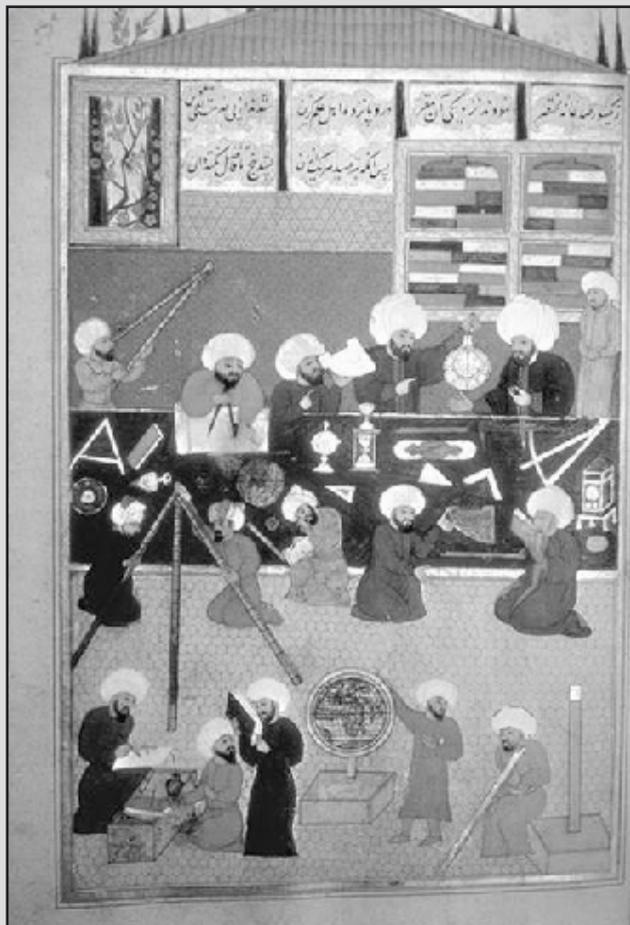


Le développement des sciences exactes dans la civilisation arabo-musulmane

KHEIRA MEGRI



Astronomes turcs
(xvi^e siècle).

Le monde entier est redevable à la science arabe de la transmission de la boussole, des chiffres « arabes » et du zéro, de l'invention des décimales et de l'algèbre.

Plus encore, l'Islam s'est approché de l'expérimentation scientifique moderne. Non seulement l'Empire musulman a su recueillir l'héritage hellénistique et lui donner un second souffle mais, jusqu'au xiv^e siècle, il a été le théâtre d'une recherche scientifique intense et le développement des sciences exactes a connu un essor sans précédent. La science arabe est ainsi devenue la science internationale par excellence.

On ne peut comprendre un certain type de développement de l'histoire des découvertes de l'esprit humain dans sa connaissance du monde moderne, si l'on en fait abstraction du passage important des sciences arabes au monde occidental. En effet, il n'est pas pensable de concevoir le développement des sciences exactes en Europe à partir du xvii^e siècle si l'on écarte l'histoire de la transmission des sciences arabes.

La science arabe n'est pas née d'une méthode, encore moins d'une seule école, mais d'un long débat à plusieurs voix entre courants philosophiques opposés, faisant appel, pour concevoir un nouvel ordre scientifique, à toutes les ressources intellectuelles dont ils disposaient en leur temps. Et si cet ordre finit par être dans son ensemble mathématique, ce fut pour des raisons propres aux acteurs. Ce monde nouveau, parti de l'astronomie et de l'optique qui étaient déjà sciences de mathématiciens, exigea vite un ordre nouveau et avec lui un archétype des sciences modernes commença à se dégager.

C'est dans le bassin méditerranéen et son environnement que se sont forgées les sciences modernes depuis l'Antiquité. La science arabe est le maillon essentiel entre ces deux mondes hellénistique et

européen. Une suite logique de cette histoire doit commencer de la période mésopotamienne en passant par le monde grec, le monde arabe et enfin le monde latin à partir du xvi^e siècle.

La transmission du savoir grec

En s'emparant de la majeure partie de l'Empire byzantin et de la totalité de l'Empire perse, l'Islam réunissait dès le vii^e siècle les plus importants centres intellectuels de la civilisation grecque.

C'est sous le règne du calife al-Ma'mûn, qui a régné à Bagdad de 813 à 833 et avec une détermination affirmée de répandre la science des Grecs parmi les musulmans, que des institutions scientifiques voient le jour comme la « Maison de la Sagesse » (Bayt al-Hikma), des hôpitaux, des observatoires nécessaires à la recherche scientifique. Bayt al-Hikma, c'était à la fois une bibliothèque, une sorte d'académie et un centre de recherche. Elle devint rapidement le centre international des traductions en arabe d'une ampleur et d'une vigueur toutes particulières.

La science islamique fut, dans une large mesure, la continuation d'une tradition grecque déjà déclinante : Bagdad fut l'héritière d'une école alexandrine venue jusqu'à elle par Apamée, Antioche, Harrân et Damas, qui faisaient à l'époque partie de l'Empire 'abbâside, car celui-ci recouvrait en partie l'ancien Empire byzantin (Syrie, Egypte et l'Irak actuel). Une autre influence formative

émana de Djundîchâpûr, ville du sud-ouest de l'Iran, où prospérait de longue date une école de médecine. Des nestoriens, qui étaient venus y chercher refuge après leur expulsion d'Urfa (Edesse) en 489, y enseignaient la médecine grecque dans des traductions syriaques et persanes. A la fermeture de l'Académie d'Athènes en 529, certains des maîtres de l'Académie cherchèrent refuge auprès d'Anûchîrwân (Chosroès I^{er}, 531-579), roi de Perse, et grossirent la communauté savante de Djundîchâpûr.

A la fin du vii^e siècle, on assiste à un développement sans précédent des études linguistiques – y compris l'invention de la lexicographie comme science et comme art. Par leurs recherches, ces linguistes avaient déjà fourni les instruments nécessaires à ce travail de traduction scientifique, à partir du grec essentiellement.

C'est sous l'impulsion d'al-Ma'mûn et grâce à son financement que des missions savantes se sont déplacées dans tout l'Empire à la recherche de manuscrits grecs. Une autre série d'ouvrages lui serait venue de Chypre. En fait, on avait commencé à recueillir des textes, préluant ainsi aux collections qui allaient se constituer progressivement, dès la fin de la période umayyade qui avait vu s'amorcer le processus des traductions. Mais ce fut en effet sous al-Ma'mûn que celles-ci devinrent, au Bayt al-Hikma, une activité systématique. Ainsi, tous les textes scientifiques grecs accessibles ont commencé à être traduits, dans toutes les disciplines : médecine, mathématiques, astronomie, physique, etc. Les traducteurs travaillaient en équipe, chaque équipe étant chapeautée par un spécialiste et disposant de copistes. Les textes se trouvaient en partie sur place, dans les anciennes bibliothèques de ces centres qui n'étaient peut-être plus vivants depuis longtemps, ou dans celles des couvents chrétiens qui existaient dans cette zone. Des missions furent aussi envoyées de Bagdad à Byzance pour rechercher des traités qui manquaient encore. Les ouvrages traduits du syriaque étaient collationnés sur les originaux grecs. Et les traductions arabes existantes de textes grecs étaient révisées à la lumière des manuscrits nouvellement acquis.

