur lui-même sous l'effet de sa propre gravité. La rotation initiale du nuage (flèche courbe) fait que les forces centrifuges ralentissent l'effondrement perpendiculairement à l'axe de rotation, favorisant ainsi l'apparition d'un disque au sein duquel les petites particules, par étapes successives de coagulation vont finir par s'agglomérer en corps massifs, les noyaux des planètes dont certains seront capables de capter le gaz initial : ce seront les planètes géantes gazeuses comme Jupiter, les autres deviendront les planètes solides comme la terre.



D'autres plus tard ont repris cette pensée qui traverse l'humanité et touche de fait chacun d'entre nous. Par exemple, Giordano Bruno : « Il est donc d'innombrables soleils et un nombre infini de terres tournant autour de ces soleils » « L'infini, l'Univers et les mondes » G. Bruno (condamné au bûcher par l'inquisition), 1600.

Les astronomes n'ont pas été en reste et, bien avant la découverte de la première planète autour d'une étoile *normale* par M. Mayor et D. Queloz en 1995, ils avaient la conviction de l'existence de planètes autour d'étoiles autres que le soleil, se fondant, au moins pour les plus contemporains, sur deux constats. Le premier est statistique : il y a plusieurs centaines de milliards d'étoiles dans une galaxie (400 milliards dans la nôtre) et il y a de l'ordre de 100 milliards de galaxies dans l'Univers observable... Penser que notre système solaire est unique serait bien présomptueux. L'autre constat est que le mécanisme de formation des planètes, comme sous-produit de la formation d'une étoile et de son disque d'accrétion constitué de gaz et de poussières solides, est désormais solidement établi. Ce scénario est résumé sur la Fig. 1. C'est dans la dernière phase (bas de la figure) que les planètes se forment par agrégation de petites particules solides en corps (galets, roches, planétésimaux) de plus en plus gros. Un faisceau d'indices conforte ce scénario : découverte de disques protoplanétaires autour d'étoiles jeunes (voir par ex la Fig. 4), trace du sillon creusé par les planètes qui ont accru la matière dans ces mêmes disques, etc.

2. Détecter une exoplanète ?

Même si on est convaincu de son existence, détecter directement une exoplanète demeure une entreprise très difficile, si on se réfère à la simple considération du contraste lumineux par rapport à l'étoile abritant le système planétaire : de l'ordre de 10 milliard par exemple pour la Terre rapportée au Soleil. Comme en plus l'étoile et la planète sont terriblement proches angulairement parlant, elles sont en pratique confondues au foyer du télescope dans la tache lumineuse de l'étoile, même avec un télescope dans l'espace. C'est ce qui explique que les premières planètes ont été découvertes par des méthodes indirectes, c'est à dire où l'inférence de la présence d'une planète est déduite de mesures sur la lumière de l'étoile seulement. Ce sont ces méthodes qui sont passées en revue ci-dessous en suivant comme guide les différentes propriétés physiques de la lumière.

3. Les propriétés de la lumière

Pratiquement toutes les propriétés fondamentales de la lumière sont exploitées pour détecter directement ou indirectement les exoplanètes. Ces propriétés sont résumées dans le tableau 1 où la première colonne mentionne la propriété attachée à la forme « photon » et la seconde à la forme « onde électromagnétique » de la lumière (la fameuse dualité onde-corpuscule), tandis que la dernière colonne donne le type d'instrument qui permet la mesure de la propriété.

Photon	Onde électromagnétique	Instrument
Energie ($h\nu$)	Longueur d'onde (λ)	Spectrographe
Nombre de photons	Intensité lumineuse	Photomètre
Cohérence	Pureté spectrale	Interféromètre
Etat de spin	Polarisation	Analyseur /

		Polariseur
Vitesse constante	Déviaton par une masse effet de lentille	Photomètre

Table 1 : propriétés de la lumière et instrument capable de la mesurer.

4. Des techniques extrêmes et high-tech

A cause de l'énorme différence de masse, de rayon ou de luminosité entre une étoile et une planète qui l'orbite, on comprend que, quelque soit la grandeur physique étudiée, ce ne sont que d'infimes variations d'une quantité mesurée qui pourront indiquer la présence d'une planète. C'est la raison pour laquelle les méthodes d'observations auxquelles on fait appel sont en général poussées à l'extrême dans leurs performances et les instruments conçus parmi les plus sophistiqués que l'astronomie ait produite, souvent en s'appuyant sur de la haute technologie (optique adaptative, nano-technologie) ou des concepts nouveaux (télescopes géants de 8 à 39 mètres de diamètre, peignes de fréquence). Cette recherche est en ce sens un facteur de progrès technologique, les défis posés aux ingénieurs et chercheurs, et relevés par eux, ont des retombées, ne serait-ce qu'en termes de savoir-faire nouveaux et de maîtrise de technologies de pointe.

5. Longueur d'onde : détecter le décalage Doppler

La méthode dite des *vitesses radiales* utilise la *longueur d'onde* de la lumière qui est directement liée à l'énergie d'un photon ou grain de lumière. Le phénomène utilisé tient à ce que le centre de gravité du système étoile-planète est fixe dans l'espace : le mouvement orbital de la planète autour de l'étoile implique alors que l'étoile elle-même décrit une petite orbite autour de ce centre de gravité : c'est ce qu'on appelle le mouvement reflex. La méthode des *vitesses radiales* consiste à détecter la vitesse de l'étoile par des mesures de l'effet Doppler. Celui-ci prédit que la lumière d'un corps en mouvement vers un observateur paraîtra un peu plus rouge quand il s'éloignera et réciproquement un peu plus bleue quand il s'en approchera. C'est cet effet qui permet par exemple de mesurer la vitesse des véhicules par les radars de la police. L'effet est extrêmement faible, comme le montre la formule suivante qui donne la variation relative de longueur d'onde en fonction des paramètres astrophysiques, les quantités étant données en unités commodes : masse de la planète (M_{pl}) en masse de Jupiter, masse de l'étoile (M_{et}) en masse du soleil et rayon de l'orbite de la planète (a) en distance de la terre au soleil (une quantité appelée *unité astronomique*).

$$\delta\lambda/\lambda = 10^{-7} \frac{M_{pl} \sin(i)}{\sqrt{a M_{et}}}$$

Ainsi, le système Terre-Soleil observé par un extra-terrestre ne provoquerait qu'un décalage relatif de longueur d'onde de 0.3 milliardième ! La première planète détectée il y a tout juste 20 ans par Mayor et Queloz, parce qu'elle est massive et sur une orbite très proche de l'étoile, correspond à un effet de 0.4 millionième, ce qui est déjà plus favorable. Le principe de la détection est de décomposer la lumière de l'étoile captée par un télescope, à l'aide d'un spectrographe très performant, protégé au maximum des perturbations potentielles (vibrations, variations de température et de pression) par un caisson contrôlé, et de mesurer simultanément le décalage d'un très grand nombre (des milliers) de raies sombres, très fines, qui marquent, dans un spectre, la présence de différents éléments (Hydrogène, Hélium, Oxygène, Carbone etc.) de l'atmosphère de l'étoile. Cela est illustré sur la figure 2 où l'on peut voir

également le spectrographe HARPS, l'instrument-roi actuellement, qui est installé sur un télescope européen au Chili.

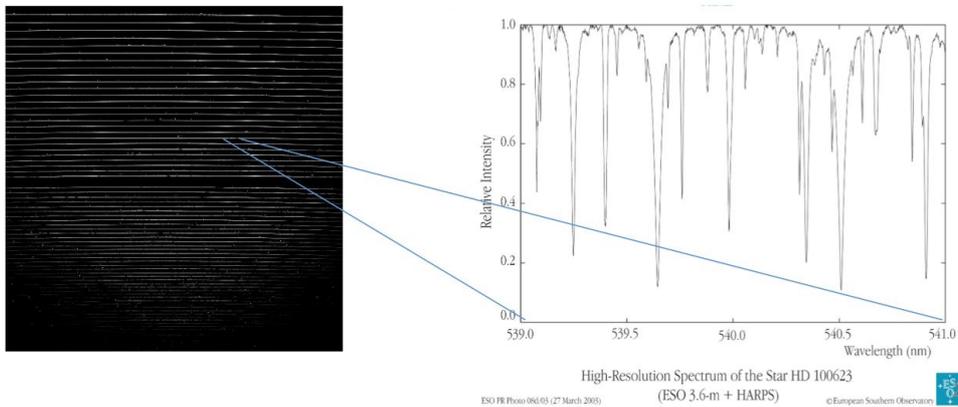
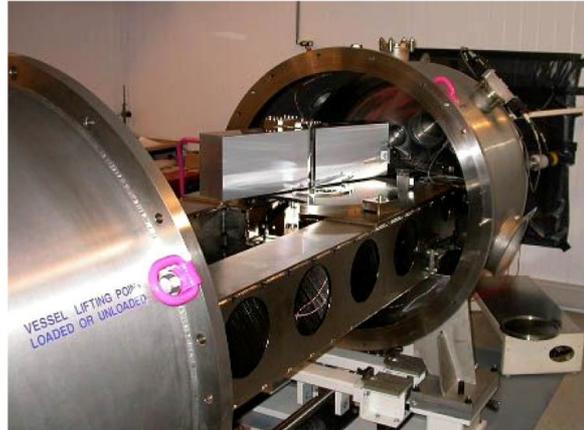


Fig. 2 Haut : le spectrographe HARPS de l'European Southern Observatory, dans son caisson d'isolation ; on distingue le très grand réseau qui permet une décomposition de la lumière très efficace. Bas : un spectre de HARPS formé sur une caméra CCD de grand format ; chaque ligne correspond à un domaine de longueur d'onde dans le visible et toutes les lignes mises bout à bout couvrent un très grand domaine de longueur d'onde tout en permettant une grande finesse d'analyse des nombreuses raies contenues dans le spectre d'une étoile, comme l'illustre l'insert de droite.

Les performances actuelles sont telles qu'on peut mesurer une vitesse d'étoile sur son orbite, aussi petite que 1 m/s, c'est-à-dire celle d'un promeneur nonchalant. Avec des techniques qui continuent de s'améliorer, la décennie actuelle verra probablement cette limite en vitesse descendre à 20 cm/s ce qui permettra de détecter des cousines de la Terre.

Cette méthode a été durant de nombreuses années la plus productive et elle a à son palmarès environ 600 planètes détectées, en fournissant une information capitale, la masse de la planète.

6. Intensité lumineuse : mesurer des diminutions d'éclat lors de transits

Ici, c'est l'intensité lumineuse, équivalente au nombre de photons reçus par seconde sur terre, qui est la propriété de la lumière examinée.

Le principe de la méthode des transits est illustré sur la Fig. 3 : on recherche dans la courbe de lumière qui trace l'éclat d'une étoile en fonction du temps, des petites diminutions de l'ordre du dix millième à quelques pourcents, qui se produisent

quand la planète passe devant le disque de l'étoile et masque donc une partie de sa surface. Bien entendu, cela suppose que l'observateur terrien se trouve dans une direction privilégiée : celle contenue dans le plan orbital de la planète, ce qui arrive environ dans un cas sur cent seulement (Fig. 3, bas). Par ailleurs cette variation d'éclat se produit rarement : une fois par période orbitale (c'est à dire chaque *année* de la planète), mais n'est pas fugace : elle dure plusieurs heures en général. Il faut par ailleurs, au moins trois évènements successifs séparés par la même durée pour que le soupçon qu'il s'agit bien d'une planète se précise. Toutes ces caractéristiques expliquent pourquoi la méthode requiert d'observer simultanément un très grand nombre d'étoiles (des milliers) sur des durées importantes d'au moins 5 mois.

Si des observations depuis le sol sont bien capables de détecter des planètes géantes du type Jupiter (donc de surface importante), ce n'est que de l'espace qu'on peut détecter des planètes de type telluriques, c'est à dire de taille entre celle de la Terre et celle de Neptune. Le paramètre principal que fournit cette technique, outre l'orbite et la période orbitale, est le rayon de la planète puisque la diminution d'éclat est directement proportionnelle à la surface de la planète. Quand cette technique peut être couplée à celle des vitesses radiales (qui fournit la masse), c'est alors la densité de la planète qui peut être dérivée, une information capitale pour remonter à la composition de la planète. C'est ainsi que le satellite CoRoT, lancé par la France en 2006 a été capable de détecter Corot-7b, la première petite planète (rayon de 1.7 rayon terrestre) dont on a pu affirmer qu'il s'agissait d'une planète rocheuse. L'outil privilégié de cette méthode est le satellite photométrique qui en s'affranchissant des effets néfastes de l'atmosphère, permet d'atteindre une très bonne précision, en fait limitée par une cause fondamentale : les fluctuations statistiques du nombre de photons détectés. Ces fluctuations sont proportionnelles à la racine carrée du nombre de photons, aussi, plus l'étoile est brillante et plus l'incertitude relative est faible. C'est la raison pour laquelle PLATO, le successeur des deux premiers satellites consacrés à cette recherche, CoRoT l'europpéen et Kepler l'américain, visera essentiellement des étoiles très brillantes pour atteindre les précisions nécessaires à la détection de planètes de type Terre.

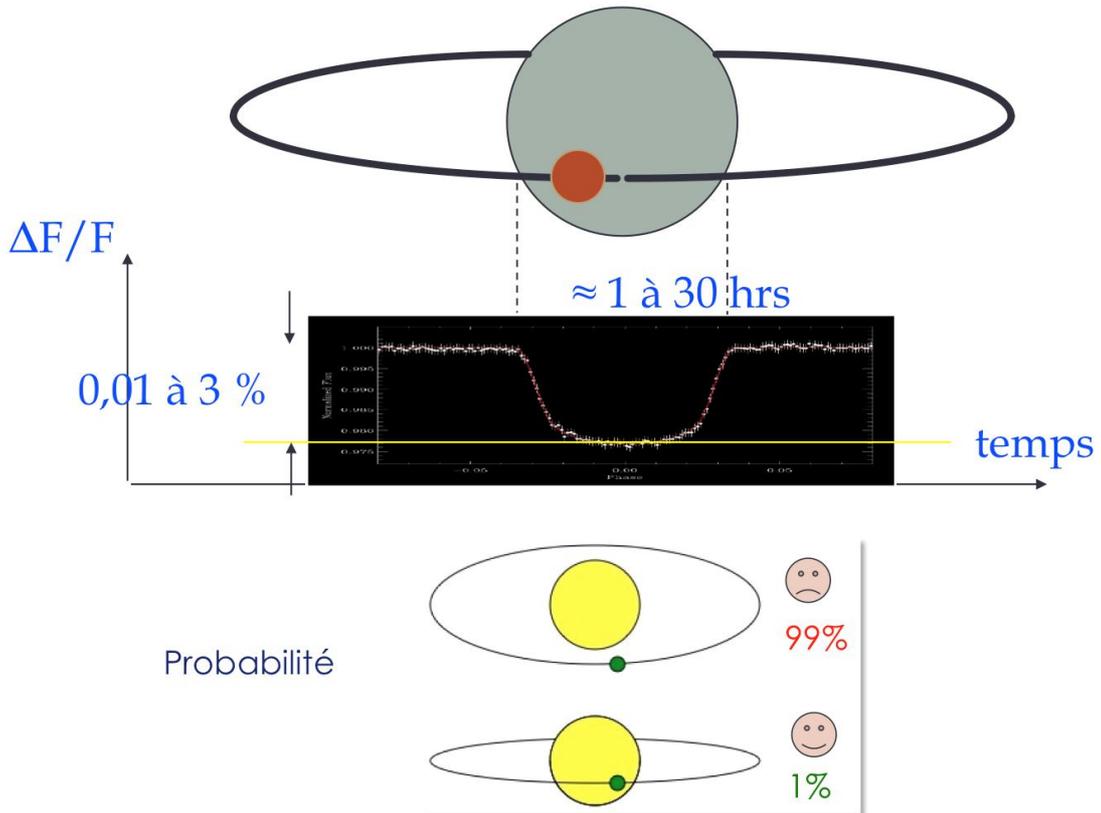


Fig. 3 Principe de la méthode des transits : on détecte la petite baisse d'éclat d'une étoile quand une planète passe entre elle et l'observateur. Le schéma du bas illustre le fait que cette situation est cependant assez peu probable si on observe une étoile quelconque.

7. Cohérence de la lumière : détection directe

La détection directe, c'est à dire l'obtention d'une image d'une planète en orbite autour de son étoile, est la méthode à laquelle on pense en premier, mais est de fait aussi la plus difficile à mettre en oeuvre à cause de l'existence simultanée d'un très grand contraste entre l'étoile et la planète et de leur grande proximité angulaire. En bref, l'observateur est violemment ébloui par l'étoile. Une image classique pour illustrer la difficulté de la situation est de la comparer à celle d'une luciole voletant à 30 cm d'un phare maritime à Brest et qu'on chercherait à détecter depuis Paris (!). Atténuer fortement la lumière de l'étoile sans affecter celle de la planète est indispensable et est devenu l'objet d'une recherche extrêmement active qui a vu fleurir un grand nombre de concepts. Il se trouve que toutes les méthodes qui y parviennent demandent également que la tache optique qui correspond à l'image de l'étoile au foyer du télescope soit très ramassée ce qui favorise la séparation de l'image de la planète. Cette taille correspond à la limite ultime que permettent les lois de la physique : c'est ce qu'on appelle la tache de diffraction, dont le diamètre ne dépend que de la taille du miroir du télescope et de la longueur d'onde. Quand on est dans ces conditions, c'est qu'on a rendu la lumière cohérente, une propriété moins connue mais pourtant essentielle, par exemple dans la physique des lasers.

On appelle coronagraphie stellaire la technique qui permet de masquer l'essentiel de la lumière d'une étoile, par référence au coronographe inventé il y a près d'un siècle par Bernard Lyot pour observer la couronne solaire. La coronagraphie stellaire moderne combine plusieurs méthodes pour obtenir les meilleurs résultats : a) correction par la technique d'optique adaptative des perturbations de l'image introduites par la traversée de l'atmosphère terrestre : en deux mots, il s'agit de

décabosser l'onde lumineuse déformée par la turbulence atmosphérique grâce à un miroir déformable actionné plusieurs centaines de fois par seconde ; b) d'utiliser un télescope de très grand diamètre pour que la tache image soit la plus petite (son diamètre angulaire est donné par l'expression $\theta = \lambda / D$) ; c) d'éliminer la lumière de l'étoile à l'aide d'un masque coronographique sophistiqué, généralement transparent (!), qui produit des interférences destructives sur la lumière de l'étoile mais pas sur celle de la planète ; d) d'utiliser des méthodes différentielles pour distinguer l'image de la planète des inévitables résidus de la lumière stellaire qui se manifestent sous forme de petites taches lumineuses (tavelures, ou *speckles* en anglais) : pour cela, on peut faire tourner la caméra autour de son axe, disperser la lumière ou utiliser des images dans différentes longueurs d'onde. C'est à l'issue de toute cette mise en œuvre que l'on peut espérer détecter directement une planète comme celle qui apparaît sur la Fig. 4 : il s'agit ici de la planète Beta Pic b détectée par une équipe française. Ici, il s'agit d'une planète géante qui a en plus la particularité d'être très chaude (1000°C) car le système étoile/planète est jeune (une dizaine de millions d'années : la toute première enfance pour une étoile !), ce qui se traduit par un contraste planète/étoile bien moins grand, donc plus favorable, quand on observe dans le domaine infrarouge.

