

# L'HISTOIRE OUBLIEE

Régis Morelon

**Du IX<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle de notre ère, va s'installer en Orient une lignée florissante... De Bagdad à Marâgha, les astronomes arabes n'auront de cesse d'améliorer l'œuvre de Ptolémée, dont ils sont les héritiers directs, et d'établir pour la première fois un lien explicite entre théorie et observation. Véritables chaînons manquants de l'histoire du ciel, ils rayonneront bien au-delà de leur sphère d'influence et jetteront les bases de la future astronomie.**

On ne peut situer le développement de l'astronomie arabe sans rappeler tout d'abord brièvement l'œuvre de Ptolémée qui lui a servi de base. Cet auteur de langue grecque a fait la synthèse, au II<sup>e</sup> siècle de notre ère, des travaux de tous ses prédécesseurs en les affinant et en proposant ses propres solutions aux problèmes en suspens. Il représente le couronnement de "l'astronomie hellénistique" dont le développement s'était produit à partir du III<sup>e</sup> siècle avant notre ère. Ses deux œuvres principales sont l'Almageste et le Livre des hypothèses.

L'Almageste ou Grande composition mathématique est un ouvrage en treize livres, très important à tous les sens du terme. Le mot "mathématique" ne se trouve pas par hasard dans le titre de l'ouvrage, car Ptolémée établit et détaille les procédés géométriques capables de rendre compte des phénomènes observés, sur la base de deux postulats déjà posés par Platon plus de cinq siècles auparavant ; d'une part la Terre est stable au centre du monde et, d'autre part, les mouvements célestes ne peuvent être composés que de mouvements circulaires uniformes, seuls capables, selon lui, par leur perfection, d'expliquer la permanence de l'état du ciel et les retours périodiques.

Ptolémée n'aura pas de véritable successeur en langue grecque. Entre la fin du II<sup>e</sup> siècle de notre ère et le début du IX<sup>e</sup> siècle, on ne peut relever autour de la Méditerranée que neuf observations astronomiques précises. Aucun travail vraiment original ne sera produit dans ce domaine pendant ce laps de temps, les seules œuvres transmises étant surtout des commentaires de Ptolémée. Le travail scientifique recommencera, mais cette fois en langue arabe, à partir du IX<sup>e</sup> siècle.

L'histoire de l'astronomie arabe peut se diviser grossièrement en deux grandes périodes : du IX<sup>e</sup> au XI<sup>e</sup> siècle, le travail s'effectuera dans le cadre des schémas géométriques hérités de Ptolémée, retravaillés et critiqués sur la base de nouvelles observations, ce qui les fera progressivement apparaître inadéquats, et conduira, à partir du XII<sup>e</sup> siècle, à la recherche de nouveaux modèles, toujours géocentriques mais non ptoléméens.

À la fin du VIII<sup>e</sup> siècle, une activité d'astronomie scientifique a déjà commencé à Bagdad avec l'introduction de textes scientifiques de tradition indienne. Mais c'est sous l'impulsion du calife al-Ma'mûn (qui règne à Bagdad de 813 à 833) que le grand mouvement de recherche scientifique démarre véritablement en langue arabe. Pour l'astronomie, deux observatoires sont créés, l'un installé à Bagdad, l'autre Damas ; nombre de textes grecs sont traduits et l'Almageste de Ptolémée devient très rapidement la base principale de travail des astronomes, dans la mesure où ses fondements théoriques sont beaucoup plus développés que dans les textes indiens visant essentiellement, grâce au calcul pur, à établir des tables astronomiques.

Dans le contexte socio-religieux de l'époque, et pour l'organisation d'un grand empire, des problèmes spécifiques d'ordre pratique sont posés aux scientifiques de l'époque. Les astronomes ont pour leur part à résoudre des questions concernant la direction de la prière (qibla), les heures de la journée, les calendriers, la date d'apparition du premier croissant lunaire pour le début du mois de l'hégire, etc. L'émergence de tous ces problèmes pratiques a un certain nombre de conséquences : une instrumentation appropriée, astrolabes, sphères armillaires, cadrans solaires, etc., se développe et se répand. On rédige des traités sur les positions d'étoiles et les descriptions de constellations, pour l'orientation en mer ou sur terre, ainsi que les traités théoriques allant beaucoup plus loin que les questions posées, sur la gnomonique théorique, ou la visibilité des astres au crépuscule. Mais, en dehors de ce que l'on peut ainsi appeler l'astronomie pratique, les



développements les plus importants se produisent sans conteste dans le domaine de l'astronomie purement théorique.

