Roshdi Rashed

Initiation à sa pensée
et son œuvre

Centre culturel du livre
Édition / Distribution
6, rue du Tigre. Casablanca
Tél : +212522810406
Fax : +212522810407
markazkitab@gmail.com
Première édition 2020
Dépôt légal: 2020MO5419
ISBN: 978-9920-627-76-4

King Faisal PRIZE

INSTITUT DU MONDE ARABE

معهد العالم العربي

كرسي المعهد

Roshdi Rashed

Initiation à sa pensée et son œuvre

Hossein Masoumi HAMEDANI

CENTRE CULTUREL DU LIVRE
Édition & Distribution

Table des matières

Introduction

Cet ouvrage s'inscrit dans le cadre d'un ambitieux projet culturel initié et mis en œuvre par deux institutions culturelles de renommée, le Prix du Roi Fayçal à Riyad et l'Institut du Monde Arabe à Paris, représenté par la Chaire de l'Institut.

Ce projet se donne pour objectif de faire connaitre auprès du grand public une centaine de chercheurs et universitaires arabes et français qui se sont distingués par leurs considérables efforts destinés à la promotion des différentes formes de dialogue constructif et interactif entre les deux rives de la Méditerranée au cours des deux derniers siècles.

Il s'agit d'un authentique hommage que nous tentons de rendre à cette communauté scientifique, aux œuvres exceptionnelles de ces médiateurs culturels, ainsi qu'à leurs vies respectives entièrement dédiées au progrès du savoir, marquant ainsi leur époque par l'innovation et perpétuant une tradition scientifique et humaniste visant notamment la compréhension mutuelle, l'entente et la coopération entre les hommes.

Le choix de soixante personnalités arabes et de quarante personnalités françaises est le fruit d'une réflexion raisonnée et ciblée menée durant plusieurs mois par un comité scientifique commun soucieux de réunir et présenter une palette de personnalités qui soient, autant que possible, représentatives de chaque discipline et courants de pensée à travers les différentes époques.

Cette liste est loin d'être exhaustive, toutefois, une sélection s'impose malgré le risque ô combien regrettable de sacrifier quelques écrivains, qui ont sans doute le mérite de faire partie de cette pléiade, par milliers. Consolons-nous néanmoins de vous présenter cette belle constellation d'auteurs, et d'initier cette voie qui sera, nous l'espérons, empruntée et poursuivie par d'autres acteurs.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude aux auteurs qui ont cru en cette initiative et ont participé à sa réalisation. Nos plus sincères remerciements s'adressent également au Prince Khalid Al Fayçal, Président du Prix du Roi Fayçal, et à M. Jack Lang, Président de l'Institut du Monde Arabe, pour leur soutien et suivi continus de ce projet durant toutes ses étapes.

Mojeb Al Zahrani   Abdulaziz Alsebail

Avant-propos

Le colloque « Descartes et le Moyen Âge », tenu à la Sorbonne, du 4 au 7 juin 1996, à l'occasion du quatrième centenaire du grand mathématicien et philosophe français, fut inauguré par le discours de Roshdi Rashed intitulé « Al-Khayyām et Descartes ». La visée principale de ce discours, qui avait pour objet l'étude comparée de l'œuvre algébrique d'al-Khayyām et de la *Géométrie* de Descartes, n'était pas de chercher l'influence directe d'al-Khayyām sur le mathématicien français – même si une telle possibilité n'est pas *a priori* exclue, étant donné l'existence à l'époque d'un exemplaire du livre d'al-Khayyām dans les cercles orientalistes européens connus de Descartes. Ce que voulait montrer Rashed à travers cette étude était l'existence de rapports *conceptuels* entre le projet algébrique d'al-Khayyām et celui entamé dans la *Géométrie* de Descartes. Il voulait montrer que, sur le plan conceptuel, le projet de Descartes ne se situait dans la lignée directe ni de l'œuvre des algébristes italiens, ni des algébristes allemands, ni de ses prédécesseurs français comme Viète. Se placer d'emblée dans cette tradition-là, c'est, pour l'historien, risquer de mésinterpréter le bouleversement profond produit dans les mathématiques par l'œuvre de Descartes. Pour comprendre l'œuvre de Descartes dans le contexte conceptuel qui fut le sien, il fallait aller plus loin, remonter plus haut, et prendre connaissance des œuvres écrites en arabe environ six siècles plus tôt.

À la fin de la session, alors que l'on quittait le vénérable édifice, Rashed s'est adressé à moi et m'a dit : « vous ne pouvez pas imaginer combien il était difficile de parler d'al-Khayyām à côté de Descartes sous cette voûte il y a trente ans ». La voûte dont il parlait, c'était l'imposant amphithéâtre universitaire dont l'architecture rend hommage à plusieurs siècles d'activité scientifique en France, activité poursuivie au cours de grands bouleversements politiques et sociaux, et la courte remarque de Rashed me rappelait, d'une part, les difficultés qu'il avait rencontrées, au début de sa carrière, à réintroduire la recherche en science arabe dans les milieux scientifiques et universitaires français et, d'autre part, le chemin parcouru durant ces années, au bout duquel la France était devenue un centre important, voire le centre le plus important, de la recherche en histoire de la science arabe.

Au premier abord, la remarque pourrait paraître quelque peu paradoxale. N'est-il pas vrai que dans la recherche en histoire des sciences arabes, la France occupe, depuis le début, une place importante ? Pour se faire une idée du rôle primordial que la France a joué dans l'histoire de la science arabe, il suffit de passer en revue les noms de quelques-uns de chercheurs français du XIX^{e} siècle – Caussin de Perceval, Jean Baptiste Delambre, Jean-Jacques Sédillot, L.-A. Sédillot, etc. –, à qui l'on doit des contributions essentielles à la promotion de notre connaissance de cette science. Concernant al-Khayyām lui-même, c'est la France qui a accueilli, vers le milieu du XIX^{e} siècle, le savant allemand Franz Woepcke, lui permettant d'y découvrir le traité d'algèbre d'al-Khayyām et d'en présenter la première édition critique ainsi que la première analyse.

Rashed ne voulait donc pas dénigrer, par cette remarque, la contribution française à l'histoire de la science arabe. Bien au contraire, il voulait souligner certains obstacles, aussi bien historiques qu'épistémologiques, qui ont empêché cette recherche d'aboutir, en dépit de ses débuts prometteurs, à tous les résultats dont elle était grosse, obstacles tels qu'après une période fertile, elle ne fit plus de progrès essentiel ; nous y reviendrons plus en détail dans les chapitres suivants.

De même pour les recherches menées dans d'autres pays occidentaux. De fait, à quelques exceptions près, l'essentiel de la recherche sur l'histoire de la science arabe commença avec les savants européens ; or, après avoir abouti à des résultats importants, cette discipline semblait avoir perdu son élan initial. Tant et si bien que vers le milieu du XX^e^ siècle, l'activité des historiens, dans ce domaine, n'allait guère plus loin que découvrir de temps en temps un texte encore inconnu ou présenter une nouvelle analyse d'un résultat déjà découvert. Les chercheurs ne s'intéressaient souvent qu'aux résultats, ce qui donnait lieu à des débats sur la priorité des savants musulmans dans certains domaines. Ces débats se limitaient souvent aux résultats obtenus sous la forme d'une proposition mathématique, d'un modèle astronomique ou d'une méthode de calcul, sans prendre en considération le contexte théorique dans lequel ils avaient été obtenus. Cette activité éparse et discontinue trouvait parfois des échos dans des ouvrages de vulgarisation qui, en s'appuyant sur une lecture hâtive de la recherche accessible, ne donnaient de cette science qu'une représentation sommaire. Quant à sa place dans l'histoire de la science, la grande majorité des auteurs, qu'ils soient spécialistes ou vulgarisateurs, soulignaient qu'elle n'était qu'une simple annexe de la science grecque. De plus, la recherche en histoire de la science en civilisation islamique était la plupart du temps le fait des orientalistes, lesquels étaient aussi attentifs aux aspects linguistiques de cette science qu'imperméables à ses dimensions proprement scientifiques ou philosophiques.

Ce sur quoi tous les historiens semblaient être d'accord, c'était le rôle qu'avait joué la civilisation islamique dans la préservation d'une bonne partie de l'héritage scientifique grec et sa transmission à l'Occident médiéval. Quant aux apports propres de cette science, ils étaient souvent présentés comme des variations mineures sur les thèmes déjà établis par les Grecs.

Aussi bien en Occident que dans les pays musulmans, l'histoire de la science arabe était privée d'institutions propres, le professionnalisme y était presque absent et la majorité de ceux qui s'en occupaient étaient ou bien des érudits formés à l'école orientaliste, dont ils partageaient les préjugés fondamentaux, ou bien des spécialistes de différentes disciplines scientifiques qui traitaient, à côté de leurs préoccupations principales, de questions d'histoire. Ces derniers couraient souvent le risque de la « modernisation », à savoir de présenter une interprétation moderne, hors-contexte, d'une œuvre et, par conséquent, d'en exagérer ou dénigrer l'importance. Dans les cas où la compétence philologique et le savoir scientifique se trouvaient réunis dans la même personne, le résultat était satisfaisant. Or de tels cas étaient rares.

Le lien entre ces champs de recherche, tout à fait séparés en première vue, se justifie par une sorte de réaction à l'égard d'une certaine conception dans l'historiographie de la science, prédominante à l'époque, qui plaçait le début de la « science » dans la « révolution scientifique » du XVII^e^ siècle, et qui voyait dans l'activité scientifique polymorphe antérieure à ce grand siècle comme la « préhistoire » de la science. Au lieu de cette dichotomie « histoire/préhistoire », les recherches de Rashed sur les commencements de la mathématisation des sciences sociales en Occident l'amènent au concept des « doctrines informes », concept qu'il a élaboré dans sa thèse de doctorat ainsi que dans certains écrits méthodologiques. La question qui l'intéressait à cette étape de son travail était de savoir comment une doctrine informe se transforme, grâce à l'intervention des mathématiques, en une théorie scientifique. Quelles sont les caractéristiques de telles doctrines et comment une telle transformation se produit-elle ? C'est dans la continuité de sa recherche sur l'histoire des doctrines informes, et sur leurs caractéristiques, que Rashed s'intéresse à l'histoire de l'optique dans la civilisation islamique et, presque en même temps, à l'histoire de l'algèbre.

Ainsi commence une vie de chercheur qui va continuer jusqu'à aujourd'hui. Bien que Rashed écrive de temps en temps directement sur l'histoire des mathématiques européennes entre le XVI^e^ et le XVIII^e^ siècle – on lui doit par exemple la seule monographie écrite en français sur Fermat, une série de contributions fondamentales sur Descartes, des recherches sur l'histoire du calcul des probabilités –, l'importance indirecte du XVII^e^ siècle est bien plus considérable, dans son œuvre, que celle d'un simple objet d'étude : c'est dans ce siècle qu'il cherche un repère historique, c'est ce siècle qu'il essaie de démystifier en essayant de faire le tri entre ce qui y est vraiment nouveau et les nouveautés imaginaires, et enfin c'est ce siècle qui jouera un rôle primordial dans sa conception de la science classique ainsi que de sa nouvelle périodisation, différentielle, de l'histoire de la science.

Cet ouvrage se partage en six chapitres et un Épilogue.

Dans le premier chapitre, nous aborderons la vie de Roshdi Rashed en essayant de la situer dans son contexte historique. Nous évoquerons le milieu politique et intellectuel de l'Egypte des années quarante du XX^{e} siècle, où il a passé une partie de la période formative de sa vie, ainsi que de la France, telle qu'il la découvre dans les années cinquante et dans laquelle son projet de recherche prend forme

Le deuxième chapitre est consacré à la conception que Rashed se fait de l'histoire de la science. Cette conception sera expliquée à l'aide de quelques-uns de ses écrits traitant de l'historiographie de la science en général et de la science arabe en particulier. Nous allons montrer comment la doctrine développée par Rashed dans ces textes va à l'encontre de certaines tendances de l'historiographie de la science, tout en s'inscrivant dans la continuation d'une tradition qui remonte au XIX^{e} siècle.

Le concept de « science arabe », tel qu'il apparaît dans l'œuvre de Rashed, est l'objet du troisième chapitre. A travers une brève histoire de cette science, de son émergence et de son développement, nous évoquerons les traits spécifiques de ce concept ainsi que ce en quoi il se différencie des courants historiographiques dominants. Nous allons voir comment ce concept se constitue par contraste avec les conceptions traditionaliste, nationaliste, orientaliste et euro centriste. Cela exige, chez Rashed, une nouvelle périodisation de l'histoire de la science, dans laquelle la science arabe est partie intégrante de la science classique, et qui met en cause les concepts de « science européenne » et de « renaissance scientifique ».

Dans le cinquième chapitre, nous abordons les écrits de Rashed sur l'histoire de l'optique. Comme on l'a mentionné, au début de sa carrière d'historien de science, Rashed s'est penché sur l'histoire de l'optique arabe et surtout sur la figure d'Ibn al-Haytham. Les questions qu'il se pose à ce propos aboutissent à quelques articles sur Ibn al-Haytham et son successeur Kamāl al-Dīn al-Fārisī. L'approfondissement de ses recherches dans les années suivantes le conduit à l'histoire de l'optique avant Ibn al-Haytham, aussi bien en grec qu'en arabe. Pour expliciter le « projet » d'Ibn al-Haytham et en préciser la « condition de possibilité », Rashed s'est fixé un programme qui l'amène, à son tour, à la découverte de plusieurs textes optiques perdus en grec et dont on ne dispose que par le biais des traductions arabes. Outre son intérêt intrinsèque, la recherche de Rashed sur l'histoire de l'optique éclaire d'un nouveau jour les rapports historiques et conceptuels entre le développement de cette discipline et les mathématiques. Le rôle joué par l'expérience, aussi bien chez Ibn al-Haytham que chez ses prédécesseurs et successeurs, nous amènera à quelques réflexions sur le problème des débuts de la science expérimentale.

L'intense activité mathématique de la période classique de la civilisation islamique avait pour l'effet la transformation du champ de la philosophie des mathématiques. Cette transformation avait deux aspects. D'une part, face à la nouvelle situation créée par le développement des sciences mathématiques – l'émergence de nouvelles disciplines, la mise en avant de nouveaux problèmes ontologiques suite à la création de l'algèbre, l'effacement des barrières entre les disciplines mathématiques, les nouvelles applications des mathématiques à la résolution des problèmes encore irrésolus –, certains philosophes ont ressenti la nécessité de repenser les problèmes fondamentaux de cette discipline, voire même de leur propre discipline. D'autre part, les mathématiciens eux-mêmes, transgressant parfois les limites imposées par l'orthodoxie philosophique, ont contribué à la philosophie des mathématiques en y intégrant de nouveaux problèmes et de nouveaux acquis. Le sixième chapitre se propose donc de traiter de ces deux versants de la philosophie des mathématiques à travers une étude des écrits historiques, historiographiques et méthodologiques de Rashed.

Mes remerciements vont enfin à l'Institut du Monde Arabe, et très particulièrement à son Directeur Général le Dr. Mojeb Al Zahrani, pour leur collaboration, leur patience et leur compréhension.

Hossein MASOUMI HAMEDANI
Téhéran, octobre 2020

I
Esquisse d'une vie savante

Vue de l'extérieur, la vie d'un savant paraît souvent se dérouler sans événements majeurs. Néanmoins, comme toute vie se situe dans l'Histoire, cette dernière la marquera, qu'on le veuille ou non, par ses bouleversements. De telle sorte que, même si l'individu essaie d'en rester à l'écart, l'Histoire ne lui épargne jamais ses irruptions. Ainsi le turbulent siècle qui vient de s'achever a-t-il marqué la vie de tous ceux qu'il a enfantés, surtout s'ils sont nés et ont vécu dans le turbulent Moyen-Orient.

Roshdi Rashed est né au Caire en 1936, trois ans avant le début de la seconde guerre mondiale, au sein d'une famille savante ayant conservé de forts liens avec ses origines rurales. Les années trente et quarante sont des années marquantes dans l'histoire contemporaine de l'Egypte. Évoquons-les brièvement, pour la lumière qu'elles pourraient jeter sur la vie et l'œuvre de Rashed.

Commençons par remonter encore un peu le cours de l'Histoire. Dans la première moitié du XIX^{e} siècle, l'Egypte, formellement partie de l'empire ottoman, mais déjà pion dans le « grand jeu » qui se déroulait entre celui-ci et les puissances européennes, utilise, sous la direction de

Muḥammad ᶜAlī (1805-1848), cette situation quelque peu ambiguë pour entamer un mouvement national, accompagné d'un premier programme de modernisation du pays, y compris dans le domaine technologique et scientifique[1]. Bien que ce mouvement de réforme, ainsi que la tentative de mise en œuvre de la modernisation scientifique du pays qui allait de pair avec lui, sera brisé dans l'œuf à la suite de l'intervention de forces étrangères, sa mémoire restera toujours imprimée dans l'esprit d'un jeune garçon doué vivant au Caire dans les années 40 et la première moitié des années 50 du XXe siècle, d'autant plus que dans l'ambiance politique et sociale de l'Egypte de ces années, dans cette « situation contradictoire oscillant entre ultra-démocratie et dictature » (*Entretien* …, p. VI), le rôle que pouvaient jouer science et technique dans la réforme de la société s'imposait avec force dans les débats publics.

Quoi qu'il en soit, le fait que les années de formation de Rashed se soient passées dans une ambiance riche en importants événements politiques – une période démocratique marquée par l'intensification de l'activité des partis politiques et la reprise des débats sur la destinée aussi bien politique que culturelle du pays[2], suivie d'un coup d'état militaire mettant fin au régime royal, la nationalisation du

(1) Voir, Pascal Crozet, *Les sciences modernes en Egypte : Transfert et appropriation*, *1805-1902,* Paris, Geuthner, 2008, p. 26-84.

(2) Dans *L'avenir de la culture en Egypte* (*Mustaqbal al-thiqāfa fī Miṣr*), paru en 1938, Taha Hussein fait un bilan de l'état de la culture égyptienne à l'époque et de ses rapports avec son passé, aussi bien préislamique qu'islamique, et avec la culture européenne. L'optimisme qui règne sur tout cet ouvrage sera contredit, hélas !, par les évènements politiques qui se produiront ultérieurement.

Canal de Suez en 1956 et l'agression des force étrangères – eut sans doute son effet sur les choix essentiels de sa vie et sa carrière, même s'il ne cache pas ses désillusions devant la direction prise par les événements au cours des années suivantes.

En dépit de tous ces bouleversements politiques, l'Egypte des années cinquante bénéficiait toujours de la présence de savants de grande qualité. D'une part, les représentants de la vieille tradition lettrée, ceux qui excellaient dans la connaissance de la langue et de la littérature arabe, de l'exégèse coranique et de l'histoire, en somme les gens d'al-Azhar, continuaient leur enseignement traditionnel. D'autre part, une nouvelle génération, formée à la fois chez les grand maîtres du passé et dans les universités européennes, surtout à la Sorbonne, essayait d'introduire de nouveaux concepts et méthodes de recherche dans les milieux savants du pays.

La possibilité d'avoir une « formation solide » est l'une des caractéristiques de l'Egypte de l'époque sur laquelle Rashed insiste. Ainsi pouvait-il profiter, dès son jeune âge, de l'enseignement de Maḥmūd Shākir, « qui était alors le plus grand linguiste en Egypte » (*Entretien* …, p. VI), ainsi que de ses entretiens avec Taha Hussein, lequel était plutôt connu pour ses idées novatrices et dont le livre intitulé *Sur la poésie préislamique* (*Fī al-shi*ᶜ*r al-jāhilī*) avait fait sensation dans les années 20.