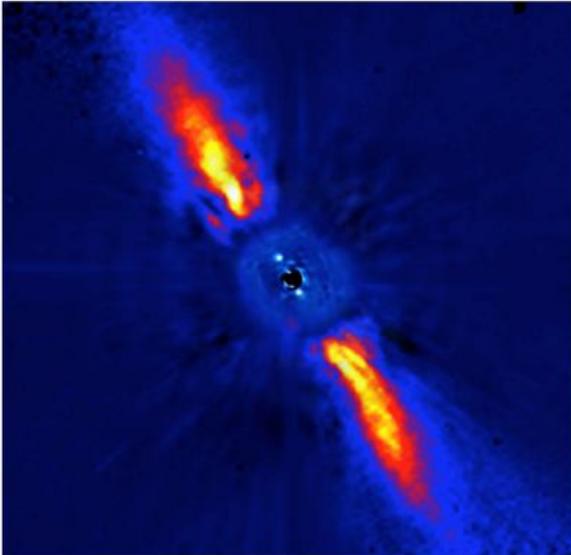


Fig. 4. Image composite du système très jeune Beta Pic en infrarouge avec l'instrument NACO sur le VLT, télescope de 8m européen: on distingue sous forme de deux flammes alignées un disque vu par la tranche, résidu de la formation de l'étoile, contenant des particules solides à partir desquelles se forment les planètes ; l'étoile qui serait au centre est en fait masquée par des techniques optiques et numériques ; les deux points lumineux près du centre correspondent à l'image d'une planète unique observée en 2003 puis en 2009, ce qui met en évidence son mouvement orbital entre ces deux époques.

La trentaine de planètes détectées directement aujourd'hui appartient à cette catégorie des planètes géantes dans des systèmes jeunes. On est encore très loin de pouvoir détecter directement une terre autour d'une étoile mature. C'est probablement dans l'espace qu'on y arrivera un jour. En attendant, des instruments sur les très grands télescopes au sol ont été développés spécifiquement pour ces recherches, comme l'instrument SPHERE installé depuis un an sur le Very Large Telescope européen au Chili. En 2018 sera lancé le James Webb Space Telescope (6m50 de diamètre) qui sera équipé de plusieurs caméras, dont MIRI un instrument européen muni de masques coronographiques produits par notre équipe du LESIA (Fig. 5).

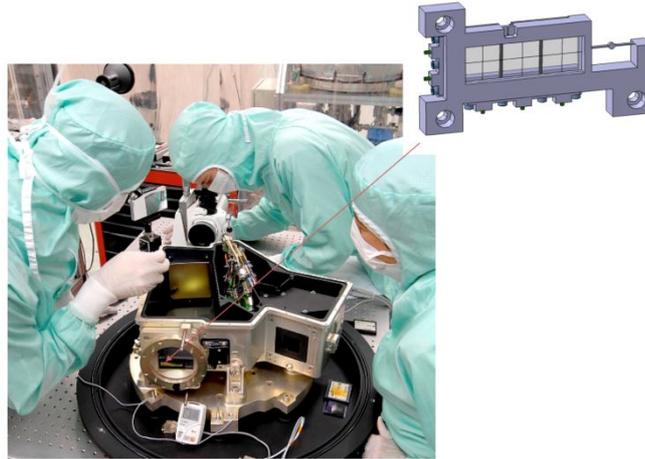


Fig. 5. La caméra européenne infrarouge MIRI qui sera installée sur le télescope JWST de la NASA (miroir de 6m50 de diamètre) est équipée de 4 masques coronagraphiques (insert en haut à droite) qui permettront de masquer l'essentiel de la lumière d'une étoile afin de détecter une possible planète.

8. Polarisation de la lumière

La propriété de polarisation de la lumière est connue pour son utilisation efficace dans les lunettes de soleil, mais elle peut aussi être exploitée pour détecter des exoplanètes ! Il s'agit d'une propriété vectorielle de la lumière, où l'orientation privilégiée d'un vecteur la caractérisant (celui du champ électrique en l'occurrence, dans la représentation électromagnétique) est imposée par certains phénomènes. C'est notamment le cas de la réflexion de la lumière de l'étoile sur la surface des planètes (en fait le phénomène qui rend une planète visible) : alors que la lumière émise par une étoile est totalement non polarisée, ce n'est plus le cas de celle réfléchi par une planète qui acquiert une polarisation perpendiculaire au plan de réflexion (Fig. 6). C'est cette différence qui est mise à profit dans ZIMPOL, un sous-système de l'instrument SPHERE récemment installé sur le VLT (voir ci-dessus). Un concept astucieux de modulation de la partie polarisée de la lumière, en synchronisation avec des commandes de transfert de charges dans un capteur CCD permet de remonter à une mesure ultra-précise de la polarisation des lumières mélangées de l'étoile et de la planète et ainsi d'en déduire la présence de cette dernière. C'est une technique très récente qui n'a pas encore de planète à son palmarès.

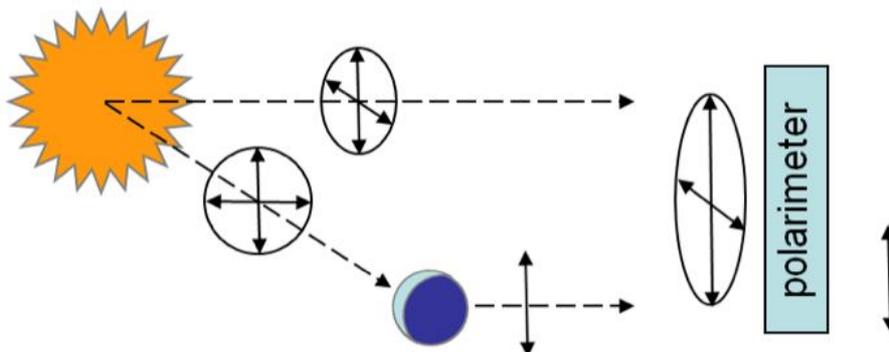


Fig. 6 La lumière d'une étoile n'est pas polarisée, mais la fraction de cette lumière qui se réfléchit sur la surface d'une planète et nous parvient, mélangée à celle de l'étoile, devient polarisée : en mesurant la fraction de la lumière qui est polarisée on peut déduire la présence d'une planète et avoir une indication sur sa surface.

9. Constance de la vitesse de la lumière : amplification par lentille gravitationnelle

La constance de sa vitesse est une propriété bien connue de la lumière qui est à la base de la théorie de la relativité restreinte. La relativité générale précise que cette constance est aussi valable dans un repère en chute libre dans un champ de gravité : c'est la raison pour laquelle les rayons lumineux doivent s'incurver sous l'effet d'un champ gravitationnel. C'est cette propriété surprenante qui est mise à profit dans la dernière des méthodes que nous considérons : la détection d'une amplification de la lumière d'une étoile brillante et lointaine par une *lentille* constituée d'une étoile plus proche et d'une planète de son cortège qui passent exactement sur la ligne de visée de la source lointaine (Fig. 7). L'amplification de la lumière de l'étoile, tout à fait analogue à celle que produit une loupe qui concentre la lumière d'une source, est mesurée facilement (elle peut atteindre un facteur 10) et c'est une observation relativement courante pour des réseaux de télescopes spécialisés dans la recherche de tels phénomènes. En revanche, ce qui l'est moins c'est le petit accident sur la courbe de lumière, tel qu'on peut en voir un sur la Fig. 7, qui traduit la présence d'une planète : celle-ci apporte sa contribution au champ gravitationnel et produit une petite amplification supplémentaire. De tels événements sont assez rares, puisqu'on en a identifié qu'une quinzaine, mais ils ont le mérite de révéler des planètes à des distances orbitales de leur étoile dans une zone mal couverte par les autres méthodes, celle qui engloberait les orbites de la Terre et de Jupiter dans notre système solaire.

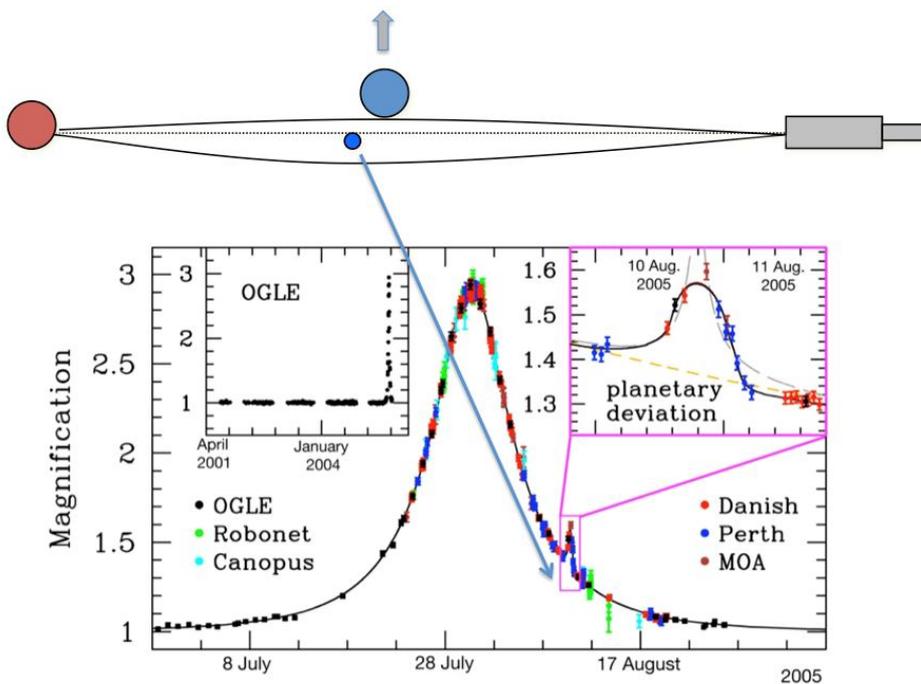


Fig. 7 Principe de la détection de planète par lentille gravitationnelle. Si on observe une étoile lointaine (étoile rouge à gauche) et qu'une étoile à distance intermédiaire (étoile bleue au centre) passe exactement sur la ligne de visée elle se comporte, du fait de son champ de gravité, comme une lentille qui dévie les rayons lumineux et produit une concentration de la lumière de la première étoile sur le télescope. Cette concentration se traduit par une augmentation apparente de la luminosité selon une courbe en cloche qui peut durer une cinquantaine de jours. Si l'étoile lentille est entourée d'un cortège planétaire, alors il peut se produire qu'une des planètes ajoute durant un bref moment un surcroît d'amplification, comme cela a été le cas pour l'évènement illustré ici, qui a permis de détecter une planète de petite masse : 5 fois celle de la Terre.

10. Conclusion

L'imagination des astronomes s'est révélée particulièrement productive pour mettre au point des méthodes de détection des planètes extrasolaires en s'appuyant sur les différentes propriétés de la lumière, qui sont pratiquement toutes exploitées aujourd'hui. On en est actuellement à près de 2000 exoplanètes détectées, toutes méthodes confondues, avec une très grande disparité dans les caractéristiques, mais on reste dominé par la classe des planètes géantes pour des raisons de détection plus facile, en général. Il est clair que les progrès se poursuivent dans ce domaine très compétitif et qu'ils bénéficient aux nouveaux instruments et aux différentes missions spatiales en préparation. On doit donc s'attendre à voir se décupler les découvertes dans les années à venir, en particulier du côté des planètes de plus petite taille, cousines de la Terre, dont la caractérisation précise de leur composition, structure et atmosphère est très attendue. Dans tous les cas, la lumière, via une de ses propriétés, continuera d'être le vecteur principal pour rechercher l'information.

The Dual Longitude Method and the Method of Mixed Ascensions in Ibn Qunfudh al-Qusantîni's *Sharh urjûza fî ahkâm al-nujûm*

Marc Oliveras
University of Barcelona
marcoliveras@ub.edu

Abstract:

In order to cast a horoscope, the ancient astrologers used to divide the ecliptic in twelve sections called astrological houses beside the twelve zodiacal signs. As it's well known, the apparent path of the Sun on the sky has four main stations connected by the shape of a cross. The horizontal line marks the ascendant and the descendant points, and its perpendicular or vertical axis marks the midheaven and the direction pointing below called nadir. Nevertheless, it's an astronomical fact that the vertical axis of the ecliptic moves according to the place and time. In spite of the traditional view that advocates for the perfect perpendicular shape between the horizon and the vertical axis, several astrologers will strive to reconcile its astrological interpretations with the empirical observation. This was the beginning of the struggle for house division that curiously only affected the astrological houses, not the zodiacal signs neither the lunar mansions. As for the astrological progressions, we'll deal with the method of mixed ascensions that's the choice of Ibn Qunfudh al-Qusantîni (740/1339 - 810/1407) for to calculate the time remaining until an event. This astrological method sets the distance between any significant indicator and a second celestial reference as a bound.

Keywords:

Ibn Qunfudh al-Qusantîni, 'Alî b. Abî al-Rijâl, medieval astronomy and astrology, horoscopes.

Introduction

This study on the dual longitude method for house division and the method of mixed ascensions for astrological progressions in Ibn Qunfudh al-Qusantîni (740/1339 - 810/1407) tries to be a brief introduction of my edition of his commentary on Ibn Abî al-Rijâl's *Urjûza fî ahkâm al-nujûm*. 'Alî b. Abî al-Rijâl (Tunis, ca. V/XI) became famous for his *Kitâb al-bâri' fî ahkâm al-nujûm*, a wide-ranging compendium of the major themes in judiciary astrology: elections, interrogations, and the revolutions of the world-year. Although few works by Ibn Abî al-Rijâl have come down to us, we have the complete astrological poem *al-Urjûza fî ahkâm al-nujûm*. Ibn Qunfudh wrote a commentary on this *urjûza* but, although the commentary deals with the same topics as the *Bâri'*, the two works do not always present them in the same way.

The dual longitude method for house division and the method of mixed ascensions for astrological progression are presented as some features of Ibn Qunfudh work on astronomical calculations for a paper read in the international colloquium on *Mathématiques Maghrébines dans le Monde Arabe* hold in the Frères Mentouri University in Constantine.

Previous studies on the *Urjûza fî ahkâm al-nujûm*

In recent years, several critical editions of an important collection of Eastern Islamic astrological texts have been published. Most of these texts were known in al-Andalus and were the subject of Latin translations. However, few studies on Western Islamic astrology have been edited and translated.

A work as important as the *Kitâb al-bâri' fî ahkâm al-nujûm* by the Tunisian astrologer 'Alî b. Abî al-Rijâl has not yet been edited and we have to make do with the edition of the Castilian translation by Gerold Hilty. The edition and translation of Ibn Abî al-Rijâl's *Urjûza fî ahkâm al-nujûm* and of Ibn Qunfudh's commentary attempts to fill this gap. The *Urjûza fî ahkâm al-nujûm* seems to have been edited in the early twentieth century, though without Ibn Qunfudh's commentary, in the second part of Ghazâl al-Mûsawî's *Kifâyat al-tâlib fî al-ahkâm al-falakiyya*. Unfortunately I have been unable to confirm this and so I do not know if it was a complete edition or only a fragmentary one.

Ibn Qunfudh's commentary has been studied previously on three occasions:

1. M^a José Hermsilla, "La *Urjûza fî-l-ahkâm* de 'Alî b. Abî al-Rijâl y su comentario por Ibn Qunfudh" in *Anuario de Filología*, n^o 4, 1978, pp. 191-198. This is a brief introduction to the authors and to the historical context, followed by a comparison of the technical structure used in the *Bâri'* and the *Urjûza*. Hermsilla illustrates features of the structure with an example from the chapter on marriage (*fî l-tazwîj*). She focuses on the historical context and on the two viziers mentioned in the dedication: Abû Mujâhid (d. 741/1340) and Abû Bakr (d. ca. 780/1378).

2. Julio Samsó, "Cuatro horóscopos sobre muertes violentas en al-Ándalus y el Magrib" in ed. M. Fierro, *De muerte violenta. Política, religión y violencia en al-Ándalus*, Madrid, 2004, pp. 479-519. This is a study of horoscopes IX and VI in Ibn Qunfudh's commentary besides other horoscopes, all of them related to episodes of sudden death in al-Andalus and the Maghrib. The article is accompanied by an appendix with a short commentary on the complete collection of horoscopes offered by Ibn Qunfudh.

3. Julio Samsó, "La *Urjûza* de Ibn Abî l-Rijâl y su comentario por Ibn Qunfudh (I and II)" in *al-Qantara*, vol. XXX, n^o 1, 2009, pp. 7-39 and vol. XXX, n^o 2, 2009, pp. 321-360. This is the most complete study to date of Ibn Qunfudh's commentary. Samsó offers a masterly analysis of the contents, the author's biography, the historical context, the sources, the question of the apparent sizes of the planets, the procedures for the calculation of *tasyîr*, the dual longitude method for the division of the astrological houses, and the use of Ibn Ishâq's planetary tables; the study ends with a detailed study of all twelve horoscopes.

The authors

We have little information on Ibn Abî al-Rijâl. We know that he worked as an astrologer for the prince al-Mu'izz b. Bâdîs b. al-Mansûr (407/1016-454/1062) of Qayrawân, the fourth governor of the Zirî dynasty that ruled in North Africa (ca. 363/973-521/1127). His literary production centres on astronomy and astrology, but

only the following works are preserved: *al-Kitâb al-bâri' fî ahkâm al-nujûm*, the *Urjûza fî dalîl al-ra'd* and the *Urjûza fî ahkâm al-nujûm*. His other two works, the *Kitâb al-rumûz* and the *Zîj hall al-'aqd wa bayân al-ra'd*, are lost. Ibn Abî al-Rijâl's most important work is without doubt the *Kitâb al-bâri'*, probably written between 1037-1040, which was very famous in Islamic world and was translated into Castilian by Yehudâ b. Moshe in 1254 as *Libro conplido en los iudizios de las estrellas* and into Latin by Egidio de Tebaldis and Petrus de Regio in approximately 1256 as *De iudiciis astrorum*.

Ibn Qunfudh lived in the Merinid period (*ca.* 656/1258-867/1465), when the function of the astrologer was still attached to the court. This is clear from the dedication at the beginning of his commentary to the viziers Abû Mujâhid and Abû Bakr.

Ibn Qunfudh wrote on several subjects, including mathematics, astrology and sufism. Oddly, his work continues many of the themes studied by Ibn al-Bannâ' al-Marrâkushî (654/1256-721/1321) and Ibn 'Azzûz al-Qusantîmî (d. 755/1354). Ibn Qunfudh's religious training is evident throughout his work. For example, at the beginning of the commentary he not only defends the compatibility of astrology with religious belief, but uses legal terminology to structure his own speech, using vocabulary such as *mas'ala* (subject or example), *tanbîh* (warning) or *fâ'ida* (piece of information or explanation) in the classification of several sections. All this terminology refers to the context of the science of foundations of Islamic law (*usûl al-fiqh*). However, it seems that at some stage in their lives Ibn al-Bannâ' and Ibn Qunfudh abandoned their astrological convictions or had to conceal them.

Ibn Qunfudh uses many sources. He mentions Hermes regarding the conditions of the interrogations and on the administration of laxative medicines. The reference to Aristotle is brief, he only appears to defend the utility of elections. The most frequently mentioned author is Ptolemy, quoted with regard to the number of stars, his particular conception of *mubtazz*, the astrological progression of the ascendant, the indicators of the father and the mother in the fourth house, the seventh house as indicator of the physician, how to avoid premature predictions of the death of an absent person and the administration of laxatives. Pseudo-Ptolemy's *Kitâb al-thamara* is quoted with regard to the conjunctions, the smaller conjunction and the changes in government according to the term of the progression. Ibn Qunfudh knew the commentary of the *Tetrabiblos* by 'Alî b. Ridwân (d. 453/1061) called the Egyptian (al-Misrî), and quotes him with regard to the medium cycle of the Moon and the position of Saturn in fixed signs as an indicator of epidemics. Among the earliest Islamic astrologers, he mentions Abû Ma'shar with regard to moving, praising him as an astrologer for his mastery of the subject of the planetary conjunctions and on the winner in warfare. He quotes 'Umar b. al-Farrukhân (second half of II/VIII) regarding the combustion of the eighth house, the indicators of pregnancy, on how to judge equivalent indicators and on the definition of the strange planet. Mashallah (first half of III/IX) is quoted regarding the indicators of abundant descendants, the indicators of pregnancy, enemies and on how to find a missing person. He mentions al-Kindî with regard to the distribution of planets in the decans between Pisces and Aries, on the factors that decide the ascensions and on the conjunction that decided the emergence of Islam. Ibn Qunfudh also mentions al-Isrâ'îlî, surely Sahl b. Bishr (first half of III/IX), regarding the conditions of application in retrograde planets and to the rain indications from the planet applied to the Moon. Abû 'Alî al-Khayyât (d. 447/1055-56) is quoted with regard to the best

indicators for tying the flag, for the conception of a son and on the indicators that help to find a missing person. Kûshyâr b. Labbân (second half of IV/X) was an author who was practically unknown in fourteenth-century al-Andalus and the Maghrib, but Ibn Qunfudh mentions his ignorance of logical principles and makes no reference to his astrological works. Among the western astrologers, Ibn Qunfudh quotes the Andalusî Ibn al-Zarqâl (d. 493/1100) regarding the Prophet's birth. Ibn Qunfudh praises Ibn Ishâq (Tunis, first half of VII/XIII) for his method for division of the houses and for his planetary tables, and Ibn 'Azzûz is quoted on the ascendant of the anniversary and the winner in a battle.