Mme Kheïra Megri est chercheur en Histoire des sciences exactes et auteur d'un ouvrage intitulé L'Optique de Kamâl al-Dîn al-Fârîsî.

↗ Au IX^e siècle, en effet, on assiste à un mouvement de traduction jamais égalé dans l'histoire, sans précédent par son ampleur et par les moyens aussi bien institutionnels que privés mis à sa disposition. Les traducteurs, les copistes et les savants venaient d'horizons ethniques et religieux très variés. Il y avait des Persans, ainsi l'astrologue Ibn Nawbakht qui traduisait, pour al-Rachîd, du perlhvi en arabe. Al-Fazâri, qu'al-Mansûr fit collaborer avec un Indien du Sind à la traduction du *Sindhind* astronomique à partir du sanskrit, était de souche arabe. Le plus actif traducteur de traités médicaux grecs et syriaques, le célèbre Hunayn ibn Ishâq (mort en 260/873), était un chrétien nestorien d'al-Hirâ. Il poursuivit son travail jusque sous le règne d'al-Mutawakkil, dont il devint le médecin personnel. Hunayn dirigea brillamment une équipe de lettrés qui fit traduire en arabe les textes d'Hippocrate et de Galien. Ishâq (mort en 299/911), son fils et élève, connaissait comme lui le grec et traduisit des ouvrages philosophiques d'Aristote, les *Eléments* d'Euclide et l'*Almageste* de Ptolémée. Quant à Thâbit ibn Qurra (mort en 281/901), mathématicien et astronome de renom appartenant à la communauté païenne de Harrân, il connaissait parfaitement le syriaque, le grec et l'arabe. Il traduisit directement du grec des traités de mathématiques et composa des traités dans toutes les sciences connues de son temps. Il fut introduit à la cour du calife al-Mu'tadid (279-290/892-902) par un fils de l'« astrologue » Mûsa ibn Chakir. Dans leur jeunesse, les trois fils de ce dernier, Muhammad, Ahmad et al-Hasân, avaient compté parmi les protégés d'al-Ma'mûn. Par la suite, ils déployèrent des efforts notoires pour obtenir des livres de Byzance et furent réputés, outre leurs travaux personnels dans le domaine des mathématiques et de la mécanique, pour leur contribution financière et morale à l'entreprise des traductions.

Ainsi, dispose-t-on en arabe, dès la fin du IX^e siècle, de la Collection Hippocratique, des œuvres d'Euclide, d'Archimède, d'Apollonius, de Ptolémée, de Diophante, de Galien, d'Aristote, de Proclus, etc.

C'est à al-Ma'mûn que l'on doit cette forte impulsion donnée au mouvement qui allait bientôt met-

tre à la portée du monde le corps de la science grecque dans une langue internationale – l'arabe. Ce mouvement de traduction durera pendant tout son règne, et c'est ce calife qui a pris la décision politique d'introduire le développement des recherches en sciences exactes dans son empire.

La naissance d'une langue scientifique internationale

Pour mener à bien ces recherches à Bagdad, il fallut créer une tradition de recherche scientifique en langue arabe dans tous les domaines des sciences exactes. Par « science arabe », il faut comprendre la science qui a été produite dans cette langue. La langue arabe a été la seule langue de recherche scientifique autour de la Méditerranée pendant plusieurs siècles, juste après la langue grecque, avant la langue latine, et viendront ensuite les diverses langues européennes à partir du milieu du XVII^e siècle.

Lorsque l'on parle de la « science arabe », on évoque en réalité l'entreprise scientifique que mena à bien l'Islam médiéval. Pour la première fois, la science devenaient « internationale » sur une large échelle. Et une langue unique – l'arabe – la véhiculait. Une foule de savants, d'origines et de croyances différentes, collaboraient pour rendre dans la même langue ce qui existait jusqu'alors en grec, en syriaque, en persan ou en sanskrit. Ainsi, dans le développement des connaissances scientifiques, la science islamique a constitué une étape importante.

Les centres de recherches scientifiques

L'Empire musulman réunissait au milieu du VII^e siècle les centres intellectuels les plus importants de cette époque. De cette propagation fulgurante de l'Islam va naître une organisation des institutions, qui devait être à la mesure d'une extension territoriale sans précédent, mais aussi le respect d'une grande diversité de peuples et d'hommes de science.

Parallèlement à cette institution officielle qui est « Bayt al-Hikma », et en lien directe avec elle, d'autres équipes de recherches vont se créer, par exemple autour des trois frères Banû Mûsâ, eux-mêmes savants brillants en mathématiques et astronomie, qui ont attiré dans leur groupe de Bagdad des scientifiques très importants.

Djundîchâpûr devient un centre actif d'enseignement où se mêlaient idées grecques, persanes, syriaques, juives et indiennes. Dès l'aube de la période 'abbâside, tous ces éléments devaient exercer une profonde influence sur la vie intellectuelle de l'Islam. Le nestorien Djibrâ'il ibn Bakhtîchû, qui dirigeait l'école de médecine de Djundîchâpûr, fut appelé à Bagdad en 148/765, pour y être le médecin du calife al-Mansûr. Il devait être chargé, sous le règne de Hârûn al-Rachîd, de construire à Bagdad un « bîmaristân », ou hôpital, sur le modèle syro-persan de celui de Djundîchâpûr, et la version qu'il en donna devint le prototype de nombreux établissements hospitaliers érigés par la suite à Bagdad et dans d'autres villes.

Les historiens ont souligné à bon droit la nouveauté des recherches scientifiques entreprises à Bagdad, même si elles sont tributaires du savoir grec. Tous ces savants ont travaillé en relation les uns avec les autres, une réelle collaboration scientifiques existait entre eux. Les ouvrages biographiques anciens, tels que le *Fihrist* d'al-Nadîm écrit en 945, relèvent de nombreuses listes de correspondances scientifiques entre tous ces savants, dans lesquelles ils discutaient de problèmes particuliers ; il y a eu dans ces centres un véritable milieu de recherche scientifique au sens moderne du terme.

Le développement des mathématiques

Le meilleur traité arabe d'arithmétique fut écrit en 820/1427 à Samarkand. L'auteur de ce traité, Djamchîd ibn Mas'ûd al-Kâchî, était un Persan de Kâchân installé à Samarkand où il s'était acquis une position éminente au sein du groupe d'astronomes et de mathématiciens patronnés par le docte sultan Ulugh Beg. Avec la *Clé*

de l'arithmétique, al-Kâchî donnait un manuel complet, rédigé de façon claire et selon un plan bien conçu, à l'usage des marchands, des employés et des inspecteurs comme à celui des astronomes. Un de ses apports les plus notables était son étude exhaustive et systématique des fractions décimales, dont était apparue une esquisse dans l'Islam dès le x^e siècle avec l'œuvre du mathématicien damascène al-Uqlidîsî. La nouvelle découverte d'al-Kâchî précédait de quelque deux cent ans les développements similaires en Europe. On note déjà un emploi occasionnel des fractions décimales dans un document byzantin parvenu à Vienne en 970/1562. La *Clé de l'arithmétique* d'al-Kâchî connut une large diffusion dans le monde islamique et, dès le xv^e siècle, son influence avait atteint Constantinople. La haute contribution d'al-Kâchî à l'arithmétique fut le point culminant d'une série de développements où la puissance de la tradition semble avoir souvent inhibé la volonté d'innovation.