On ne sait pas grand-chose de la situation de l'histoire des sciences en Egypte à l'époque. Or, même si cette discipline n'existait pas encore sous une forme institutionnalisée, le fait que la première université moderne égyptienne ait été inaugurée, en 1909, par les conférences du savant italien Carlo Alfonso Nallino sur l'histoire de l'astronomie arabe(1), que Muṣṭafā Naẓīf ait publié son remarquable ouvrage sur Ibn al-Haytham(2) au début des années 40 et qu'un physicien de la qualité de cAlī Muṣṭafā Musharrafa se soit intéressé, à côté de ses activités principales, à l'histoire des sciences(3), sont autant de signes qu'un intérêt en histoire des sciences était « dans l'air », en tant que l'une des manifestations de l'éveil national sans doute. Le moins que l'on puisse dire, c'est que l'importance de cette discipline ne pouvait demeurer inaperçue d'un jeune homme qui fréquentait les milieux savants du Caire, même si ses intérêts étaient alors autres.

Ces enseignements extra-universitaires vont s'avérer très importants dans l'activité scientifique de Rashed, plus précisément pour ce qui concerne l'édition critique des textes, qui demande, entre autres, une connaissance approfondie de la langue et de son évolution. Plus important encore, l'ambiance intellectuelle de l'Egypte d'alors, le rapport dialectique entre la tradition et la modernité dans le fonctionnement d'un milieu scientifique ou dans la formation

---

(1) Le texte arabe de ces conférences fut publié en 1911 par l'auteur comme *cIlm al-falak ta'rīkhuhu cind al-cArab fi al-qurūn al-wusṭa* (*l'Astronomie, son histoire chez les Arabes au Moyen Âge*).

(2) Cette ouvrage, intitulé *Al-Ḥasan ibn al-Haytham, bohūthuhu wa kushūfuhu al-baṣariyya* (*Alhazen : ses recherche et ses découvertes en optique*) et publié en deux volumes en 1942, sera réimprimé en 2008 avec une introduction par Rashed.

(3) Ce célèbre physicien donne, en 1937, une édition de *l'Algèbre* d'al-Khwārizmī. Plus tard, Rashed lui consacrera un article : Roshdi Rashed, « Recherche scientifique et modernisation en Égypte. L'exemple de cAlī Muṣṭafā Musharafa (1898-1950). Étude d'un type idéal », in *Entre réforme sociale et mouvement national. Identité et modernisation en Égypte (1882-1962)*, sous la direction d'A. Roussillon. CEDEJ, Le Caire, 1995.

d’une personne, explique sans doute au moins en partie pourquoi Rashed revient toujours à la question de ce couple en histoire des sciences, étant bien entendu pour lui que ce rapport ne se réduit jamais à une pure opposition ou à une simple complémentarité.

Ces études extra-universitaires seront complétées par des études universitaires en philosophie, et puis, dès la deuxième année universitaire, en mathématiques. C’est avec ce triple bagage que Rashed quitte l’Egypte pour la France, à l’automne 1956, dans le but d’y poursuivre ses études.

Son départ coïncide à peu près avec la nationalisation du Canal de Suez qui provoque, à son tour, l’attaque des armées israélienne et occidentales contre l’Egypte. C’est dire si, dès son arrivée en France, il se trouve dans un milieu politiquement électrisé. Quelques décennies plus tard, il rappelle son sentiment mitigé à propos de l’ambiance générale de la France de l’époque :

> Sur le plan général, c’était une période excessivement difficile… C’était en pleine guerre coloniale, la guerre d’Algérie – nous sommes en 56 – avec un certain racisme ambiant … (*Entretien* …, p. VIII).

Pourtant,

> il existait … une gauche … il y avait un parti communiste important, une gauche chrétienne assez active, une gauche socialiste … tout cela pouvait aider à une certaine intégration, même si on laisse la politique de côté … Je dirais … qu’un jeune intellectuel venant d’où je venais, pouvait se sentir un peu chez soi (*Entretien* …, p. VIII).

La même ambivalence se voit dans ce qu’il raconte de la situation intellectuelle et universitaire de la France. Même si la Sorbonne n’était pas ce à quoi il s’attendait, on y trouvait toujours de bons enseignants, et ce qui manquait à l’université pouvait être compensé en fréquentant d’autres milieux scientifiques.

Il continue ses études à la Sorbonne sous la direction de George Canguilhem. A la fois philosophe et historien des sciences, ce dernier a formé toute une génération de philosophes et d’historiens des sciences qui ont marqué ces disciplines, en France et ailleurs. De ce qu’il doit à son maître, Rashed parle de la manière suivante :

> J’ai appris beaucoup de choses avec lui, sans aucun doute, en particulier cette pratique de l’histoire des sciences avec une dimension épistémologique, avec des exigences épistémologiques ; cela vient de lui et a trouvé un écho chez moi, sans aucun doute, sinon je n’aurais pas fait de l’histoire des sciences, cela va sans dire (*Entretien* …, p. IX).

En même temps, il continue ses études mathématiques en assistant aux cours donnés par de grands mathématiciens de l’époque, Cartan, Godement et autres, ce qui l’aide à élargir sa connaissance dans ce domaine, qui se limitait auparavant à l’analyse.

Sa thèse d’Etat l’amène également à l’étude de l’économie. Préparée sous la direction de Canguilhem, cette thèse traitait d’une question qui demandait une recherche à la fois philosophique et historique. Il s’agissait de l’étude des premières instances de la mathématisation des sciences sociales, ce qui mettait en avant plusieurs questions d'ordre épistémologique : la différence entre l'histoire et la préhistoire d'une science, le rôle de la mathématisation dans l'histoire des sciences, etc. Ce sont des questions auxquelles Rashed revient de temps en temps dans ses écrits, muni des résultats de ses propres recherches historiques.

C'est au cours de cette recherche qu'il se tourne vers l'histoire des sciences arabes, principalement afin de fournir des exemples concrets aux questions qui l'occupaient dans sa thèse :

> A la recherche des situations analogues, j'ai d'abord rencontré la mécanique … toujours en vue de répondre à la question que je me posais concernant cette mathématisation des doctrines informes …. C'est en travaillant la mécanique que je rencontrais des références aux auteurs arabes, mais, pour vous dire la vérité, cela ne m'intéressait pas beaucoup et, un jour, je me suis simplement tourné vers l'optique … (*Entretien* …, p. XII).

Or, ce qui paraissait au début un divertissement ne tarda pas à devenir sa préoccupation principale. Non pas qu'il ait laissé de côté les questions qu'il posait à ces textes, mais la richesse de ce qu'il constatait dans les textes arabes fut tellement inattendue qu'il s'est peu à peu plongé dans l'étude de la science arabe, en tant que source inépuisable de questions et de cas à étudier.

S'agit-il d'un simple accident de parcours ? Selon ce qu'il raconte lui-même, si son étude de l'histoire de l'optique à travers l'œuvre d'Ibn al-Haytham était tout-à-fait dans le cadre des problèmes qu'il se posait dans sa thèse, sa rencontre avec l'algèbre arabe, en revanche, surtout avec l'œuvre d'al-Samaw'al, fut le fruit d'un hasard :

> A la bibliothèque de Süleymaniye d'Istanbul, alors que j'attendais le manuscrit de l'optique d'Alhazen que j'avais demandé, je tombe par hasard sur la référence du livre d'algèbre d'al-Samaw'al, mathématicien du XII^e siècle, c'est tout : je le demande pour voir ce que c'est, je commence à lire et je n'en crois pas mes yeux … (*Entretien* …, p. XIII).

La manière dont cette anecdote est racontée laisse à penser qu'à l'époque, Rashed avait déjà une certaine idée de l'histoire de l'algèbre, plus ou moins partagée par tout le monde, et que cette rencontre heureuse mettait en question cette idée préconçue. Il continue :

> Selon ce que j'avais appris, ce que je lisais là était de l'algèbre du XVI^e, voire du XVII^e siècle … (*Entretien* …, p. XIII).

Bien que le tournant pris par les recherches de Rashed soit de plus en plus affirmé, il ne faudrait pas penser que le changement de cap se soit produit d'un seul coup. C'est sans doute l'irruption violente de l'Histoire dans sa vie, avec la guerre de 67 entre les pays arabes et Israël, qui l'a poussé à conférer une direction toujours plus historique à ses recherches. Néanmoins, pour un chercheur formé à la philosophie, les exigences du travail d'historien n'étaient pas du tout évidentes. Même si une grande partie de l'œuvre de Rashed consiste en l'édition critique de textes, cette décision lui fut imposée, si l'on peut dire, par la force des choses :

> …. Je n’estimais pas de tout qu’une chose comme ça était pour moi. Editer un texte ne m’intéressait nullement ; que veut dire éditer un texte dans une langue qui est votre langue maternelle ? et pourquoi le faire ? … N’oubliez pas que je venais de chez Canguilhem, où on ne s’intéressait nullement à l’édition critique, on ne savait même pas ce que c’était (*Entretien* …, p. XIII-XIV).

Quoi qu’il en soit, avec la découverte de l’ouvrage d’al-Samaw’al, avec tout ce qu’il y avait de nouveau, Rashed comprend que cette histoire mérite plus qu’un intérêt passager, ce qui le conduit à entreprendre une étude de presque tous les ouvrages algébriques produits en langue arabe. Cette tâche s’avéra très difficile, car la grande majorité de ces textes était inédite et ceux qui étaient publiés ne l’étaient guère de manière critique. La nécessité de disposer d’éditions critiques des textes lui montra l’importance de l’histoire textuelle, au côté de l’histoire conceptuelle, laquelle l’avait occupé jusque-là.

Ainsi commence une longue période de recherche, s’étendant de la fin des années 60 du XX^{e} siècle jusqu’à aujourd’hui, au cours de laquelle la recherche des manuscrits éparpillés aux quatre coins du monde et leur édition critique, conforme aux règles établies par Rashed lui-même, va de pair avec l’étude détaillée de ces textes, pour en ressaisir le contenu scientifique. Pour employer ses propres termes, l’œuvre de Rashed est une combinaison de l’historiographie conceptuelle et de l’historiographie textuelle, et par cela elle se distingue de l’historiographie des lettrés, pour qui la seule chose qui importe est l'aspect linguistique des textes, et de l'historiographie des scientifiques, laquelle se réduit souvent à présenter les résultats bruts des contributions anciennes dans un langage moderne.

Cela exige une formation continue, dans laquelle on est obligé de se mettre de temps en temps à l'étude de chapitres entiers des mathématiques modernes, pour saisir le sens d'un texte ancien, afin de ne pas tomber dans le piège des fausses comparaisons et, par conséquent, croire trouver des nouveautés là où il n'y en a pas, ou de ne pas les discerner là où elles sont dissimulées sous un autre langage.

C'est donc une vie d'aventure intellectuelle, dont le résultat est une œuvre énorme, aussi bien par son nombre de pages que par sa qualité scientifique. De cette œuvre, nous parlerons dans les chapitres à venir.

Le parcours que nous nous apprêtons à faire de l'œuvre de Rashed risque de donner de celui-ci l'image d'un savant reclus, submergé par ses livres, sans aucun souci de tout ce qui se passe en dehors de ses propres recherches. Loin de là ! Venant d'une région du monde où les institutions de recherche sont presque inexistantes, et où celles qui existent connaissent souvent une vie éphémère, Rashed s'est vite rendu compte de l'importance des institutions spécialisées. Cette nécessité est plus aiguë dans le cas de l'histoire des sciences, et surtout de la science arabe : à cause de sa « jeunesse », mais aussi pour d'autres raisons qui reviennent à la nature de cette « discipline », dont nous parlerons au chapitre suivant, la recherche sur l'histoire des sciences est la plupart du temps pratiquée au sein d'équipes de recherche dont l'activité principale est tout autre. Les historiens des mathématiques sont souvent membres des départements de mathématiques, de la même façon que l'histoire de la philosophie est pratiquée dans les départements de philosophie.

En ce qui concerne l'histoire des sciences arabes, elle était, et elle est encore, en France comme ailleurs, la plupart du temps, l'une des activités des équipes de recherche qui s'occupent des « études islamiques », et qui ont pour tâche l'étude de tout ce qui a trait à la civilisation islamique et les sociétés musulmanes, y compris la science. Il arrive aussi qu'elle soit pratiquée au sein des départements de langue arabe.

Pourtant, les désavantages de cette situation l'emportent largement sur ses avantages escomptés. L'historien est souvent soumis aux tâches que lui impose son milieu professionnel immédiat et qui n'ont rien à voir avec ses propres recherches ; il travaille souvent tout seul et ce n'est que par l'intermédiaire de publications qu'il sera au courant de ce qui se passe dans son métier. L'une des conséquences d'une telle organisation de travail est que ces publications paraissent dans des revues diverses, à tel point qu'il est difficile pour une seule personne d'avoir accès à tout. A cela s'ajoute les problèmes conceptuels dus au fait que de tels milieux sont, dans la majorité des cas, des héritiers de la tradition orientaliste.

Dès son entrée au CNRS, Roshdi Rashed n'a eu de cesse de remédier à cette situation en créant des institutions de recherche en histoire des sciences, afin que, comme il le souligne, « le domaine existe ». D'où plusieurs équipes de recherche fondées avec ses collègues. Ainsi a-t-il fondé, en

1972, avec Jean Jolivet (historien de la philosophie islamique et médiévale), le laboratoire CHISPAM (Centre d'Histoire des Sciences et des Philosophies Arabes et Médiévales), dont les activités portaient essentiellement sur l'histoire de la science et de la philosophie au Moyen Âge, mais incluaient également l'Antiquité et s'étendaient jusqu'à l'Âge classique. Il a également créé, en 1984, avec Christian Houzel (mathématicien et historien des mathématiques) et Michel Paty (physicien et historien de la physique), l'équipe REHSEIS (Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et les Institutions Scientifiques). Les deux équipes seront réunies en 2009 pour former le laboratoire SPHÈRE (Science, Philosophie et Histoire).

Sans vouloir entrer dans les détails organisationnels de ces équipes de recherche, soulignons en quelques traits caractéristiques, non seulement pour le rôle que Rashed a joué dans leur fondation et leur direction, mais aussi pour l'éclaircissement que cela pourrait apporter sur la conception rashedienne de l'historiographie des sciences.

La première chose à noter, c'est le caractère pluridisciplinaire de ces équipes. Chacune réunissait plusieurs chercheurs de différentes spécialités. A titre d'exemple, je choisis le Centre d'Histoire des Sciences et des Philosophies Arabes et Médiévales, où j'ai passé des années formidables en tant que doctorant et membre associé. On y rencontrait des arabisants, des latinistes et des hébraïsants, chacun travaillant sur des textes philosophiques ou scientifiques écrits pendant de longs siècles, lorsqu'elles véhiculaient le savoir scientifique ou philosophique en de vastes parties du monde. Comme la science et la philosophie produites en ces langues dépendaient largement de la science et de la philosophie grecques, des spécialistes de ces disciplines-là étaient également membres de l'équipe, et bon nombre de ceux qui ne l'étaient pas participaient à ses activités en tant que membres associés ou de leur propre initiative.

Le deuxième trait, c'est le lien de complémentarité qui existait entre les activités des membres de cette équipe. Même si un travail comme l'édition d'un texte scientifique ou philosophique est normalement une œuvre solitaire, l'organisation de cette équipe et le choix des problèmes sur lesquels ses membres travaillaient assuraient, chez les chercheurs, une conscience du contexte historique dans lequel ils ou elles travaillaient. Les séminaires avaient souvent pour thème un sujet dont le développement s'était étendu sur plusieurs siècles, de l'Antiquité à l'Âge classique, et ainsi engageait plusieurs chercheurs de différentes spécialités.

La question de l'introduction de la science moderne dans les sociétés non-occidentales était un autre objet de recherche de cette équipe. Cela assurait une relation permanente avec les chercheurs travaillant sur ces questions, aussi bien qu'avec des pays comme la Chine, le Japon et l'Egypte.

Chercher à établir un lien entre les chercheurs travaillant dans différents établissements ou différents pays a été un souci permanent de Rashed. Cela l'a conduit, avec la collaboration d'autres chercheurs, à l'établissement d'une société et d'un journal.

La volonté d'instaurer un rapport permanent entre les chercheurs était à l'origine de la fondation de « La Société

Internationale d'Histoire des Sciences et de la Philosophie Arabes et Islamiques » (SIHSPAI), fondée en 1989 lors du « Colloque international d'Histoire des sciences et de la philosophie arabes » tenu à Paris, à l'initiative de Rashed et de certains de ses collègues. Les fondateurs de la SIHSPAI, y compris Rashed, faisaient, en créant cette Société, un double pari : en regroupant l'histoire des sciences et de la philosophie arabes, ils espéraient, comme le précise le statut de la société, « désenclaver ces deux disciplines et les ouvrir aux courants de l'histoire universelle » ; en même temps, ils comptaient « œuvrer pour le succès d'une histoire des sciences qui ne soit pas étroitement technicienne, et d'une histoire de la philosophie conçue comme une discipline rigoureuse ». Le Colloque de la Société se tient tous les deux ou trois ans. Conformément au statut de la Société, les colloques traitent de sujets au confluent de l'histoire de la science et celle de la philosophie, et qui peuvent intéresser les spécialistes des deux domaines.

La revue *Arabic Sciences and Philosophy : A Historical Journal* (Cambridge University Press), fondée et dirigée par Rashed et dont, à cette heure, une soixantaine de fascicules ont déjà vu le jour, suit les mêmes objectifs que la SIHSPAI. Elle publie des articles de qualité sur l'histoire des sciences et de la philosophie en langue arabe.

Toutes ces occupations n'empêchent pas Rashed d'accueillir chez lui les jeunes gens qui viennent chercher son aide et ses conseils. Le malaise initial d'être devant un savant de grande envergure qui « sait tout » cède rapidement la place à une compréhension réciproque. C'est ainsi que, de ces rencontres, naissent parfois des idées qui prennent la forme d'un mémoire de maîtrise, d'une thèse de doctorat ou d'un projet de recherche. Le nombre de thèses que Rashed a dirigées est élevé, et ceux ou celles qui ont travaillé sous sa direction forment un groupe plurinational et pluridisciplinaire. Originaires de pays occidentaux et orientaux et avec différentes formations de base, aussi bien scientifiques qu'historiques, philosophiques ou sociologiques, les élèves de Rashed travaillent toujours en étroite collaboration avec lui, bénéficiant de ses conseils et de ses critiques.

En outre, tout au long de sa carrière, Rashed a été très actif dans l'organisation de colloques scientifiques.

Toutes ces activités, qui sont d'ailleurs les activités usuelles de n'importe quel chercheur, prennent un nouveau sens dans le cadre du projet de Rashed pour asseoir sur les fondations solides la recherche en histoire de la science arabe en tant que partie intégrante de l'histoire universelle de la science. Or, pour remplir cette tâche, il était également nécessaire de clarifier certaines notions, de mettre en valeur certains concepts et de lutter contre quelques idées reçues. Nous évoquerons ces questions au chapitre suivant.

II
L'historiographie des sciences, ses problèmes et sa méthode

En comparaison de sa colossale production historique, dont il sera question dans les chapitres suivants, ce qu'a écrit Rashed sur les problèmes théoriques et méthodologiques de l'historiographie des sciences forme un ensemble quantitativement assez modeste. Cela aurait été tout à fait normal s'il s'était agi d'un historien pur et dur, pour qui l'histoire se réduirait en fin de compte à un inventaire des « faits », organisés selon l'ordre chronologique, ou de quelqu'un qui ne s'intéresserait qu'à « 'l'histoire-roman' des savants et de leur faits » (*Épistémologie 2* …, p. 4) ; si l'on oubliait que Rashed est un historien dont la formation première est en philosophie**,** mais aussi en mathématiques, et qu'il a fait son apprentissage en histoire des sciences chez Canguilhem, pour qui l'histoire et la philosophie des sciences étaient indissociables. A ce titre, on s'attendrait à ce qu'il parle des problèmes théoriques, méthodologiques et philosophiques de son métier, l'histoire des sciences.