Dating the *Urjûza*

We do not have enough information to establish the exact date of Ibn Abî al-Rijâl's *Urjûza fî al-ahkâm*. But this is not the case of Ibn Qunfudh's commentary, which seems to have been written in 774/1373, that is, after the death of sultan Abû Fâris (d. 774/1372), during the brief reign of Abû Zayyân (774/1372-776/1374) and before vizier Abû Bakr was deported to Majorca at the end of 1375. The six copies that I used for the edition of the commentary give as the final date of its preparation "the beginning of the last third of the eighth century of the hegira", which starts in 766/1364. Manuscripts 4805 from the Hasaniyya in Rabat and Add-9599 from the British Library are more accurate and they place the completion of the commentary at the end of *shawwâl* 774 of hegira, which corresponds to mid April 1373.

Like most Arabic scientific poetry, Ibn Abî al-Rijâl's astrological poem is written in *rajaz* meter. The division between scientific and non-scientific Arabic poetry is based mainly on content and form. By "content" I mean the scientist's data and the pedagogical intention; and by "form" I mean in almost all cases the use of the *rajaz* meter, from which the poem called *urjûza* takes its name.

According to Brockelmann and Sezgin, currently twenty-six copies of the *Sharh al-urjûza fî ahkâm al-nujûm* are preserved: Escorial Ár. 916/2 and 909/4; Bibliothèque Générale of Rabat K1648, D101, D266bis, D2147, D262, D2237, 512bis, 466 and 467; British Library Add. 9599; Laleli 2737; Esat 1996; H. Mahmut 4263; Zâhiriyya 4905; Waqfiyya 907; Nuruosmaniye 2880/14; Beyazit 4661; Chester Beatty 4071 and 4988/3; Princeton Garrett: 972 (shelf 517H); Beirut 199 (S. 163-339); and National Library of Tunisia 482, 4297 and 4664/2.

Contents of the *Urjûza*

Ibn Abî al-Rijâl structures his poem of 467 verses in five broad sections: introduction, planetary conditions, interrogations, elections and anniversaries or year-transfers. Let us look at the structure of Ibn Qunfudh's commentary.

The first section begins with an initial dedication and defence of astrology. Certain references in these sections help us to date the commentary.

In the second section, the author deals with the nature of the planets and the celestial sphere, with their movements, dispositions and divisions. Immediately Ibn Qunfudh mentions the calculation of the months and the years and gives explanations for the direct and retrograde movement of certain planets. He briefly describes the nature of

the heavenly bodies, and the *mubtazz*, and gives definitions of 35 kinds of planetary conditions: (1) domain (*hayyiz*), (2) advance (*iqbâl*), (3) retreat (*idbâr*), (4) conjunction (*muqârana*), (5) application (*ittisâl*), (6) separation (*insirâf*), (7) combustion (*ihtirâq*), (8) penetration in the heart of the Sun (*tasmîm*), (9) void of course (*khalâ' al-sayr*), (10) wild (*wahsh*), (11) translation (*naql*), (12) collection of light (*jam' al-nûr*), (13) reflecting light (*radd al-nûr*), (14) prohibition (*man'*), (15) pushing nature (*daf' al-tabî'a*), (16) pushing two natures (*daf' al-tabî'atayn*), (17) pushing management (*daf' al-tadbîr*), (18) pushing power (*daf' al-quwwa*), (19) returning (*radd*), (20) resistance (*i'tirâd*), (21) evasion (*fawt*), (22) cutting the light (*qat' al-nûr*), (23) favour (*ni'ma*), (24) recompense (*mukâfât*), (25) reception (*qabûl*), (26) witness (*shahâda*), (27) besiegement (*hisâr*), (28) pursuit (*tuhma*), (29) detour (*ih.tifâf*), (30) good fortune (*sa'âda*), (31) misfortune (*manhasa*), (32) easterliness (*tashrîq*), (33) westerliness (*taghrîb*), (34) weakness (*du'f*) and (35) refraction (*intikâth*).

The section on interrogations is longer and deals with the indicators of each house. In the first house, on life, we find an introduction to astrological progression (*tasyîr*), mixed ascensions, *intihây*, *jânbakhtâr* and *firdârât*. The second house, on money, deals with the origin of wealth, and the favourable aspects of the buying, selling and lending. The third house, on brothers, deals with its relation to the eighth house. The fourth house, on parents and relatives, deals with their particular astrological lots (*sihâm*) and makes a final reference to property. The fifth house, on children, deals with the lot of the son, the indicators of pregnancy, and the sex of the baby, and it ends with a section on news, letters and messengers. The sixth house, on diseases, deals with the patient, illness, the physician, slaves and the spellbound. The seventh house, on marriage, deals with spouses, complaints, association, robbery, the fugitive slave and lost property. The reference to the eighth house is very concise and it only mentions the case of the absent and the missing person. The ninth house, on journeys, mentions the captive, the prisoner, the refugee and the exiled. The tenth house, on governor's trusteeship, describes at length the importance of the ascendant, the duration of the government, the calculation of *haylâj* and *kadhkhudhâh*, the character of governors and the best occasion for requesting a favour from them. The eleventh house deals with friends and needs, and finally the twelfth house refers to enemies and pack animals.

The section on elections begins with an introduction to the astrological principle of correspondence between celestial and terrestrial phenomena. It then defends the concept of "astrological election" and concludes with a brief reference to some indicators of royalty. Twenty-eight elections are noted in the poem: (1) tying the flag, (2) untying the flag, (3) nursing the baby, (4) weaning the baby, (5) cutting the nails, (6) cutting the hair, (7) entering the baths, (8) circumcising the boy, (9) dressing in new clothes, (10) moving, (11) lending and saving, (12) building, (13) planting trees, (14) destroying a building, (15) requesting a son, (16) teaching the boy, (17) curing the eyes, (18) applying a bleeding, (19) on laxative medicines, (20) on astringent medicines, (21) buying slaves, (22) looking for someone who has vanished or looking for the enemy, (23) the marriage contract, (24) intercourse, (25) journeys, (26) going to the sultan to request something, (27) acquiring pack animals and (28) hunting. The last section on the anniversaries of the world-years begins with an introduction to the climates, the meridian of Arîn and planetary conjunctions. Here the subject is world-wide astrology, that is to say: the prediction of events that affect the entire inhabited world. The predictions of this type are based on the astrological technique of the

progression and use the theory of the great conjunctions of Saturn and Jupiter, starting from the conjunction that announced the arrival of Islam (*qirân al-Milla*). Finally, the commentary ends with the prediction of rain and the prediction of the winner in a battle.

Ibn Abî al-Rijâl structures the first five sections (*kutub*) of his *Kitâb al-bâri'* on the basis of a double treatment of the twelve astrological houses (sections I-III for interrogations and sections IV-V for nativities). Section VI deals with the anniversaries of the years within nativities (*tahwîl sinî l-mawâlid*), section VII deals with some special elections (*ikhtiyârât khâssa*) and section VIII addresses the anniversaries or year-transfers (*tahwîl sinî al-âlam*).

In general, the *Kitâb al-bâri'* and the *Urjûza fî ahkâm al-nujûm*, deal with the same subjects but do not reach the same conclusions or discuss the issues at the same length. Only on a very few occasions could the *Urjûza* be considered as a summary of *al-Bâri'*.

Main subjects

The defence of astrology and the effort to classify its benefits are two chief points in the spirit of the *Sharh al-urjûza fî ahkâm al-nujûm*. In his commentary, Ibn Qunfudh defends astrology from various points of view and warns against the mistake of assigning a constraining role to the planets. He uses the philosophical arguments of Fakhr al-Dîn al-Râzî to reject the rationalism of the Mu'tazila, and he also quotes several verses from the Quran along with other authorities drawn from the religious context: 'Alî b. Abî Tâlib, Ibn 'Abbâs, Yahyâ b. Âdam, al-Qâdî b. al-'Arabî, al-Ghazâlî, al-Âmidî, al-Shârimshâhî or al-Qarâfî..

As is the case with practically all Arabic astrology, the classification of the different sections of Ibn Abî al-Rijâl's *Urjûza* closely follows the guidelines transmitted by ancient Greek authors. The astrological judgments often appear as predictions or conclusions (*ahkâm*) differing in their application, which may be world-wide or individual. Individual judgements are divided into nativities (*mawâlid*) and dispositions or initiatives (*ibtidâ'ât*), including elections (*ikhtiyârât*) and interrogations (*masâ'il*). As Ibn Qunfudh states in his commentary in agreement with all the astrologers, the essential rule in all these sections is the correspondence between man and the arrangement of the heavenly bodies (*tadbîr* or *'inâya*).

The method of house division

Ibn Qunfudh advocates the method of division of houses apparently used by Ibn Ishâq and his followers, that is, the "dual longitude method". This astronomical method was wide commented by J. North and E. S. Kennedy⁵⁰. As Kennedy mentions, this procedure was also called the "old method" or the "method of an elite in the Maghrib" and al-Bîrûnî pointed out that it was documented in Greek sources, especially in Porphyry (second half of III). Several authors like Muhyî al-Dîn al-

⁵⁰ J. North, *Horoscopes and History*, Warburg Institute, London, 1986; and E. S. Kennedy, "The Astrological Houses as defined by Islamic Astronomers" in *From Baghdad to Barcelona. Studies in the Islamic Exact Sciences in Honour of Prof. Juan Vernet. Vol. II*, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1996, pp. 535-578.

Maghribî (first half of VII/XIII), Muhammad b. ‘Alî al-Wabkanwî (first half of VIII/XIV) and Jamshid al-Kâshî (first half of IX/XV), ascribed to it a Western origin.

That’s what Kennedy writes on the *Zij* of Ibn Ishâq, chapter 27 on the equalization of the houses and the twelve cusps:

Two procedures are described, both followed by worked examples. The first is the dual longitude method (...) but the author calls it the method of “two thirds” presumably because of its application of thirds of cardinal arcs. A third of the ecliptic distance from upper midheaven to the ascendant is called the “daytime difference”. Add this thrice to the longitude of upper midheaven to obtain cusps XI, XII and I, the ascendant. The night-time difference is then added three times to the latter to produce cusps II, III and IV.

For the example, the ascendant is taken as Leo 27° (=147°), and upper midheaven as Taurus 21° (=51°).

The author seems to regard this method as sufficient for ordinary purposes. But for great affairs – conjunctions, world-year transfers, and nativities which require great precision – he prescribes what is in fact the standard method. Calculate the length of a double unequal hour for a day when the sun is in the given ascendant. Add this successively three times to the right ascension of cusp X. The results will be the ascensions of cusps XI, XII and I. Subtract the double hour from sixty to obtain a double nocturnal hour. Add this successively to the right ascension of the ascendant to obtain the ascensions of cusps II, III and IV. The actual cusps are then found as inverses from a table of right ascensions.

For the example, the ascendant is again taken as 147°, but now the tenth cusp is put as 52°, which, for the parameters implicit in the computations, is much better than the 51° above. These parameters presumably are for the inclination of the ecliptic, the 23;33° found on f.174v, and for the latitude of Tunis the 36;40° given in the geographical table of Ibn al-Raqqâm’s *Shâmil Zij*, rather than the 36;37° on f.41v of the Madrid fragment of his *Qawîm Zij*. For the length of an unequal hour Ibn Ishâq uses a table on f. 143v of his *Zij*. Tunis is mentioned in the title of the table, but no latitude is given.

Recomputation of the cusps (...) demonstrates that Ibn Ishâq’s calculations tend to be precise to about two minutes of arc⁵¹.

The standard method consists in projecting the cardines onto the equator from the equatorial poles. Trisecting the four resulting segments and projecting the trisection points back onto the ecliptic from the equatorial poles to obtain the corresponding cusps⁵².

The method in question is used effectively by Ibn Qunfudh in all the twelve horoscopes that appear in his commentary; it is based on the division into three parts of the arc between the ascendant and the midheaven and its application to the opposite quarter, and the same for the other two quarters.

The astrological lots (*sihâm*)

⁵¹ E. S. Kennedy, *idem*, pp. 554 and 555.

⁵² E. S. Kennedy, *idem*, p. 538.

Ibn Qunfudh mentions twelve astrological lots: the lot of the father (*sahm al-ab*): ascendant + Sun - Saturn with regard to the fourth house. The lot of the mother (*sahm al-umm*): ascendant + Venus - Moon also on the fourth house. The lot of marriage (*sahm al-tazwîj*): ascendant + Venus - seventh house with regard to the seventh house. The lot of fortune (*sahm al-sa'āda*) or lot of bliss (*sahm al-bakht*): ascendant + Sun - Moon with regard to the second house and the spellbound. The lot of nobility (*sahm al-sharaf*): by day, ascendant + Sun - Aries 19 ° (degree of exaltation of the Sun), and by night, ascendant + Moon - Taurus 3° (degree of exaltation of the Moon) with regard to the appointment of a new government. On the lot of the deposition (*sahm al-sharaf*) Ibn Qunfudh mentions two calculations, Saturn + Sun - Mars or Saturn + Sun - Jupiter with regard to the tenth house. The lot of the slaves (*sahm al-'abîd*): ascendant + Mercury - Moon with regard to the sixth house. The lot of property (*sahm al-'aqâr*): ascendant + Moon - Saturn with regard to the fourth house. The lot of the government and the sultan (*sahm al-'amal wa-s-sultân*), which according to Ibn Qunfudh casts from the tenth house + Sun - Moon with regard to the tenth house. The lot of conquest (*sahm al-ghalaba*): ascendant + Sun - Mars with regard to the prediction of the winner in a battle. The lot of the absent (*sahm al-ghayb*): ascendant + Moon - Sun, but Ibn Qunfudh does not give its description. The lot of the son (*sahm al-ibn*): ascendant + Jupiter - Saturn with regard to the fifth house.

Planetary cycles

According to Western astrology, each planet has three cycles (*dawr*): major, medium and minor. A possible explanation for the origin of these cycles may be found in some calculations derived from the apparent size of the planets or from the arc of visibility according to whether they stretch in front of or behind the Sun. This assumption would relate to the astronomical theory that argues, quite rudimentarily, that the size of the planets is measured from their apparent diameter (*maqâdîr*), which also decides whether two planets are in conjunction or not. Thus, the measure of the Sun would be 15°, that of the Moon 12°, Saturn and Jupiter 9°, Mars 8°, and Venus and Mercury 7°. Ibn Qunfudh quotes 'Alî b. Ridwân for the case of the Moon, where the sum of its apparent size with the half of its major cycle gives the measurement of the medium cycle [major cycle 108 : 2 = 54 + 12 ° (apparent size) = 66 medium cycle]. As can be seen, this explanation is only suitable for the medium cycle of the Moon. An explanation for the source of major cycles may relate the sum of the degrees of each planet with the distribution of terms given by Ptolemy in the first part of his *Tetrabiblos*.

An additional factor in the development of the theory of cycles is the topic of planetary conjunctions (*qirân*), especially the conjunctions of Saturn and Jupiter, as indicating a series of periods of different proportions to decide long-range issues, such as change of religion or government, floods, plagues and the arrival of diseases.

The method of mixed ascensions

Astrological progression or prorogation (*tasyîr*) is the technique used to calculate the time remaining until an event, especially the date of death. This astrological method sets the distance between any significant indicator (*haylâj* or *musayyir*) and a second

celestial reference as a bound (*qâti'* or *musayyar ilayhi*, *anairctic* in Greek and *promissor* in Latin according to O. Schirmer in his article in the *Encyclopaedia of Islam*). Ibn Abî al-Rijâl mentions five sorts of *hayâlîj* (plural of *haylâj*): the Sun or the Moon, their conjunction or opposition, the ascendant degree and the lot of fortune. For al-Bîrûnî, the *hayâlîj* must be taken near the east or west cusps or from the IX, X and XI houses.

Ibn Qunfudh lists four ways of calculating progression: according to the degrees on the ecliptic, according to oblique ascensions, according to right ascensions and according to the mixed ascensions. The arc of the progression has an equivalent in units of time (days, months, years). The method of mixed ascensions (*matâli' mumtazaja*) is also mentioned in Ahmad b. Yûsuf's *Kitâb al-thamara*, in al-Kindî and in Ibn Hibintâ's (first half of III/IX) *Mughnî*. Al-Bîrûnî followed this method and referred to it with a similar axiom (*daraja mumtazaja*) pointing out the degrees between the cusps that could also be related with the *matâli' mumtazaja* mentioned by Ibn Qunfudh.

In this regard, J. P. Hogendijk and J. Casulleras mention the "position semicircle method" for progression of planets located between the horizon and the meridian⁵³.

The enigma of the horoscopes in *the Sharh al-urjûza fî ahkâm al-nujûm*

The edition and translation of Ibn Qunfudh's commentary sheds new light on his intentions in writing it. The recalculation of planetary positions in the anonymous eleven horoscopes of the commentary leads to a chain of historical dates which shows that the majority of the horoscopes refer to important personalities and events in Merinid political life. This information, along with the exact date of the writing of the commentary, provides us with a possible explanation of Ibn Qunfudh's intentions:

1-In the text, Horoscope I is dated 19 *dhû l-Qa'da* 762 / 20 September 1361 in Fez. It refers to the date of birth of somebody whose father suffered a misfortune shortly after his birth. It is probably the nativity horoscope of the son of a famous person at the Merinid court during the chaotic period between the coming to power of Tâshuffin and the murder of Abû Sâlim.

2-Horoscope II is dated 15 *Rabî' II* 764 / 31 January 1363 for a latitude that is closer to al-Andalus than the Maghrib. It is depicted as the date of birth of a child whose mother died soon after delivery and whose father was appointed to a high-ranking position. All the possible fathers of the newborn are eminent members of the Merinid court, and may be associated with the Nasrîd court in al-Andalus.

3-Horoscope IV is more similar to horoscope I. It is probably the horoscope of the date of Tâshuffin's accession to power, that is, 20 September 1361 according to Ibn al-Ahmar's *Rawdat al-Nisrîn fî dawlat Banî Marîn*.

⁵³ J. P. Hogendijk and J. Casulleras, "Progressions, Rays and Houses in Medieval Islamic Astrology: A Mathematical Classification" in *Suhayl*, XI, Barcelona, 2012, pp. 48 and 53; and, above all, M. Díaz Fajardo, "El capítulo sobre el *tasyîr* en *al-Bârî*' de Ibn Abî-l-Rijâl y su traducción alfonsí", *al-Qantara*, 32, no 2 (2011), pp. 348-351.

4-Horoscope V was cast during the accession of a new ruler. This horoscope probably refers to Abû Fâris's *bay'a*, held on 22 *dhû al-Hijja* 767 / 30 August 1366. Ibn Qunfudh says in his commentary that this person ruled 73 months. Certainly, Abû Fâris died of natural causes on 22 *Rabî'* II 774 / 21 October 1372 after ruling for six years and four lunar months, that is six solar years and 52.5 days or 73 months and 22.5 days.

5-Horoscope VI was also cast during the accession of a new ruler. This may have been the *bay'a* of the Merinid sultan Abû Sâlim, which, according to Ibn al-Ahmar's *Rawda*, occurred on a Friday in the middle of *sha'bân* 760 / July 1359. This date coincides very closely with the recalculation of positions offered by Ibn Qunfudh.