Une fois les textes de Ptolémée traduits en arabe et mis à la disposition des savants - à partir de 827 probablement -, leurs tables et schémas de calcul sont utilisés pour calculer les positions des astres, et les résultats sont confrontés à ceux des nombreuses observations récentes enregistrées à Damas et à Bagdad. L'inévitable décalage ainsi constaté entre le calcul et la réalité, après quelque sept siècles écoulés, incite les astronomes à recalculer les paramètres des modèles ptoléméens et à dresser de nouvelles tables, ce qui est accompli autour de 835 dans la "table vérifiée" (al-zij al-mumtahan), texte qui ne nous est pas parvenu mais dont il reste des traces dans beaucoup d'œuvres postérieures. Avant 850, est également rédigé le *Traité sur l'année solaire anonyme*, qui critique violemment le modèle ptoléméen du Soleil, reconstruit un autre modèle en utilisant cependant le raisonnement géométrique de Ptolémée, et trouve une nouvelle valeur pour la longueur de l'année solaire beaucoup plus exacte que celle de l'Almageste.

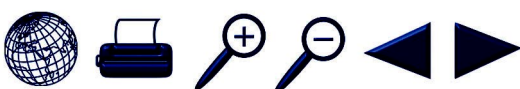
Parallèlement à ce travail sur les paramètres, lié aux observations, les astronomes mènent aussi depuis le début une recherche purement théorique sur les modèles eux-mêmes et sur les méthodes de calcul. C'est ainsi qu'autour de 840, Habash développe, pour les calculs d'astronomie, la trigonométrie, en utilisant le sinus et le cosinus d'origine indienne et en introduisant la tangente, pour remplacer les lourds calculs de Ptolémée à l'aide de cordes d'arcs. Thâbit b. Qurra (824 - 901), qui est surtout mathématicien, reprend quant à lui les schémas des planètes pour les étudier de façon purement géométrique, ce qui le conduit à faire la première analyse mathématique d'un mouvement accéléré, visant à réduire la part d'empirisme dans les raisonnements d'astronomie et à les rendre ainsi plus "scientifiques".

Le travail va se produire dans le même sens pendant plus de deux siècles, avec de très savants tels qu'al-Battâni ou al-Bîrûnî, qui affinent les méthodes de raisonnement et accumulent les observations pour les confronter aux résultats théoriques, tout en restant dans le cadre des schémas géométriques hérités de l'Almageste. Mais ceux-ci sont critiqués de plus en plus fortement et, au XI<sup>e</sup> siècle, Ibn al-Haytham (965-1031) fait un bilan synthétique du dossier accumulé contre Ptolémée dans son ouvrage *Doutes sur Ptolémée*. Il y dresse un catalogue de toutes les incohérences, non encore résolues, qui émaillent l'Almageste et le *Livre des hypothèses*, sans toutefois proposer de solution. Ses critiques portent sur la variation de diamètre apparent des astres, sur l'impossibilité d'admettre certains systèmes contredisant l'uniformité du mouvement circulaire, sur l'incompatibilité de certains mouvements en particulier pour l'explication de la latitude des planètes, et sur la difficulté insoluble de l'organisation des sphères proposée dans le *Livre des hypothèses*.

Cette critique conduit à une impasse provisoire, car il ne peut y avoir de solution qu'en dehors du cadre dans lequel l'astronomie est jusque-là restée enfermée. Deux approches très différentes vont alors être proposées, l'une en Occident musulman, l'autre en Orient. En Andalousie, la réponse repose sur une base aristotélicienne : abandonner les épicycles et des excentriques pour en revenir aux sphères homocentriques beaucoup plus cohérentes d'un point de vue "physique". Le représentant le plus caractéristique de cette école est al-Bîtrûjî, à la fin du XII<sup>e</sup> siècle, mais ses bases resteront presque exclusivement philosophiques : il sera impossible de faire un calcul à partir de ses conclusions ou de vérifier celles-ci par des observations chiffrées. Cette voie aboutira elle aussi à une impasse, même si la démarche philosophique sous-jacente reste intéressante. En Orient, en revanche, la réponse sera d'ordre scientifique et ouvrira la deuxième grande ère de l'astronomie arabe.