Et en effet, il lui est arrivé de le faire, mais d'une manière non systématique, voire oblique. On s'attend à ce qu'un historien parle, d'abord, des problèmes généraux de l'historiographie et, dans un deuxième temps, de sa propre méthodologie. Or, les historiens sont généralement peu éloquents à propos de ce qu'ils font, et c'est souvent les philosophes qui parlent à leur place, parfois au prix de dénaturer leur travail, dans les écrits consacrés à la philosophie de l'histoire. Rashed n'y fait pas exception. Pour cette raison, l'essentiel de sa méthodologie doit être extraite de sa production en histoire, et cela est ce que nous essayons de faire, entre autres, dans ce chapitre.

Quant aux problèmes généraux de l'historiographie des sciences, aussi bien des sciences en général que des sciences arabes, les articles que Rashed y a consacrés sont très importants, mais très denses. Parmi ces articles, les plus importants sont, à notre avis, l'article intitulé « la notion de science européenne » (*Notion* ...) et un autre intitulé « l'histoire des science entre épistémologie et histoire » (*Épistémologie* …)[1].

L'article « la notion de science occidentale » évoque en particulier la situation de l'historiographie de la science arabe et les malentendus qui y règnent, mais sous un angle spécifique, et ne touche qu'indirectement aux problèmes généraux de l'historiographie de la science.

Les deux articles se complètent. De plus ils jettent, l'un comme l'autre, une lumière sur la propre méthodologie de Rashed. L'étude de ces articles, complétée par ce qu'il a écrit ailleurs, nous aide à réunir des éléments de réflexion qui se trouvent chez Rashed, pour nous faire une idée de sa conception de l'historiographie des sciences en général et de la science arabe en particulier.

---

(1) Cet article existe en deux versions, auxquelles nous référons comme « *Épistémologie 1* … » et « *Épistémologie 2* … » respectivement. Voir les Abréviations.

L'histoire des sciences, une « discipline » en péril ?

Commençons donc par « Histoire des sciences entre Epistémologie et histoire », où Rashed parle de l'historiographie des sciences : son histoire, son état actuel, les dangers que court l'historien des sciences et les perspectives qui s'ouvrent à cette discipline.

L'actualité de cet article se révèle si l'on prend en compte les conditions intellectuelles dans lesquelles Rashed a commencé son travail d'historien, et qui n'ont cessé de s'y attacher durant sa carrière. Ces conditions ne sont guère différentes aujourd'hui, comme en témoignent les remarques faites par un autre historien de la science, le célèbre Charles Coulston Gillispie.

Dans son discours inaugural proféré lors du XX^e^ Congrès International d'Histoire des Sciences, tenu à Liège du 20 au 26 juillet 1997, Gillispie, éditeur en chef du colossal *Dictionary of Scientific Biography* publié entre 1970 et 1980, parlait des circonstances dans lesquelles cette œuvre avait paru. Il disait que la publication de ce livre s'était produite à un tournant dans l'historiographie des sciences. Gillispie ne s'est pas trop attardé sur les caractéristiques de ce tournant, mais la teneur de son discours donnait à penser que, à son avis, à cette époque-là, une période de l'historiographie des sciences prenait fin pour laisser la place à une autre qui venait de commencer. Comme si cette œuvre, le *Dictionary of Scientific Biography*, était une sorte de bilan, dressé pour l'usage de la postériorité, des travaux faits à cette période révolue ; comme si une telle entreprise ne pouvait pas se répéter dans l'avenir.

L'article de Rashed commence sur un ton similaire. Tout au début il écrit :

> Jamais l'histoire des sciences, sous toutes ses formes et dans toutes ses spécialités, n'a été aussi prospère que durant le vingtième siècle, et en particulier au cours de sa deuxième moitié. Cette prospérité est partout attestée … (*Épistémologie 2* …, p. 3).

Ce constat est suivi d'une liste pêle-mêle des apports de l'histoire des sciences dans la deuxième moitié du siècle dernier, et qui comprend aussi bien l'établissement de nouvelles institutions et de postes de recherche que le lancement de nouvelles collections savantes. Or, cette multiplication des acquis est accompagnée, selon Rashed, de l'« impression d'une dispersion incessante et croissante », en raison de quoi « la profession de l'historien des sciences progresse plus vite que la discipline elle-même » (*Épistémologie 2* …, p. 3). Les mots qu'emploie Rashed sont assez forts : il s'agit d'une « dispersion incessante et croissante », et ce, en dépit de tous les acquis positifs qu'il a déjà énumérés. Ainsi, les remarques optimistes, par lesquelles Rashed commence son article, aboutissent-elles à une critique, certes très fine, de la situation de l'histoire des sciences durant les dernières décennies du XX^{e} siècle ; critique qui se résume en une phrase : l'histoire des sciences est un *domaine d'activité*, et nullement une *discipline*, car, « elle est en effet dépourvue du principe unificateur qui lui fournirait le pouvoir et les moyens d'exclure » (*Épistémologie 2* …, p. 5).

Les mots « discipline » et « domaine d'activité » reviennent plusieurs fois dans cet article, pour mettre en évidence une distinction essentielle. Une discipline, selon Rashed, ne se caractérise pas par son seul pouvoir d'absorption, par son pouvoir d'intégrer en son sein des éléments apparemment différents et divers, mais aussi par son pouvoir d'exclusion. A cet égard, une discipline ressemble à une définition : une définition n'est pas bonne parce qu'elle peut inclure tout ce qui tombe sous elle, mais aussi parce qu'elle peut exclure également tout ce qui n'y appartient pas. Pour le dire d'une manière quelque peu grossière, on ne peut pas dire tout et n'importe quoi, même des choses vraies, en prétendant parler de physique. La question posée par Rashed est alors la suivante : peut-on dire la même chose à propos de l'histoire des sciences ? Sa réponse, nous semble-t-il, est négative. Car, conclut-il, l'histoire des sciences est « une rubrique désignée par une étiquette, et non une discipline caractérisée par une définition opératoire » (*Épistémologie 2* …, p. 5).

Les exemples que présente Rashed, par la suite, de l'activité des historiens des sciences au XIX^e^ et au début du XX^e^ siècle, donnent à penser que l'histoire de la science *pourrait* devenir une discipline au sens propre du terme, et elle le peut encore, aujourd'hui, si elle réfléchit bien sur sa situation, si elle peut dominer les tendances qui sont à l'origine de cette « dispersion incessante ».

Rashed propose sa solution à cette situation intenable, son remède pour cette maladie qui affecte l'histoire des sciences dans son corps et dans son âme, par le biais de l'introduction de quelques distinctions et par leur élucidation. A côté de la dichotomie « domaine d'activité / discipline », qui ne fait que décrire la situation et poser le problème, on trouve chez lui la dichotomie « tradition conceptuelle / tradition objectale » et, enfin, la dichotomie « histoire sociale des sciences / histoire des sciences [tout court] ».

Ce que propose Rashed, à la fin de cet article, consiste à dire que l'histoire des sciences ne peut pas devenir une discipline si l'histoire sociale des sciences et l'histoire des sciences tout court ne se mettent pas en mesure de définir leur domaine respectif, avec assez de rigueur pour qu'aucune ne transgresse les limites ainsi posées.

S'agit-il d'une prise de position, de la part de Rashed, dans le vieux débat entre l'historiographie externe et l'historiographie interne des sciences ? La réponse est, nous semble-t-il, non. La raison en est que, l'historiographie externe est née, comme Rashed l'explique, au moment où l'édition et l'analyse des textes, ainsi que la mise en rapport des différentes théories scientifiques, tout ce que l'on appelle l'historiographie interne des sciences, en somme, et que nous préférons appeler histoire des sciences tout court, étaient monnaie courante.

C'est dans ces conditions que certains historiens et sociologues, de tendances weberienne ou marxiste comme dit Rashed, sont intervenus pour rendre à l'histoire des sciences « la dimension sociale qui lui manquait, en revenant aux institutions ou aux conditions sociales » (*Épistémologie 2* …, p. 4). Les historiens sociaux et les historiens des sciences tout court – et par ces derniers, nous entendons ceux qui travaillaient sur des textes ou sur des instruments, pour en tirer au clair le sens et la structure parfois cachés derrière un langage ou une technologie appartenant à une autre époque

– ne se considéraient donc pas comme des rivaux. Ces deux genres d'activités apparaissaient, aux yeux de ceux ou celles qui les pratiquaient, plutôt comme des activités complémentaires. La grande majorité des historiens externes, qu'ils fussent sociologues, historiens, ou philosophes, ne prétendaient pas pouvoir rendre compte, par leur recherche, du *contenu* de la science ou des changements que celui-ci subit. Ne prétendant donc pas s'occuper du contenu des théories scientifiques, leur travail se limitait, comme le dit Rashed ailleurs, à en préciser « les conditions de possibilité », c'est-à-dire, les conditions sociales ou intellectuelles qui ont rendu possible telle ou telle activité scientifique sans en déterminer le contenu.

Le malaise de Rashed devant la situation actuelle de l'histoire des sciences, comme celui que l'on pouvait discerner derrière les mots de Gillespie, avait donc d'autres causes. Il s'agissait d'une situation nouvelle, qui s'était produite « non pas en raison d'une nécessité interne de la recherche en histoire des sciences, mais plutôt sous l'effet de l'importation successive des vues et des méthodes des disciplines sociales et des modes qui s'y succèdent » (*Epistémologie 1* …, p. 2).

Parmi ces « modes », nous en mentionnerons une qui a exercé une influence démesurée sur le destin de l'historiographie des sciences durant les dernières décennies. Il s'agit de l'essor, dans l'historiographie des sciences, des études sociologiques – lesquelles, surtout sous l'influence de l'École d'Edinbourg et de son « programme fort », se proposent de rendre compte de tout évènement scientifique en le rapportant à son milieu social immédiat. (La « bible » de cette école, *Knowlege and Social Imagery*, par David Bloor, dans laquelle ce programme est annoncé, est parue en 1976.) Le « relativisme » qui allait de pair avec ce programme exigeait que l'historien, mais aussi le sociologue et le philosophe de la science, renoncent d'emblée à toute idée de la spécificité de la science et qu'ils la traitent sur un pied d'égalité avec toute autre activité sociale. D'où cette profusion de recherches, chacune tirant dans une direction ; d'où cette effacement des barrières jadis délimitant le domaine de l'activité de l'historien des sciences ; d'où cette « dispersion incessante » que l'on peut constater en consultant un numéro de n'importe quelle revue d'histoire des sciences.

Or, une telle conception de la science est à l'opposé de celle de Rashed, pour qui la science est l'une des manifestations les plus importantes de la rationalité humaine, dont elle tire ses traits spécifiques. Plus encore, avec la prédominance de la tendance sociologisante, l'histoire des sciences risque de perdre sa raison d'être. Car, si on ramène l'activité scientifique au seul milieu social dans lequel elle est née et pratiquée, le concept unitaire de la science se multiplie en proportion du nombre des sociétés, de leurs « formes de vie » et de leurs « jeux de langage ». On ne pourra plus même, dans ces conditions, définir le sujet de sa recherche. Pourquoi parlerait-on de l'histoire de la « science » et non d'une autre chose, si une sorte d'unité et de continuité n'était pas déjà constatée dans cette activité à travers les siècles, et au sein de sociétés foncièrement différentes ? C'est en effet cette unité qui seule peut nous permettre de comparer les œuvres produites en des contextes sociaux divers.

La thèse de la « clôture épistémologique », avancée ailleurs par Rashed dans le cas de l'algèbre, souligne l'indépendance du contenu des théories scientifiques à l'égard de leur milieu social :

> A partir d'un certain seuil, à partir d'un certain stade du développement de la science, un théorème de l'algèbre est produit, et seulement est produit, par une série d'autres théorèmes qui existaient auparavant ; il n'y a pas de raisons extérieures (*Entre* …, p. 67).

Pourtant, cela ne veut pas dire qu'une œuvre de science se réduit à un enchainement d'idées et à ce qu'on en peut déduire logiquement. Car, et c'est là qu'intervient une autre distinction essentielle,

> comme élément d'une tradition « objectale », l'œuvre de science est un produit matériel et culturel, un produit des hommes en un lieu et en un temps. Il incombe à l'historien … de rechercher les conditions sociales et matérielles de cette production. Mais, en tant que partie de la tradition conceptuelle, cette œuvre appelle aussi une analyse conceptuelle qui en dégage le sens, lequel permettra de délimiter la notion même de tradition. (*Épistémologie 1* …, p. 4-5).

Autrement dit, même si un fait de science, à titre d'exemple un théorème de l'algèbre, « est produit, et seulement est produit, par une série d'autres théorèmes qui existaient auparavant », on peut toujours légitimement poser la question de savoir pourquoi il s'est produit à un moment donné, en un lieu géographique donné, dans un contexte intellectuel donné, et non à un autre moment, dans un autre lieu et dans des conditions intellectuelles différentes. S'il est légitime de se poser de telles questions et d'essayer d'y répondre, c'est que l'activité scientifique a toujours besoin d'un support matériel. Même les mathématiciens, qui n'ont pas besoin de recourir à l'expérience pour vérifier les résultats de leurs recherches, travaillent dans un milieu, ont besoin de livres, etc. De plus, ils ont besoin d'autres disciplines qui leur fournissent de nouveaux problèmes et parfois de nouvelles méthodes. Tout cela fait partie de l'ambiance générale dans laquelle une discipline se développe. Pourtant, tous ces éléments « externes », quelles que soient leurs origines, une fois intégrés dans une discipline, qui a ses propres moyens de contrôle, feront partie d'une « tradition conceptuelle » et obéiront au « régime de développement » propre à cette tradition.

Cette thèse explique, au moins en partie, ce qu'entend Rashed sous les termes de « tradition conceptuelle » et de « tradition objectale » : le premier garantit l'indépendance de la science par rapport à son milieu social immédiat, alors que le second renvoie à sa dépendance de ce milieu :

> Ces deux termes, « tradition objectale » – dont la tradition textuelle est une partie – et « tradition conceptuelle », semblent traduire concrètement la question de la place de l'histoire des sciences entre histoire sociale et épistémologie (*Épistémologie* ... 1, p. 4).

Rashed met également à jour le concept de « doctrine informe » et ses traits caractéristiques. Ce qui distingue une telle doctrine d'une théorie scientifique, ce n'est pas qu'elle porterait directement sur les données immédiates de l'expérience. Car, comme le dit Rashed, certaines doctrines informes, par exemple la physique aristotélicienne, loin d'être des généralisations de l'expérience quotidienne, font intervenir des « entités théoriques » assez élaborées. Ce qui caractérise les doctrines informes, et qui les distingue des théories scientifiques, semble être l'absence d'une sorte de contrôle expérimental ou démonstratif. C'est à cause de cela qu'une telle doctrine ne peut pas neutraliser les influences extérieures ni, par conséquent, se développer selon son régime propre.

La science, est-elle occidentale ?

Un autre écrit de Rashed qui traite des problèmes théoriques de l'historiographie de la science, et qui assure d'ailleurs le lien entre sa conception de l'historiographie des sciences en général et de la science arabe en particulier, est l'article intitulé « La notion de science occidentale » (*Notion* ...), qui a paru pour la première fois en 1978 dans un ouvrage collectif puis, en 1984, comme annexe à *Entre arithmétique et algèbre* (*Entre* ...). Or, en dépit de son importance, ce texte a connu un destin que Rashed lui-même tend à déplorer :

> S'il y avait eu des réactions polémiques à mon texte, j'aurais été ravi, mais en fait, il n'a pas provoqué de discussions ; la réaction a au contraire été un silence fâché, un rejet (*Entretien* …, p. XXIV).

Bien que cet article touche une question essentielle et qu'il lui réponde d'une manière peu ordinaire, il n'a suscité aucun débat public, surtout de la part des philosophes et des historiens auxquels il s'adressait et qui étaient la cible tacite de la critique de l'auteur. On s'attendait à ce qu'avec la parution la même année – 1978– de l'*Orientalisme* d'Edward Said, qui traitait, dans un autre contexte, de quelques-uns des problèmes discutés dans cet article, ce dernier ne finisse par trouver l'accueil qu'il méritait, tout au moins dans le débat sur l'orientalisme. Mais une telle chose ne s'est pas produite. Oubli que l'on peut l'imputer à plusieurs causes.

Tout d'abord, la parution de cet article a coïncidé avec l'essor, dans l'historiographie des sciences, des études anthropologiques, inspirées du programme de l'école d'Edimbourg, dont on a déjà parlé. Or, ce que cette école recommandait aux historiens des sciences peut être considéré comme une généralisation de la méthode déjà employée par les orientalistes dans l'étude de la science dans les sociétés non occidentales. C'est-à-dire que si, pour les orientalistes, « l'activité scientifique extérieure à l'Europe » faisait « l'objet d'une certaine ethnographie de la science » (*Notion*…, p. 302), avec ce tournant anthropologisant, même la science qualifiée de moderne – et il faut ajouter, d'européenne – n'était plus soustraite à une approche par principe ethnographique.

Ensuite, l'ouvrage de Said s'inscrivait dans une mouvance foucaldienne et, par conséquent, en partageait un nombre important de présupposés, lesquels allaient à l'encontre du point de départ du discours de Rashed dans cet article, à savoir l'universalité de la science.

D'entrée de jeu, Rashed présente la thèse qu'il va critiquer après en avoir dressé l'historique :

> La science classique est européenne et ses origines sont directement lisibles dans la science et dans la philosophie grecque (*Notion* ..., p. 301).

Ce qui permet à Rashed de formuler cette thèse de façon aussi catégorique et sans aucune réserve, ce sont les deux traits qui la caractérisent : son universalité et sa perdurance. Elle est partagée par tous – philosophes aussi bien qu'historiens – et elle « a survécu intégralement à tous les conflits d'interprétation, pourtant multiples au cours des deux derniers siècles » (*Notion* ..., p. 301).

On déplore souvent que la périodisation de l'histoire politique tend à reproduire la tripartition de l'histoire européenne – en Antiquité (gréco-romaine), Moyen-Âge et époque moderne – mais on oublie généralement que cette périodisation scolaire s'étend également à l'histoire intellectuelle. On apprend ainsi que la période de l'épanouissement de la science et de la philosophie grecques fut suivie par une éclipse de près de dix siècles, jusqu'au retour, à la Renaissance, aux sources originales de la civilisation européenne. Dans cette perspective, la science classique ne serait que la « reprise d'une marche interrompue par les siècles de décadence » (*Notion* …, p. 301) ; comme si l'histoire de la science s'était passée tout entière en Europe, sans que les autres parties du monde y aient été pour quelque chose. En dépit donc de tous les débats portant sur l'historiographie de la science,

> on retrouve la même représentation : dans sa modernité aussi bien que dans son historicité, la

> science classique apparait finalement comme l'œuvre de la seule humanité européenne, plus encore, c'est par elle essentiellement que l'on définit cette humanité (*Notion* ..., p. 302).

« La notion de science occidentale » se divise en deux parties. La première contient un historique de la naissance de cette notion et des transformations qu'elle a subies au cours des deux derniers siècles. La seconde montre, par le biais d'exemples tirés de l'histoire de l'algèbre et de l'optique, comment cette notion est contredite par les faits de l'histoire de la science.

Se limitant à la France, Rashed discerne les traces de cette notion au XVII^e siècle dans la querelle des Anciens et des Modernes. Néanmoins, pour des penseurs comme Pascal et Malebranche, la supériorité des Modernes, bien qu'elle fût un fait indiscutable, ne devait rien à la géographie, à la langue ou à la race. Dans la découverte de la vérité, les Modernes, guidés par la lumière de la raison, se trouvaient sur le bon chemin, alors que les Anciens, qu'ils fussent européens ou non-européens, erraient dans les ténèbres. Dans ce contexte, même l'expression de « sagesse orientale », que l'on trouve dans *Lettres persanes* de Montesquieu, ne se définissait pas par opposition à une prétendue « sagesse occidentale », qui remonterait à la Grèce antique et qui traverserait les siècles. Bien au contraire, elle renvoyait à un ensemble de spéculations futiles, surtout à propos des choses de la nature, et elle se trouvait donc, comme le dit Rashed, à l'opposé exact de « la philosophie naturelle de l'Occident post-newtonien » (*Notion* …, p. 303).