6-Horoscope VII was also cast during the accession of another sultan whose rule lasted 120 solar months. This may have been the *bay'a* of the Merinid sultan Abû 'Inân held on 26 July 1348 according to the recalculation, or the last day of *Rabî'* I 749 / 27 June 1348, according to historical sources. If we take the date of 27 June 1348 as correct, 10 solar years and 5 months, or 125 months passed from then until the death of Abû 'Inân in 1 December 1358.

7-Horoscope IX probably refers to the *bay'a* of Abû Yahyâ al-Sa'îd which, according to Ibn al-Ahmar's *Rawda*, took place on 25 *dhû al-Hijja* 759 / 28 November 1358.

The exceptions unrelated with rulers are the horoscopes III (the release of a captive 15 days after the date for which the horoscope was cast, that is, 11 January 1362), VIII (on the nomination of an *'âmil* on 10 August 1363), X (on the birth of Islam in the second half of March 571), XI (siege of Constantine by Muhammad b. 'Alî 'Amr, on the orders of the Merinid sultan Abû 'Inân between the months of June and July 1354) and XII (possible siege of Fez *al-jadîd*, by 'Abd al-Halîm b. 'Abî 'Alî in early November 1361).

Ibn Qunfudh's dedication to the viziers Abû Mujâhid and Abû Bakr is interesting. If he indeed finished his commentary in *shawwâl* 774 / April 1373, after the death of Abû Fâris in 774/1372 and before Abû Bakr was deported in late 1375 to Majorca, this may mean that he is proposing a sequence of anonymous horoscopes for someone who has enough information to discover who their owners are.

Distribution of the countries according to the zodiacal signs

The chorographic system presented by Ibn Qunfudh is the one used by early Muslim astrologers like Ibn Nawbakht (first half of IV/X) in his *al-Kitâb al-kâmil fî asrâr al-nujûm*, and follows the system set out by al-Khuwârizmî and al-Muqaddasî. It consists in the division of the inhabited world into seven climates or longitudinal strips parallel to the Equator from south to north. Each climate is characterized by its correspondence to a planet and a number of cities (*amsâr* or *mudun*). However, in ancient astrology the distribution of geographical areas according to the twelve zodiacal signs was also common. According to this arrangement, the nations were placed around a fixed centre or according to the four divisions of zodiacal signs arranged by their elemental triplicity.

General conclusions

This work is an edition and translation of a Maghribî astrological text which reflects the status of astrology studies in VIII/XIV century in the Islamic West. Along with the recently edited *Kitâb al-amtâr wa l-as'âr* (Book on the rains and prices) by Abû 'Abd Allâh al-Baqqâr (first half of IX/XV), the *Sharh al-urjûza fî ahkâm al-nujûm* is one of the few astrological texts from the Merinid period published so far.

While the *Kitâb al-amtâr* is more concerned with meteorological and pecuniary applications, the two works have many points in common: the emphasis on elections and interrogations, the authors and works cited, the conjunctions of Jupiter and Saturn as indicators of great historical events, the forecast of rain, the evidence of poetry (*urjûza, lâmiyya*) as a tool for the transmission of astrological knowledge, the role of the stars as indicators rather than determinants, experience (*tajriba*) and analogy (*qiyâs*) as methodological instruments, the compatibility between astrology and religion, the support for determining the sidereal longitudes of the planets, the use of the same astrological terminology (*sihâm, nâhis, sa'd, hazz, ittisâl, suqût, ihtirâq*) and so on.

Along with the defense of astrology from the religious point of view, we also find traces of a curious relation between astrology and sufism. There are clear parallels between the careers of Ibn Qunfudh, Ibn 'Azzûz and Ibn al-Bannâ'. Ibn al-Bannâ's reputation as a sûfî has been noted, his teachers Abû 'Abd Allâh (d. 678/1279) and Abû Zayd al-Hazmîrî (d. 706/1306) both practiced sufism as well as astronomy and astrology. In many cases the interest in astrology and sufism had in common a certain need for secrecy. The reasons may have been religious if the astrologer was facing charges of heresy, but it may also have been political, as in the case of Ibn Qunfudh's *Sharh*, at least in part.

A horoscope is a kind of image of the sky at a specific time, and its elements (planets, nodes, stars and lots) will only meet again in the same position several centuries later. It is a very useful tool for historians who wish to calculate the exact date of an event. Enigmatically, Ibn Qunfudh's does not mention the name of the people to whom the horoscopes refer; in my opinion, he knows that somebody contemporary to him will be able to identify them, because he has both the historical perspective and sufficient astrological knowledge to establish the approximate latitude and the planetary longitudes for which the horoscopes had been cast. These horoscopes are the most original part of Ibn Qunfudh's commentary, offering us with challenging riddle inside the hermetic secrecy of astrology.

Bibliography

- ABEN RAGEL, *El libro conplido en los iudizios de las estrellas*, edited by G. Hilty, Madrid, 1954.
- , *El libro conplido en los iudizios de las estrellas. Partes 6 a 8*, edited by G. Hilty & L. M. Vicente García, Zaragoza, 2005.
- ALBARRACÍN NAVARRO, J., "Reminiscencias de la *Urjûza fî dal-âl al-râbd* en un manuscrito de Ocaña (Toledo)" in *Cuadernos de Historia del Islam*, nº 8, 1977, pp. 113-123.
- AMRI, N., "Le corps du saint dans l'hagiographie de Magreb médiéval" in *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*, nº 113-114, 2000, pp. 59-89.
- ARIÉ, R., *L'Espagne musulmane au temps des Na'zrides (1232-1492)*, Paris, 1990.
- BARTOMEU DE TRESBENS, *Tractat d'Astrologia*, texto, introducción y glosario de J. Vernet y D. Romano, Barcelona, 1957-1958.

- BOUYAHYA, CH., *La vie littéraire en Ifrīqiya sous les zirides*, Tunis, 1972.
- BRUNSCHVIG, R., *La Berbérie orientale sous les Aghlabides des origines à la fin du Xe siècle*, Paris, 1940.
- DÍAZ FAJARDO, M., *Tasyr y proyección de rayos*, PhD Thesis University of Barcelona, 2008.
- GUERGOUR, Y., *al-Aḥmāl l-Riyāʿiyya li-Ibn Qunfuʿ al-Qusanḍān*, Ecole Normale Supérieure d'Alger, 1990.
- , "Ibn Qunfudh" en *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*, editado por H. Selin, Boston-London, 1997, pp. 428 and 429.
- GUESMI, CH., *El Kitāb al-amḍār wa l-asḍār de Abū ḥAbd Allāh al-Baqqār*, Thesis University of Barcelona, 2005.
- HADJ SADOK, M., "Ibn ʿunfudh" in *Encyclopédie de l'Islam*, Leiden, 1971, vol. III, pp. 867 and 868.
- HERMOSILLA, M^a J., "La *Urḥyza fī l-aḥkām* de ḥAlī ibn Abī-l-Riḥl y su comentario por Ibn Qunfuʿ" in *Anuario de Filología*, n^o 4, 1978, pp. 191-198.
- HILTY, G., "El libro Conplido en los Iudizios de las Estrellas" in *al-Ándalus*, vol. XX, 1955, pp. 1-74.
- , "Los arabismos del Libro Conplido" in *Sacrum Arabo-Semiticum. Homenaje al profesor Federico Corriente en su 65 aniversario*, Zaragoza, 2005, pp. 181-195.
- IBN AL-AḤMAR, *Rawāʿat al-Nisrān fī dawlat Banī Marīn*, edition by Miguel Ángel Manzano, Madrid, 1989.
- IBN HIBINTĀ, *al-Mugnī fī aḥkām al-nuḥūm*, edited by F. Sezgin, Frankfurt, 1987.
- IBN ḥIḤĀRĪ, *al-Bayān al-mugrib*, edición G. S. Colin y E. Lévi-Provençal, Beirut, reedition 1980.
- IBN AL-JAʿĪB, *al-Iḥḍā fī ajbār Garnāḍa. Nuḥūl ʿadā lam tunʿar*, edición de ḥAbd al-Salā ʿaqūr, Tetuan, 1988.
- IBN MARZŪQ, *El Musnad: hechos memorables de Abū-l-Ḥasan, sultán de los benimerines*, edition by M^a Jesús Viguera, Madrid, 1977.
- IBN QUNFUʿ, *Uns al-faqr wa ḥizz al-ʿaqr*, edition by Muḥammad al-Fḥsi & Adolphe Faure, Rabat, 1965.
- , *al-Wafayāt*, edición de ḥḍil Nuwayhi, Beirut, 1983.
- IDRIS, H. R., *La Berbérie orientale sous les zirides. Xe-XIIIe siècles*, Paris, 1962.
- AL-IDRĪSĪ, *Nuzhat al-muḥtāq. Le Magrib au 6e siècle de l'hégire (12e siècle après J. C.)*, edition by Hadj-Sadok, Paris, 1983.
- KHANEBOUBI, A., *Les premiers sultans Mérinides, 1269-1331. Histoire politique et sociale*, Paris, 1987.
- KŪYĀR B. LABBĀN, *Kitāb al-mudjal fī zinābat aḥkām al-nuḥūm. Introduction to Astrology*, edition by M. Yano, Tokyo, 1997.
- AL-MANŪNĪ, H. M., *Waraqāt ʿan ʿaḍārat al-Marīniyyīn*, Rabat, 2000.
- NYKL, A. R., "Libro Conplido en los Juizios de las Estrellas" in *Speculum*, vol. XXIX, n^o 1, 1954, pp. 85-99.
- ORDOÑEZ DE SANTIAGO, C., *El pronóstico en astrología. Edición crítica y comentario astrológico de la parte VI del Libro conplido en los iudizios de las estrellas de Abenragel*, PhD Thesis Universidad Complutense de Madrid, 2006.
- SAMSÓ, J., "Andalusian Astronomy in 14th Century Fez: *al-Zīj al-muwāfiq* of Ibn ḥAzzūz al-Qusanḍān" in *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, vol. XI, 1997, pp. 73-110.
- , "Horoscopes and History: Ibn ḥAzzūz and his Retrospective Horoscopes Related to the Battle of El Salado (1340)" in L. Nauta & A. Vanderjagt, *Between Demonstration and Imagination. Essays in the History of Science and Philosophy Presented to John D. North*, Leiden, 1999, pp. 101-124.
- , "Observations in the Maghrib in the Fourteenth and Fifteenth Centuries" in *Science in Context*, n^o 14, 2001, pp. 165-178.
- , "Cuatro horóscopos sobre muertes violentas en al-Ándalus y el Magrib" ed. M. Fierro, *De muerte violenta. Política, religión y violencia en al-Ándalus*, Madrid, 2004, pp. 479-519.

Proceedings Ibn al- Haitham Days, 21-22 April 2015, LPMPS, Mentouri Univ.

-, “La *Urġūza* de Ibn Abī l-Riġāl y su comentario por Ibn Qunfu² (I y II)” in *al-Qanġara*, vol. XXX, n^o 1, enero-junio 2009, pp. 7-39; vol. XXX, n^o 2, julio-diciembre 2009, pp. 321-360.

SEZGIN, F., *Geschichte des arabischen Schrifttums*, vol. I-XII, Leiden, 1967-1979.

SHATZMILLER, M., *L’historiographie Mérinide. Ibn Khaldūn et ses contemporains*, Leiden, 1982.

الضوء النووي وأسرار الشمس

عبد الحميد بوالجديري

كلية علوم المادة، قسم الفيزياء، جامعة باتنة

الملخص

منذ القدم مثل ضوء الشمس والنور والدفء والحياة، ولاحقا أضحي أيضا مفتاحا لاسرارها. فقد كان للمطيفية الفضل في معرفة التركيب الكيميائي للشمس ودرجة حرارة سطحها. كما أن القياسات الفوتومترية حفزت البحث عن مصدر طاقة الإشعاع الشمسي. حل ذلك اللغز اعطى تفسيراً لنشأة وتطور العناصر الكيميائية في الكون. ان طيف الارسل الشمسي لا يقتصر على الضوء المرئي بل يشمل أيضا الاشعة فوق البنفسجية وأشعة X. كل من هذه المجالات يعطي قطعة في أحجية بنية الشمس و نشاطها.

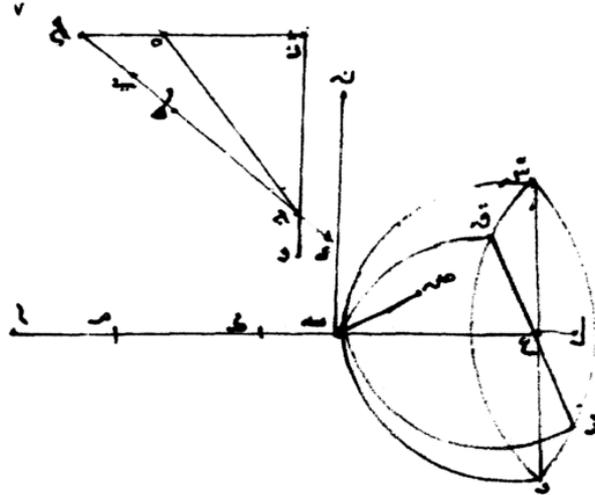
1- قصة الضوء بايجاز

كان للضوء دوما مكانة مميزة في حياة البشر، ولذا لقي اهتماما في الاوساط العلمية. يظهر ذلك في الحضارة الاغريقية من خلال اعمال اوقليدس، ارخميدس وبطليموس. الميراث الاغريقي حفز البحث في البصرييات في الحضارة الاسلامية. فبرع في ذلك الكندي(801-873)، ابن سهل (حوالي 940-1000)، الحسن بن الهيثم(965-1040)، وكمال الدين الفارسي (1267-1319).

درس ابن الهيثم انعكاس الضوء وانكساره ووضع اسس فيزيولوجيا الابصار، حيث صحح النظرية اليونانية عن الرؤية. وقد انجز مؤلفه المشهور "كتاب المناظر". الفارسي استخدم قوانين ابن الهيثم لتفسير ظاهرة قوس قزح وهي الظاهرة تحدث في الطبيعة من خلال مرور ضوء الشمس عبر قطرات الماء المعلقة في الهواء. ويذكر ان الفارسي اختبر ذلك باستعمال كرة زجاجية مملوءة ماء والغرفة المظلمة التي ابتكرها ابن الهيثم.



كما وضع ابن سهل (حوالي 940-1000) الصياغة الهندسية لانكسار الضوء.



الضوء منذ القرن 17

لم يطرأ بعد ذلك تطور يذكر على البصرييات حتى حوالي 1609 حيث اخترع المنظار الذي يمكن غاليلي من انجاز اكتشافاته الفلكية. بعدها استعادت الابحاث النظرية والتجريبية مجدها. فقد اعيد اكتشاف قانون الانكسار من طرف سنليس وديكارت، كما تمكن رومر من قياس سرعة الضوء. كما تم تطوير تفسير ميكانيكي لقوانين الضوء سواء على شكل جسيمي (مع ديكارت ونيوتن) او موجية عند هويجنز.

من جانبه برهن فيرما على قانون الانكسار باستخدام المبدأ الذي يحمل اسمه. اهتم نيوتن (1642-1727) بالضواهر الضوئية ولف كتابه "Optik". من الاسهامات التي تنسب اليه تحليل الضوء بواسطة موشور، وهو ما منحنا وسيلة لاختبار تراكب الالوان الضوئية لتشكيل الضوء الابيض، كما شكل لاحقا اساس عمل المطياف.



في

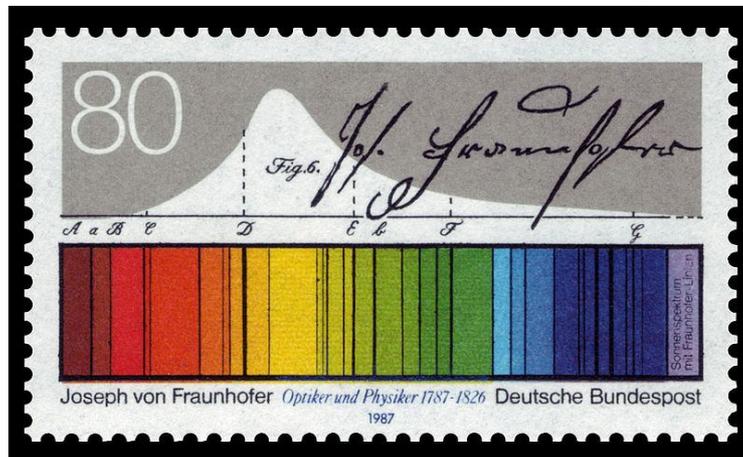
جانبه العملي حل نيوتن مشكلة تقزح الصور في المنظار الفلكي الانكساري باستخدام المرايا لاختراع التلسكوب.

عرف القرن 19 تأكيد الطبيعة الموجية للضوء من خلال ظاهرتي التداخل والانعراج الضوئيين (يونغ وفرينل).

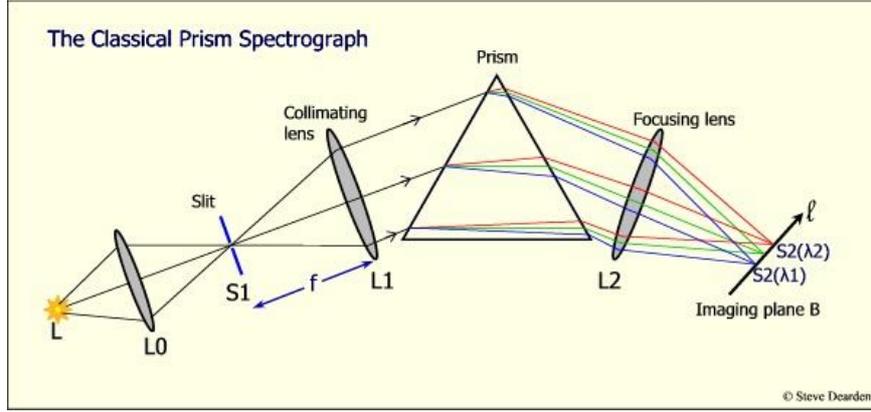
من جهة اخرى ادت الابحاث في الكهرباء والمغناطيسية الى الى توحيد ظواهرهما مع الظواهر الضوئية في اطار النظرية الكهرومغناطيسية.

المطيافية ونشأة الفيزياء الفلكية

في 1814 اكتشف الفزيائي واخصائي البصرييات الالماني جوزيف فون فراونهوفر (1787-1826) ظاهرة غاية في الاهمية. فقد اعاد تجربة نيوتن في تحليل الضوء بموشور ولكنه تنبه لوجود خطوط عاتمة على الخلفية الملونة.



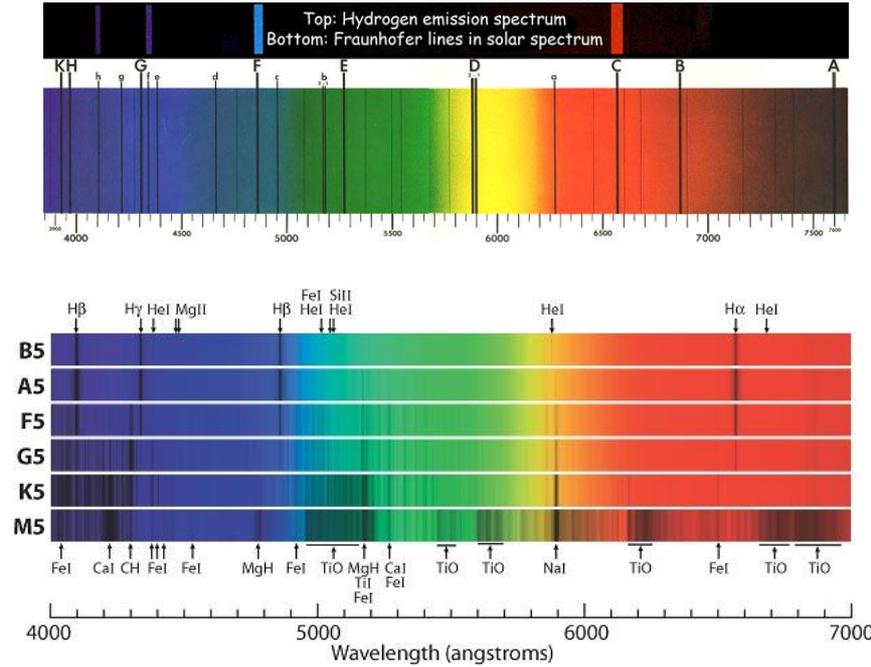
في السنة الموالية طور الموشور الى جهاز المطياف الضوئي الذي يسمح بدراسة التركيب اللوني لاي مصدر ضوئي.