Le monde arabe avait hérité, de sources distinctes, trois systèmes différents de calcul numérique qui coexisterent pendant de nombreux siècles.

Le premier était appelé « calcul digital » et les opérations se faisaient en tenant les doigts dans certaine position. Le titre d'un manuel qu'Abû l-Wafâ' al-Busdjànî lui consacra à Bagdad (vers 370/980), indique que les utilisateurs étaient les fonctionnaires. Le système continua d'ailleurs d'être employé bien qu'il existât au moins depuis le viii^e siècle un type très supérieur de calcul emprunté à l'Inde.

Les scribes avaient l'habitude d'écrire les nombres en toutes lettres, alors que le système indien, basé sur l'ordre des chiffres dans le nombre (valeur relative), pouvait exprimer n'importe quelle grandeur numérique en se limitant à dix signes, dont le zéro (*sifr*). Les auteurs arabes les appelaient chiffres « indiens » ou « tracés dans la poussière », indiquant ainsi leur origine et le fait que les opérations s'effectuaient sur des tablettes poudrées. Les chiffres indiens existaient sous deux formes dans le monde arabe, l'une à l'Est, l'autre à l'Ouest, et c'est à cette dernière que l'Europe emprunta ses « chiffres

Tableau des coefficients du binôme. Tiré de la *Clé de l'arithmétique* d'al-Kâchî (manuscrit de Leyde, 1554).

arabes ». Les avantages du système indien de numération demeurèrent méconnus des astronomes. Poursuivant la tradition des traités grecs d'astronomie, ils s'en tinrent à l'antique système babylonien où les nombres étaient exprimés au moyen de lettres. C'était en réalité un système mixte employant une notation décimale en valeur absolue pour les nombres entiers, et une notation sexagésimale en valeur relative pour les nombres fractionnaires. Ainsi, dans le monde arabe, les computations les plus élaborées relevaient-elles d'une numérotation sexagésimale notée en symboles alphabétiques. Malgré l'apparente analogie entre les deux systèmes, décimal et sexagésimal, et bien que les fractions décimales soient apparues dès le x^e siècle, il fallut attendre al-Kâchî pour qu'un système unifié de notation en valeur relative fût formulé à la fois pour les nombres fractionnaires et pour les nombres entiers.

A divers degrés, des innovations devaient survenir dans toutes les disciplines. Il n'est pas sans intérêt de considérer ces cheminements dans leur relation avec le véhicule majeur que constituait la langue arabe.

Le premier traité arabe d'algèbre fut rédigé sous le règne d'al-

Ma'mûn par Muhammad ibn Mûsâ al-Khwârizmî. Son ouvrage *al-Jabr wa-l-Muqâbala* composé autour de 830, ne fait appel à aucune notation symbolique ; comme tous les traités d'algèbre postérieurs, à l'exception de celui d'al-Qalâsâdî (mort vers 891/1486), il se rapporte aux deux opérations employées par al-Khwârizmî pour résoudre les équations du premier et du second degré, à savoir l'élimination des termes négatifs et la réduction des termes négatifs et la réduction des deux membres de l'équation à des termes positifs de même puissance. On sait aujourd'hui que ces modalités préexistaient à des concepts déjà présents chez Diophante d'Alexandrie. Par ailleurs, les démonstrations géométriques qu'il donnait des raisonnements algébriques étaient euclidiennes. Toutefois, le traité d'al-Khwârizmî fut vraiment, au ix^e siècle, une somme absolument sans précédent. Il est considéré comme une innovation par les mathématiciens arabes. Son approche systématique, ramenant les problèmes traités à des exposés normatifs accompagnés de démonstrations, imprima sa marque sur les manuels d'algèbre postérieurs, même lorsque les traités d'al-Karadjî et de 'Umar Khayyâm allaient, en l'espèce, beaucoup plus loin que lui.

Quant à la géométrie arabe, son origine, ses méthodes et sa terminologie étaient grecques. Les mathématiciens arabes, se fondant sur Euclide, Archimède et Apollonius, donnèrent de nombreux traités expliquant, développant ou critiquant l'œuvre des Grecs. De tous les traités de l'Antiquité, les *Eléments* d'Euclide furent les plus sollicités et furent traduits en arabe à différentes époques. Estimant insuffisants les concepts euclidiens de rapport et de proportion, les mathématiciens arabes les développèrent et arrivèrent à un concept élargi du nombre comprenant les nombres irrationnels. Les deux mathématiciens qui ont donné un nouvel élan à cette discipline furent 'Umar Khayyâm et Nasîr ad-Dîn at-Tûsî. Si la définition de la proportion qu'ils employèrent n'est pas celle d'Eudoxe ou d'Euclide, elle n'en semble pas moins d'origine grecque.

On trouve également des tentatives de démonstration du postulat

↳ d'Euclide (la théorie des parallèles) du IX^e au XIII^e siècle. Ce postulat trouve des solutions plus satisfaisantes et le problème qu'il pose n'avait pas été ignoré de l'Antiquité. L'une de ces solutions devait parvenir jusqu'aux mathématiciens européens, tels Wallis et Saccheri, qui, en d'autres temps, apportèrent une contribution notable à cette question.

La civilisation arabe a eu de grands novateurs qui maîtrisèrent les plus hautes techniques des Grecs et les employèrent à reformuler et à résoudre de nouveaux problèmes. Si les mathématiciens arabes n'en vinrent pas à proposer un système de géométrie non euclidienne, ils apportèrent néanmoins une amélioration non négligeable en formulant et démontrant quelques théorèmes non euclidiens.

Le développement des mathématiques appliquées

La mécanique faisant partie des mathématiques appliquées a eu toute sa place dans la civilisation arabe. Les ouvrages de mathématiciens grecs tels que Héron d'Alexandrie et Philon de Byzance ont été rendus accessibles par des traductions arabes. Dans son *Inventaire des sciences*, le philosophe al-Fârâbî (mort en 339/950) assigne pour objet à cette science la détermination des moyens par lesquels ce qui est démontré par les diverses sciences mathématiques peut être appliqué à des corps physiques. Poursuivant dans cette voie, il explique que, pour faire se concrétiser artificiellement les vérités des mathématiques dans les objets, ceux-ci peuvent être légèrement modifiés et adaptés. Dans ce sens la « science des stratagèmes », ce concept grec de technologie mécanique était souvent exprimé en arabe par « *ilm al-hiyal* », un art général qui comprend aussi bien l'algèbre (une sorte d'arithmétique appliquée qui cherche à déterminer des termes numériques inconnus) que la construction, l'arpentage, la fabrication d'instruments astronomiques, de musique et d'optique ainsi que l'invention de machines.

Le document le plus important sur la technologie mécanique en

arabe est un traité du XIII^e siècle, dû à Ibn ar-Razzâz al-Djazarî et intitulé *Le Livre de la connaissance des mécaniques ingénieuses*. Cet ouvrage se présente comme l'œuvre d'un artisan et non d'un théoricien ou d'un mathématicien. Il est écrit en l'honneur de Nâsir ad-Dîn Mahmûd, patron d'al-Djazarî et prince artuqide de Diyârbakr, et décrit minutieusement la fabrication d'un grand nombre d'appareils de toutes sortes qu'il divise en cinq catégories principales : horloges, bassins, récipients de mesures des liquides, fontaines et norias.