Avec l'avènement de l'idée de progrès chez les penseurs des Lumières, la notion de science européenne devient plus précise, en tant qu'un élément du tableau qu'ils dressaient du progrès de l'esprit humain. Pour des penseurs comme Condorcet, « la science classique est européenne et occidentale dans la seule mesure où elle représente une étape dans la succession continue et normée d'une seule et même individualité : l'humanité » (*Notion* ..., 304). Par conséquent, « pour un Fontenelle, un d'Alembert ou un Condorcet, il serait absurde … de lire dans les seules sciences et philosophie grecques les origines de la science classique, dont la qualification d'européenne ne renvoie à aucune anthropologie » (*Notion* ..., p. 304).

Cette dimension anthropologique sera fournie par deux courants qui s'opposent et se complètent à la fois. D'abord, l'essor de l'orientalisme, au tournant du XIX[e] siècle, pour lequel « l'Orient et l'Occident ne s'opposent pas comme lieux géographiques, mais comme positivités historiques » (*Notion* ..., p. 305). L'opposition entre ces deux entités est d'ailleurs soulignée par un autre courant de pensée, lequel voyait dans « l'Orient » toutes les valeurs spirituelles que l'Occident avait perdu à cause de la prédominance du rationalisme. Vu sous cet angle, l'Orient exemplifiait tout ce qui n'était pas occidental, et, dans la bouche de penseurs comme Joseph De Maistre, ce « philosophe de la Restauration », le slogan « retour à l'Orient » se définissait plutôt par ce qu'il niait que par ce qu'il affirmait : il était une « réaction contre la science et plus généralement contre le Rationalisme » (*Notion* ..., p. 305). La science était donc européenne parce qu'elle était un élément constitutif de ce maudit rationalisme associé aux Lumières et à la révolution française.

Jusque-là, la notion de science européenne est toujours dépourvue d'un support scientifique et, comme nous venons de le rappeler, au moins l'un des courants qui insistaient sur l'occidentalité de la science était ouvertement anti-scientifique. Pourtant, ce support ne tardera pas à se présenter, avec l'émergence de l'école philologique allemande et de sa classification des langues.

La découverte de la famille des langues indo-européennes et les études comparées qui aboutirent à la découverte des spécificités de chacune d'entre elles, et de leurs différences structurelles, permirent aux linguistes allemands de réclamer pour leur discipline une place privilégiée : la philologie était la science humaine par excellence et elle prétendait servir de modèle à toutes les autres sciences humaines (ou, comme le disent les Allemands, les sciences historiques : *historische Wissenchaften*). Ainsi cette école a-t-elle donné « aux disciplines philologiques et historiques une impulsion et une extension considérables. L'histoire des sciences arabes a tiré avantage de cet essor, avant d'en être la victime » (*Histoire…*, p. 9).

Si cette ambivalence se présente, c'est qu'avec l'avènement de l'école philologique allemande, l'histoire elle-même change de statut : non seulement elle est désormais l'avant-garde de toutes les études humaines, mais elle se trouve aussi dans une nouvelle situation, qui exige une redéfinition et de son objet et de sa méthode : « son objet constitue désormais une totalité irréductible … sa méthode lui impose à présent de comparer entre totalités analogues quant à leurs structures et à la fonction qu'elles assurent » (*Notion* … , p. 305).

Outre ses résultats positifs quant à la connaissance des langues et de leurs structures, ainsi que l'épanouissement de toute sorte d'études historiques, y compris l'histoire des sciences, qui en résultait, cette découverte allait de pair avec une certaine mythification du concept de la langue. Celle-ci était, selon Wilhelm von Humboldt, non seulement un moyen de transmission des idées, mais aussi, voire surtout, « l'âme d'une nation, son génie propre, sa Weltanschauung » (*Notion* ..., p. 306). Une telle conception avait un double effet : d'une part, elle encourageait l'étude de différentes langues et cultures pour l'éclairage qu'elle pouvait apporter sur la diversité humaine et, d'autre part, elle conduisait à un classement des mentalités des nations en fonction des langues du monde. Disons au passage que c'est là que se trouve l'origine du relativisme linguistique, lequel exercera une grande influence sur la pensée philosophique et linguistique du XX^{e} siècle.

S'agissant du XIX^{e} siècle, cette idée va aboutir à ses conséquences logiques dans l'œuvre du philologue français Ernest Renan, qui voulait faire pour une autre famille des langues, les langues sémitiques, ce qui avait déjà été fait pour les langues indo-européennes. Car, selon Renan, « Aryens et Sémites se partagent, à eux seuls, la civilisation » (*Notion* ..., p. 306). Pour connaître ces deux composantes de la civilisation, ces deux « races », il fallait donc connaître leurs langues et leurs religions, car l'idée même de « race » se réduit, à ce stade de son développement, à l'ensemble « des aptitudes et des instincts reconnaissables seulement grâce à la linguistique et à l'histoire des religions » (*Notion…,* p. 307).

Ainsi, les « totalités irréductibles » qui, selon les philologues allemands, font l'objet de toutes les études historiques (et surtout de la linguistique et de l'étude comparée des religions), trouvent-elles leurs manifestations les plus marquées dans des « races » caractérisées par leurs familles de langues.

En fait, le jugement porté par Renan sur la race sémite et ses penchants intellectuels, même s'il se présente comme le résultat de l'étude scientifique des faits de l'histoire, s'avère un jugement *à priori*, fondé, en fin de compte, sur les caractéristiques des langues sémitiques : à la différence des Aryens, « les sémites n'avaient, et ne pouvait avoir, ni science, ni philosophie » (*Notion ...,* p. 307).

Malgré le cours de la recherche, qui mettait concomitamment en lumière certains acquis, non négligeables, de la science écrite dans la langue sémitique qu'est l'arabe, Renan n'y voyait qu'un « reflet de la Grèce, combiné avec des influences de la Perse et de l'Inde », autrement dit, un reflet aryen (*Notion* ..., p. 307).

Par le biais des exemples tirés des écrits de grands historiens de la science du XIX^e siècle, Rashed montre que « les historiens de la science n'ont pas seulement emprunté leur représentation de l'occidentalité de la science [à cette tradition], mais aussi des méthodes pour décrire et commenter l'évolution de la science » (*Notion* …, p. 307).

Ainsi la science arabe se définit-elle, chez la grande majorité des historiens de la science, par son opposition à la science occidentale, à savoir, à celle qui aurait ses racines dans l'antiquité grecque. Etant produite dans une langue sémitique, les marques distinctives en seront alors les suivantes : « visée pratique, allure calculatoire, absence d'exigence de rigueur » (*Notion* …, p. 309).

Néanmoins, dire que la science classique est l'héritière de la science grecque ne signifie pas que toutes les caractéristiques de la science classique étaient déjà présentes dans la science grecque. Il y a certes « l'introduction des normes expérimentales qui … distingue globalement la science hellénistique de la science classique » et qui « marque le clivage entre deux moments de la science occidentale » (*Notion ...,* p. 308). Or ce trait est également considéré « l'œuvre de la seule science européenne » et, par conséquent, absent de la science non européenne. Ainsi est jeté, sur la science en Orient, « un discrédit auquel l'histoire par les langues donnait un support prétendument scientifique » (*Notion* …, p. 304).

La notion de science européenne et ses conséquences pour l'historiographie des sciences étant ainsi explicitées, Rashed s'attache à en faire la critique, dans la suite de l'article, à l'aide d'exemples tirés, en premier lieu, de l'histoire des mathématiques et de l'optique arabes. Mais ces exemples étant étroitement liés à ses propres recherches dans ces domaines, nous en laissons la discussion aux chapitres V et IV, où nous traitons de l'histoire de ces disciplines respectivement.

Les caractéristiques de la méthode de Rashed

Outre leur intérêt historique et méthodologique, les deux articles dont nous venons de parler ont, dans l'œuvre de Rashed, une valeur programmatique. Ils définissent le chemin que l'auteur a déjà suivi et qu'il va suivre dans ses travaux à venir, même s'ils ont été publiés à un moment où Rashed avait déjà accumulé bon nombre de recherches fondamentales, surtout en histoire de l'algèbre. D'une part, ces articles s'appuient sur les résultats obtenus au cours de ces recherches et, d'autre part, ils décrivent le chemin à prendre dans les recherches ultérieures.

De la méthode qu'il suit dans son travail, Rashed a très peu parlé. Pourtant, la structure de son œuvre, ainsi que les liens qu'entretiennent ses différentes parties, suggèrent quelques traits marquants de cette méthode. Commençons par en donner une vue d'ensemble, avant de traiter plus en détail, dans les chapitres suivants, certains aspects de cette œuvre.

Rédiger des ouvrages ou créer une œuvre ?

Dans les recherches faites au cours des années 60 et 70 du siècle dernier, Rashed se souciait peu de l'édition critique des textes. Il est vrai que ses recherches se fondaient sur l'examen minutieux de textes pour la plupart inédits, mais le passage d'un texte écrit dans un autre langage – qui est, dans le cas de l'algèbre par exemple, non symbolique – à sa réécriture et à son interprétation dans le langage symbolique moderne n'était pas encore évident. Comme le dit Rashed :

> Je me souviens que chaque fois que je faisais une conférence … et que j'avançais quelque chose tiré des textes arabes on me disait : la preuve ? Je disais la preuve ! allez apprendre l'arabe. J'ai alors compris très rapidement que pour administrer cette preuve, il fallait constituer effectivement toute une bibliothèque des principaux textes si l'on voulait que le domaine existe… (*Entretien* ..., p. XV).

C'est ainsi que Rashed se définit une double tâche : faire la recherche et en même temps créer les outils nécessaires à son usage propre et à celui de la communauté des chercheurs. Sur ce point, l'édition critique des textes rejoint les activités organisationnelles de Rashed dont on a parlé au chapitre précédent : Il ne s'agit pas de la seule documentation de ce qu'il fait, mais aussi de mettre à la disposition des autres des sources indispensables pour leurs recherches. Nous allons cependant étudier ce phénomène pour l'éclaircissement qu'il peut apporter sur la méthodologie de Rashed.

Rashed ne se contente pas d'éditer de temps en temps un texte inédit. Tout au contraire, il semble procéder selon un plan bien ordonné, qui comprend souvent l'édition de presque tous les textes écrits sur un même sujet. En outre, ces éditions renferment non seulement des textes essentiels et de premier ordre, mais aussi des commentaires et des textes explicatifs écrits par des savants de second rang. Il ne s'agit donc de rien moins que de réécrire des chapitres entiers de l'histoire des sciences arabes. C'est pour cela qu'il fournit parfois une nouvelle édition d'un texte déjà édité, non seulement parce qu'il s'appuie sur de nouveaux manuscrits, ou qu'il présente une meilleure lecture du texte, mais aussi parce que ce texte retrouve cette fois sa place à l'intérieur d'une œuvre et se trouve par là doté de la signification qui lui manque encore à l'état d'ouvrage isolé.

Puisque la majorité des jugements erronés sur la science arabe procèdent d'une lecture anecdotique de cette science, faite à partir d'un nombre limité de textes, il faut, pour corriger l'image transmise par de tels jugements, s'appuyer sur le plus grand nombre possible de textes. Quoique ce projet reste toujours inachevé, étant donné le nombre de textes qui demeurent encore inédits, l'œuvre de Rashed, ainsi que les études conduites par ses disciples, ont déjà procuré une partie considérable de cette « bibliothèque des principaux textes » qu'il appelle de ses vœux.

Toute cette stratégie s'accord bien avec le concept rashedien de « tradition conceptuelle » :

> On ne comprendra rien aux créations individuelles, aussi révolutionnaires soient-elles, si on ne les enchâsse pas dans les traditions qui les ont vu naître (*Epistémologie 2* …, p. 6).

Un fait scientifique – un instrument, un livre, une théorie – n'existe jamais dans le vide, il fait toujours partie d'une tradition, ou de plusieurs traditions ; aussi est-il nécessaire, pour le connaître, de reconstituer cette tradition ou ces traditions. Or, la connaissance d'une tradition demande que tous ses chaînons soient connus. Ce rapport dialectique, ou si l'on préfère, ce cercle herméneutique, exige qu'avec la découverte de chaque nouveau texte l'image que l'on se fait d'une discipline se modifie. L'étendue et l'ampleur de ces modifications dépendent, à l'évidence, de l'importance du texte découvert.

Certaines œuvres de Rashed sont la réalisation de ce souci d'exhaustivité. A titre d'exemple, *Les mathématiques infinitésimales*… (*Les mathématiques* …), en 5 volumes, comprennent tout ce qui a été rédigé à ce sujet entre le IX^{e} et le XI^{e} siècle, de même que *Les catoptriciens grecs* présentent l'édition, la traduction et le commentaire de tous les textes, pour la grande majorité perdus en grec, sur les miroirs ardents. Dans d'autres cas, les volumes appartenant au même projet sont publiés sous différents titres et à différentes dates. Un fil conducteur les relie pourtant les uns aux autres. Ainsi, l'ensemble de ce que Rashed a déjà publié sur l'histoire de l'algèbre couvre l'histoire de cette discipline sur plusieurs siècles.

L'ordre dans lequel ses études ont vu le jour ne correspond pas toujours à l'ordre chronologique de la rédaction des ouvrages originaux, ni à l'ordre dans lequel Rashed a entamé son travail sur ces textes (à titre d'exemple, la publication du livre d'al-Samaw'al précède celle d'al-Khwārizmī). Pourtant, ils font tous partie du même projet qui consiste à écrire l'histoire de l'algèbre du IX^{e} au XVII^{e} siècle – entre al-Khwārizmī et Descartes. De ces œuvres, nous parlerons au chapitre IV.

Un mouvement à deux sens

Nous avons déjà remarqué l'attention portée par Rashed au XVII^{e} siècle. En fait, si ce siècle revêt à ses yeux une importance capitale, ce n'est pas parce qu'il est le début de quelque chose de totalement nouveau, mais parce qu'il est, entre autres, l'achèvement du travail commencé dans l'Antiquité, et continué, enrichi et transformé par les savants écrivant en arabe. La nouveauté et l'importance des productions scientifiques de ce siècle resteront indéchiffrables si l'on perd de vue le large pan non européen de cette histoire.

Dans la partie consacrée à l'histoire de l'algèbre, nous verrons comment Rashed rend compte de quelques apports des mathématiciens du XVII^e^ siècle, en évoquant non pas les activités de leurs contemporains mais celles de savants actifs dans le monde islamique entre le IX^e^ et le XII^e^ siècle. De fait, l'affinité qu'il constatait entre les résultats obtenus par les mathématiciens du XVII^e^ siècle et ceux du XII^e^ siècle est l'une des raisons qui l'ont incité à entreprendre ses recherches en histoire de l'algèbre. Nous avons déjà cité ce qu'il dit à propos de sa première rencontre avec l'œuvre d'al-Samaw'al, mathématicien du XII^e^ siècle. Mais lisons ces lignes encore une fois :

> Je commence à lire et je n'en crois pas mes yeux. Selon ce que j'avais appris, ce que je lisais là était de l'algèbre du XVI^e^, voire du XVII^e^ siècle…. (*Entretien* …, p. XIII).

Chez Rashed, le terme « tradition conceptuelle » signifie, entre autres, ces courants souterrains qui traversent parfois les âges et les contrées. Les scientifiques répondent certes à des problèmes inédits que posent leurs propres sociétés, mais aussi et surtout à ceux qu'ils reçoivent de la tradition à laquelle ils appartiennent et qui peuvent remonter très loin dans le temps. De plus, il arrive souvent qu'une seule et même œuvre ne s'inscrive pas dans une seule tradition mais qu'elle se trouve au confluant de plusieurs, obéissant chacune à son « régime de développement propre » (*Entretien* …, p. XVII) :

> Une œuvre de science d'une certaine envergure ne pourrait être expliquée dans les termes d'une seule tradition conceptuelle, même pas celle à laquelle cette même œuvre a contribué le plus, et d'autre part, une tradition conceptuelle de quelque importance se distingue par une certaine stabilité, malgré la diversité des auteurs et des apports (*Épistémologie 1*…, p. 4).

La tâche de l'historien consiste dès lors à connaître ces traditions et à situer une œuvre par rapport à elles.

Ces exigences sont imposées par la conception rashedienne de l'historiographie de la science. Même sur le plan purement conceptuel, lorsqu'il ne s'intéresse principalement qu'à l'enchainement des idées et à leurs rapports les unes avec les autres, l'historien ne saurait se borner ni à un seul milieu intellectuel – les auteurs dont l'influence directe affleure dans un texte donné, les textes que l'auteur lisait ou étudiait, la lignée de ses maîtres et ses sources d'inspiration – ni à une seule tradition conceptuelle. Il doit, bien plutôt, choisir une perspective beaucoup plus vaste qui comprend parfois des siècles et des contextes intellectuels différents. A titre d'exemple, selon Rashed, l'historien de l'algèbre doit prendre en considération non seulement ce qu'on appelle, faute de mieux, l'algèbre avant al-Khwārizmī, mais aussi ce qui s'est produit après lui, car c'est en connaissant la suite de l’histoire que l’on peut mieux comprendre l’étendue de l’entreprise de l’auteur de *l’Algèbre*.

Une telle démarche n’est pas motivée par le souci de la recherche des origines. Tout au contraire, même quand il s’agit de la compréhension d’un seul texte, la logique de la recherche exige qu’on porte un double regard sur ses devanciers et sa postérité. Ce que dit Rashed à propos de la *Géométrie* de Descartes est très révélateur quant à la méthode qu’il recommande et suit partout dans son travail :

> Lire la *Géométrie* de Descartes, c’est aussi regarder en amont vers al-Khayyām, al-Ṭūsī ; et, en avant, vers Newton, Leibniz, Cramer, Bézout et les frères Bernoulli. C’est alors que la *Géométrie* retrouve la position qui n’a jamais cessé d’être la sienne : non plus que les autres œuvres novatrices, elle n’a rien d’un commencement radical ; au même titre que les autres, elle est une manière de reprendre, d’adapter, et aussi de rectifier, les traditions dont elle est l’héritière. (*Al-Khayyām* ..., p. 29).

Dans ce que nous venons de citer, Rashed souligne quelques points qui sont en fait au centre de sa conception de l’histoire des sciences. Premièrement, il n’y a pas de rupture radicale dans l’histoire de la science. Ce qu’on appelle rupture n’est, dans la majorité des cas, que reprise, adaptation ou rectification. Or toutes ces opérations ne peuvent se produire qu’à l’intérieur d’une tradition ou de la rencontre de plus d’une tradition. Certes, la rencontre de deux traditions, lesquelles peuvent appartenir à des aires géographiquement et culturellement différentes, est souvent due à des conjonctures historiques : le commerce, la guerre et la constitution des empires peuvent effacer les barrières entre différentes communautés scientifiques ou faciliter le contact entre elles. Néanmoins, on ne peut pas dire la même chose à propos des traditions elles-mêmes : une fois constituées, celles-ci se développent selon leurs propres régimes de développement. Cela ne veut pas dire que les traditions scientifiques sont à l'abri de toute influence externe : une tradition n'est pas un univers clos. Néanmoins, au lieu d'être affectée directement par n'importe quel élément social, économique ou intellectuel, les traditions reçoivent surtout l'influence d'autres traditions scientifiques.