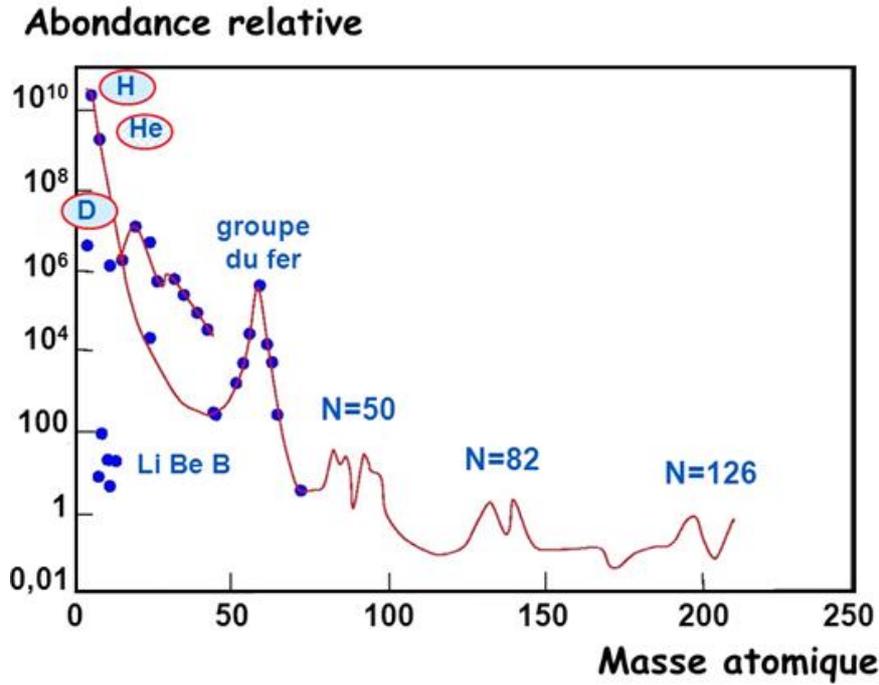
ولقد ادى هذا النوع من الابحاث المنهجية الى :

- التمييز بين نوعين من الاطياف: طيف الارسال وطيف الامتصاص
 - الربط بين الخطوط الطيفية لمصدر ضوئي والعناصر الكيميائية التي يتشكل منها
- أوالتي تعترض مسار اشعته

وهكذا تم التعرف على مكونات الشمس والنجوم: لقد اسست دراسة فراونهوفر لظهور الفيزياء الفلكية.

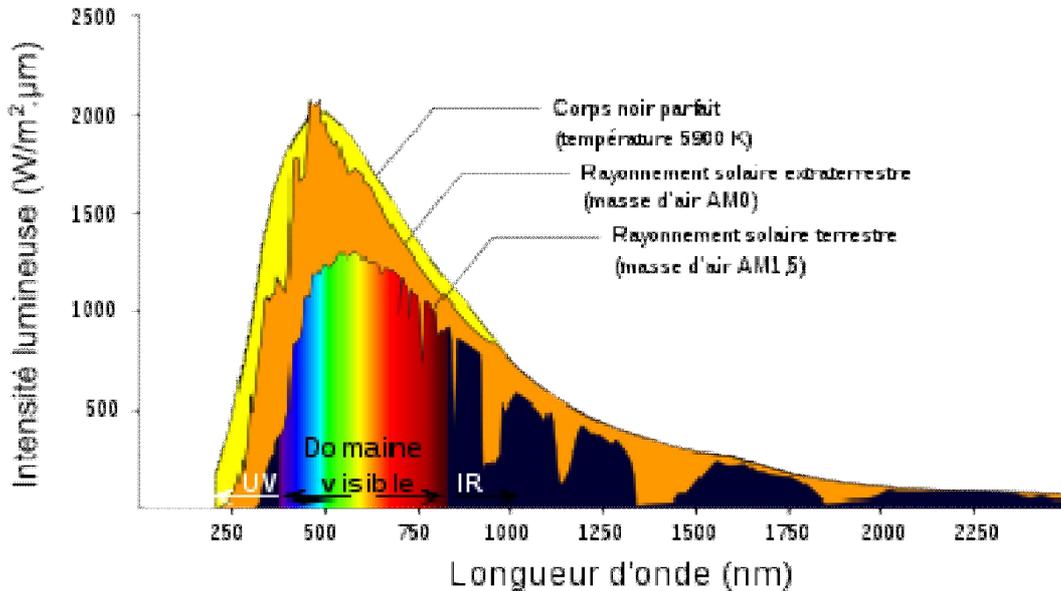


لقد ظهر ان العنصرين الاكثر وفرة في الكون المرصود هما الهيدروجين (في المرتبة الاولى) والهليوم.



الطيف المستمر: درجة الحرارة السطحية للنجوم
 ان الاشعاع النجمي يشكل طيفا مستمرا تتخلله خطوط عاتمة. يشبه الجزء المستمر طيف ارسال الجسم النموذجي المسمى " الجسم الاسود". الدراسة التجريبية لهذا الاخير برهنت على نتائج مهمة:

- تتناسب الطاقة المشعة في وحدة الزمن ووحدة السطح مع القوة الرابعة لدرجة حرارة الجسم
- يبدي الطيف قيمة قصوى من اجل طول موجة يتناسب عكسا مع درجة الحرارة.



هذين القانونين سمحا بربط الوان النجوم مع درجة حرارتها السطحية،و كذلك حساب هذه الاخيرة. وهكذا حصلنا في حالة الشمس (ذات اللون الاصفر) على $T \approx 5500K$.

عودة النظرية الجسيمية للضوء: الفوتونات

لقد ادت الدراسة النظرية لاشعاع الجسم الاسود الى اقتراح الطبيعة الجسيمية للضوء (في صياغة جديدة) من طرف الفيزيائي الالمانى بلانك سنة 1901 (نظرية الكوانتا). وقد سمح ذلك بتفسير خواص المفعول الكهروضوئي ومفعول كومبتون. كما سمح بادخال مفهوم تكميم

مستويات الطاقة في الذرة وعلاقته بالخطوط الطيفية في طيف ارسال الذرات. لقد اصبحت الفوتونات حقيقة علمية.

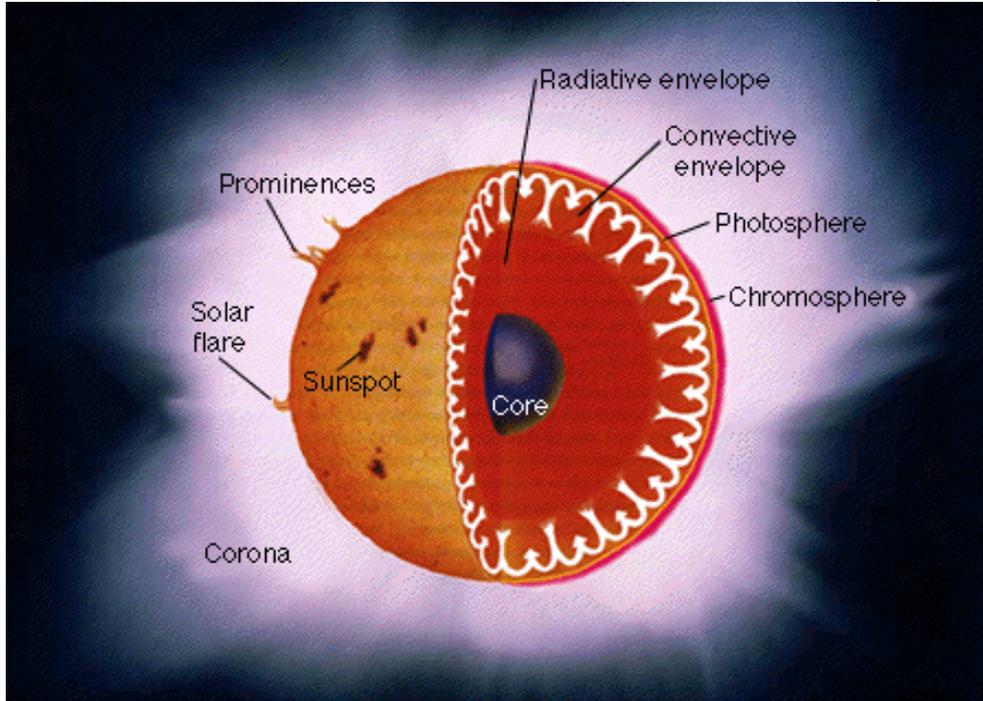
الشمس وبنيتها

الشمس هي الرفيق الدائم للبشر، نراها طول السنة بالوان مختلفة فهي تارة صفراء وتارة حمراء وحتى بيضاء عندما ننظر اليها من خلال السحب. في الضروف العادية يبدو شكل الشمس كقرص مضيئ ولكن عند الكسوف يختفي جزء منها وحتى كلها. حينها يظهر الاكليل بضوء فضي. هذه الواجهة المتعددة للشمس الهمت الفنانين والادباء.

الشمس هي ايضا النور والحرارة، فمنذ القدم عرف الانسان ان ضوء الشمس هو الذي يفسر النهار والليل وعليه يتحكم في نشاط البشر. ولكن الشمس ايضا هي مصدر الحرارة هذه الاخيرة والمتحكم في مناخ الارض والفصول.

والشمس هي ايضا الحياة، وبالفعل فالسلسلة الغذائية على الارض قاعدتها النباتات والحيوانات وهي التي تنتج المواد العضوية من خلال التركيب الضوئي باستخدام مصدر طاقي هو الشمس.

الشمس كرة غازية ملتهبة من الهيدروجين والهليوم درجة حرارتها السطحية حوالي 6000 بينما في مركزها تصل الى 15 مليون درجة. بنيتها الطباقية تشمل النواة، الطبقة الاشعاعية، طبقة الحمل الحراري، الفوتوسفير، الكروموسفير والاكليل.



الشمس النشطة

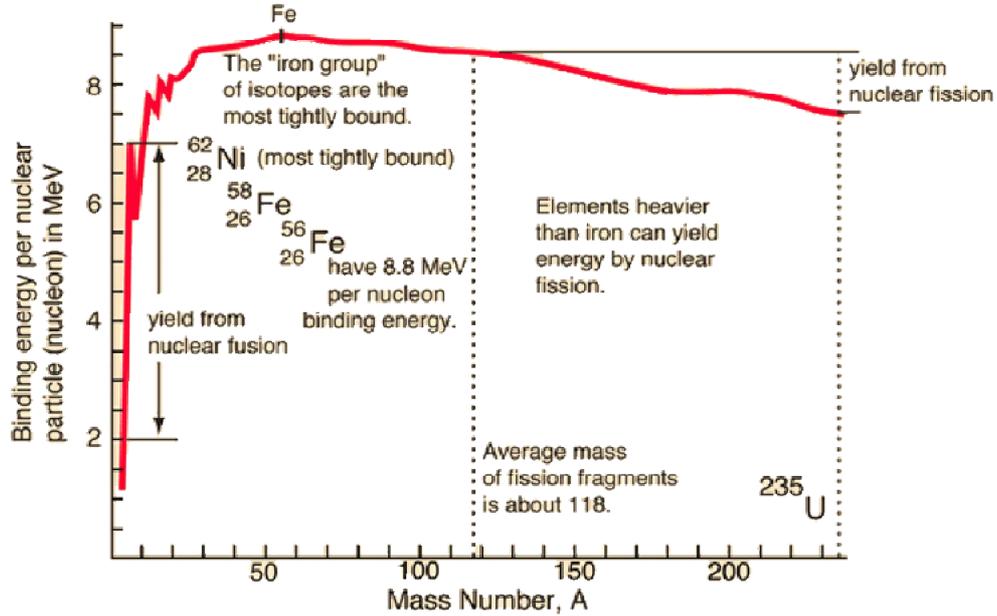
تمر الشمس بمراحل نشاط تميزها ظواهر: البقع الشمسية الداكنة، الرياح الشمسية

الاندماج النووي وطاقة الشمس

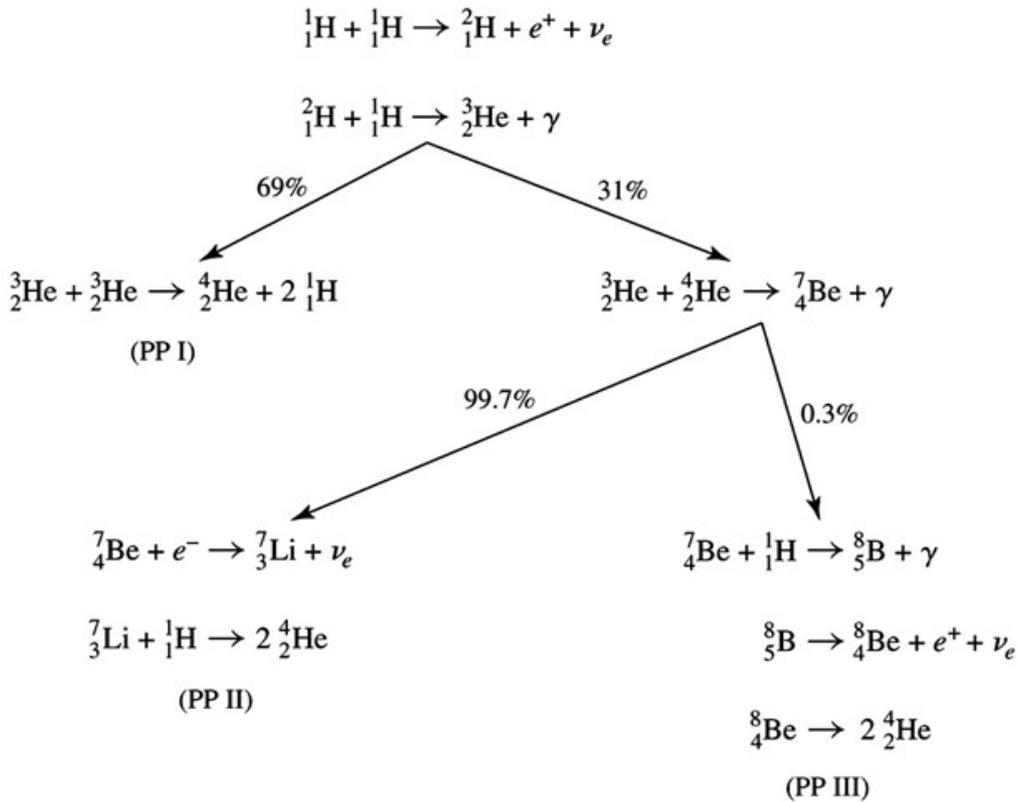
والآن وقد رأينا اهمية ضوء الشمس والنجوم لنا ان نسأل: ماهو مصدره؟ لقد كان ذلك لغزا لم يتم حله حتى العقد الثالث من القرن 20 من خلال اعمال فايتسكر و بيث. فقد فشل التفسير المعتمد على التفاعلات الكيميائية أو الانقباض الجاذبي نظرا لعدم اتفاقهما مع عمر الشمس. وقد اتضح ان التفسير الوحيد يعتمد على تفاعل الاندماج النووي هو الوحيد الذي يتفق مع معطيات الملاحظة العلمية.

اكتشاف النشاط الاشعاعي سنة 1896 من طرف الفيزيائي الفرنسي هنري بكرال كان شهادة ميلاد الفيزياء النووية، تسارعت بعده الاكتشافات: التمييز بين ثلاث انواع من النشاط الاشعاعي (الفأ، بيتا وغاما) سنة 1905؟، اكتشاف النواة الذرية سنة 1909، اكتشاف البروتون 1919 ثم النوترون (1932). بالتوازي مع ذلك ادت ابحاث الفيزيائي استون عن المطيافية الكتلية الى البرهان

التجريبي على نتيجة جد مهمة: ان كتلة نواة ما هي دوما اقل مجموع كتل مكوناتها. ان الفارق بينهما يترجم طاقة ربط النيكليونات فيما بينها. يمثل المنحنى نسبة طاقة الربط الى العدد الكتلي للنوى المجاورة لخط الاستقرار.



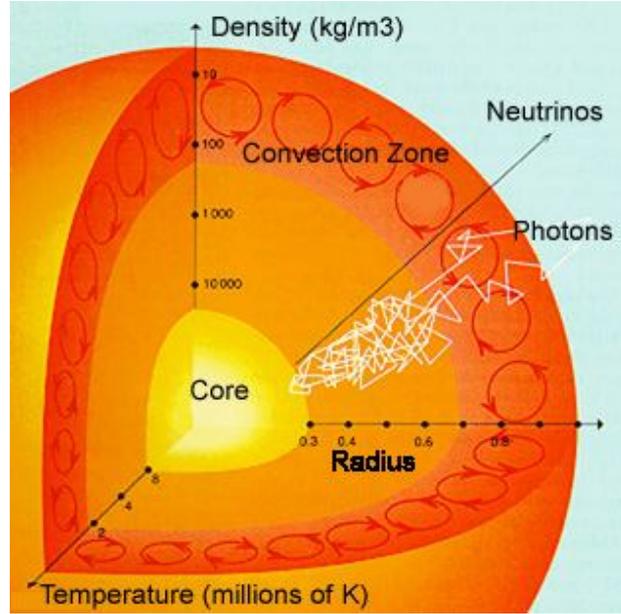
يبين المنحنى ان اندماج النوى الخفيفة ينتج طاقة نووية كبيرة. لقد شكل ذلك التفسير الصحيح لمصدر الطاقة في النجوم. فالهيدروجين هو العنصر الاوفر في الكون واندماجه النووي داخل النجوم، حسب سلسلة التفاعلات النووية



والتي ملخصها

مع انتاج 26.73 MeV في كل منها.

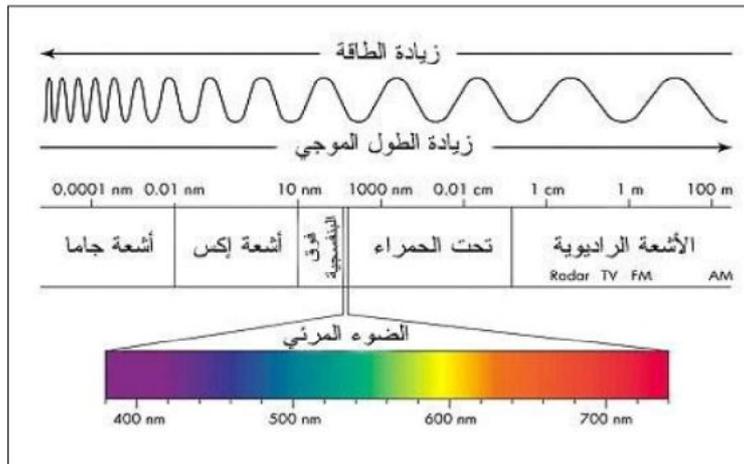
هذه الطاقة تتوزع بين طاقة النوترينات، التي تفقد بسرعة، وطاقة الفوتونات غاما (مضافا اليها الطاقة الحركية لنواتج التفاعلات). تنتقل الطاقة من مركز الشمس الى السطح اولا من خلال الالية الاشعاعية ، ثم عن طريق الحمل الحراري. يتم اشعاع هذه الطاقة الى الفضاء من طرف السطح الذي يشكل طبقة الفوتوسفير.