Il est à noter que nombre d'auteurs d'ouvrages sur la mécanique, tels les Banû Mûsâ, al-Bîrûnî, al-Karadjî, 'Umar Khayyâm, Ibn al-Haytham, étaient d'éminents mathématiciens. Cependant, ils ne se limitèrent pas à la seule recherche théorique. Les Banû Mûsâ, qui, dans le domaine de la mécanique, traitèrent surtout des dispositifs hydrauliques, surveillèrent divers grands travaux d'aménagement pour leurs patrons, les califes de Bagdad. Al-Bîrûnî procéda à de très précises déterminations de poids spécifiques. Ibn al-Haytham avait conçu un plan pour régler le cours du Nil.

Le développement de l'astronomie

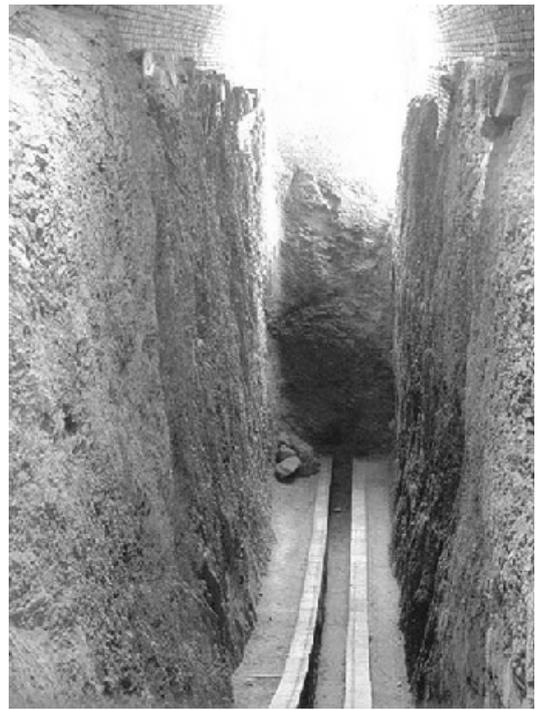
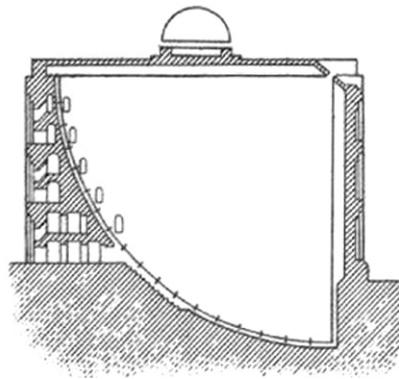
Les premiers textes d'astronomie à être traduits le furent du sanskrit, du pelhvi, du syriaque, tout autant que du grec. Il en résulta un éclectisme qui marque les premiers travaux de l'astronomie arabe et qui devait apparaître également plus tard dans l'Espagne musulmane.

Le traité faisant figure d'autorité dans cette discipline est l'*Almageste* de Ptolémée, en treize livres, qui est un traité complet d'astronomie théorique et qui servira de manuel de base à tous les astronomes jusqu'au XVI^e siècle. Cet ouvrage a d'abord été traduit du syriaque en arabe par al-Hasan Ibn Quraysh au VIII^e siècle ; puis, à la fin de ce même siècle, Yahya Ibn Khâlid al-Barmakî a ordonné d'en faire une traduction à partir du grec. Deux autres traductions sont faites sur ordre d'al-Ma'mûn. L'une, par al-Hajjâj Ibn Matar en 826-827, reste très proche du texte grec d'origine car la

langue technique arabe n'était pas encore bien élaborée. En 892, une deuxième traduction de cet ouvrage a été réalisée dans une langue arabe scientifiquement bien adaptée par Ishaq Ibn Hunayn. Cette dernière fut révisée par le grand mathématicien Thâbit Ibn Qurra. Deux autres livres de Ptolémée ont aussi été traduits. Il s'agit du *Livre des hypothèses* et du *Planispharium*.

Les écrits sur les instruments astronomiques étaient aussi disponibles, comme le livre sur la sphère armillaire et celui sur l'astrolabe, tous deux de Théon d'Alexandrie (IV^e siècle). A ces livres sur les instruments astronomiques, il faut ajouter ceux qui traitent des outils mathématiques de cette discipline. Les plus importants sont ceux relatifs à la géométrie sphérique, comme le livre sur *La Sphère mobile* d'Autolykos (III^e siècle avant J.-C.), le *Livre de la sphère* de Théodose et, surtout, le livre des *Figures sphériques* de Ménélaüs.

L'astronomie grecque était géocentrique, c'est-à-dire que la Terre était considérée comme stable au centre du monde avec tous les astres tournant autour d'elle. Les astronomes arabes resteront attachés à cette tradition jusqu'à l'arrivée de Copernic en 1543, date de la publication de son traité *De revolutionibus orbium coelestium libri VI* pour commencer à envisager le double mouvement des planètes, sur elle-même et autour du Soleil. Mais certaines recherches historiques sur l'astronomie arabe ont montré qu'au contraire cette question avait été remise en cause au XI^e siècle et même un astrolabe a été construit basé sur l'idée que la Terre n'était pas immobile au centre de l'Univers, mais qu'elle tourne autour d'elle-même. Cette question sera évoquée en particulier par al-Bîrûnî, qui parle du mouvement de la Terre dans son livre *Tahqîq mâ li l-Hind* (Enquête sur ce que possède l'Inde). Il évoque, dans cet ouvrage, que l'hypothèse du mouvement de la Terre se trouve déjà chez l'astronome indien Aryabhâta (VI^e siècle), et que selon lui cette hypothèse ne contredit pas les fondements de l'astronomie. Cependant, al-Bîrûnî changera d'avis plus tard dans son livre *al-Qanûn al-Mas'ûdî* (Le Canon Mas'udien), où il évoque que ces deux hypothèses, celle du mou-



A gauche, le sultan Ulugh Beg qui fonda à Samarkand un grand observatoire qui fonctionna de 1420 à 1449. Il demeure encore des vestiges de cet observatoire comme, par exemple, cet arc en pierre enfoncé dans la terre devant servir comme « sextant » (schéma et photo à droite).

vement de la Terre et celle de son immobilité, créent des difficultés qui ne seront pas, selon lui, faciles à résoudre.

Observations et observatoires

Après la traduction de l'*Almageste*, la supériorité du système de Ptolémée fut rapidement reconnue et, dès lors, sa conception et sa méthodologie primèrent auprès des astronomes arabes. C'est à Ptolémée que les Arabes empruntèrent la notion de vérification, à laquelle ils demeurent toujours attachés. La littérature arabe médiévale sur l'astronomie reprend constamment les mots *mib-na* et *i'tibâr* utilisés par les traducteurs arabe de l'*Almageste* pour rendre l'idée grecque de vérification. Au début du x^e siècle, al-Battânî, l'astronome de Harrân qui avait conçu son *az-Zîdj as-Sâbî* à l'imitation de l'*Almageste*, attribuait à Ptolémée l'injonction que soient effectuées après lui des observations pour vérifier les siennes, tout comme lui-même avait vérifié celles des devanciers.