Si l'on tente de faire le bilan de la première période, on voit que depuis ses tout débuts avec l'école de Bagdad, l'astronomie scientifique a pris une orientation très précise qui représente une nette amélioration par rapport à son modèle hellénistique. On peut percevoir les progrès sur trois points : d'abord dans le développement des observatoires et dans le rapport très explicite entre théorie et observation, alors que ce même rapport se retrouve implicitement seulement chez Ptolémée. Celui-ci avait composé son "système" sur une centaine d'observations, dont un peu plus de la moitié lui était due. Dès la création des observatoires de Damas et Bagdad vers 827, un programme précis d'observations a été mis en place et à Damas, 828 fut une année d'observation continue du Soleil et de la Lune. Les astronomes arabes ont donc eu très vite à leur disposition un ensemble d'observations "fraîches" beaucoup plus important que celui dont avait pu disposer Ptolémée, et beaucoup de traités d'astronomie de la langue arabe commencent par une évaluation critique des observations sur lesquelles peuvent être fondés les raisonnements théoriques.

Deuxième amélioration : la "mathématisation" de l'astronomie. Dès le début, d'une part les modèles géométriques proposés par Ptolémée ont été traités comme tels et, d'autre part, le développement de la



trigonométrie sphérique a permis des calculs beaucoup plus précis. Le traitement géométrique des modèles ptoléméens a conduit les astronomes, dès Thâbit b. Qurra au IX<sup>e</sup> siècle, à faire les premières études concernant le rapport entre vitesse apparente et vitesse moyenne d'un astre. C'est al-Bîrûnî, au XI<sup>e</sup> siècle, qui avancera le plus loin dans cette voie, en appliquant aux calculs d'astronomie tous les résultats du développement des mathématiques, en particulier l'algèbre. La trigonométrie, tout d'abord considérée comme une science auxiliaire de l'astronomie, deviendra petit à petit une discipline autonome, pour gagner définitivement ses lettres de noblesse au XIII<sup>e</sup> siècle.

Enfin, la troisième amélioration réside dans l'explication du rapport conflictuel existant entre "astronomie mathématique" et "astronomie physique", deux approches qui peuvent être clairement perçues par la différence de tonalité entre les deux ouvrages principaux de Ptolémée. La recherche de modèles paramétrés permettant de calculer des tables de position d'astres de façon purement théorique, perceptible dans l'Almageste, et l'essai de représentation sensible de l'Univers en fonction de principes "physiques", effectué dans le Livre des hypothèses, se critiquent l'un l'autre, et c'est dans cette critique réciproque que se trouve l'un des moteurs du progrès en astronomie ancienne. Les premières mises en cause de Ptolémée à Bagdad ont joué sur le manque de coïncidence entre sa théorie et les résultats récents d'observation, mais elles ont porté également sur la compatibilité entre des mouvements célestes proposés par des modèles purement théoriques et leur représentation sensible dans des corps précis. Ce qui va conduire les astronomes de la seconde période à chercher des modèles mathématiques capables aussi de rendre compte "physiquement", dans le détail, de la constitution de l'Univers, dans le cadre du géocentrisme.

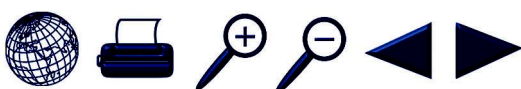
La tradition d'astronomie arabe orientale est donc axée sur les observations, et c'est dans ce sens qu'une solution va être cherchée. Il faut attendre le milieu du XIII<sup>e</sup> siècle pour que soit construit à Marâgha, au nord-ouest de l'Iran actuel, un observatoire beaucoup plus important que les précédents et explicitement destiné à fournir des observations précises en vue d'établir de nouveaux modèles planétaires. Son programme d'observations suivies doit idéalement couvrir 30 ans, car la planète la plus éloignée alors connue, Saturne, a un temps de rotation complète de 29 ans et demi. Marâgha est le premier de son type et deviendra le modèle des grands observatoires construits par la suite : Samarqand au XV<sup>e</sup> siècle, Istanbul au début du XVI<sup>e</sup> siècle et Tycho Brahé à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle. Dans tous ceux-ci, qui sont antérieurs à l'introduction des lunettes et des télescopes, existe une parenté frappante entre les instruments, les premiers ayant été créés ou perfectionnés par Marâgha. Une tradition qui aboutira à l'observatoire de Jaïpur en Inde, fondé par Jai Singh au XVIII<sup>e</sup> siècle, dernier survivant de cette lignée.