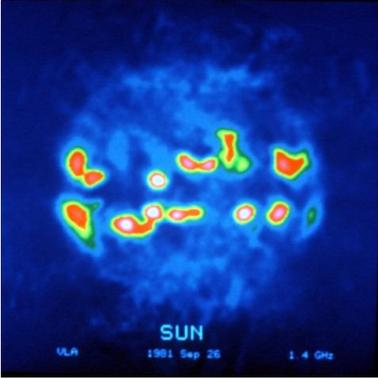
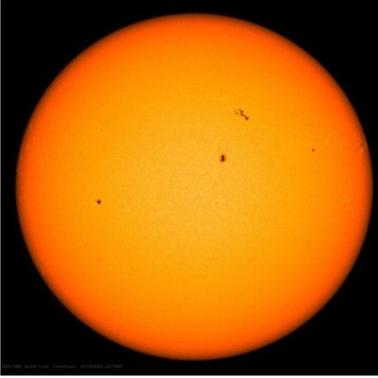
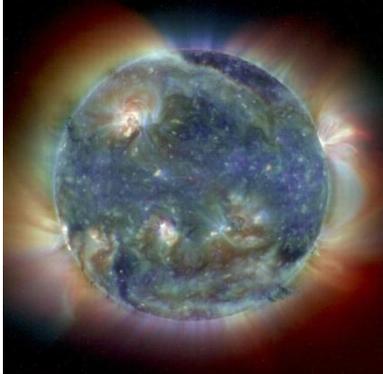
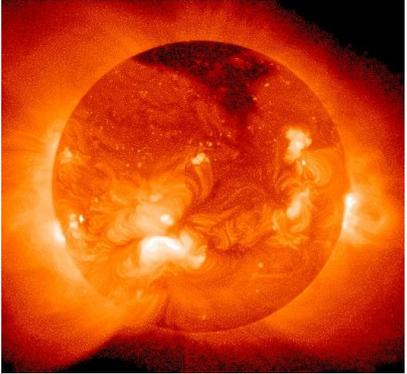
في حالة الشمس يكون مجموع طاقتها المشعة في الثانية : 3.846×10^{26} واط ان هذه التفاعلات تحكي قصة الكون، اذ انها بدأت في القضاء مع الدقائق الاولى للكون

الشمس يختلف "ألوانها"

منذ نهاية القرن 19 نعرف أن الطيف الكهرومغناطيسي يمتد من امواج الراديو الى اشعة غاما. مرورا بالمجال المرئي. تختلف هذه الامواج في اطوالها وتبعاً لذلك، في أليات تفاعلاتها مع المادة.



يشمل طيف ارسال النجوم خليطا من كل الاطوال الموجية، ولذا تشكل المعطيات الفلكية في المجال المرئي، كما تعطيه التلسكوبات البصرية، جزءا فقط من الصورة الحقيقية للكون. ان ذلك مايفسر تطوير تقنيات جديدة لرصد النجوم مثل التلسكوبات الراديوية والكواشف العاملة في الاشعة تحت الحمراء، الاشعة فوق البنفسجية، اشعة اكس واشعة غاما. للحصول على وصف كامل للشمس (والاجرام السماوية عموما) يتم التقاط عدة صور بأطوال موجية (الوان) مختلفة.

	
<p>صورة الشمس في مجال امواج الراديو</p>	<p>صورة الشمس في المجال المرئي</p>
	
<p>و الاشعة فوق البنفسجية البعيدة</p>	<p>صورة الشمس باشعة X</p>

Léon Foucault et la Vitesse de lumière

Nassim SEGHOUANI

Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG)

Résumé :

Léon Foucault est un scientifique et inventeur génial à qui on doit de nombreuses réalisations scientifiques dont le fameux pendule qui a permis de "voir la terre tourner", le gyroscope, les télescopes modernes, les courants qui portent son nom et bien d'autres réalisations encore. C'est également lui qui a mis fin à la théorie corpusculaire de la lumière et qui a été le premier à effectuer une mesure précise de la vitesse de lumière. Nous donnerons un aperçu général sur sa vie et son œuvre en insistant sur les expériences qu'il a effectué pour pouvoir mesurer la vitesse de la lumière dans le contexte de l'époque, mais également les travaux qu'il a effectué pour améliorer les télescopes et leur miroirs et dont les premiers exemplaires taillés par Foucault lui-même se retrouvent aujourd'hui à l'Observatoire d'Alger.

**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].

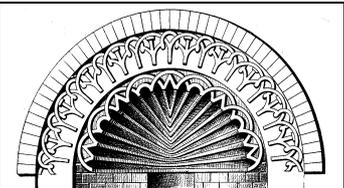
II- Les miroirs de la Qal'a des Béni Hammad

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 Kiyyâna* dans la région de *Qal'a des Bani Hammād* est appelée par les Berbères, *Qal'at al-Marâ* 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-Sakhāwi, 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 rôtir des poulets (édité par Saïdan Ahmed) [4].

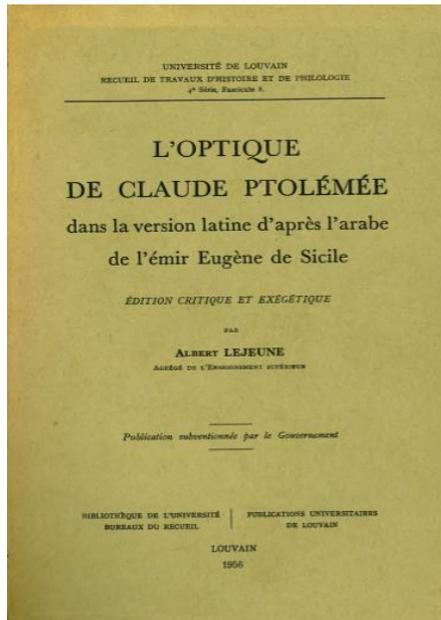
IV – « L'optique » d'Ibn Sab`in (liée aux réponses aux questions siciliennes de l'empereur Frederick II de Hohenstafen et à la circulation de la traduction arabe du traité d'optique de Ptolémée)

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-Haytham (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 intense 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 simples 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 المرراكشي في القرن الثالث عشر
مخطوط جامعة آل سعود

CHAPITRE XXVI. 205

NOTE DE LA TABLE DES LATITUDES DE CERTAINS LIEUX TERRESTRES.

NOM DES VILLES.	LATITUDE		NOM DES VILLES.	LATITUDE	
	Grades	Minutes		Grades	Minutes
101. Al-Kairouan	3	30	101. Jeddah	2	24
102. Babouche	3	30	102. Khouloulah	2	24
103. Sijilmassa	3	30	103. Sijilmassa	2	24
104. Fes	3	30	104. Al-Bah	2	24
105. Bougie	3	30	105. Bougie	2	24
106. Tripoli	3	30	106. Tripoli	2	24
107. Tunis	3	30	107. Tunis	2	24
108. Alger	3	30	108. Alger	2	24
109. Oran	3	30	109. Oran	2	24
110. Constantine	3	30	110. Constantine	2	24
111. Seville	3	30	111. Seville	2	24
112. Cadix	3	30	112. Cadix	2	24
113. Le Caire	3	30	113. Le Caire	2	24
114. Alexandrie	3	30	114. Alexandrie	2	24
115. Bougie	3	30	115. Bougie	2	24
116. Tripoli	3	30	116. Tripoli	2	24
117. Tunis	3	30	117. Tunis	2	24
118. Alger	3	30	118. Alger	2	24
119. Oran	3	30	119. Oran	2	24
120. Constantine	3	30	120. Constantine	2	24

Les observations de l'astronome al-Murrakushi. 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.



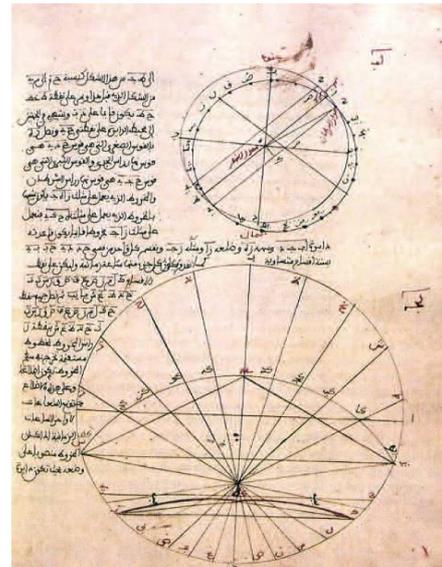
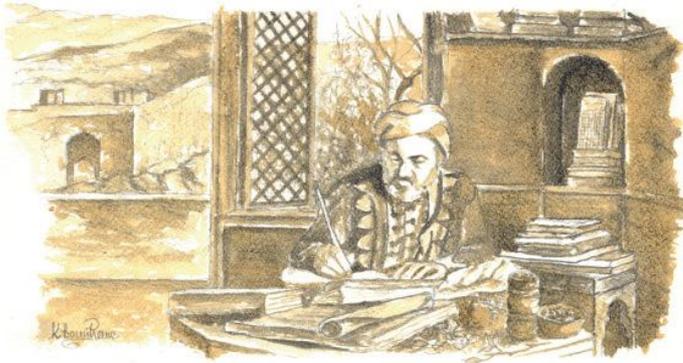
Un cadran solaire est un instrument qui indique l'heure solaire suite au déplacement de l'ombre du gnomon, sur une surface graduée, au cours de la journée. Ici, le cadran solaire du Musée de Tlemcen.

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-Lamī 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 يفتكر في كيفية تأليف كتابه الرزق الشامل وكتاب الفلاحة ببجاية.

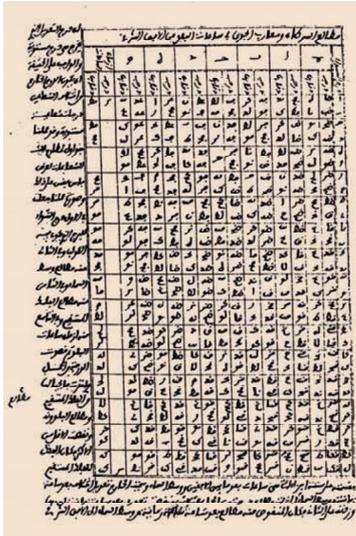
Traité d'Ibn Raqqam sur les cadrans solaires. Manuscrit N° 918. Bibliothèque de l'Escurial.

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.

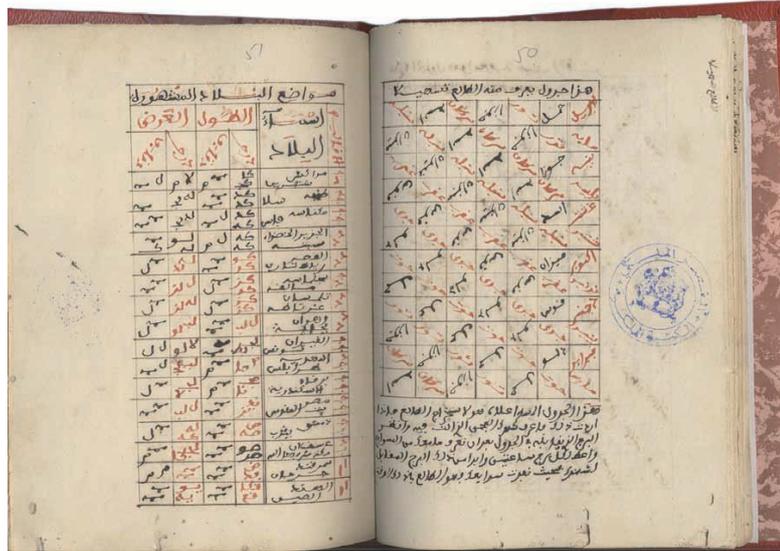
IX - Le Zij d'Ibn `Azzuz al-Qusantini

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].

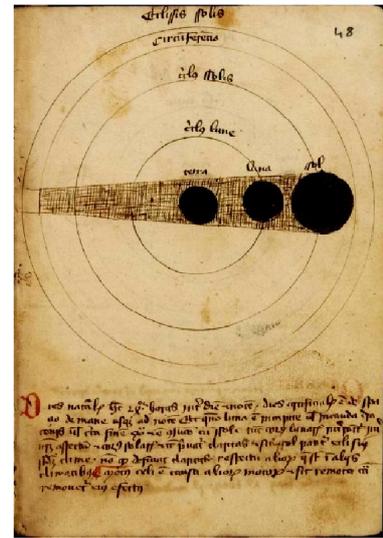
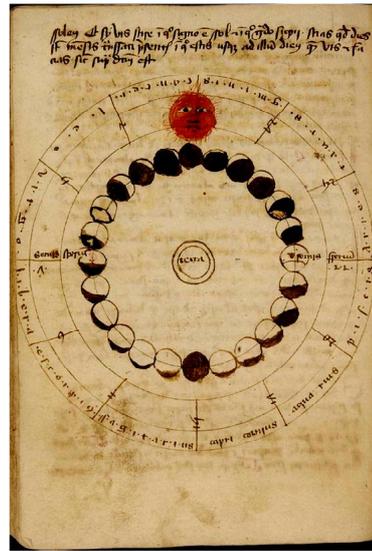
Raymond Lulle (en espagnol Raimundo Lullo, Palma de Majorque 1235 – Bougie (?) 1315), surnommé "*le docteur illuminé*", est surtout connu par son traité *Ars Magna* qui souleva l'admiration de Leibniz. Son art consiste à obtenir mécaniquement toutes les combinaisons possibles entre les concepts fondamentaux.

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)

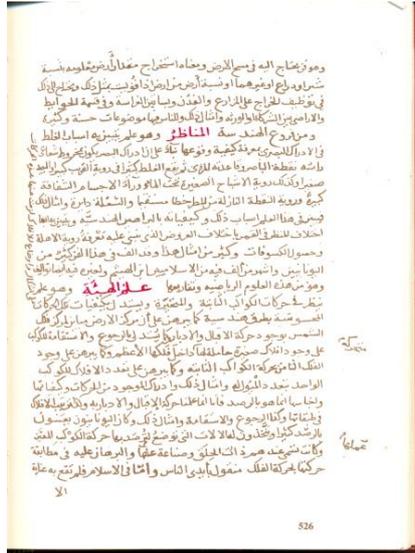


Le "Tractatus Novus de Astronomia", de Raymond Lulle.

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 Béjaïa 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 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).

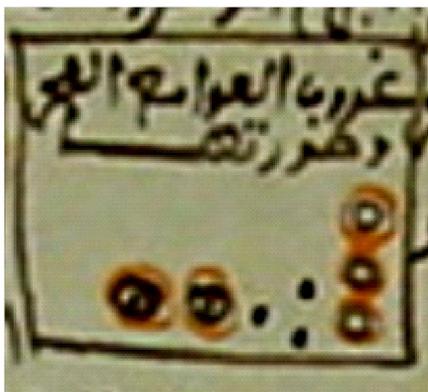
XIII – L’observation d’une comète par Ash-Shellati

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].

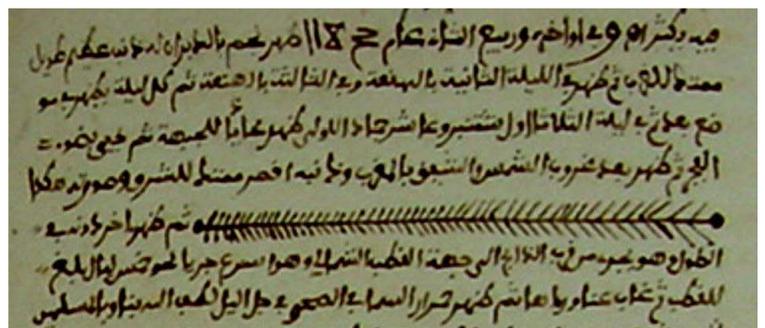
La situation de la Kabylie au moment du fonctionnement de cette institution est bien mise en évidence par l'extraordinaire récit daté de 1808 du grand astronome François Arago. En effet, après avoir effectué le premier calcul du méridien terrestre aux îles Baléares, le navire qui le ramène en France 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).

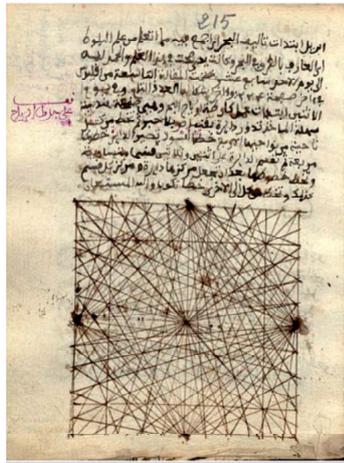


Représentation de la comète C/1769 P1 par l'astronome ash Shallātī au 18^e siècle. On retrouve mentionné l'apparition d'une autre comète, moins importante, à côté du pôle Nord céleste.

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 Manuscript n° 463. 174.BG Rabat. Il y explique la manière de réaliser un portulan

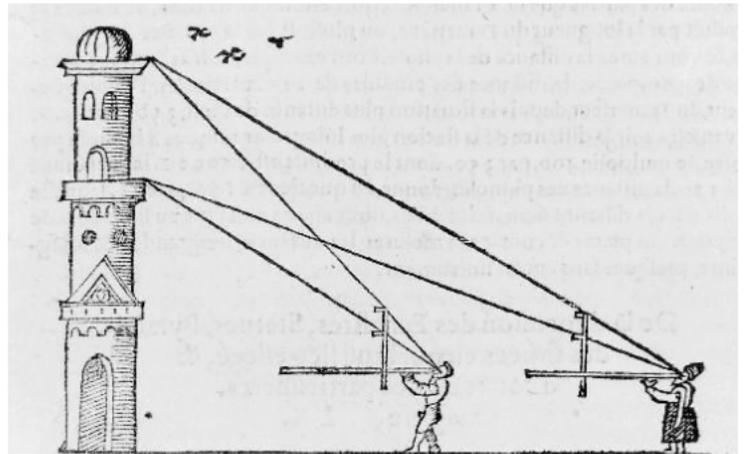


Illustration de l’arbalète de Gemma Frison Qu’Ibn Hamadouche aurait utilisé d’après son témoignage dans la Rihla

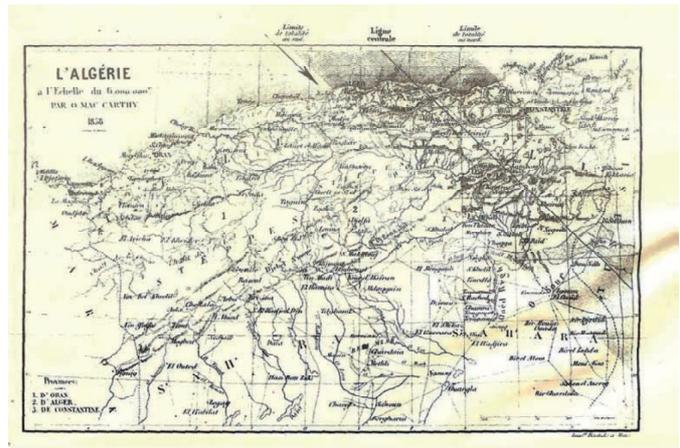
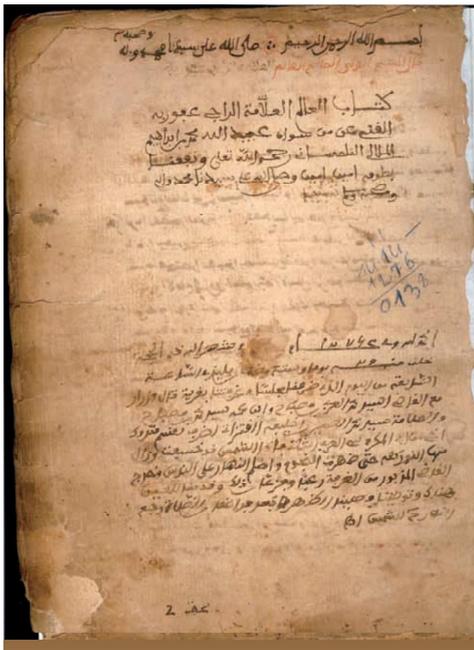


La grande comète observée par Ibn Hamadouche en 1744 a été observée en même temps par le physicien Chessaux en Suisse

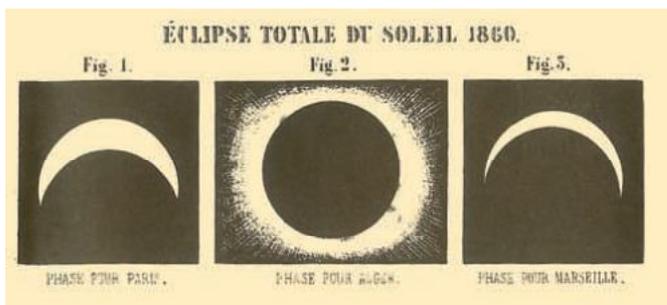
XV – L’observation de l’éclipse solaire de 1860 (du côté autochtone et du côté européen)

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’Ccix 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.