Deux observatoires sont cons-

truits, l'un à Bagdad et l'autre à Damas, pour vérifier les résultats de Ptolémée. Ainsi, on procéda à des observations en divers pays, dans différents centres de recherche astronomique. Toujours sous le règne d'al-Ma'mûn, une équipe d'astronomes mit au point un nouvel ensemble de tables (*Zidj*), appelé *Zidj Ma'mûni* ou *Mumtaban* (vérifié), sur la base des nouvelles observations faites à Bagdad et à Damas. Toujours dans le même état d'esprit, au ix^e siècle, Habach al-Hâsib effectua, à Bagdad, Samarra et Damas, des observations lors d'éclipses de Lune et de Soleil et sur la position des planètes. Au x^e siècle, au Caire, Ibn Yûnus (mort en 400/1009) procéda, sur le mont Muqattam, à des observations nécessaires à l'établissement des tables astronomiques de son livre *az-Zîj al-Hâkimî* (les tables hakimites) en l'honneur d'al-Hakim. A la même époque à Chiraz, le célèbre 'bd ar-Rahmân as-Sûfî commença en 359/969 une série d'observations pour déterminer la durée des saisons et dresser une nouvelle carte du ciel. Le 24 mai 997 débuta une véritable correspondance scientifique entre al-Bîrûnî, se trouvant dans la ville de Kath à Khâwarâzm, et Abû l-Wafâ, qui travaillait à Bag-

dad, concernant une éclipse de Lune pour calculer avec précision la différence de longitude entre Kath et Bagdad. Au xiii^e siècle, des observations furent pratiquées pendant une vingtaine d'années à Marâghâ (à la frontière entre l'Iran et la Turquie actuelle), dans l'observatoire édifié en 685/1259 par Hûlegû. Dans cet observatoire, peut-être le premier au véritable sens du terme, travaillaient sous la direction de Nasîr al-Dîn at-Tûsî (mort en 1274), une vingtaine d'astronomes venus de tous les horizons du monde, l'un d'eux était même originaire de Chine. Al-Urdî se chargea de concevoir les instruments de grande taille capable de répondre à l'exigence d'observations précises. Cet observatoire de Marâghâ a pu fonctionner sans interruption pendant soixante ans, jusqu'à la fin du xiv^e siècle, et connaîtra son apogée avec Ibn al-Châtîr (mort en 1372).

Dans la première moitié du xv^e siècle, le sultan Ulugh Beg (petit-fils de Tamerlan) fonda à Samarkand un grand observatoire qui fonctionna de 1420 à 1449. Dans cet observatoire, dont demeurent encore des vestiges, travaillaient d'éminents astronomes parmi lesquels Qâdi Zâda ar-Rûmî et Al-Kâshî. Aujourd'hui, on peut enco-

re en admirer un grand arc en pierre enfoncé dans la terre, qui permettait de lire la hauteur des astres.

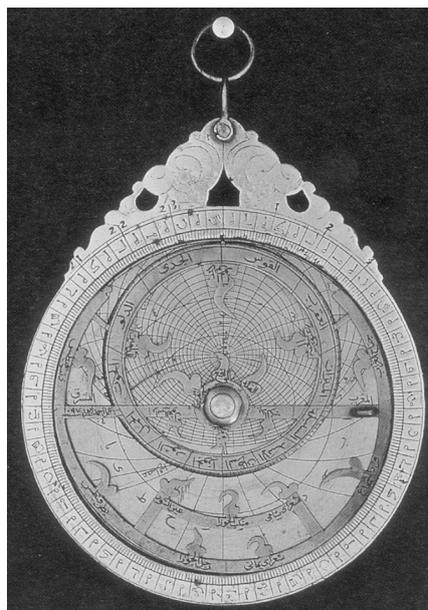
L'observatoire d'Istanbul a été fondé au début du XVI^e siècle par le sultan ottoman Murâd III (1574-1595) et dirigé par le grand astronome et mathématicien Taqiy al-Dîn Ibn Ma'rûf qui y travailla jusqu'en 1580. On retrouve encore d'autres observatoires comme celui de Tycho Brahé à la fin du XVI^e siècle et celui de Jaïpur en Inde, créé au XVIII^e siècle sous l'impulsion du Mahrajah Jaï Singh II (1686-1743). Nous trouvons une parenté frappante entre les premiers instruments créés ou perfectionnés par al-Urdî pour Marâghâ et ceux des autres observatoires.

Ces observatoires, pour la plupart, ne visaient qu'à vérifier des données reçues de diverses sources ou améliorer les paramètres de Ptolémée. L'un des premiers ouvrages arabe dans la tradition ptoléméenne fut le *Traité sur l'année solaire* attribué faussement à Thâbit ibn Qurra, composé après 832 et probablement avant 850 ; il vise à trouver la longueur de l'année solaire, base de toutes les constantes astronomiques. Ptolémée, dans le livre troisième de l'*Almageste*, avait proposé une explication. Les astronomes arabes fournissent de nouvelles valeurs numériques pour l'inclinaison de l'écliptique, la précession des équinoxes, les mouvements moyens du Soleil, de la Lune, des planètes, etc.

Les instruments d'observation

Les instruments astronomiques avaient des utilisations très variées : ceux qui étaient fondés sur l'observation et ceux qui n'utilisaient pas l'observation servaient à déterminer le temps ou bien à résoudre, sans calcul, certains problèmes mathématiques basés sur l'astronomie sphérique. C'est le cas, par exemple, du cadran astrolabique qui sert à représenter les positions du Soleil et des étoiles, ou du cadran-sinus qui permet d'obtenir des solutions numériques pour des problèmes trigonométriques, ou encore du cadran solaire qui détermine le temps à l'aide des nombres.

Pour la construction et la réalisation de ces instruments servant à



Astrolabe planisphérique (1306-1307). De nombreux ouvrages sont consacrés à ces instruments et à leur utilisation.

l'observation, les astronomes arabes se sont basés sur les manuels grecs, en particulier des descriptions du globe céleste, de la sphère armillaire, du cadran méridien et de la règle parallactique, description que Ptolémée avait insérée dans son *Almageste*. On assiste, à partir du IX^e siècle, à un grand mouvement de création dans ce domaine et, parallèlement, de nombreux ouvrages spécialisés vont être consacrés à la description de ces instruments. Ainsi, les instruments anciens sont perfectionnés et de nouveaux sont créés.

Les plus connus de ces instruments est l'*astrolabe*, qui est l'appareil scientifique le plus représentatif de cette civilisation. Les quarts de sinus servaient à résoudre des problèmes numériques et trigonométriques, en particulier celui de la détermination de la direction de la Mecque. Les premiers instruments de ce type sont apparus d'abord à Bagdad au IX^e siècle. Plus tard, ces mêmes instruments ont été perfectionnés pour donner des quarts de sinus universels, résolvant les mêmes problèmes mais pour toutes les latitudes. Nous devons aussi mentionner les cadrans horaires pour la détermination du temps solaire, inventés à la même période

et par les mêmes astronomes de Bagdad, diffusés ensuite dans toutes les régions de l'Empire, et enfin le cadran *muquantar*, fondé sur le principe de l'astrolabe et n'utilisant que la moitié des tracés des disques de l'astrolabe traditionnel.