Illustrons cette rencontre de traditions par un exemple tiré de l'histoire. La constitution de l'algèbre dans l'école d'al-Khwārizmī s'est produite dans un milieu où, grâce sans doute à la connaissance des *Éléments* d'Euclide et de certaines réflexions épistémologiques de la tradition philosophique grecque, le thème de la démonstration était un peu partout : chez les *mutakallimûn* (les gens du *kalām*), chez les philosophes, voire chez les juristes, même si la conception de ces derniers était différente de celles des autres. C'est sans doute pour cette raison que l'on trouve, chez al-Khwārizmī, une sorte de *justification* géométrique des algorithmes qu'il présente pour la résolution des équations du deuxième degré, sans que l'on puisse dire qu'il s'agisse d'une démonstration. Quoi qu'il en soit, pour l'auteur de l'*Algèbre*, il ne suffisait pas de donner des algorithmes, bien qu'ils s'avèrent efficaces : il fallait en rendre compte. Un peu plus tard, dans la second moitié du IX^{e} siècle, Thābit ibn Qurra, à la fois au fait du livre d'al-Khwārizmī et versé dans les *Éléments* d'Euclide, entreprend de présenter, à partir de quelques propositions des *Éléments*, les premières *démonstrations* de la validité des algorithmes d'al-Khwārizmī[1]. C'est de la rencontre de ces deux genres de mathématiques, l'une algorithmique, l'autre démonstrative, que l'algèbre arabe tire sa force.

Pour une historiographie différentielle des sciences

Dans l'historiographie de la science, telle qu'elle est pratiquée par la majorité des historiens, le XVII^e^ siècle est un point de référence : il est le début d'une ère nouvelle, car c'est le moment que l'on assigne aux débuts de la fameuse « Révolution Scientifique ». Selon la version la plus courante de cette histoire, cette révolution avait été préparée dès le XVI^e^ siècle. Elle commence en astronomie, avec la théorie héliocentrique de Copernic (annoncée pour la première fois, en 1543, dans son *De revolutionibus*), s'étend ensuite à la mécanique, car la nouvelle théorie héliocentrique mettait en question les principes de la physique aristotélicienne – c'est là que les grandes figures que furent Kepler, Galilée, Descartes et Huygens interviennent –, pour aboutir, quelques décennies plus tard, à la grande synthèse newtonienne.

On caractérise en outre ce début de la science dite moderne par le recours à la méthode expérimentale. Le reste de

(1) Voir, Roshdi Rashed, « Résolution géométrique des équations du second degré », dans *Thābit* …, p. 153-172.

l'histoire est donc celle de l'extension de la méthode expérimentale à d'autres branches du savoir physique : l'étude de l'électricité et du magnétisme ne tarda pas à se mettre sur le bon chemin et la thermodynamique, science expérimentale par excellence, est née dans un milieu où les demandes de la technique allaient de pair avec les expériences.

Voilà en gros les grandes lignes de l'histoire de la science moderne telle qu'elle est racontée non seulement dans les ouvrages de vulgarisation mais, qui plus est, par certains spécialistes.

Ce changement majeur étant tenu pour un événement brusque et soudain, on a évoqué, pour l'expliquer, toutes sortes de causes externes. D'après les historiens qui ont un penchant sociologique, il faut en chercher la raison dans les développements produits à l'intérieur de la société européenne à la fin du Moyen Âge : l'émergence de la bourgeoisie, l'essor du commerce, etc. Pour d'autres, qui pensent plutôt en termes philosophiques et d'histoire des idées, il s'agirait du changement de climat intellectuel caractéristique de la Renaissance : la résurrection des pensées platonicienne et pythagoricienne, avec l'accent qu'elles mettaient sur l'importance des mathématiques, l'émergence de l'idée d'espace infini qui remettait en cause le concept aristotélicien de « lieu » (*topos*), la réémergence des théories atomistes et, un peu plus tard, de la philosophie mécaniste, laquelle se proposait de rendre compte de tout ce qui se produit dans la nature en termes de contacts mécaniques entre « atomes » …

La situation n'est pas tellement différente de celle que l'on rencontrait, il y a un siècle, à propos de l'émergence de la philosophie et de la science grecques. Puisque cette dernière était considérée comme un commencement radical – ce qu'on appelait « le miracle grec » –, il était normal que les chercheurs proposent toutes sortes d'hypothèses à son propos. Depuis lors, grâce aux résultats obtenus par les chercheurs travaillant surtout sur les textes babyloniens, le halo de mystère qui nimbait la naissance de l'astronomie et des mathématiques grecques a été au moins partiellement dissipé et on a une vision plus claire de ce qui s'est passé en Grèce aux VI^{e} et V^{e} siècles avant J.-C., c'est-à-dire de ce que doivent les mathématiciens et astronomes grecs à leurs prédécesseurs babyloniens.

De même que le miracle grec a été démystifié par les recherches faites durant le siècle dernier, la périodisation différentielle de l'histoire des sciences proposée par Rashed s'attache, entre autres, à démystifier, ou « relativiser », comme il le dit, le concept de révolution scientifique, en tant qu'entité holistique indivisible, et à rendre à chacune de ses composantes la part qui lui est due. Car l'illusion d'un changement brusque, qui aurait affecté toutes les disciplines en même temps, de la même façon et au même degré, nous empêche de faire le départ entre ce qui est vraiment nouveau dans cet événement et ce qui ne l'est pas.

Ici, le concept de « doctrine informe » est d'un grand secours. Tant qu'une discipline n'a pas passé un seuil, tant qu'il ne s'est pas créé des moyens de contrôle, elle est toujours une doctrine informe. Donc, au lieu de se demander comment, et à quelle date, on a dépassé la préhistoire de la science pour entrer dans son histoire, il faut se poser cette question à propos de chaque discipline scientifique. On aura alors diverses réponses. Les mathématiques ont toujours été une science, car nous ne disposons d'aucun document attestant une période préscientifique, ou « informe », des mathématiques. Cette position singulière s'explique du fait de l'existence du moyen de contrôle propre aux mathématiques, la démonstration, qui a été un instrument obligé de la pratique de cette discipline pendant toute son histoire.

Quant aux disciplines subordonnées aux mathématiques, à savoir celles qui employaient les mathématiques pour rendre compte d'un phénomène physique, la situation est différente d'une discipline à l'autre. La statique, telle qu'elle se trouve chez Archimède, est une science, à condition de la considérer comme une théorie purement mathématique. Or, en tant que théorie physique, elle ne l'est pas encore, car il lui manque un autre moyen, indispensable pour toute théorie physique, qui est le contrôle expérimental. De même pour l'optique, dont nous parlerons plus en détails au chapitre V. Il convient ici de citer Rashed lui-même :

> Il s'agit là d'une dimension fondamentale, toute cette périodisation est différentielle : quand on traite de l'histoire de l'algèbre, ce n'est pas la même chose que lorsqu'on traite de l'histoire de la mécanique ou de l'histoire de l'optique, etc. On peut parler de l'algèbre classique d'al-Khwārizmī à Euler – ou même à Lagrange s'il le faut – mais on ne peut parler de la cinématique classique qu'à partir de Galilée ; par contre, on peut parler de l'optique classique à partir de Ptolémée, ou plutôt d'Alhazen à cause de la révolution accomplie par

> lui, et cela jusqu'à Newton, au moins jusqu'à Newton. Il faut donc introduire un aspect différentiel dans la périodisation (*Entretien* ..., p. XXV).

C'est sans doute pour cette raison que Rashed préfère utiliser, pour désigner les acquis du XVII^{e} siècle, et même des œuvres ultérieures, l'expression de « science classique » plutôt qu'une expression équivalente à « early modern science » de la langue anglaise, laquelle est pourtant plus répandue chez la majorité des historiens des sciences. Comme s'il y avait, dans ce mot « moderne », quelque chose de gênant qui renverrait, que l'on le veuille ou non, à un changement global et brusque produit dans la seule Europe et, par conséquent, occulterait la contribution des autres aires culturelles à cette science.

Une grande partie de cette contribution non-européenne est due à la science arabe. Nous nous proposons au chapitre suivant de traiter, à partir d'une vue d'ensemble des écrits de Rashed, de la genèse et du développement, ainsi que des caractéristiques les plus marquantes, de cette science.

III
Qu'est que la science arabe ?

Les approches de la science arabe

Si l'on veut simplifier les choses, on peut dire que toute l'œuvre de Roshdi Rashed s'organise autour d'un projet animé d'un seul but : réinscrire la science produite pendant la période classique de la civilisation islamique au sein de l'histoire universelle de la science[1]. Par cela, cette œuvre se distingue des deux courants contemporains qui se partageaient, à quelques exceptions près, au moment où il a entamé ses recherches, le champ de la recherche sur l'histoire de la science en Islam. Premièrement, le courant orientaliste, plus ancien, pour lequel cette science n'était qu'une activité marginale de la société islamique, activité qui n'a connu qu'une courte vie, et qui, après une période d'épanouissement, a décliné sous la pression d'une société,

(1) Ce projet est défini, de façon plutôt indirecte, dans « La notion de science occidentale », dont nous avons suffisamment parlé. Dans le domaine des mathématiques, le projet aboutira « à l'élaboration d'une configuration mathématique cohérente entre le IX^e^ siècle et les débuts du XVII^e^ siècle » (Roshdi Rashed, « La périodisation des mathématiques classiques », *Revue de synthèse*, IV^e^ série, n° 3-4, Paris, 1987 ; réimprimé dans *Optique* .... Nous avons parlé brièvement de cette périodisation au chapitre précédent.

voire d'une culture, foncièrement non scientifique. De plus, pour ce courant orientaliste, qui était, comme le dit Rashed, la « traduction universitaire » de l'idéologie de l'occidentalité de la science, cette science n'était qu'une annexe de la science grecque. Son rôle se réduisait donc à la préservation de l'héritage grec pendant la période où l'occident chrétien ne s'était pas encore éveillé de son sommeil médiéval et n'avait pas encore redécouvert ses racines hellènes. C'était d'ailleurs le rôle mineur qui avait été reconnu à cette science dès l'apparition de l'histoire des sciences comme discipline, lorsque les philosophes du XVIII^e^ siècle, voyaient dans la science arabe un vecteur de « la continuité du progrès des Lumières durant cette période où dominent superstition et obscurité » (*Histoire* ..., 1, 9).

Comme par réaction, ce courant en a créé un autre : celui-ci, le courant traditionaliste, essayait de replacer la science arabe au sein de la société et de la culture islamique. Toutefois, ce faisant, il ne manquait pas de dénaturer cette science elle-même. Les protagonistes du courant traditionaliste partageaient le préjugé orientaliste, selon lequel la culture islamique était essentiellement préoccupée par la question du salut spirituel ou de la conquête territoriale. Au lieu donc de bannir la science de la société musulmane, les tenants de ce courant prétendaient lui avoir trouvé une place bien à elle, essentiellement spirituelle : au centre de la science en Islam se trouvaient dorénavant les sciences occultes, dont les exemples les plus représentatifs étaient l'alchimie et l'astrologie, qui, à en croire l'image que ce courant se faisait d'elles, étaient les sciences les plus « sacrées ». Dans cette perspective, même les limites de cette science pouvaient être attribuées à un choix délibéré, de la part des savants musulmans eux-mêmes, de ne pas aller plus avant, de peur d'outrepasser les bornes définies par la religion, en sorte de mettre en péril certaines valeurs spirituelles[(1)].

Malgré toutes leurs différences apparentes, les deux courants que nous venons de mentionner partageaient plusieurs présupposés fondamentaux. Premièrement, ils étaient tous deux essentialistes. Pour l'un comme pour l'autre, même si l'essor de la science dans la société musulmane pouvait être attribué à des causes externes, son déclin (fait indiscutable pour l'orientalisme) était imputable à quelque chose d'intrinsèque à l'Islam lui-même. Deuxièmement, les deux courants étaient anthropologisants. Pour l'un comme pour l'autre, le seul intérêt de l'étude de l'histoire des sciences en Islam (abstraction faite de la question de la transmission vers l'Europe du savoir grec) étaient la lumière qu'elle pouvait jeter sur une société non-occidentale et sur ses particularités. Troisièmement, les deux courants croyaient en l'existence d'une rupture totale entre la science moderne et la science « médiévale », dont la science arabe faisait partie, non seulement parce que cette dernière avait été produite pendant cette période, mais aussi à cause de l'importance démesurée qu'ils attribuaient à la Renaissance ou à la Révolution Scientifique.

---

(1) Les exemples les plus représentatifs de cette approche se trouvent toujours dans les œuvres de S. H. Nasr, plus spécifiquement dans *Science and Civilisation in Islam* (1968) et *An Introduction to Islamic Cosmological Doctrines* (1964).

Dès le début, l'œuvre historiographique de Roshdi Rashed a marqué ses distances avec de telles tendances essentialistes et anthropologisantes. Pour lui, l'histoire des sciences dans la civilisation islamique est importante non seulement pour ce qu'elle nous enseigne à propos de cette civilisation, mais aussi parce que, sans une étude approfondie de cette science, on aurait du mal à comprendre et la science grecque et la science classique. Donc, sans bien sûr ignorer les liens qui l'attachent à l'histoire de l'Islam et aux particularités de la société islamique, cette science fait partie intégrante de la science universelle. Si l'on se permet de modifier un peu la formule utilisée par Rashed lui-même, dans sa préface à l'*Histoire de la science arabe*, on peut dire que la particularité la plus remarquable de cette science est son universalité. Ou, comme le dit Rashed :

> Dans la science arabe en effet se réalise une potentialité de la science hellène : cette tendance, en germe chez les savants grecs, à dépasser les frontières d'une région, à briser les bornes d'une culture et de ses traditions, pour revêtir les dimensions d'un monde … (*Histoire* …, 1, 10)

La science arabe et la langue arabe

Nous avons employé indifféremment les expressions « science arabe » et « science en Islam », car elles sont toutes les deux utilisées par Rashed lui-même. La première expression, la science arabe, renvoie à la langue qui a véhiculé, pendant plusieurs siècles, les résultats de l'activité de savants de différentes appartenances ethniques et religieuses. La deuxième expression, celle de science en Islam, souligne le fait que cette activité s'est déroulée au sein de la société musulmane, que la constitution d'une unité politique et religieuse, en dépit de la diversité que l'on y constate, y a créé l'une des conditions de possibilité de cette activité. Attardons-nous un instant sur ces deux expressions afin de dissiper certains malentendus qu'elles pourraient susciter.

Rashed souligne, à plusieurs reprises, qu'il parle de la « science arabe » comme l'on parle de science grecque ou de science latine, à savoir pour désigner une science « qui fut produite par des peuples divers, par des savants de croyances et de religions différentes, mais qui tous écrivaient leur science principalement, sinon exclusivement, en arabe » (*Notion* ..., p. 303). Rashed se montre ainsi soucieux que cette appellation ne soit pas prise dans le sens de quelque chose d'inhérent à la nature même de cette langue, grâce à quoi elle serait devenue une langue de science. Une opinion semblable a d'ailleurs été émise à propos de la naissance de la philosophie grecque. De fait, certains penseurs prétendent que la naissance de la philosophie grecque est redevable, dans une grande mesure, à la nature de la langue grecque, qui serait par essence appropriée à la pensée philosophique. Cette idée, qui faisait partie de l'idéologie dominante durant une grande partie du XIX^{e} siècle, a trouvé un écho au XX^{e} siècle chez des philosophes comme Heidegger et, comme on l'a vu, fut un élément constitutif de la notion de science occidentale.

Or si Rashed critique, comme nous venons de le voir, cette idéologie, ce n'est pas pour la remplacer par une autre du même type, rapportant la naissance de la science écrite en arabe à des traits jugés essentiels de la langue arabe. Cette langue a certes véhiculé les sciences pendant toute l'histoire de l'Islam dans différentes pays et différentes conditions sociales. Pourtant, elle a conquis ce statut en vertu non pas de quelque propriété intrinsèque, mais plutôt de la situation dans laquelle elle s'est trouvée avec la naissance de l'Islam et l'expansion de l'empire musulman. Le génie de la langue arabe, comme de toute autre langue d'ailleurs, est un génie *a posteriori*, forgé par un travail intensif, et non un fait d'essence.

Pour élucider la façon dont Rashed se représente la nature de la contribution de la langue arabe à la constitution de la science associée à cette langue, il convient de rappeler la situation politique et culturelle de l'empire islamique telle qu'il la perçoit. Selon Rashed,

> La formation du lexique de la langue des sciences mathématiques en arabe, comme de celle des autres disciplines rationnelles, a été engagée très tôt, puisqu'on en observe les premières étapes au cours du VIII^e^ siècle. Elle s'inscrit dans un double contexte, qu'il faut avoir présent à l'esprit pour en comprendre les caractères : l'arabisation des institutions du nouvel Etat, d'une part ; et, d'autre part, le mouvement de traduction en arabe des écrits scientifiques, grecs notamment, et, à un moindre degré, sanscrits et persans (*Lexique* ..., p. XIX).

Deux éléments qui ont joué un rôle primordial dans la formation de la langue scientifique arabe, outil indispensable de la science elle-même, sont soulignés : la naissance d'un nouvel Etat avec ses institutions propres, qui assignait de nouvelles tâches à la langue arabe, et le mouvement de traduction des textes scientifiques et philosophiques d'autres langues vers l'arabe, qui exigeait une activité linguistique intense[(1)]. Examinons ces deux aspects.

Un exemple tiré de l'histoire

S'agissant du premier élément, déjà dans le temps du deuxième Calife, ^{c}Umar (634-644), certaines institutions commencent à prendre forme. L'une d'entre elle, que nous choisissons ici à titre de simple exemple, jette une certaine lumière sur les éléments pouvant intervenir dans une décision administrative, simple en apparence, ainsi que sur les conséquences qu'une décision de cet ordre pouvait à son tour avoir sur la science.

Au temps des conquêtes, la nécessité de fixer le calendrier pour répondre aux besoins administratifs s'était fait jour. En dépit de la tournure anecdotique des rapports dont on dispose, la manière dont on résolut ce problème offre un bon exemple du rapport entre les instances à prendre en compte dans les décisions administratives de l'époque.

Certains gouverneurs de province se plaignirent auprès du Calife des ordres financiers qu'ils recevaient de la capitale,

---

(1) Sur la constitution de la langue scientifique arabe, voir *Lexique* …, p. XIX-LIV.

car ceux-là précisaient le mois lunaire du paiement mais non pas l'année. S'agissait-il de l'année en cours ou de l'année suivante ? Une telle incertitude pouvait avoir de graves conséquences pratiques. Le Calife demanda leur avis à ses conseillers. Tout le monde fut d'accord qu'il fallait choisir un événement à partir duquel compter les années. Le procédé des Iraniens, qui comptaient les années à partir de l'accession au trône de chaque roi, fut vite écarté, pour la simple raison qu'il nécessitait un changement perpétuel. La solution romaine fut écartée pour des raisons similaires. On opta finalement pour la date de l'immigration du Prophète de la Mecque à Médine.(1) C'est ainsi qu'un événement majeur de l'histoire de l'Islam, l'établissement du calendrier de l'hégire, dut son acte de naissance à des contingences au départ purement historiques : un problème financier et administratif met en évidence la nécessité d'un calendrier fixe, les différentes options sont pesées et si l'on opte finalement pour la date de l'hégire, ce n'est pas parce qu'elle est plus « islamique », mais parce qu'elle est plus commode.

La suite de cette histoire nous enseigne d'autres choses sur le jeu entre éléments différents dans la constitution de l'empire naissant. La date de l'hégire une fois établie comme le début de l'ère islamique, le calendrier resta

---

(1) Selon al-Ṭabarī (*Tā'rīkh*, Beirut, 1407 H., vol. 4, p. 415), cet événement s'est produit en l'an 16 de l'hégire (637 de l'ère commune). Al-Bīrūnī (*al-Athār al-bāqiya can al-qurūn al-khālīya*, éd. P. Azkai, Téhéran, 1999, p. 36-37) relate deux versions, assez similaires, de cette histoire. Le fait que le mot utilisé pour l'ordre financier (*al-ṣakk*) soit d'origine persane et qu'il y ait un personnage persan parmi les conseillers du Calife montrent à quel point le milieu était, dès cette époque, imprégné d'éléments ethniques et linguistiques divers.

pourtant le calendrier préislamique, à savoir un calendrier lunaire. L'année officielle consistait en douze mois lunaires, chacun désigné d'ailleurs par son nom arabe, si bien que les mois se déplaçaient dans le cycle des saisons. Tel mois qui se trouvait aujourd'hui au milieu de l'hiver se trouverait, environ dix-sept ans plus tard, au milieu de l'été. Cela créait un grave problème pour l'administration : puisque la perception des impôts se faisait, comme dans toute société agricole, au temps des récoltes, le calendrier lunaire n'était pas adapté à l'administration. Un peu plus tard, lorsque les musulmans auront accès aux textes astronomiques, ils opteront, à des fins astronomiques et administratives, pour le calendrier solaire, tout en préservant le calendrier lunaire pour des raisons religieuses.