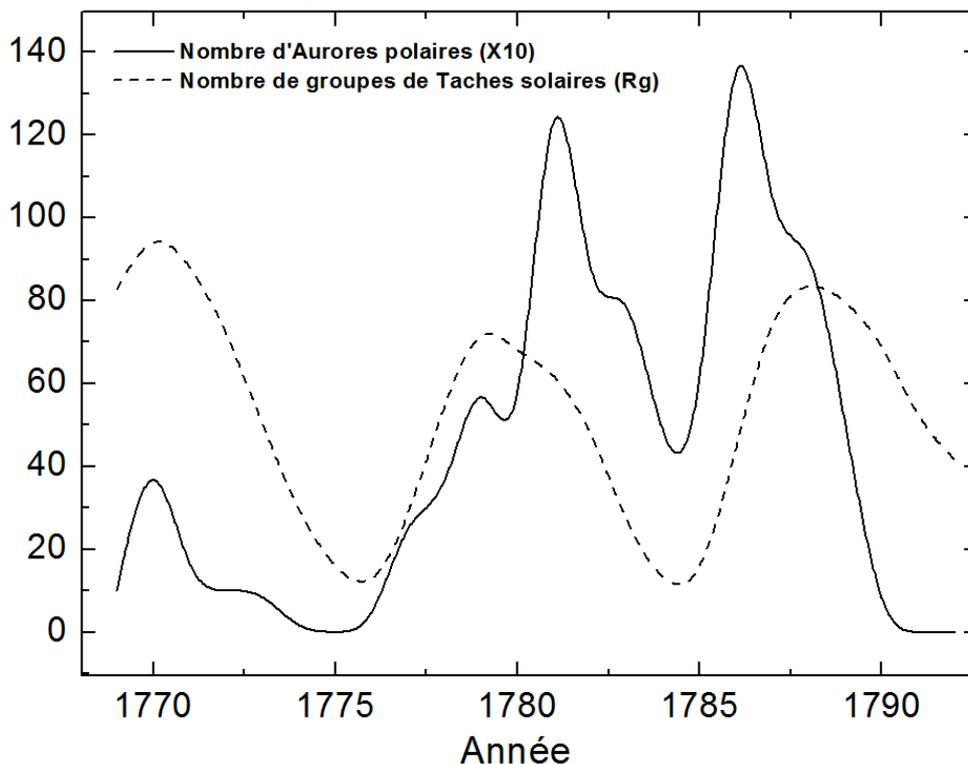
Dans cette notice, Cheikh Lmuhub affirme que c’est à Tala Uzrar, en compagnie du Qadi Ben Mesbah, qu’il a observé l’éclipse totale du soleil de juillet 1860.

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

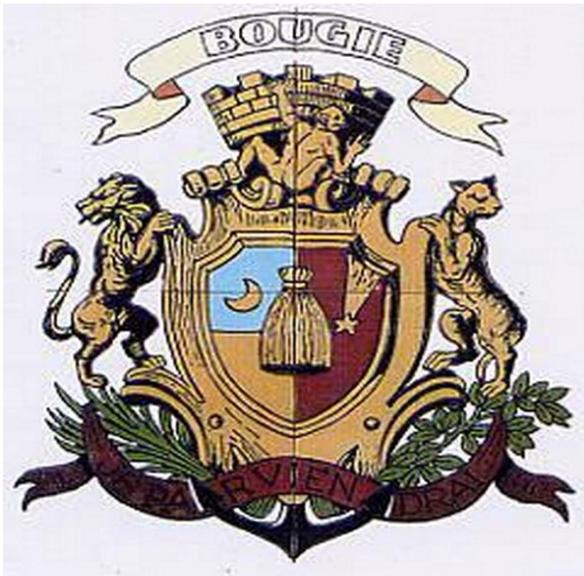
Même si cette apparition correspond exactement à un maximum de l'activité solaire, observer une aurore boréale à une latitude aussi basse est l'indice d'une activité solaire beaucoup plus importante que la normale. D'ailleurs, d'autres aurores ont été observées la même année, en 1770, à de très basses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

Applications de la lumière: de l'identification des substances à l'impression 3D

Mahdi Rahmani

Centre de Développement des Technologies Avancées, Unité de Recherche en
Optique et Photonique. Pôle Universitaire El Bez, Sétif 19000.

mrahmani@cdta.dz

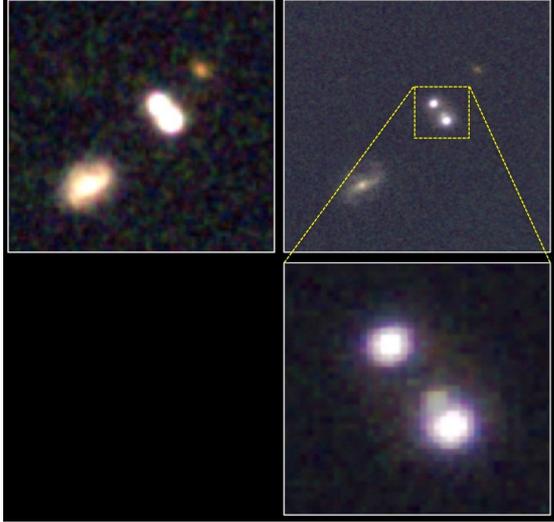
Résumé :

Une petite démonstration interactive débutera la présentation. Il s'agira d'éclairer trois pots, contenant des solutions colorées en rouge vert et bleu, par une lumière blanche. Il en résultera, à la sortie, une lumière rouge, une lumière verte et une lumière bleue respectivement. Une question sera posée au public pour qu'il décrive ce qui s'est passé. Puis, pour le contredire ou démontrer la véracité de ce qu'il avance, les trois solutions seront éclairées par un pointeur laser rouge, il en résultera de lumière rouge à la sortie de la solution rouge et rien du tout à la sortie des deux autres. L'expérience sera ensuite réitérée avec un pointeur laser vert, il en résultera, à l'instar de la précédente, de la lumière verte à la sortie de la solution verte et pas de lumière à la sortie des deux autres. Il s'agit de mettre en évidence le phénomène d'absorption de la lumière.

L'absorption de la lumière, un phénomène sélectif, qui, grâce à cette propriété de sélectivité nous permet d'identifier la composition chimique des substances, des astres, des liquides biologiques, ... Des explications autour de ça et des applications en chimie, en santé et en astronomie seront données. Un phénomène analogue, l'absorption à deux photons en l'occurrence, permet d'autres prouesses, entre autres, l'impression 3D. Contrairement à l'absorption « classique », il s'agit d'un effet non linéaire. Il en sera question aussi. Enfin, une brève description des travaux que nous entreprenons en ce moment sera donnée.

العدسات التجاذبية

قرقوري هشام

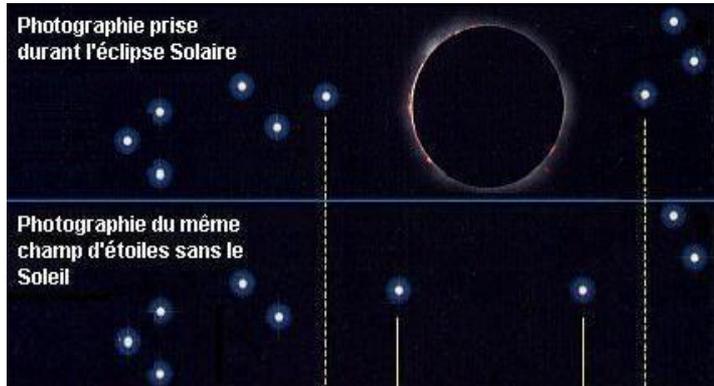


قسم الفيزياء، جامعة منتوري
تنص النظرية النسبية العامة للعالم ألبرت
إينشتاين (1915) على أن الأجسام ذات الكتل
الكبيرة كالنجوم والكواكب تجعل الفضاء ينحني
بحيث يتغير مسار أي شيء يمر بجانبها حتى
الضوء وهذا ما أثبتته العالم الفلكي الإنجليزي
أرثور إدينغتون عندما قام بتصوير الخلفية
النجمية للشمس أثناء الكسوف الكلي الذي سافر
لرصده بخليج غينيا يوم 29 ماي 1919 وقارنها
بالمواقع الحقيقية لهاته النجوم فلاحظ انحرافها
عن مواقعها. لكن هذه الظاهرة تبقى محدودة في
حالة النجوم وذلك بسبب كتل النجوم الصغيرة
نسبياً.

وفي سنة 1937 تنبأ الفلكي السويسري Fritz Zwicky بأن المجرات والعناقيد النجمية
يمكنها تحريف الضوء واستعمل اسم العدسة التجاذبية لتسمية هذه الظاهرة ولكن بقي هذا التنبؤ
مجرد نظرية حتى سنة 1979 أين تم رصدها لأول مرة عن طريق الانجليزيين D.Walsh و

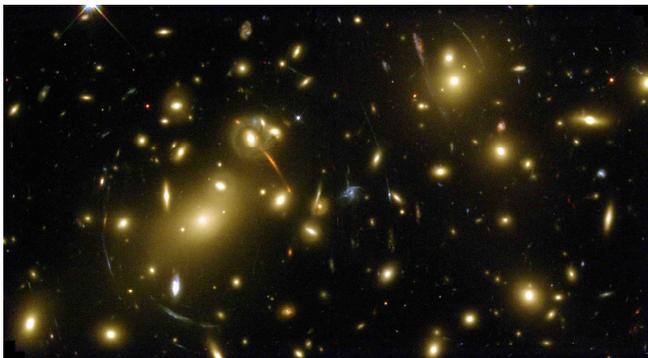
R.Carswell والامريكي
حيث R.Weymann

استطاعوا تصوير كوازارين
قريبين في السماء وبعد إجراء
الدراسات تبين أنهما كوازار
واحد حيث لعبت مجرة
إهليلجية دور العدسة التجاذبية.



وبعدها قام التلسكوب الفضائي
هابل بتصوير العنقود المجري

سنة 1995 هذا العنقود الذي يقوم بإنتاج صور متعددة لمجرات بعيدة. يمكننا رؤية أكثر من 120
قوس مضيء أو ما يسمى بحلقات أنشتاين الناتجة عن عدسة.



مفعول العدسات التجاذبية مكننا من
الاجابة على عدة تساؤلات في الفيزياء
الفلكية والكسولوجيا فهو يمكن اعتباره
كتلسكوب فضائي مكننا من رصد
اجرام بعيدة جدا وذات لمعان ضئيل لا
يمكن رصدها مباشرة كما سمح لنا
باستكشاف المجرات البعيدة وتحديد
كتلتها بدقة كبيرة.

The Avatars of Light

تحولات الضوء

J.Mimouni

Université Mentouri Constantine – LPMPS

Association Sirius d'Astronomie

(From the powerpoint presentation)

Abstract:

Light is timeless, yet it has a rich and eventful history, it is the history of the human understanding of its nature. We present the odyssey of light as a human adventure with complicated and even tortuous history which reflects perfectly ways often science progresses. We start with Ibn al-Haitham from Basra who initiated a revolution in optics as he spelled out the way human vision proceeds. making him the father of optics. Then we expose in some details the hotly debated issue of its very nature from the Renaissance on, Each of the corpuscular and the wave nature of light had its champions, yet in the 18th century the wave nature of light won the day and Newton's viewpoint lost. The twentieth century brought a new twist in the story of light as the need of the quanta of light or photons imposed itself making the light the object of a mysterious duality. The development of quantum theory in the twenties brought some appeasement and lead to a peacefully life with light's schizophrenic behaviour.

On the practical front, we retrace the story of the laser a concentrated monochromatic light is a pure product of quantum theory which opened up a wide range of applications from the CD-ROM reader we use in our computers to measuring the Earth Moon distance with centimetric accuracy.

Light has also a cosmic history. We can still follow this history from the time the light broke out of its plasmic cocoon some 400,000 years after the Big Bang till now as it is freely streaming through the cosmos carrying intimate information on the past events the Universe went through. This oldest light around is everywhere as it permeates all the space including our bodies, our lungs and our brains. Have we unraveled all the secrets of light? You bet not.

Plan:

1- What is Science & what is Culture ?

2- Interlude: lack of light

3- A quick history of light ?

4- Puzzling things about light

5- Cosmical light : The CMB

6- Multi-Messenger Astronomy

1- What is Science, what is Culture?

a-What is Science ?

« Science is an endless search for knowledge »

- 1- It is a search:
 - It is not given apriori
 - It gives improving representations of reality
- 2- It is endless:

Otherwise it won't be science
- 3- It is fallible:
 - History of science is littered with dead theories
 - E. Fermi 1938 Nobel Prize: awarded for his discovery of radioactive elements produced by neutron irradiation. Found later to be incorrect: just some nuclear fission products.
 - Infallible science is falsehood

A.Koestler described the tortuous path of science as that of sleepwalkers
- 4- Science is self correcting:

b- The Culture of Science

Science is now part and parcel of our culture.

- UNESCO exemplifies this web of relationships between those two domains.

1-First of all, its name contains both Science and Culture

2- *Then we celebrated various sciences in the past decade:*

- **2005: World Year of Physics**

100th anniversary of Albert Einstein's "Miracle Year"

- **2009: International year of Astronomy**

400 th years after Galileo first telescopic observations

- **2011:International year of Chemistry**

100 anniversary the Nobel Prize in Chemistry to Marie Curie

- **2014:International year of Crystallography**

Centenary of the discovery of X-ray crystallography

- **2015: International year of Light**

1000 years after Ibn al-Haytham

IYL-2015 comes as a crowning moment of a decade

of celebrations of the various basic sciences

3- Interlude: Lack of Light

- There is no such thing as Darkness
- Darkness is the lack of Light
- Yet when light goes missing, we appreciate more its value: like during a Solar Eclipse



Hevelius's Selenographia 1647:
*Ibn al-Haitham representing reason,
and Galileo the senses*

The Story behind the eclipse:

- When Sun's light get eclipsed by the Moon we get a solar eclipse. It can be predicted very accurately many decades before it occurrence. Like the April 20th eclipse's path which can be found in century old astronomical treatises.

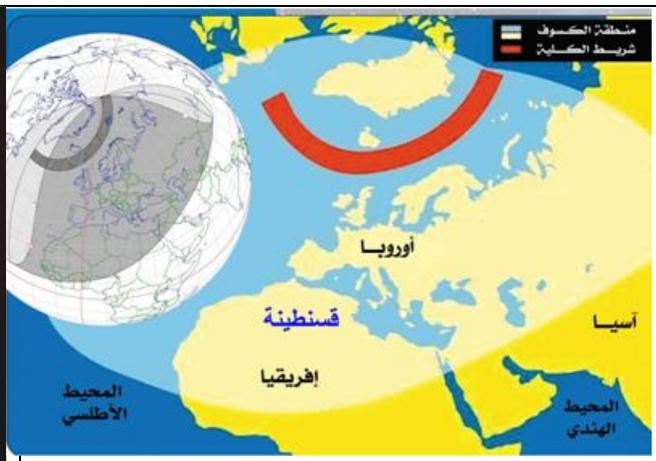


- New moon is also a conjunction without the glamour of the eclipse. Now at Ramadhan time, people scrutinize the horizon and too often "find" a crescent that astronomers say was below that horizon!

- Is that not making fools of ourselves?



The March 20, 2015 partial solar eclipse from Constantine



The Eclipse map



Constantine 20th of March: For Science's sake



Seeing an invisible crescent: The Ramadhan saga

Some people from here have been claiming that eclipses can bring about Earth quakes !

How can shadows make the Earth shake?

2- What is Light ?

- Light has a history
- This history embodies the main features of science:
Complicated and tortuous

The Story of Light

All civilizations have their own story for light...but let us start with the Grecs.

- *Empedocles didn't list the light among the 4 elements : For him, light is coming from the eyes*
- *Euclid 300 BC: Optica*
- *Ptolemy (2nd century) theory of refraction in his "Optics".*
- *Archimedes used mirrors ... Syracuse's siege...*

Al Hassan Ibn al-Haytham (Alhazen) from Basra:

Modern conception : light from luminous sources is reflected on objects and reaches the eyes:

- *The father of Optics:« Kitab al-Manadhir» in 1011-1021*
- *Used as a textbook for many centuries in the European Universities: mathematical-physical approach to experimental science*



Yet light was still a mystery: What was its substance, its velocity...?

The story got more interesting at the Renaissance:

- **Two conceptions of light:**

- Light as particles : Gassendi, Newton, ...
Only particles could propagate in straight lines.
- Light as a wave: Huyghens, Fresnel , Young...

Newton has lost... for the time being!

***J.C.Maxwell, 1873: Could combine all the known phenomena
(Electricity, Magnetism, Light) in 4 equations:***

It is so powerful that it predicts e.m. waves found later by Hertz,
and predates Special relativity of Einstein
Could anyone doubt anymore that light was a wave?
Yet several problems: Notably where is the ether?

The XXth century : The Century of the quantas:

Indeed, the ways of science are tortuous:

- Planck 1900: Light can only be absorbed by specific quantities in
a Black Body.

Ex: As if we were allowed to drink only by integer mouthfuls !

- Einstein: 1905: Photoelectric effect and better explanation of the
Black Body radiation. Light itself is quantized:

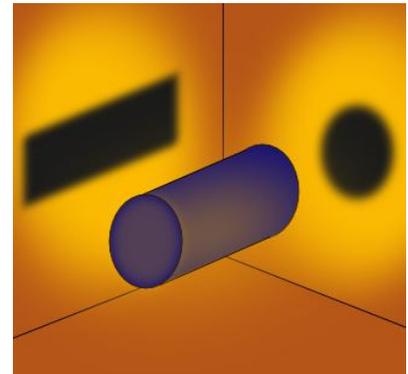
Light goes as lumps of energy, the photons. We are back to
Newton!

But now we are living with a
contradiction

- How to make sense of an entity which is at
the same time particle and wave?

- Localized, yet infinite in extent. As if we
could accommodate:

- *Black and white*
- *Fat and lean*
- *Positive and negative*



A cylinder 's two different projections as
an analogy to the quanton's dual nature

1923: Biggest surprise yet (Louis de Broglie):

Ordinary particles are equally schizophrenic as light and behave
both as a wave and as a particle too.

The Quantum World

- This duality is at the heart of this new "Mechanics":

The Quantum Mechanics or quantum physics.