Une autre catégorie de cadrans est appelée cadran *solaire*. D'origine très ancienne, il a été utilisé dans l'Empire dès la fin du VII^e siècle pour connaître les heures des prières. Cet instrument a fait l'objet d'un ouvrage par Thâbit Ibn Qurra intitulé *Kitâb fî âlat as-sâ'at al-latî tusammâ rukhâmat* (*Livre sur les instruments des heures que l'on appelle cadrans*). Al-Khâwarizmî a également établi des tables donnant l'altitude et l'azimut solaires ainsi que la longueur de l'ombre du gnomon. Celui-ci permet de construire le cadran solaire pour une dizaine de latitudes. Au X^e siècle, d'autres tables ont été élaborées pour la construction de cadrans solaires verticaux ou d'inclinaison quelconque par rapport au méridien de chaque latitude.

On peut citer également de nombreux ouvrages consacrés à ces instruments et à leur utilisation. Ainsi, au X^e siècle, an-Nayrîzî écrit le *Kitâb fî l-'amal bi l-astrulâb al-kurawî* (*Livre sur l'utilisation de l'astrolabe sphérique*), le mathématicien al-Sijzî rédige le *Kitâb al-'amal bi s-safîha al-âfâqiyya* (*Livre sur l'utilisation de l'astrolabe plat des horizons*), et au siècle suivant, est publié le *Kitâb al-âla ash-shâmila* (*Livre sur l'instrument complet*) d'al-Khujandî.

Avec la multiplication des études et des instruments au XI^e siècle, al-Bîrûnî trouve la nécessité de regrouper l'ensemble de ces instruments dans son ouvrage intitulé *Kitâb fî isti'âb al-wujûh al-mumkina fî san'at al-astrulâb* (*Livre sur l'assimilation de toutes les manières possibles de réaliser l'astrolabe*). Au XII^e siècle, al-Khâzînî a décrit six instruments dont un, peu connu, appelé *Dhât al-muthallath* (l'instrument au triangle). Au XIII^e siècle, l'astronome de Marâghâ al-'Urdî a recensé tous les instruments qui étaient utilisés dans cet observatoire. Au même siècle, au Caire, al-Hassan al-Murrâkushî a publié un ouvrage monumental en deux volumes, intitulé *Kitâb al-mabâdî' wa l-ghâyât fî 'ilm al-mîqât* (*Livre des principes et des buts sur la science du temps*) dans lequel il décrit de nombreux

instruments. Au xv^e siècle, al-Kâshî présente un nouvel instrument permettant d'avoir directement des rapports trigonométriques. Enfin, au siècle suivant, Ibn Ma'rûf publie une description précise des instruments utilisés à son époque à l'observatoire d'Istanbul.

Critique du système planétaire ptoléméen par Ibn al-Haytham

Dès le ix^e siècle, il devient nécessaire pour les astronomes arabes d'adopter une attitude critique à l'égard des textes scientifiques grecs : prendre ces textes comme base de travail pour élaborer de nouvelles théories. Les recherches astronomiques arabes dépassent de loin l'astronomie hellénistique, et les hypothèses neuves commencent à faire école. Une opposition au système de Ptolémée s'ouvre au xi^e siècle, avec une attaque de la théorie planétaire de Ptolémée par Ibn al-Haytham, le mathématicien originaire d'Iraq qui vivait au Caire sous le calife fâtimide al-Hâkim (mort en 412/1021). Ibn al-Haytham souscrivait à l'explication ptoléméenne des mouvements apparents des planètes par les épicycles et les différents excentriques sur lesquels les premiers effectuaient leurs rotations. Néanmoins, il soutenait que l'hypothèse ptoléméenne de l'équant, selon laquelle le centre de l'épicycle semblait se déplacer uniformément à partir d'un point autre que le centre du déférent ou le centre du monde, était incompatible avec le principe accepté de la vitesse uniforme des astres. Ibn al-Haytham rejette ce système dans son ouvrage intitulé *al-Shukuk 'ala Batlamiyû (Doutes sur Ptolémée)* et le remplace par un nouveau système. Ses critiques, ainsi que celles d'at-Tûsî, d'al-Urdî (mort en 1266), d'al-Shirâzî (mort en 1311), d'Ibn al-Châtîr (mort en 1275) et de leurs collaborateurs de Marâghâ, témoignent de la profonde influence qu'exercèrent les *hypothèses des planètes* de Ptolémée sur les astronomes arabes. Pour Ptolémée, le mouvement apparent des planètes résultait des mouvements combinés d'enveloppes sphériques matérielles dans lesquelles s'enchaînaient les planètes. Or, c'était l'idée

qu'un corps physique – la sphère déférente associée à une planète donnée – puisse effectuer sa rotation à une vitesse variable, qu'Ibn al-Haytham et ses collaborateurs estimaient inacceptable. Se refusant à abandonner la conception « physique », les astronomes de Marâghâ entreprirent d'élaborer des modèles qui, tout en étant mathématiquement équivalents à ceux de Ptolémée, répondent également à la nature du ciel. Seuls les modèles de ce type pourraient éventuellement être corrects. Tant comme causes que comme conséquences, les observations ne jouèrent qu'un rôle mineur dans ces développements.

En Espagne, ce sont les philosophes maîtrisant solidement l'astronomie qui vont suivre l'exemple d'Ibn al-Haytham au xi^e siècle. Les savants de l'Occident musulman comme Ibn Bâjja (mort en 1138), Jâbir Ibn Aflah et al-Bitrûjî, ont critiqué les positions apparentes des planètes dites inférieures (placées entre la Terre et le Soleil) comme Mercure et Vénus du système ptoléméen, et proposent de les placer au-dessus du Soleil selon le livre de Moïse Maïmonide *Dalâlat al-ha'irin* (Le Guide des égarés). On retrouvera ses hypothèses dans un ouvrage de Lévi Ben Gerson (mort en 1344) au Moyen-Age en Europe.

Ibn Shatîr, précurseur de Copernic

Les astronomes de Marâghâ et, par la suite, Ibn al-Châtîr à Damas, conçurent des systèmes planétaires non ptoléméens du mouvement des planètes que l'on a récemment rapprochés de leurs analogues chez Copernic (mort en 1543).

Ibn al-Châtîr, astronome au service de la grande mosquée de Damas, c'est-à-dire *muwaqqit*, a conçu un modèle qui s'accorde sur bien des points avec celui que donna Copernic un siècle et demi plus tard.

La nouvelle astronomie est différente de celle de l'*Almageste* et donne des résultats beaucoup plus cohérents et précis. Cette nouvelle astronomie reste néanmoins géocentrique, car la physique de l'époque ne permettait pas de faire tourner la Terre sur elle-même, ni de lui donner un mouvement de trans-

lation. Toutefois, Ibn al-Châtîr arrive à un système géocentrique presque parfait, avec une explication de tous les mouvements célestes à l'aide de mouvements circulaires rigoureusement uniformes et la possibilité de construire des tables de positions d'astres avec une très bonne exactitude. Ces tables calculées à la fin du xiv^e siècle à Damas, ont été recopiées dans différentes bibliothèques et ont servi dans beaucoup de mosquées jusqu'au xix^e siècle.