Or, même un calendrier solaire ne garantit pas, à lui seul, que les mois de l'année ne se déplacent pas dans les saisons. Pour en avoir un qui réponde suffisamment aux besoins administratifs, il faut connaître la longueur exacte de l'année solaire. C'est sans doute ce qui explique que ce problème se soit trouvé au centre de l'attention des astronomes dès le IXe siècle. Cette question est fort complexe, car l'année solaire pouvait se définir de plusieurs façons. Déjà au IXe siècle, un auteur anonyme y consacre un important traité, qui s'occupe plutôt des aspects théoriques du problème[1], lesquels étaient d'ailleurs étroitement liés aux observations astronomiques qui devenaient de plus en plus rigoureuses. La réforme du calendrier aura lieu en plusieurs étapes, se poursuivra au

(1) A propos de ce traité, qui est traditionnellement attribué à Thābit ibn Qurra, voir Régis Morelon, « L'astronomie arabe orientale (VIIIe-XIe S.) », dans *Histoire* ..., vol. 1, p. 41-46.

moins jusqu'en XII^{e} siècle et mobilisera plusieurs générations d'astronomes.

Le choix du calendrier lunaire à des fins religieuses avait, lui aussi, ses conséquences pour la science. Car, les rites religieux dépendant de la visibilité du croissant lunaire, le problème de la visibilité du croissant devint un sujet de la recherche astronomique. Dès le IX^{e} siècle, Thābit ibn Qurra lui consacre deux traités[1].

Revenons à la langue arabe. Deux autres décisions administratives font date dans l'officialisation de cette langue. La première est la traduction en langue arabe du *Diwān*, c'est-à-dire de la comptabilité gouvernementale, ce qui se faisait auparavant en pehlevi (langue de l'Iran préislamique) et en grec (langue de l'Empire byzantin). Les détails de cette transformation n'étant pas connus, on peut seulement deviner qu'elle nécessitait l'invention ou l'adaptation de tout un vocabulaire technique. La deuxième est la frappe de la monnaie. Les deux événements se produisent assez tôt, vers la fin du VII^{e} ou le début du VIII^{e} siècle.

Le mouvement de traduction

Les premiers rapports qui nous sont parvenus évoquant la traduction en arabe d'ouvrages scientifiques la situent vers la même période – le VIII^{e} siècle. Le fait que l'on y rencontre le nom de certains califes et princes constitue un trait caractéristique de la science arabe, souligné par Rashed,

(1) Voir Morelon, *op. cit.*, p. 55-61.

qui l'accompagnera durant des siècles : le soutien de la recherche scientifique par le pouvoir politique. Néanmoins, c'est à partir du IXe siècle que la traduction massive des ouvrages scientifiques et philosophiques voit le jour, dans une nouvelle ambiance politique et intellectuelle.

Au IXe siècle, l'empire musulman avait atteint une dimension mondiale. Son étendue géographique allait des frontières de la Chine à l'Espagne. Il renfermait une multitude d'ethnies, de langues et de religions. Bagdad était non seulement la capitale du califat abbasside mais aussi une ville cosmopolite qui accueillait d'importantes communautés chrétienne, juive, zoroastrienne et sabéenne. Celles-ci jouissaient d'un statut juridique bien défini conformément à la loi coranique ; il semble même que la place que leur accordait le pouvoir politique allait parfois bien au-delà des limites posées par la Loi. Les débats interconfessionnels étaient fréquents, souvent encouragés par le pouvoir politique(1), et les porte-paroles de chaque religion se sentaient tenus de s'y préparer, en essayant de présenter les formulations les plus rigoureuses de leurs crédos respectifs. Pour donner un seul exemple, presque tous les textes zoroastriens dont on dispose aujourd'hui furent rédigés, à partir de textes préislamiques, à Bagdad au IXe siècle.

---

(1) A titre d'exemple, un traité zoroastrien intitulé *Gojastak Abālīsh* (*Le maudit Abālīsh*) et qui date, très probablement, du IXe siècle, relate le débat entre le grand prêtre zoroastrien Adhar Faranbagh, vivant à Bagdad, et un savant zoroastrien converti à l'Islam, un nommé Abālīsh, en présence du Calife al-Ma'mūn, son grand vizir et le juge suprême. Selon ce traité, Adhar Faranbagh répond à toutes les questions posées par Abālīsh. Ses réponses ayant plu au Calife, Abālīsh est chassé du court. (Voir A. Tafazzoli, « Abāliš », dans *Encyclopedia Iranica*, vol. 1, London, 1982.)

A l’intérieur même de la communauté musulmane, les débats fleurissaient et la multiplication des écoles juridiques et théologiques allait de pair avec des schismes plus ou moins paisibles ou plus ou moins violents. D’autre part, la nécessité d’administrer un vaste empire, au moins théoriquement, selon les lois coraniques et les traditions prophétiques, et le problème concomitant de la standardisation et de la canonisation de ces textes donnèrent lieu à une nouvelle discipline. Dénommée science des « principes du droit » (*uṣūl al-fiqh*), celle-ci s’occupait, entre autres choses, de problèmes pourvus de forts aspects rationnels, parmi lesquels l’analyse sémantique des termes juridiques fondamentaux et l’étude de la signification des mots. Par exemple : la mise en garde contre un acte par le texte sacré implique-t-elle son interdiction ? Répondre à de telles questions exigeait non seulement une étude des sources dont on disposait – le Coran lui-même, les traditions prophétiques, la poésie préislamique – pour avoir une idée précise de la signification originelle des termes arabes, mais aussi une recherche sur des questions plus abstraites, par exemple celle du rapport entre le général et le particulier. Ainsi cette science touchait-t-elle, de plus en plus explicitement, aux aspects logiques de la langue et à ce qu’on pourrait appeler sa « pragmatique ».

Sur un plan encore plus intellectuel, on assiste, dès les premières décennies du IX^{e} siècle, à l’apparition d’une manière de théologie rationnelle – nous dirions même : de théologie philosophique – dont les racines remontent au VIII^{e} siècle et qui se fixe pour objectif de défendre les principes de la religion musulmane au moyen d’arguments exclusivement rationnels. Comme cette discipline n’a pas d’homologue dans la théologie chrétienne, on la désigne sous son nom arabe, à savoir le « *kalām* ». Loin d’être l’expression d’une série de dogmes et d’arguments dictés d’en-haut par les autorités officielles – religieuses ou gouvernementales –, cette discipline présente, lorsqu’on la considère avec un peu d’attention, une perspective très variée. Les gens du *kalām* proposaient non seulement une théologie mais aussi une physique : avec ses théories concurrentes – il y en avait de fait plusieurs – des atomes et de leurs accidents, l’atomisme du *kalām* s’occupait de problèmes ayant trait à la structure fondamentale de l’univers matériel. Certaines des questions ainsi soulevées touchaient également à la philosophie des mathématiques : l’infini actuel et son mode d’existence, la continuité et la discontinuité, etc.

Dans ces circonstances, la langue arabe se trouvait confrontée à de multiples tâches. Au moment où les lexicographes s’efforçaient de satisfaire aux besoins des juristes en distinguant les sens précis des termes usités dans le Coran et les traditions prophétiques, et que les grammairiens était en train d’établir les règles de cette langue dont l’usage s’étendait aux non-arabophones, les nouvelles disciplines dont nous venons de parler, à savoir la théologie et les principes du droit, employaient cette langue dans de nouveaux contextes ; donnant ainsi des sens inédits à des mots appartenant d’ailleurs à la langue arabe courante ou empruntés à une langue étrangère.

C’est dans un tel milieu que le mouvement de traduction prit de l’ampleur et se poursuivit d’une façon inédite. Nous n’entrerons pas dans les détails historiques de ce mouvement, le nombre des livres traduits, l'identité des traducteurs et leurs manières de travailler, etc., car ces questions sont assez souvent débattues chez les historiens. Qu'il nous suffise de rappeler que durant une période d'environ un siècle et demi – soit du début du IX^e jusqu'au milieu du X^e siècle – une bonne partie du legs scientifique et philosophique des civilisations dont le monde musulman était l'héritier sera traduite en arabe. Comme le dit Rashed, bien que dans cette entreprise, la langue grecque eût une place privilégiée, bon nombre d'ouvrages traduits n'étaient pas grecs, mais sanscrits, persans et syriaques. Le phénomène de traduction fut si massif qu'à la fin de cette période, les savants écrivant en langue arabe ne ressentaient plus le besoin d'apprendre ces langues pour mener leur recherche. Désormais ils avaient accès en arabe à l'essentiel de leurs outils de travail. Nous parlerons, le cas échéant, de quelques-unes de ces traductions qui ont marqué l'histoire des sciences.

Une nouvelle image du mouvement

Ce qui nous intéresse ici, c'est la correction apportée par Rashed à l'image que l'on se faisait de cette période, ainsi que de son rapport avec le développement de la science en Islam. Selon une idée, qui a cours parmi les historiens, tant de la science que de la philosophie, l'existence d'une période de traduction pourrait servir de fondement à une périodisation de l'histoire des sciences et de la philosophie en Islam. A en croire ces historiens, on pourrait en effet distinguer une période de traduction d'une période de recherche, au sens où la première précéderait la deuxième et où l'on pourrait les distinguer dans le temps.

Vus sous cet angle, les traducteurs joueraient un rôle tout à fait passif : simples transmetteurs d'objets, en l'occurrence d'ouvrages savants, d'une aire culturelle vers une autre. Comme si, pour lancer leur activité scientifique et philosophique, les savants de langue arabe avaient dû attendre la fin de la période de traduction, pour avoir accès à toutes les sources nécessaires, avant d'entamer leurs propres recherches. Il faut ajouter que, au moins pour certains historiens, ces « recherches » ne seraient, en fin de compte, que de simples commentaires ou des notes marginales aux textes grecs.

Une autre caractéristique de cette conception, c'est que, d'après elle, le choix des sources grecques de la part des savants arabes fut le fruit du hasard. Cela est surtout manifeste dans l'historiographie orientaliste de la philosophie islamique, qui prétend pouvoir rendre compte de certains traits caractéristiques de cette philosophie en la reconduisant à son accès aléatoire aux textes grecs disponibles en traduction. Selon cette conception, les philosophes musulmans sont tombés, comme par hasard, sur la traduction de quelques ouvrages néoplatoniciens faussement attribués à Aristote, et cette rencontre assez malheureuse scella le destin de leur philosophie : elle ne fut elle-même qu'un agglomérat d'éléments hétérogènes et même contradictoires. Ainsi une bonne partie de l'histoire de la philosophie en Islam se réduirait-elle à des tentatives, d'emblée vouées à l'échec, de la part des philosophes musulmans pour réconcilier les uns avec les autres ces éléments disparates.

Bien que cette idée ne soit plus guère prise au sérieux chez spécialistes, elle n'en reste pas moins diffuse : elle revient périodiquement, aussi bien en Occident que dans les pays musulmans, dans les débats intellectuels et médiatiques sur le destin de la philosophie dans les sociétés musulmanes, voire sur les raisons de leur déclin.

Un tel présupposé se glisse subrepticement aussi dans maintes études sur l'histoire de la traduction des ouvrages scientifiques en arabe, bien qu'il ne soit pas aussi bien articulé qu'il l'est dans le cas de la philosophie. On présente des listes d'ouvrages traduits, de noms de traducteurs et l'on s'arrête souvent là.

Dans bon nombre de ses écrits, Rashed s'attache à dissiper ce préjugé qui a, selon lui, de graves conséquences pour l'historiographie de la science, et à promouvoir une autre image du mouvement de traduction(1). Il insiste sur sa relative organisation et ses objectifs précis, étroitement liés à la recherche alors en cours, dont il entérinait certaines avancées en amendant son corpus et ses méthodes à l'aune des nouvelles exigences.

Commençons par l'aspect le plus simple de l'argument de Rashed : on ne peut pas faire de distinction temporelle entre la période de la traduction et celle de la recherche. Des savants parmi les plus novateurs exerçaient au moment où le mouvement de traduction battait son plein, d'autres participaient aux deux activités à la fois : al-Khwārizmī,

(1) Voir, à titre d'exemple, Roshdi Rashed, « Problems of the Transmission of Greek Scientific Thought into Arabic : Examples from Mathematics and Optics », *History of Science*, vol. 27, no. 76, p. 199-209 ; *Lexique* …, p. XXXV-LIV.

fondateur de la nouvelle discipline de l'algèbre, rédigea son traité entre 813 et 833 ; Thābit ibn Qurra qui participait activement au mouvement de traduction, aussi bien en traduisant qu'en corrigeant les traductions des autres, était en même temps un grand mathématicien et philosophe avec des contributions de tout premier ordre en ces domaines ; de même pour Ḥunayn ibn Isḥāq, les plus grand traducteur des œuvres médicales et un médecin reconnu pour ses écrits. Et ainsi de suite. Nul n'a donc attendu que le temps de traduction se soit écoulé pour se lancer dans la recherche.

En outre, l'existence de plusieurs traductions d'un seul et même ouvrage atteste que l'activité se perfectionnait au fil du temps. Or ce perfectionnement ne dépendait pas du seul désir des traducteurs d'améliorer le résultat de leur travail, mais plutôt des exigences des chercheurs qui demandaient des textes plus rigoureux. Cela saute aux yeux dans le cas des ouvrages classiques des mathématiques grecques : les *Eléments* d'Euclide furent traduits à trois reprises, dont une avec révision et correction par Thābit ibn Qurra, et l'*Almageste* de Ptolémée ne connut pas moins de cinq traductions, dont l'une bénéficia également de la révision de Thābit.

Dans le cas des *Coniques* d'Apollonius, on assiste à une traduction qui était dès le début liée à la recherche. La traduction de ce livre, entreprise sous la direction de trois savants importants du IX^e siècle, les frères Banū Mūsā, s'accomplit en plusieurs étapes : la recherche d'une version authentique qui demande, à son tour, d'organiser des expéditions pour collecter les manuscrits grecs ; la recherche sur les propriétés des sections du cylindre, entreprise par le frère cadet, al-Ḥasan, pour mieux comprendre le contenu de l'ouvrage d'Apollonius ; l'ajout au livre des lemmes que les Banū Mūsā jugent nécessaires pour la compréhension du texte ; et enfin la révision de la traduction par Thābit ibn Qurra(1). On est ici très loin de l'image que l'on se fait souvent du mouvement de traduction : une activité faite au petit bonheur, par pure curiosité personnelle, et dans le seul désir d'allonger la liste des traductions disponibles.

La traduction des *Coniques* témoigne d'un autre trait caractéristique du mouvement de traduction souligné à plusieurs reprises par Rashed : l'existence du mécénat. Bien qu'on ne puisse parler d'un projet gouvernemental au sens qu'une telle expression pourrait avoir aujourd'hui, le fait que les premières traductions, réalisées au VIIIe siècle, soient liées aux noms de quelques princes atteste la présence de cet élément dès les tout premiers âges des traductions. Plus tard, on évoque l'établissement de la *Maison de la sagesse* (*Bayt al-Ḥikma*) comme centre de ces activités. Quel que soit le rôle joué par ce centre ainsi que l'étendue de sa contribution à l'entreprise de traduction, le mécénat débordait le cadre de cette institution : outre les Califes, comme al-Ma'mūn, plusieurs familles sont également connues pour le soutien qu'elles accordèrent aux traducteurs. Pour ne citer que les plus célèbres : les Banū al-Munajjim (« les fils de l'Astronome ») et les Banū Mūsā (« les fils de Mūsā »). Le traité de Ḥunayn ibn Isḥāq consacré aux œuvres de Galien traduites en arabe par lui-même ou par d'autres contient le nom

---

(1) Voir, Roshdi Rashed (éd.), *Apollonius de Perge*, *Coniques*, Tome 1.1, Livre 1, Walter de Gruyter, Berlin. New York, 2008, p. 25-45.

de beaucoup de grands personnages qui accordaient leur soutien aux traducteurs.

Le récit du rêve d'al-Ma'mūn, le grand Calife abbasside, doit être lu dans ce contexte(1). Même si l'on peut douter de la réalité de cette histoire – au temps d'al-Ma'mūn, le mouvement de traduction était déjà bien engagé et bon nombre d'ouvrages scientifiques et philosophiques avaient déjà été traduits –, elle pourrait être une tentative, de la part d'auteurs plus tardifs, pour rendre compte de ce mouvement dont l'ampleur et l'étendue demandaient une explication. Et s'ils l'ont trouvée dans la décision du plus haut responsable de l'Etat, en l'occurrence le Calife le plus connu pour ses intérêts intellectuels, c'est que, pour eux, l'existence d'une sorte de soutien officiel était un fait indéniable.

Les recherches de Rashed, ainsi que celles d'autres chercheurs, mettent en question un autre mythe orientaliste, selon lequel l'arabe, langue sémitique, ne convenait pas à l'expression des idées abstraites et que, la pensée des arabophones étant conditionnée par leur langue, ceux-ci ne s'intéressaient qu'à des problèmes pratiques. Ce mythe s'appuie sur le fait que les débuts du mouvement de traduction sont caractérisés par l'intérêt porté aux œuvres alchimiques, médicales, astronomiques et astrologiques. Or, tous les apports historiographiques de Rashed contredisent cette conception. En effet, le mouvement de traduction s'est vite tourné vers des œuvres qui n'avaient aucun intérêt pratique, ou vers des œuvres dont l'intérêt pratique n'était que secondaire. Plus important encore, au sein même de ces

(1) Voir, à propos de ce rêve, *Lexique* …, p. XXIV.

œuvres, qui servaient pour la plupart des buts théoriques, des parties avec une visée essentiellement pratique donnaient parfois lieu, chez les auteurs arabes, à des réflexions d'ordre théorique. A titre d'exemple, le théorème de Ménélaüs qui, dans l'*Almageste* de Ptolémée, servait de simple outil calculatoire, a suscité chez les mathématiciens arabes au moins deux sortes de réflexions théoriques, l'une liée au calcul combinatoire, l'autre liée au rapport entre les quantités continues et discontinues. Déjà au IX^e siècle, ces deux approches se trouvent réunies dans l'œuvre de Thābit ibn Qurra, qui a consacré un traité à chacune d'entre elles[1], et elles se prolongeront jusqu'au XIII^e siècle, comme en témoigne l'œuvre de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.

Un autre exemple est la science des miroirs ardents, étudiée exhaustivement par Rashed. Il est vrai que, dans les parties liminaires de leurs écrits, les auteurs des traités sur ce sujet font souvent l'éloge de leur discipline pour ses grands bénéfices pratiques. Or de tels arguments rhétoriques ne les empêchent pas de pousser plus loin leurs recherches et d'arriver à de nouveaux résultats qui dépassent de beaucoup toute visée pratique. Comme on le verra au chapitre V, les travaux de Rashed montrent comment cette discipline sera intégrée dans l'optique au sens général du terme. Nous espérons y montrer, à partir d'une analyse des écrits de Rashed, dans quelle mesure la réforme de l'optique par Ibn al-Haytham dépendait des développements déjà produits, entre autres, dans la science des miroirs ardents.

---

(1) Voir, Hélène Bellosta, « Le traité de Thābit ibn Qurra sur la figure secteur », dans *Thābit* ..., p. 335-390 ; et Pascal Crozet, « Thābit ibn Qurra et la composition des rapports », dans *Thābit* …, p. 391-536.