Le maître d'œuvre de la construction de l'observatoire est Nasîr al-Dîn al-Tûsî (1201-1274) et son contemporain al-Urdî se charge de concevoir les instruments de grande taille capables de répondre au programme prescrit. L'école ainsi constituée autour de Marâgha durera jusque vers la fin du XIV<sup>e</sup> siècle, et c'est Ibn al-Shâtîr (mort en 1372) qui en assurera le couronnement.

Les nouveaux modèles planétaires mis soigneusement au point ne sont plus ptoléméens, mais restent géocentriques, car la physique de l'époque ne permet pas de mettre la Terre en mouvement. Il s'agit toujours de composition de mouvements circulaires destinés à rendre compte du déplacement des planètes, mais le résultat en est beaucoup plus précis et cohérent que dans l'Almageste, et l'uniformité du mouvement est strictement respectée.

Ainsi le modèle appelé "couple d'al-Tûsî", créé par Nasîr al-Dîn, utilise-t-il un petit cercle qui tourne sans glissement à l'intérieur d'un cercle de rayon double du premier. Chaque point du petit cercle se déplace de façon rectiligne sur un diamètre du grand cercle. Ce procédé génial est intégré dans un modèle planétaire chaque fois qu'il y a un problème de distance à la Terre de l'astre en question : cette composition de deux mouvements circulaires uniformes peut faire coïncider un système théorique avec un résultat d'observation, en particulier lorsque est constaté un mouvement d'oscillation, impossible à représenter l'aide des modèles purement ptoléméens.

De même, Ibn al-Shâtîr propose-t-il pour la Lune un modèle où, sur un grand cercle centré sur la Terre, le "déférent", se déplace un premier petit cercle, le "premier épicycle" sur lequel se déplace à son tour un "second épicycle" qui porte la Lune. Ce modèle est beaucoup plus simple que celui de Ptolémée et sa coïncidence avec les résultats de l'observation est bien meilleure. Il permet en particulier de rendre compte de façon correcte à la fois du mouvement de la Lune en longitude et de l'Almageste véritable variation de son diamètre apparent.



Les astronomes de l'observatoire de Marâgha arrivent ainsi, paradoxalement, à remplir le programme de Ptolémée bien mieux que lui-même n'avait su le faire, et le système d'Ibn- al-Shâtir, étant donné les conditions d'observation de l'époque, rend parfaitement compte du mouvement des astres, dans un cadre géocentrique, à l'aide de compositions de mouvements circulaires rigoureusement uniformes. Pour aller plus loin, il faudra changer le centre du monde et renouveler la "physique" céleste et terrestre.

Ce n'est que deux siècles plus tard environ que s'accomplira la première partie de ce changement, en Occident, grâce à Copernic, qui est à la fois le dernier représentant de l'astronomie ancienne - car il gardera les mouvements circulaires uniformes sans transformation de la physique ancienne - et le premier représentant de l'astronomie moderne - car il placera le Soleil au centre du monde tout en mettant la Terre en mouvement. Reste que, lorsque l'on considère les modèles présentés par Copernic et ses compositions de mouvements circulaires, en partie centrés sur le Soleil, on retrouve rigoureusement certains mécanismes créés par les astronomes de Marâgha, en particulier le "couple d'al-Tûsî" et le modèle de la Lune d'Ibn al-Shâtir, repris absolument tels quels.

Comment cet héritage a-t-il pu se transmettre ? Nul ne le sait exactement mais il atteste en tout cas des échanges intellectuels qui existèrent pendant longtemps encore autour de la Méditerranée et dont nous avons aujourd'hui perdu la trace.