Le modèle de Copernic pour la première anomalie, comme le souligne l'historien Noël Swerdlow éditeur du *Commentariolus* de Copernic, semble être tributaire d'une transmission venant de l'Ouest d'une description de la théorie planétaire d'Ibn al-Châtîr. Le premier à constater cette similitude entre les textes d'Ibn al-Châtîr et ceux de Copernic est le professeur Hartner qui, en 1964, a publié un article montrant que les figures de Copernic étaient similaires à celles d'Ibn al-Châtîr, et que même les lettres des figures étaient identiques. Copernic révolutionna l'astronomie en déplaçant d'un coup de génie le problème de la Terre au Soleil en mettant la Terre en mouvement avec les bases des mathématiques de l'école d'astronomie arabe. Nous ignorons aujourd'hui de quelle manière cette influence a pu s'exercer.

Ainsi, les innovations théoriques des astronomes de Marâghâ, ou celles d'Ibn al-Châtîr, constituèrent de brillantes et ingénieuses tentatives pour rectifier les conceptions et les modèles hellénistiques.

La grande importance qui sera accordée au rapport entre théorie et observation conduira à la création de grands observatoires avec un programme d'observations continues, à partir des deux premiers à Bagdad et à Damas, et à l'évolution de modèles géométriques rendant de mieux en mieux compte du mouvement des astres dans un cadre géo-centrique. La mathématisation de l'astronomie sera fortement développée, parallèlement aux brillantes découvertes des diverses disciplines mathématiques arabes, et ce sera les bases du développement scientifique de toute l'école orientale de l'astronomie arabe. Il sera mis également en rapport l'astronomie mathématique et l'astronomie physique.



Le développement de l'optique

L'optique arabe avait comme source les travaux des mathématiciens Euclide, Ptolémée, Archimède, Anthémius de Tralle, les traités médiévaux de Galien, d'Aristote et ses commentateurs. Là encore, les principaux textes avaient été traduits avant la fin du IX^e siècle.

L'optique antique et médiévale se ramenait principalement à une théorie de la vision. Les mathématiciens arabes et les disciples de Galien pensaient que la vision s'effectuait au moyen d'un rayon émis par l'œil en direction de l'objet, lequel rayon, soit en frappant l'objet, soit en exerçant une pression sur l'air qui l'entourait, en transmettait au cerveau une impression.

Al-Kindi (mort en 866), avait déjà composé deux traités, dont l'un, le *De Aspectibus*, ne nous est parvenu que dans sa traduction latine. Cependant, c'est Ibn al-Haytham qui révolutionna l'optique ainsi que la méthode scientifique en général. Avec lui, en effet, une théorie correcte de la vision devait nécessairement combiner l'approche mathématique et l'approche expérimentale. Il commence par rejeter la doctrine du rayon visuel et éliminer l'hypothèse d'un cône de rayons rectilignes émis par l'œil. Par conséquent, c'est dans son œuvre majeure sur l'*Optique* qu'il présente sa nouvelle théorie de la vision qui est plus ample et plus élaborée que toutes les autres avant elle.

Pour lui, la lumière et la couleur sont deux propriétés physiques existant indépendamment l'une de l'autre, ainsi que du sujet qui les perçoit. Il pose sous une forme définitive, dans la limite de l'optique géométrique, le principe de la propagation rectiligne de la lumière nommée par l'auteur « *propagation sphérique dans toutes les directions, de tous les points de l'objet visible* ». Se basant sur les données anatomiques à propos de la structure géométrique de l'œil, il montre comment une entité (la forme aristotélicienne) capable de représenter les traits visibles de l'objet, se manifeste d'abord dans l'œil, d'où elle est transmise au cerveau et ap-

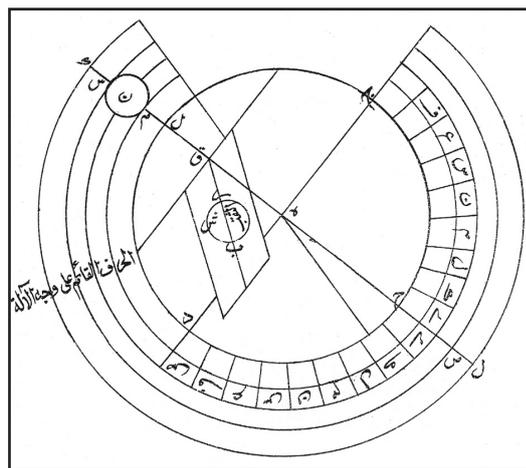


Schéma d'un appareil de mesure de la réfraction d'Ibn al-Haytham.

préhendue par la faculté sensorielle. Cette entité n'est pas une image qui pourrait être vue en tant que telle dans une partie quelconque de l'œil, bien qu'elle soit le moyen par lequel s'élabore une image de l'objet qui est proposée à la faculté sensorielle. Le jugement apparemment immédiat en ce qui concerne la perception de la taille, de la forme et de la distance d'un objet, résulte, selon Ibn al-Haytham, d'une inférence, à partir du matériel visuel, reçue dans le cerveau et de l'information emmagasinée par l'expérience. Ibn al-Haytham ne se contente pas de soutenir l'hypothèse de l'intromission et de la traiter d'un simple point de vue mathématique, il incorpore cette hypothèse dans une théorie de la perception hautement élaborée à laquelle les historiens n'ont pas encore accordé suffisamment d'attention.

C'est au moyen d'expériences qui caractérisent tout l'ouvrage qu'Ibn al-Haytham cherche à établir les propriétés de la lumière telles que la propagation rectiligne, la réflexion et la réfraction. Le concept de vérification, déjà relevé en astronomie, apparaît ici clairement comme concept spécifique de la preuve expérimentale. Ibn al-Haytham définit correctement le concept de rayon, et l'indépendance des rayons dans un faisceau lumineux. Il établit aussi sous sa forme générale la loi de la réflexion, en montrant à la différence d'Euclide et de Ptolémée, que le rayon incident et le rayon réfléchi se trouvent dans un même plan, perpendiculairement au miroir. Puis, il vérifie expérimentalement cette loi et s'efforce de déterminer le plan tangent pour les miroirs sphériques, cylindriques, coniques,

aigus, coniques obtus, ainsi que les positions respectives de l'image dans chaque cas.

Ibn al-Haytham, comme Héron et Ptolémée, fait appel à des considérations d'ordre mécanique pour expliquer la réflexion. Dans son mouvement (la lumière) lors de la réflexion, Ibn al-Haytham distingue deux composantes : l'une, parallèle au plan du miroir, n'est pas modifiée par la résistance de celui-ci ; l'autre, perpendiculaire, ne peut pénétrer et s'inverse lors de la réflexion. L'utilisation d'une telle décomposition indique le niveau atteint par Ibn al-Haytham dans ce domaine ; Descartes ne la réintroduira que six siècles plus tard en Occident.