- That's the way the (Quantum) world is:

Weird and counter intuitive

Quantum Field Theory:

- **Ultimately this new framework of QFT** was set up which makes the two aspects coexist harmoniously.
- **Basic dichotomy** according on how particles spin around themselves: Integer or half integer:
 - Bosons «Generalized light »
 - Fermions: ordinary matter

Timeline :

- 1015: Ibn al-Haitham, Book of Optics 1011-1021
- 1815: A-J.Fresnel, explanation of the wave nature of light
- 1865: J.C.Maxwell: electromagnetic theory of light
- 1905-15: Einstein's Special & General Relativities
- 1965: Wilson & Penzias: Cosmic Microwave Background or CMB

4- Puzzling things about light

Laser, the light as a cutting sword :

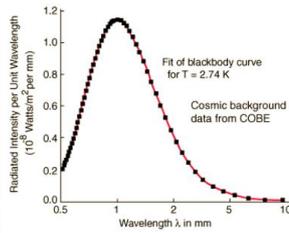
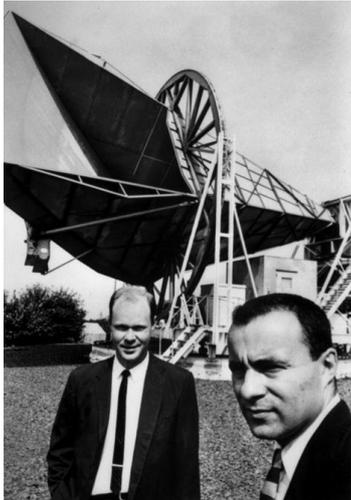
- Photons are bosons, so laser can exist.
- Ultra concentrated (and coherent) beam of photons

Applications of concentrated light are stupendous:

- Cut metal
- Measure Earth Moon distance with a decimetric accuracy
- Cool down atoms to get to ultra low T
- Heat up things: Fusion
- Accelerate particles: particle accelerators...

5- Cosmical light : The CMB

Wilson & Penzias's discovery of the Cosmic Microwave Background (CMB) in 1965. Found later to be an exact 3K black body up to a 10^{-5} accuracy.



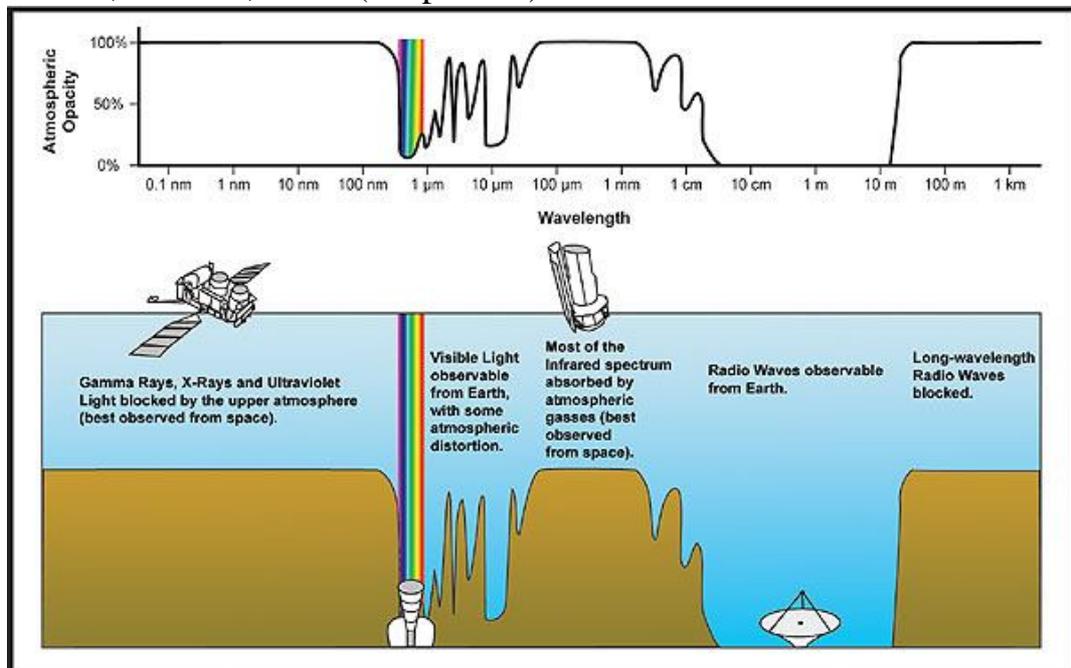
Wilson & Penzias
Discovery of the CMB



6- Multi-Messenger Astronomy

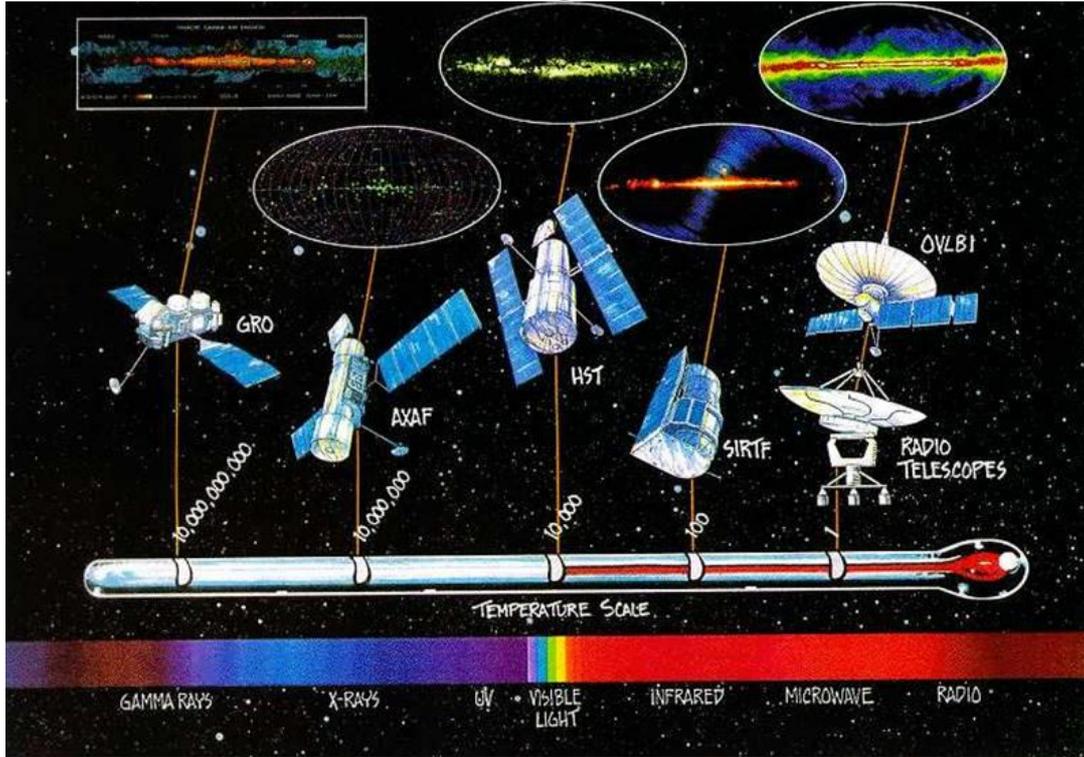
- Photons at various wavelengths

- Optical
- Radio : *galaxies,...*
- Infra red : *star formation, early universe...*
- X-Rays & Gamma rays: *violent processes*
- Microwave: study of the CMB
- Cosmic rays: a stable particle, the proton,...
- « Graviton (GW) astrophysics »: detecting the gravitational waves: LIGO, VIRGO, LISA (in space...).

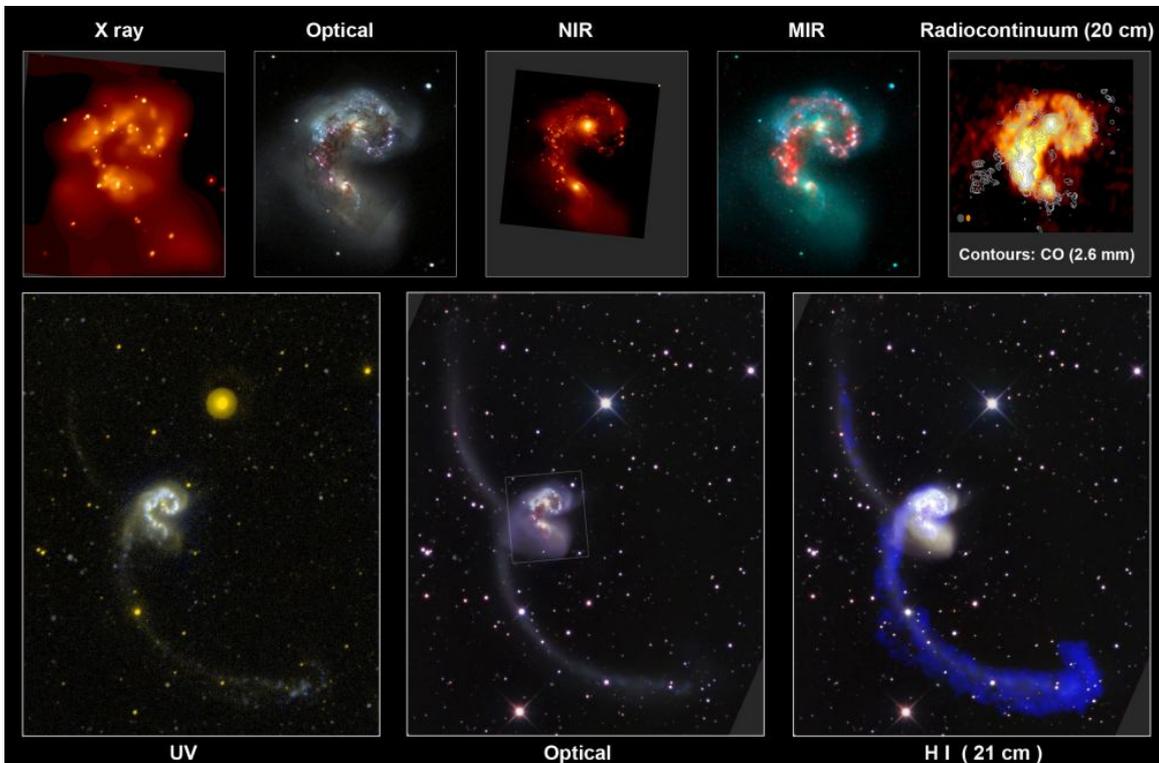


The various kinds of astrophysics according to the wavelength and the location of the instruments

Multiwavelength detectors



The Antennae galaxies (NGC 4038/NGC 4039) at various wavelengths





Book of Abstracts

IBN AL-HAYTHAM MATHEMATICIEN ET PHYSICIEN (Xe-XIe s.)

Ahmed DJEBBAR
Université des Sciences et des Technologies de Lille

Résumé :

Dans une première partie, seront présentées les sources et les grandes orientations de la physique arabe avant le milieu du Xe siècle, ainsi que les contributions originales réalisées, au cours de cette période, par les scientifiques des pays d'Islam, en particulier en optique.

Dans une seconde partie, la conférence exposera les éléments connus concernant Ibn al-Haytham et son époque puis les contributions originales de ce savant en mathématique et en physique.

Dans la troisième et dernière partie seront évoqués les aspects connus de la circulation, en Occident musulman et dans l'Europe médiévale, des ouvrages mathématiques et physiques d'Ibn al-Haytham.

Lumière et exoplanètes

Daniel ROUAN
Académie des Sciences, Paris

Résumé :

La recherche de systèmes planétaires autres que celui que nous connaissons autour de notre Soleil a commencé à porter ses fruits il y a juste 20 ans ; elle fait aujourd'hui l'objet d'une quête de plus en plus intense et de plus en plus

fructueuse, grâce à une palette variée de méthodes et d'instruments qui captent la faible lumière qui nous parvient de ces systèmes lointains.

Je m'attacherai plus particulièrement à décrire comment l'analyse de différentes propriétés de la lumière permet la détection ou la caractérisation des exoplanètes. Au travers de techniques, comme la coronographie, la spectroscopie ou la photométrie ultra-précise, et d'effets physiques comme l'effet Doppler, la polarisation, l'amplification gravitationnelle ou la cohérence, je montrerai que les astronomes ont déjà pu accumuler beaucoup de résultats, souvent inattendus, sur cette population.

Les perspectives qui s'ouvrent à l'échéance de ce premier quart du 21ème siècle seront présentées avec un tour d'horizon de différents projets dans l'espace ou au sol qui sont à l'étude.

Ibn Qunfudh al-Qusantîni within the history of Maghribi Medieval Astronomy

Marc OLIVERAS
University of Barcelona
marcoliveras@ub.edu

Résumé :

The works of Ibn Qunfudh (*ca.* 656/1258 - 867/1465) deal with many sciences like mathematics, astrology, astronomy, geography etc. His particular exposition of the chorographic system, in the same tradition of Ibn Nawbakht, al-Khuwârizmî or al-Muqaddasî, takes account of the different subjects tackled. It consists in the division of the inhabited world into seven climates or longitudinal strips parallel to the Equator from south to north. Each climate is characterized by its correspondence to a planet and a number of cities (*amsâr* or *mudun*). However, in ancient astrology the distribution of geographical areas according to the twelve zodiacal signs was also common. According to this arrangement, the nations were placed around a fixed centre or according to the four divisions of zodiacal signs in order their elemental triplicity. Oddly, the work of Ibn Qunfudh continues many of the themes studied by Ibn al-Bannâ' al-Marrâkushî (654/1256-721/1321) and Ibn 'Azzûz al-Qusantîni (d. 755/1354).

Ibn Qunfudh's religious training is also evident throughout his work, especially concerning sufism (*tasawwuf*) and his contribution to the history of Abû Madyan's (d. 594/1198) *tarîqa*. For instance, we can find an unusual astrological classification in his commentary on the 'Alî b. Abî al-Rijâl's *Urjûza fî akhâm al-nujûm* where he not only defends the compatibility of astrology with religious belief, but uses legal terminology to structure his own speech, using vocabulary such as *mas'ala* (subject or example), *tanbîh* (warning) or *fâ'ida* (piece of information or explanation) in the classification of several sections. All this terminology refers to the context of the science of foundations of Islamic law (*usûl al-fiqh*).

Léon Foucault et la Vitesse de lumière

Nassim SEGHOUANI
Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG)

Résumé :

Léon Foucault est un scientifique et inventeur génial à qui on doit de nombreuses réalisations scientifiques dont le fameux pendule qui a permis de "voir la terre tourner", le gyroscope, les télescopes modernes, les courants qui portent son nom et bien d'autres réalisations encore. C'est également lui qui a mis fin à la théorie corpusculaire de la lumière et qui a été le premier à effectuer une mesure précise de la vitesse de lumière. Nous donnerons un aperçu général sur sa vie et son œuvre en insistant sur les expériences qu'il a effectué pour pouvoir mesurer la vitesse de la lumière dans le contexte de l'époque, mais également les travaux qu'il a effectué pour améliorer les télescopes et leur miroirs et dont les premiers exemplaires taillés par Foucault lui-même se retrouvent aujourd'hui à l'Observatoire d'Alger.

الضوء النووي وأسرار الشمس

La lumière nucléaire et les secrets du soleil

عبد الحميد بوالجدرى، جامعة باتنة
Abdelhamid Bouldjedri, Univ. Batna

الملخص:

منذ القدم مثل ضوء الشمس النور والدفء والحياة ، ولاحقا أضحى أيضا مفتاحا لاسرارها. فقد كان للمطيافية الفضل في معرفة التركيب الكيميائي للشمس ودرجة حرارة سطحها. كما أن القياسات الفوتومترية حفزت البحث عن مصدر طاقة الاشعاع الشمسي. حل ذلك اللغز اعطى تفسيراً لنشأة وتطور العناصر الكيميائية في الكون. ان طيف الارسال الشمسي لا يقتصر على الضوء المرئي بل يشمل أيضا الاشعة فوق البنفسجية وأشعة X. كل من هذه المجالات يعطي قطعة في أحجية بنية الشمس و نشاطها.

Résumé :

Depuis longtemps la lumière du soleil a représenté luminescence, chaleur et vie ; par la suite elle devint la clé de ses secrets. En effet, grâce à la spectroscopie, on a découvert la composition chimique du soleil et évalué la température de sa surface. De plus les mesures photométriques ont incité les scientifiques à chercher l'origine de l'énergie du rayonnement solaire. La résolution de cette énigme a conduit à l'explication de la genèse et l'évolution des éléments chimiques dans l'univers.

Le spectre d'émission du soleil ne se limite pas à la lumière visible, il s'étend aux rayons UV et X. Chaque domaine de longueur d'onde fournit une pièce du puzzle de la structure et l'activité du soleil.

The Gravitational Lenses

العدسات التجاذبية

Hichem GUERGOURI

Department of Physics, Faculty of Science, LPMPS
Mentouri University, 25000, Constantine, Algeria

**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

Résumé :

Les sources maghrébines relatives à l'optique sont quasi-inexistantes. Dans ce projet de communication, nous présentons 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*), l'optique d'Ibn Sab`in (liée aux réponses aux questions siciliennes de l'empereur Roger II de Sicile), les observations des astronomes `Abu `Ali al-Hassan (13^e siècle), Ibn Raqqam (13^e siècle) et Ibn `Azzouz (14^e siècle), le traité d'optique géométrique du philosophe catalan Raymond Lulle (14^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 (18^e siècle), les instruments d'observation d'Ibn Hamadouche (18^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 [9].

**Applications de la lumière: de l'identification des substances
à l'impression 3D**

Mahdi Rahmani
Centre de Développement des Technologies Avancées, Unité de Recherche en
Optique et Photonique. Pôle Universitaire El Bez, Sétif 19000.
mrahmani@cdta.dz

Résumé :

Une petite démonstration interactive débutera la présentation. Il s'agira d'éclairer trois pots, contenant des solutions colorées en rouge vert et bleu, par une lumière blanche. Il en résultera, à la sortie, une lumière rouge, une lumière verte et une lumière bleue respectivement. Une question sera posée au public pour qu'il décrive ce qui s'est passé. Puis, pour le contredire ou démontrer la véracité de ce qu'il avance, les trois solutions seront éclairées par un pointeur laser rouge, il en résultera de lumière rouge à la sortie de la solution rouge et rien du tout à la sortie des deux autres. L'expérience sera ensuite réitérée avec un pointeur laser vert, il en résultera, à l'instar de la précédente, de la lumière verte à la sortie de la solution verte et pas de

lumière à la sortie des deux autres. Il s'agit de mettre en évidence le phénomène d'absorption de la lumière.

L'absorption de la lumière, un phénomène sélectif, qui, grâce à cette propriété de sélectivité nous permet d'identifier la composition chimique des substances, des astres, des liquides biologiques, ... Des explications autour de ça et des applications en chimie, en santé et en astronomie seront données. Un phénomène analogue, l'absorption à deux photons en l'occurrence, permet d'autres prouesses, entre autres, l'impression 3D. Contrairement à l'absorption « classique », il s'agit d'un effet non linéaire. Il en sera question aussi. Enfin, une brève description des travaux que nous entreprenons en ce moment sera donnée.

The Avatars of Light

Jamal MIMOUNI

Department of Physics, Faculty of Science, LPMPS
Mentouri University, 25000, Constantine, Algeria

Abstract:

Light is intemporal yet it has a rich and eventful history, it is the history of the human understanding of its nature. We present the odyssey of light as a human adventure with complicated and even tortuous history which reflects perfectly ways often science progresses. We start with Ibn al-Haitham from Basra who initiated a revolution in optics as he spelled out the way human vision proceeds. making him the father of optics. Then we expose in some details the hotly debated issue of its very nature from the Renaissance on, each of the corpuscular and the wave nature of light having its champions, yet in the 18th century the wave nature of light won the day and Newton's viewpoint lost. The twentieth century brought a new twist in the story of light as the need of the quanta of light or photons imposed itself in several crucial experiments making the light the object of a mysterious duality. The development of quantum theory in the twenties brought some appeasement and lead to a peacefully coexistence with light's schizophrenic behaviour.

On the practical front, we retrace the story of the laser, a concentrated monochromatic light, as a pure product of quantum theory which opened up a wide range of applications from the CD-ROM reader we use in our computers to measuring the Earth Moon distance with centimetric accuracy.

Light has also a cosmic history. We can still follow today this history from the time the light broke out of its plasmic cocoon some 400,000 years after the Big Bang till now as it is freely streaming through the cosmos carrying intimate information on the past events the Universe went through. This oldest light in the Cosmos, the so called cosmic microwave background or CMB is still around and in fact is everywhere as it permeates all the space including our bodies, our lungs and our brains.

Have we unravelled all the secrets of light? You bet not.



Some of the lecturers and students



**Laboratoire de Physique Mathématique
& de Physique Subatomique- LPMPS
Mentouri University, Physics Department
Constantine, Algeria 2016**