Le savant dans son milieu

L'effet remarquable du mouvement de traduction était que les savants écrivant en arabe avaient désormais à leur disposition un corpus qui leur servait à la fois de référence et de moyen d'enseignement. Un mathématicien était quelqu'un qui avait lu, et connaissait souvent sur le bout des doigts, au moins *Les Eléments* d'Euclide, certains traités d'Archimède, l'*Almageste* de Ptolémée, les *Coniques* d'Apollonius ainsi que les traités appartenant aux « livres intermédiaires » ; cela est attesté par les références tacites ou implicites à ces ouvrages-là que l'on trouve dans les écrits de tout mathématicien digne de ce nom. Or l'histoire ne s'arrête pas là, car

> les savants des XI^e^ et XII^e^ siècles ont continué à discuter les résultats obtenus ailleurs, à les étendre et à les intégrer à des structures théoriques souvent étrangères à leur terrain d'origine (*Histoire* …, p. 11).

Ainsi, les mathématiciens employaient leur connaissance de ces textes dans des contextes inédits. A ce propos, il suffit de rendre compte du rôle que jouent certaines propositions des *Coniques* d'Apollonius dans la théorie de la projection, ou l'usage fait par al-Khayyām de certaines autres propriétés dans sa théorie des équations cubiques. De même pour la médecine, où bon nombre des traités de Galien servaient de base, à côté des écrits des médecins arabes eux-mêmes, pour la formation des médecins.

Ce sentiment d'appartenance à une tradition scientifique qui remontait très loin dans l'histoire était complété par un sentiment, non moins fort, d'appartenance à une communauté scientifique. Les chercheurs travaillant dans le même domaine se lisaient les uns les autres, travaillaient ensemble, parfois dans le même établissement, pour résoudre un même problème, participaient de concert à des programmes d'observations astronomiques, se critiquaient et parfois entraient dans de vives querelles de priorité à propos de la découverte d'un résultat scientifique.

Les grands centres de l'activité scientifique, comme Bagdad au IX^e siècle, attiraient des quatre coins de l'Empire les jeune gens doués, qui souvent y trouvaient non seulement des mécènes, mais aussi des milieux propices au travail scientifique. Même ceux qui vivaient loin de ces centres scientifiques avaient la possibilité de se mettre au courant des nouvelles recherches dans un délai raisonnable.

Avec l'affaiblissement progressif du califat abbasside et l'établissement des pouvoirs locaux, le nombre des centres scientifiques augmenta. Ce qui assurait le lien entre ces centres était l'existence d'une langue scientifique commune :

> Avec la science arabe, on peut désormais lire dans une même langue les traductions et la production scientifique des anciens, aussi bien que toute la recherche avancée des modernes. Celle-ci se faisait en arabe à Samarkand comme à Grenade, en passant par Bagdad, Damas, Le Caire ou Palerme. Même lorsqu'il arrivait qu'un savant écrivait dans sa langue maternelle, le persan notamment – comme al-Nasawī ou Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī – il se chargeait lui-même de rendre en arabe son propre écrit … Ainsi s'ouvrent des voies qui n'existaient

> point, et qui rend aisée la communication entre les centres scientifiques dispersés de l'Asie centrale à l'Andalousie, et les échanges entre les savants (*Histoire* …, p. 11).

Un des moyens qui assuraient la communication aussi bien entre les savants qu'entre les communautés scientifiques, étaient les voyages scientifiques, « Ibn al-Haytham entre Basra et Le Caire, Maïmonide de Cordoue au Caire, Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī circulant de Ṭūs à Damas, en passant par Hamadān, Mossoul et Damas » (*Histoire* ..., p. 12). De plus, on assiste à une floraison de la correspondance scientifique,

> nouveau genre littéraire, avec ses usages et ses normes, qui est quant à elle un instrument de collaboration et de diffusion de la recherche (*Histoire* ..., p. 12).

En somme, l'image que l'on peut se faire d'un savant de cette période est à l'opposé de ce que nous représente une certaine historiographie de la science en Islam. Loin d'être une figure isolée, nageant toujours à contre-courant, s'appuyant sur son seul génie personnel, mal-vu et mal-reçu par la société dans laquelle il vit, le savant typique de cette période est une personne dotée d'une formation solide, dont on pourrait dire qu'elle ne laisse presque rien au hasard, et qui s'insère dans une tradition de recherche bien définie.

Il y avait l'encadrement institutionnel (dans les cours, les hôpitaux, les observatoires, les madrasas …), celui résultant d'un cursus scolaire (évident dans le cas des sciences mathématiques), la possibilité de voyager, de correspondre avec ses collègues … et tout cela permettait aux chercheurs dispersés sur une vaste étendue géographique et travaillant sous différents régimes politiques, souvent en guerre les uns contre les autres, de participer à la recherche sur les mêmes problèmes et parfois d'aboutir aux mêmes résultats. Il suffit de lire l'introduction d'al-Bīrūnī à ses *Clés de la science de l'astronomie*, pour se faire une idée, même partielle, de l'intensité de l'activité scientifique qui se déroulait au tournant du X^e^ siècle et ce, sur un seul problème[1]. Al-Bīrūnī rapporte ainsi l'histoire de la découverte simultanée des lois des sinus et des tangentes dans le triangle sphérique, découverte dont l'importance n'échappe pas aux mathématiciens et qui a donc soulevé un débat de priorité qu'al-Bīrūnī retrace en toute fidélité.

Le déclin de la science en Islam : réel ou imaginaire?

L'activité scientifique en Islam comprenait toutes les disciplines connues à l'époque, aussi bien celles héritées d'autres civilisations que celles qui avait été créées par les savants arabes eux-mêmes.

Afin de présenter une vue d'ensemble de cette science, Rashed a dirigé, à deux reprises, la rédaction d'ouvrages collectifs auxquels ont participé de nombreux spécialistes. Le premier, intitulé *Histoire des sciences arabes* (*Histoire…*), est une encyclopédie parue en français en 1997 en trois volumes. Le deuxième est une immense encyclopédie

---

(1) Voir, *Al-Bīrūnī, Kitāb Maqālīd cilm al-hay'a* (*La trigonométrie sphérique chez les Arabes de l'Est à la fin du X^e^ siècle*), Edition et traduction par Marie-Thérèse Debarnot, Damas, 1985, p. 92-99.

parue en italien en 2002.[1] Ces deux sommes renferment non seulement l'histoire de toutes les disciplines de la science arabe – astronomie et disciplines annexes, sciences mathématiques, technique, sciences de la vie et de la terre –, mais aussi celle de leurs prolongements latins et hébraïques. Fondées sur la recherche accomplie durant le dernier tiers du XXe siècle, elles montrent que la science en Islam a joui d'une extension temporelle et d'une intensité de pratique bien supérieure à ce que l'on supposait par le passé.

Toutes les belles choses de ce monde prenant fin un jour ou l'autre, il est cependant légitime de se demander jusqu'à quand cette activité scientifique en terre d'Islam a perduré. De fait, du jour où la recherche sur l'histoire des sciences arabes a débuté, cette question n'a eu de cesse de se poser et de recevoir toutes sortes de réponses. Celles-ci reposent pour la plupart sur le postulat selon lequel le déclin de la science en Islam étant un fait incontestable, il faudrait en chercher la raison.

Cette certitude, que l'on constate chez beaucoup de chercheurs, d'historiens et d'intellectuels, aussi bien en Occident que dans les pays musulmans, a souvent pour origine la comparaison que l'on fait entre, d'une part, les terrains chronologiques fertiles qui s'étendraient du IXe au XIIe siècle et, d'autre part, le paysage aride que l'on croit avoir sous les yeux durant les siècles suivants. Pourtant, douter de cette certitude est au moins aussi légitime que poser la question elle-même, d'autant plus que les recherches faites,

(1) Roshdi Rashed (éd.), *Storia della scienza*, *vol. III* : *La civilta islamica*, Enciclopedia Italiana, Rome, 2002.

surtout dans la seconde moitié du XX^e^ siècle, et dont les résultats se trouvent dans les ouvrages que nous venons de nommer, nous forcent à décaler les limites temporelles que l'on assignait jadis à la période de l'épanouissement de la science arabe, si bien qu'aujourd'hui, il n'est plus surprenant d'évoquer l'existence, encore au XV^e^ siècle, de traditions scientifiques en pays d'Islam. Ces changements ne font néanmoins qu'un peu retarder, chez les gens qui y croient, le début du déclin, alors même que l'idée de déclin *tout court* résiste à toutes ces modifications, qui paraissent finalement se résumer à une question de détail.

Néanmoins, la formulation initiale, celle qui fixait la période de l'épanouissement de la science arabe entre les IX^e^ et XII^e^ siècles, bien que datée, garde toujours un certain attrait pour les milieux intellectuels. Et ce, pour deux raisons principales. D'abord, il y a une part d'*a priori* dans cette datation qui s'accorde bien avec la tâche que l'on assignait à la science arabe. Car si l'on part de l'hypothèse selon laquelle la seule fonction de cette science fut de sauvegarder l'héritage grec et de le transmettre à l'Europe, il est normal qu'elle prenne fin, pour l'essentiel, après avoir rempli sa mission historique. Ensuite viendrait le temps des commentateurs, des gens qui répètent des choses déjà dites, qui tournent en rond et qui, par conséquent, ne présentent rien qui soit vraiment digne d'intérêt.

Deuxièmement, l'idée que la science ne fut cultivée que durant une courte période de l'histoire de l'Islam est conforme à l'image que l'on se fait souvent de la civilisation islamique et dont on a parlé au début de ce chapitre : une civilisation fondée sur la seule religion (civilisation « du Livre et de la tradition prophétique ») et qui, par conséquent, expulse tôt ou tard l'élément exogène, la science et la philosophie en l'occurrence, qualifiées toutes les deux de « grecques ».

Or, poser la question de cette façon, c'est déjà suggérer la réponse, voire montrer du doigt le coupable. Il s'agirait, comme dit Rashed, d'une « contre-révolution théologique », qui aurait entraîné « une … décadence scientifique à partir du XII^{e} siècle » (*Histoire* …, p. 13), bien que cette contre-révolution, aussi bien que cette décadence, ne soient qu'« imaginaire » et « illusoire ».

Dans le récit fourni à ce propos, l'accent est mis sur l'élément intellectuel et religieux, sur la théologie, et surtout sur le personnage de « l'Imam » Muḥammad al-Ghazzālī qui, en publiant vers la fin du XI^{e} siècle un livre intitulé *L'incohérence des philosophes* et en excommuniant les philosophes au motif de leurs croyances hérétiques, aurait mis fin à toute activité philosophique et, qui plus est, scientifique.

Or ce récit, bien qu'il soit extrêmement populaire, est trop beau pour être vrai. D'abord parce qu'al-Ghazzālī n'était pas la plus grande autorité religieuse de son temps. En effet, une telle autorité n'a jamais existé en Islam, qui a été toujours divisé, comme encore aujourd'hui, en une multitude de sectes et d'écoles juridiques, théologiques, et philosophiques. Deuxièmement, al-Ghazzālī lui-même était, de son vivant, l'objet d'une critique sévère de la part de certains coreligionnaires, en raison de ses interprétations non littérales de certains versets coraniques ainsi que de son attitude à l'égard de la philosophie. Il était mal vu par maints contemporains, qui le considéraient trop philosophe pour être un bon défenseur de l'orthodoxie religieuse. (N'oublions pas qu'il est l'auteur d'un compendium de philosophie d'Avicenne, préparé à partir des écrits de ce dernier, qui a exercé une influence considérable aussi bien dans le monde musulman que, par le biais de sa traduction latine, en Europe médiévale.)

Plus important encore, l'on peut discerner, derrière ce récit, la thèse d'une subordination totale de la science à la philosophie. L'argument implicite est en effet le suivant : « la condamnation proférée par al-Ghazzālī a mis fin à la philosophie, et comme la science faisait partie de la philosophie, elle a *à fortiori* mis fin à la science ». Or cet argument est faux. Car, d'une part, les rapports entre la philosophie et la science à la période islamique étaient trop compliqués pour se réduire à la simple subordination de celle-ci à celle-là[1] et, d'autre part, al-Ghazzālī avait essayé, dans *l'Incohérence* même, d'opérer une distinction entre ces deux champs du savoir, en détachant les mathématiques, et des chapitres entiers de la physique, de la partie de la métaphysique qu'il condamnait.

Quoi qu'il en soit, l'histoire elle-même est la meilleure attestation du fait que la *fatwa* d'al-Ghazzālī n'a pas produit l'effet qu'il en escomptait. La recherche philosophique ne s'arrêta pas, et dans les siècles postérieurs à la mort d'al-

(1) Pour un examen de ses rapports, voir Hossein Masoumi Hamednai, « Physics and the Mathematical Sciences », dans Giovanna Lelli (éd.), *Mathematics and Physics in Classical Islam. Comparative Perspectives in the History and the Philosopy of Science*, Leiden, Brill (à paraître).

Ghazzālī, on constate non seulement une activité scientifique continue et incessante, mais aussi l'éclosion de projets scientifiques de premier ordre. Cette dynamique se poursuivra encore pendant des décennies, voire des siècles. Mentionnons-en un exemple, qui porte directement sur les rapports entre la science, en l'occurrence l'astronomie, et la philosophie ; exemple s'appuie sur les recherches faites dans l'histoire de l'astronomie pendant le dernier demi-siècle.

La critique des modèles ptolémaïques des mouvements des corps célestes, qui avait été initiée au XI^e^ siècle par Ibn al-Haytham et Avicenne, aboutit, au XIII^e^ siècle, à la fameuse école de Marāgha, dont les membres (qui d'ailleurs ne vivaient pas tous au même moment et ne travaillaient pas tous à l'observatoire de Marāgha, au nord-ouest de l'Iran) proposaient de nouveaux modèles afin de résoudre les incohérences qu'ils trouvaient dans ceux de Ptolémée. Ce projet demeurera vivace jusqu'au XVII^e^, voire jusqu'au XVIII^e^ siècle, et mobilisera des générations d'astronomes dans plusieurs pays musulmans.

Un aspect important de ce mouvement touche à la question du rapport entre science et philosophie. Car derrière la plupart des modèles non-ptolémaïques proposés par les membres de l'école de Marāgha, qui comptait plusieurs juristes et théologiens, on trouve l'idée selon laquelle les modèles astronomiques ne doivent pas être en contradiction avec les principes de la physique. Ce que ces auteurs entendaient par la physique était certes la physique aristotélicienne, dont la cosmologie avait été condamnée par al-Ghazzālī quelques siècles plus tôt.

La recherche dans les autres sciences mathématiques continue activement, elle aussi, durant ces siècles que d'aucuns tiennent pour une période de déclin total de la science en terre d'Islam. Plusieurs mathématiciens d'envergure comme Kamāl al-Dīn ibn Yūnus (XIII^{e} siècle), Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī (XIII^{e} siècle), al-Kāshī (XIV^{e} – XV^{e} siècle), al-Yazdī (XVII^{e} siècle) et al-Isfahānī (XIX^{e} siècle) appartiennent tous à la période post-ghazzalienne (au sens large). De même, Kamāl al-Dīn al-Fārisī, éminent mathématicien et opticien, à qui l'on doit la première explication exacte de l'arc-en-ciel, vivait entre le XIII^{e} et le XIV^{e} siècle.

Cela dit, nous ne voulons pas suggérer par là que la recherche scientifique en pays d'Islam n'a connu aucun affaiblissement au cours des siècles. Mais affaiblissement ne signifie pas déclin ou décadence. Il y a certes une différence considérable entre, par exemple, le XI^{e} et le XV^{e} siècle. Ceci est visible aussi bien dans l'intensité des recherches que dans le nombre de chercheurs, leur distribution géographique, les problèmes sur lesquels ils travaillent, la qualité de leurs recherches, et la nouveauté des résultats obtenus. Pourtant, imputer ce phénomène complexe à une seule cause intellectuelle serait, nous semble-t-il, par trop simpliste. Car, d'une part, l'historiographie des sciences en terre d'Islam n'est pas encore achevée. Nombre de manuscrits ne sont pas encore édités et leur contenu n'est pas encore analysé. Donc, de même que les travaux de Rashed, et d'autres chercheurs de sa génération, nous ont révélé l'existence de traditions de recherche là où on ne les soupçonnait pas il y a un demi-siècle, on ne saurait exclure de but en blanc que d’autres trésors attendent toujours d’être découvertes.

D’autre part, si l’on veut rechercher les causes de cet affaiblissement, en s’appuyant sur ce que l’on sait pour l’heure, il faut poser la question d’une manière différentielle : si affaiblissement il y a eut, dans quels domaines, dans quelles aires géographiques et politiques, sous quelle forme a-t-il eu lieu ? Cela exigerait une étude compréhensive des causes politiques, économiques, intellectuelles et sociales du phénomène. Une telle étude, qui demanderait la collaboration de spécialistes de différents domaines, doit s’étendre sur de longs intervalles dans l’espace et dans le temps et s’occuper de questions comme celle de la désintégration de l’Empire musulman, des guerres entre différentes dynasties locales, des épidémies, des invasions étrangères, du détournement des routes commerciales à la suite des grandes découvertes maritimes du XV^e^ et du XVI^e^ siècle, des changements climatiques, du colonialisme, et certes – pourquoi pas ? – des inflexions du discours philosophique et théologique. En somme, s’il y a affaiblissement, il faut en chercher les causes sur la terre solide de la réalité sociale et non dans les seules sphères raréfiées de la pure spéculation.

Rashed a souligné à plusieurs reprises la nécessité de telles recherches, et a suggéré certaines pistes à suivre. Pourtant, sa propre œuvre instruit surtout le dossier intellectuel du procès. Dans ce cas comme ailleurs, il nous enseigne tout d’abord à procéder de manière différentielle : il faut donc parler d’affaiblissement de la recherche dans telle ou telle discipline, et non pas dans « la science » envisagée comme un tout. Deuxièmement, quand on se trouve devant ce phénomène dans l'histoire d'une discipline, il vaut mieux, plutôt que d'en rechercher la cause dans de grands bouleversements philosophiques ou théologiques, étudier le phénomène de plus près, pour savoir s'il ne s'agirait pas surtout d'une tradition conceptuelle qui aurait épuisé à peu près toutes ses ressources, d'un procédé qui se serait heurté à ses limites, d'une pensée qui n'aurait plus à sa disposition le langage convenable, etc.

Prenons, pour illustrer la situation dans laquelle l'historien se trouve en de tels cas, un exemple suggéré par l'œuvre de Rashed. Quand on étudie l'œuvre algébrique de Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī, mathématicien dont l'œuvre a été publiée et étudiée pour la première fois par Rashed, et que l'on voit que, pour résoudre numériquement une équation du troisième degré, il écrit des pages et des pages, on se demande, bon gré mal gré : jusqu'où cette algèbre pouvait avancer en employant cette écriture dénuée de tout symbolisme. Et on se prend tout naturellement à soupirer : Si un mathématicien d'un tel calibre avait recouru au symbolisme ! Or, à en croire les historiens, l'avènement du symbolisme en algèbre plus tard en Europe n'était pas tant lié aux grands événements intellectuels, pas même à ce qui se passait à l'intérieur de la communauté mathématique, qu'à des exigences de rapidité et de brièveté qui se faisaient jour chez les commerçants, les calculateurs et les comptables. C'est d'ailleurs dans de tels cas qu'un lien se tisse entre l'histoire sociale de la science et l'histoire de la science tout court.

La science traditionnelle et la science moderne

La thèse du déclin total de la science dans les pays islamiques à partir d'un certain moment, peu importe qu'il se situe au XII[e] ou au XVI[e] siècle, a produit de graves conséquences dans l'historiographie de l'introduction de la science moderne dans ces pays. Comme le dit Rashed,

> Un postulat semble dominer la réflexion sur l'introduction de la science moderne et sa diffusion dans les pays de civilisation islamique. Il est en effet sous-entendu, sinon affirmé, que toute activité scientifique avait disparu de ces pays, et que la science a donc été semée sur un sol vierge[(1)].