Ibn al-Haytham n'était pas non plus trop loin de la formulation de la loi de la réfraction, lorsqu'il démontre que le rayon incident, la normale au point de réfraction et le rayon réfracté, sont dans un même plan, à quoi il ajoute certaines règles essentielles de la réfraction. C'est ce que nous appelons aujourd'hui la première loi de Descartes. C'est d'une manière analogue qu'Ibn al-Haytham procède à l'étude de la réfraction. Au lieu d'un obstacle solide comme pour l'étude de la réflexion, il utilise une surface mince. L'expérience consiste à lancer une balle solide contre un obstacle à deux reprises à partir de la même distance et avec la même force. La première fois suivant la normale à la surface et une deuxième fois obliquement. On constate là aussi que le mouvement se décompose en deux composantes, comme dans le cas précédent sur la réflexion, l'une tangentielle et l'autre normale, cette dernière étant seule affectée par le choc sur la surface. Ce mode de raisonnement qui

centre l'attention sur la notion de la voie la plus aisée pour traduire le mouvement de la lumière (principe de finalité de la nature déjà affirmé par l'Antiquité) n'est pas nouveau, ce qui semble nouveau ici, c'est le fait qu'il traduit la correspondance entre mathématique et physique par des notions mécanistes et finalistes. Cette mathématisation permet le transfert de ces nouvelles notions dans une situation expérimentale.

Signalons qu'Ibn al-Haytham est passé à côté de la découverte de la loi de réfraction dite loi de Snell. Celui-ci, bien que doué d'une grande intuition physique, n'a pas su apercevoir les perspectives offertes par les recherches d'Ibn Sahl (mathématicien de la seconde moitié du x^e siècle) et ses propres modèles pourtant très avancés pour l'époque. Au lieu de tenir compte de cette loi pourtant présente dès le x^e siècle dans les travaux d'Ibn Sahl, il est resté attaché aux considérations des rapports entre les angles. C'est en étudiant le 5^e livre de l'*Optique* de Ptolémée, qu'Ibn Sahl s'est interrogé sur l'embrassement par réfraction. Il a énoncé cette loi dans son traité sur les miroirs ardents, écrit vers 984, dans lequel apparaît pour la première fois la théorie géométrique des lentilles. Ibn Sahl savait que le rayon incident et le rayon réfracté sont dans un plan contenant la normale, et se trouvent de part et d'autre de celle-ci. Il connaissait de même la loi du retour inverse, et à cela il a ajouté la loi de Snell découverte par lui. Ainsi, l'étude de la réfraction et la découverte de la loi de Snell remontent en fait au x^e siècle.

Parmi les dispositifs employés par Ibn al-Haytham lors de ses études expérimentales figurent les « chambres noires ». D'autres textes d'Ibn al-Haytham prouvent cependant qu'il avait une connaissance non négligeable de la camera. Son traité sur la *Forme de l'éclipse* contient une tentative d'explication de l'image en croissant projetée par le Soleil en éclipse partielle à travers une petite ouverture circulaire. Son étude expérimentale sur ce phénomène, à laquelle les astronomes se sont intéressés pendant des siècles, repose sur deux principes. Le premier formulait que la lumière de tous les points du croissant lumineux traversait chaque point de l'ouver-

ture circulaire, inscrivant ainsi, sur l'écran opposé à l'orifice, une infinité d'images inversées du croissant. Le second principe formulait que la lumière émanant de chaque point du croissant solaire sous la forme d'un cône déterminé par la dimension et la distance de l'ouverture inscrivant sur l'écran une image circulaire. Pour Ibn al-Haytham, l'image observée résultait de la combinaison des images produites conformément à ces deux principes. Il semble que les auteurs latins médiévaux n'ont pas eu connaissance du traité où figuraient ces énoncés. En effet, ce traité se trouve en appendice ajouté au *Tanqîh al-Manâzir li-dhawî 'l-absâr wa 'l-basâ'ir* qui est un commentaire de l'*Optique* d'Ibn al-Haytham écrit par son successeur Kamâl al-Dîn Al-Fârisî déjà cité. Cet ouvrage a été identifié en 1876 par Wiedemann.

C'est cependant dans le domaine de l'optique que le concept de l'expérimentation apparaît en tant que méthode identifiable de recherche empirique. En prenant son assise dans le cadre des travaux géométriques d'Ibn al-Haytham de la sphère ardente, et en faisant intervenir les mathématiques dans une situation expérimentale où une sphère en verre remplie joue le rôle d'un prisme, Kamâl al-Dîn Al-Fârisî a mis en évidence le phénomène de la dispersion chromatique dans sa théorie de l'arc-en-ciel. Il donna ainsi un remarquable exemple de recherche expérimentale et les mesures quantitatives données dans cette étude de la sphère transparente, méritent une mention toute particulière : elles constituent probablement, de toute la science expérimentale arabe, le chapitre le plus proche de la science expérimentale moderne, car la théorie qu'il développe n'est pas très différente de celle que donnèrent Descartes et Newton trois siècles plus tard en Occident.

On peut dire que, du xii^e au xvii^e siècle, l'influence de cette œuvre révolutionnaire que constitue l'*Optique* d'Ibn al-Haytham fut sans discontinuation la source la plus importante des connaissances en optique dans la civilisation latine, grâce à sa traduction en 1572 par Frederico Risner sous le titre *Opticae Theaurus Alhazenis Arabis*.

L'histoire de la science expérimentale dans la science arabe, comme le montrent les recherches

en optique, se caractérise ainsi par des activités créatrices, qui sont considérées aujourd'hui sans aucune exagération comme très proches des recherches modernes.

Si nous avons évoqué ces disciplines suscitées par l'Empire musulman, comme sciences, mais aussi comme indissociables d'une langue et d'une société de savants, c'est parce qu'elles ne sont pas seulement importantes en elles-mêmes : elles sont également essentielles par tout ce qu'elles ont rendu possible, et en particulier le développement des sciences exactes. Tout cela fut à l'origine d'une activité scientifique propre à ce nouvel empire, mais qui fut aussi essentiel à tout ce mouvement de reconquête et de développement de l'héritage scientifique de l'Antiquité hellénistique ; héritage qui, rappelons-le, fut reçu puis profondément modifié et développé par les savants arabes. C'est cette attitude critique, mieux encore cette liberté novatrice des savants arabes, à l'égard de cet héritage scientifique qui est aujourd'hui méconnue, et que les recherches actuelles en histoire des sciences essaient de souligner.

■

Références

G. Sarton, *Ancient Science and Modern Civilization*, University of Nebraska Press, 1954.

G. Sarton, *The Translation of the Optics of Ibn al-Haytham*, «Isis» XXIX, 1938, pp. 403-406.

De Lacy O'Leary, *How Greek Science passed to the Arabs*, Routledge and Kegan Paul, 1980.

R. Rashed (ed), *Encyclopedia for the History of Arabic Science*, London, Routledge, 1996, 3 vol.

R. Rashed, *Entre arithmétique et algèbre, recherches sur l'histoire des mathématiques arabes*, Paris, Les Belles Lettres, 1984.

R. Rashed, *A pioneer in Anacastics Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses*, Isis. 1990. pp. 464-491.

G. Saliba, *A History of Arabic Astronomy, Planetary theories during the Golden Age of Islam*, New York et Londres, New York University Press, 1994.

K. Megri, *L'Optique de Kamâl al-Dîn al-Fârisî*, Ed. Septentrion Presses universitaires de Lille, mars 1998.

A.P. Youschkevitch, *Les mathématiques arabes (viii^e-xv^e siècles)*, Paris, Vrin, 1976.

Ahmed Djebbar, *Une histoire de la science arabe*. Paris, Edition du Seuil, 2001.