Après avoir traité des effets néfastes qu'un tel postulat peut avoir sur l'historiographie de la science, Rashed propose un autre chemin à suivre lorsqu'on discute de la question du rôle joué, au moment de l'introduction de la science moderne, par la science traditionnelle. Il s'agit de

1) l'existence de cette science ;
2) sa capacité à servir de structure d'accueil à la science importée et ainsi son pouvoir d'intégration à celle-ci ;
3) son utilité pour celui qui veut comprendre l'histoire des sciences avant le XV[e] siècle[(2)].

---

(1) Roshdi Rashed, « Mathématiques traditionnelles dans les pays Islamiques au XIX[e] siècle : L'exemple de l'Iran », dans Ekmeleddin Ihsanoğlu (éd.), *Transfer of Modern Science and Technology to the Islamic World*, Istanbul, 1992, p. 393.

(2) Roshdi Rashed, *op. cit.*, p. 393-394.

Rashed s'attache, dans la suite de cet article, à illustrer ces points, à travers l'étude d'un traité d'al-Isfahānī (1800-1879), mathématicien iranien du XIX^{e} siècle, qui se situe dans la continuité de l'œuvre de Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī dont nous parlerons au chapitre V. Voici ce qu'écrit Rashed à ce sujet :

> Le fait épistémologique le plus intéressant qui se dégage de cette œuvre est que ce mathématicien, manifestement peu au fait du développement de sa discipline au XVIII^{e} siècle, est parvenu, en partant de ses prédécesseurs du XII^{e} siècle, à quelques résultats qu'avaient trouvés les mathématiciens des XVII^{e}-XVIII^{e} siècles ; et cela point grâce aux moyens de l'analyse, mais par l'étude arithmétique des fonctions polynômes[(1)].

Ce que propose Rashed par cet exemple, tiré de l'histoire de l'algèbre, est également vrai pour l'histoire de l'astronomie. En effet, au moment de l'introduction de l'astronomie moderne dans certains pays islamiques, plus spécifiquement en Iran, les astronomes traditionnels, étant bien conscients des difficultés de l'astronomie ptolémaïque, y ont opposé très peu de résistance[(2)]. Bien au contraire, certains d'entre eux ont joué un rôle important dans l'acceptation de cette astronomie. Parmi ces derniers nous mentionnons [c]Abd al-Ghaffār Najam al-Dawla (1827-1908) -- fils du susmentionné al-Isfahānī, Astronome Royale (d'où son titre de « Najam al-Dawla » :

---

(1) Roshdi Rashed, *op. cit.*, p. 400.

(2) Voir, Hossein Masoumi Hamedani, « History of Science in Iran in the Last Four Centuries », dans A. Y. Al-Hassan (éd.), *The Different aspects of Islamic Culture*, Paris, UNESCO Publishers, 2001, Vol. 4, p. 615-643, surtout p. 629-640.

l'étoile de l'Etat) et professeur des mathématiques dans le premier établissement de l'enseignement moderne en Iran -- qui avait d'ailleurs une formation mixte et en mathématiques traditionnelles et en mathématiques européennes. De fait, il fut la première personne à composer, à partir des sources françaises qu'il avait à sa disposition, et surtout de l'*Astronomie populaire* d'Arago (publiée en 4 volumes entre 1854 et 1857), un ouvrage compréhensif sur l'astronomie moderne en persan. Autre exemple historique, donc, qui montre comment la science traditionnelle a pu servir au moins « de structure d'accueil à la science importée ».

Une situation similaire se trouve dans la modernisation scientifique de l'Egypte au XIXe siècle, où on assiste à « la présence à l'arrière-plan d'activités scientifiques traditionnelles ou passées qui opère sur le processus ».[1]

(1) Pascal Crozet, *La Science moderne en Egypte : Transfer et appropriation*, p. 12, et p. 219-229 : « savoirs hérités – savoirs emportés ».

V
Histoire des mathématiques

Histoire des mathématiques et histoire des sciences

Outre les raisons que nous avons évoquées aux chapitres précédents, l'une des causes pour lesquelles la science arabe n'a pas encore trouvé la place qu'elle mérite tient au fait que ses acquis les plus remarquables appartiennent aux mathématiques et à leurs disciplines annexes.

Rashed est historien des mathématiques. C'est avant tout à ce titre qu'il est célèbre et ses apports les plus importants sont dans ce domaine. Cela n'empêche qu'une partie non négligeable de son œuvre traite de ce qui ne tombe pas d'ordinaire sous la rubrique de l'histoire des mathématiques : certaines de ses découvertes les plus importantes sont en histoire de l'optique, et il est allé à plusieurs reprises puiser de nouveaux concepts et méthodes dans des textes astronomiques. En outre, la philosophie des mathématiques, et la philosophie des sciences en général, sont des sujets auxquels il revient d'une façon récurrente, aussi bien dans des articles appropriés qu'au sein de ses travaux en histoire.

Pourtant, toutes ces recherches semblent être trop spécialisées pour intéresser le grand public. Cela revient, d'une part, à la nature des mathématiques elles-mêmes, qui ont toujours été un sujet effrayant pour les non-initiés et, d'autre part, à la situation quelque peu ambiguë de l'histoire des mathématiques au sein de l'histoire des sciences ; plus précisément, à la division bipartite qui partage l'histoire du savoir scientifique entre, d'une part, l'histoire des sciences et, d'autre part, l'histoire des mathématiques (abstraction faite de la troisième discipline qu'est l'histoire de la médecine).

Les deux parties de cette dichotomie ne cheminent pas au même rythme, comme on peut l'observer aussi bien dans l'enseignement que dans les ouvrages de vulgarisation. L'histoire de la science est fondée, au moins implicitement, sur l'idée que la science à proprement parler n'a commencé qu'à partir de la révolution scientifique, que donc tout ce qui s'est passé avant cette révolution ne regarde que les spécialistes ou les philosophes, tandis que l'histoire des mathématiques se concentre sur le développement de son sujet comme une activité dont les origines remontent très loin dans l'histoire, et qui a suivi son cours paisible au moins durant vingt-cinq siècles. A la différence de l'histoire de la science en général, où les débats sur les questions de révolution, de rupture, de changement de paradigmes et de discontinuité ont encore cours, de tels débats sont rares en histoire des mathématiques. De fait, si l'on discute parfois de « la crise des incommensurables » dans les mathématiques grecques ou d'une situation similaire à propos des fondements de l'analyse au XIX^{e} siècle, de telles discussions épargnent normalement aussi bien l'enseignement général de l'histoire des mathématiques que les ouvrages de vulgarisation.

Par conséquent, l'idée que l'on se fait, en lisant un livre ou en assistant à un cours d'histoire des mathématiques, se réduit souvent à une accumulation de théorèmes durant des siècles. D'autres éléments du discours mathématiques – ontologie, concepts, procédés, langage, etc. –, sont rarement mentionnés.

Cette situation est due à plusieurs causes, entre autres (et sans prétention à l'exhaustivité) : l'accent démesuré mis sur l'élément expérimental dans la constitution de la science moderne, souvent au mépris du rôle qu'y ont joué les mathématiques ; l'idée que les mathématiques ne sont qu'un « langage » pour exprimer les résultat obtenus ailleurs, langage que les scientifiques peuvent emprunter aux mathématiques déjà existantes ou créer eux-mêmes lorsque le besoin s'en présente ; la formalisation et l'axiomatisation croissantes des mathématiques au cours des deux derniers siècles ; et la prédominance des philosophies logiciste et formaliste des mathématiques pendant une grande partie du XX^e^ siècle.

Cependant, la notion d'occidentalité de la science, selon laquelle la science classique est dans la lignée directe de la science grecque, joue elle aussi, ici comme ailleurs, son rôle : puisque les mathématiques dont on disposait au temps de la révolution scientifique, et qui étaient forcément grecques, ne pouvaient pas répondre à toutes les demandes de la science expérimentale naissante, les fondateurs de la science moderne, ou leurs contemporains mathématiciens, ont forgé, de toute pièce, une nouvelle mathématique dont les chapitres les plus importants sont la géométrie analytique et le calcul différentiel et intégral.

Voilà la situation paradoxale dans laquelle se trouve l'histoire des mathématiques : elle est sans doute la branche la plus enseignée de l'histoire des sciences, et, en même temps, elle en est peut-être la branche la plus anhistorique. L'une des raisons de cette situation est le vide que l'on croit exister entre l'Antiquité et l'Âge classique.

C'est dans ce contexte qu'il faut aborder l'œuvre de Roshdi Rashed en histoire des mathématiques. Cette œuvre nous fournit non seulement quelques chaînons manquants de cette histoire, mais aussi et surtout nous permet d'avoir une idée plus claire de ce qui s'est passé entre l'Antiquité et l'Âge classique, en retraçant la naissance et le développement de quelques disciplines mathématiques qui ont exercé une influence capitale sur la naissance de la science moderne.

De fait, il existe une différence essentielle entre l'historiographie des mathématiques grecques et celle des mathématiques arabes. Dans le cas des mathématiques grecques, les textes fondateurs nous sont parvenus sous une forme plutôt achevée, chacun d'entre eux présentant sa discipline à une étape avancée de son évolution. Il incombe donc à l'historien moderne de faire un tri, en s'appuyant sur les rares documents dont il dispose et en se permettant d'avancer des conjectures, entre différentes composantes de ces œuvres, afin de déterminer les dates et les personnes auxquelles chacune d'entre elles appartient et de dresser un tableau diachronique de l'évolution du contenu des textes tels que les *Éléments* d'Euclide ou les *Coniques* d'Apollonius. Au contraire, les textes arabes, bien que nombre d'entre eux soient perdus, nous permettent de suivre les disciplines auxquelles ils appartiennent à toutes les étapes de leur évolution. De cette façon, l'étude de l'histoire des mathématiques arabes, au mois tel qu'elle est envisagée et pratiquée par Rashed, et son intégration dans l'histoire générale de la science, peuvent rendre à l'histoire des mathématiques une partie de la dimension historique qui lui manque aujourd'hui.

Œuvre de Rashed en histoire des mathématiques

Conformément à sa conception de la tradition conceptuelle et à sa périodisation différentielle de l'histoire des mathématiques, l'œuvre de Rashed dans ce domaine comprend une période qui s'étend de l'Antiquité jusqu'au XVII^{e} siècle. Comme les limites de l'espace imparti et celles de nos compétences personnelles ne nous permettent pas de traiter de toute cette œuvre, nous présenterons d'abord une vue d'ensemble, puis une présentation plus détaillée de ce qu'a fait Rashed en histoire de l'algèbre, et nous achèverons ce chapitre en revenant à quelques traits marquants de la méthode de Rashed en historiographie des mathématiques et aux débats qu'elle peut soulever.

Cette œuvre se divise en trois catégories : l'histoire des mathématiques grecques ; l'histoire des mathématiques arabes ; l'histoire des mathématiques à l'Âge classique. Des liens historiques et conceptuels mettent en rapport ces œuvres les unes avec les autres. De chaque catégorie, nous n'avons choisi que quelques exemples.

Histoire des mathématiques grecques

Les travaux les plus importants de Rashed dans ce domaine regardent les *Coniques* d'Apollonius et les *Arithmétiques* de Diophante. Ces deux œuvres ont des traits communs : elles sont, toutes les deux, des sommets des mathématiques grecques ; elles ont exercé une influence considérable sur les mathématiques arabes et classiques ; elles sont partiellement perdues en grec.

Nous avons déjà parlé, au chapitre III, de l'histoire de la traduction en arabe des *Coniques*. De cette œuvre, originalement rédigée en huit livres, ce qui reste en grec ne comprend que les livres I à IV, les livres V à VII nous sont parvenus seulement dans la traduction arabe faite au IX^{e} siècle sous la direction des Banū Mūsā tandis que le livre VIII était perdu dès l'Antiquité.

L'importance de cette traduction est due à plusieurs choses. D'une part, comme Rashed l'explique en détail, elle est fondée sur une autre tradition textuelle que celle représentée par la partie du livre qui existe toujours en grec. Elle peut donc nous aider à voir l'histoire de ce livre sous un nouveau jour. D'autre part, non seulement cette traduction a été faite en vue des besoins de la recherche mathématique naissante, mais elle en a aussi suscité d'autres. Ainsi trouvera-t-elle ses applications chez ceux qui s'intéressaient à la théorie de la projection, dans les traités sur les miroirs ardents (et plus tard sur les instruments ardents) ; enfin, avec l'essor de l'algèbre, cette traduction sera employée, dès la deuxième moitié du IX^{e} siècle, dans la résolution des équations du troisième degré. De ce dernier aspect, nous parlerons plus bas. Nous aborderons également, au chapitre

V, les liens qui se tissent entre ce chapitre de la géométrie et l'étude des miroirs ardents ainsi que des transformations y produites au X^e siècle et, au chapitre VI, la manière dont quelques propositions de ce livre conduisent à des discussions d'ordre à la fois philosophique et mathématique.

En outre, certains mathématiciens, s'étant rendu compte de l'importance de cette œuvre et de l'étendue de ses applications, essaieront d'en présenter des versions plus abordables. C'est ainsi qu'ils entreprendront de la commenter et d'en rédiger des recensions et des abrégés. Ce genre d'activité va durer au moins jusqu'au XIII^e siècle, et même plus tard. C'est par le biais de telles rédactions que l'Europe fera, à partir du XVII^e siècle, la connaissance des livres des *Coniques* perdus en grec. L'édition de Rashed renferme la traduction arabe de la totalité de ce texte, aussi bien la partie perdue en grec que la partie existante, accompagnée d'un commentaire et d'une traduction française[(1)].

Quant au deuxième ouvrage, les *Arithmétiques* de Diophante, il a été traduit, Rashed le montre, à un moment où l'algèbre était en train de se constituer comme discipline. La traduction des *Arithmétiques* était donc liée à ce qui se passait en algèbre, et surtout à l'introduction, dans cette nouvelle discipline, des problèmes indéterminés. Cette traduction est en fait une lecture *algébrique* de l'ouvrage *arithmétique* de Diophante ; ce qui est évident aussi bien dans son titre arabe

(1) *Apollonius : Les Coniques*, commentaire historique et mathématique, édition et traduction du texte arabe, Berlin / New York, Walter de Gruyter, tome 1.1 : *Livre I*, 2008 ; tome 2.2 : *Livre IV*, 2009 ; tome 3 : *Livre V*, 2008 ; tome 4 : *Livres VI et VII*, 2009 ; tome 2.1 : *Livres II et III*, 2010.

– *l’Art de l’algèbre* –, que dans le choix de termes techniques. Cette mise en rapport d’un livre ancien avec une discipline naissante a donné lieu, comme Rashed le montre, à une multitude de recherches, voire de nouveaux chapitres, dans les mathématiques arabes. Des sept livres des *Arithmétiques* perdus en grec, l’édition et la traduction de Rashed renferment les quatre livres qui existent en traduction arabe, laquelle nous est parvenue dans un manuscrit unique(1). Le reste de l’ouvrage semble être perdu à jamais. Les recherches de Rashed aboutissent d’ailleurs à un ouvrage, rédigé en collaboration avec Christian Houzel, sur les *Arithmétiques*.

Histoire des mathématiques à l’Âge classique

Comme on l’a remarqué au chapitre II, la méthode que se propose Rashed exige un mouvement en deux sens. S’agissant des mathématiques arabes, ce mouvement nécessite deux genres de recherches. Des recherches qu’il a faites sur les mathématiques grecques, nous avons donné plus haut quelques exemples. Quant à l’histoire des mathématiques à l’Âge classique, c’est à deux titres qu’il l’a entreprise : pour sa valeur intrinsèque et pour la lumière qu’elle peut apporter à la destinée des mathématiques arabes. C’est pour cette raison qu’une figure comme Fermat y apparait dans deux rôles complémentaires : fondateur d’une nouvelle géométrie(2) et

---

(1) *Diophante : Les Arithmétiques,* vol. 3 : *Livre IV*, vol 4 : *Livres V, VI, VII*, Paris, Les Belles Lettres, 1984.

(2) Roshdi Rashed, *Fermat et les débuts modernes de la géométrie*, Hildesheim, Olms, 2018.

figure importante dans la tradition séculaire de la recherche sur l'analyse indéterminée(1).

Histoire des mathématiques arabes

Les écrits de Rashed dans ce domaine comprennent presque toutes les disciplines mathématiques, à savoir celles qui existaient auparavant et celles qui ont vu le jour grâce aux recherches des mathématiciens arabes. Pour traiter de tout cela, il faudrait écrire au moins un livre. De plus, une seule personne ne saurait même effleurer ce sujet, qui exigerait en effet la collaboration de plusieurs spécialistes dans différentes disciplines. C'est pourquoi nous avons choisi, au lieu de dresser la revue, forcément hâtive, de tout ce qu'il a écrit à ce propos, de traiter de ce qu'a fait Rashed dans une seule discipline – l'algèbre arabe.

Exemple : Histoire de l'algèbre

L'algèbre est sans doute la contribution la plus importante des savants écrivant en arabe aux mathématiques, et les recherches de Rashed dans ce domaine sont également dotées d'une importance exceptionnelle, car c'est à travers ces études que nous commençons à comprendre l'ampleur du changement apporté par l'avènement de cette discipline.

Rashed a entamé, on l'a dit, ses recherches en histoire des mathématiques arabes par l'algèbre. Les premiers résultats

---

(1) Roshdi Rashed, *Histoire de l'analyse diophantienne classique : D'Abū Kāmil à Fermat*, Berlin-New York, Walter de Gruyter, 2013.

de ses recherches ont parus sous forme d'articles publiés, pour la plupart, dans *Archive for History of Exact Sciences* et réimprimés dans *Entre arithmétique et algèbre* (*Entre*…). En effet, si ce livre fait date dans l'historiographie de l'algèbre, c'est que l'on y trouve quelques-unes des découvertes les plus importantes et des analyses les plus poussées de Rashed. Pourtant, Rashed va poursuivre ses recherches en histoire de l'algèbre, en fournissant des éditions critiques, des traductions françaises et des analyses lumineuses des œuvres d'al-Khwārizmī(1), d'Abū Kāmil(2), d'al-Samaw'al(3), d'al-Khayyām(4), de Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī(5), et même d'un mathématicien peu connu comme al-Khilāṭī(6). Il a en outre publié des ouvrages qui couvrent des pans entiers de cette histoire, ainsi que des livres et des articles qui fournissent une vue synthétique du développement de cette discipline(7).

---

(1) *Al-Khwārizmī : Le commencement de l'algèbre*, Paris, Librairie A. Blanchard, 2007.

(2) Roshdi Rashed, *Abū Kāmil : Algèbre et analyse diophantienne*, Berlin-New York, Walter de Gruyter, 2012.

(3) *Al-Bāhir en Algèbre d'As-Samaw'al* (en collaboration avec S. Ahmad). Damas : Presses de l'Université de Damas, 1972.

(4) *Al-Khayyām mathématicien*, en collaboration avec B. Vahabzadeh, Paris, Librairie Blanchard, 1999 (*Al-Khayyām*).

(5) *Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī, Œuvres mathématiques. Algèbre et Géométrie au XII^e^ siècle*, vol. I. Paris, Les Belles Lettres, 1986 ; vol. II, Paris, Les Belles Lettres, 1986 (*Sharaf* ...).

(6) *Nūr al-Dilāla li-Fakhr al-Dīn al-Khilāṭī : al-jabr al-ḥisābī fī al-qarn al-thālith 'ashar*, Qatar, Markaz Ḥasan b. Muḥammad li-al-Dirasāt al-tārīkhiyya, 2016 (en arabe).

(7) Voir, par exemple, la partie consacrée à l'algèbre dans *D'al-Khwārizmī*..., p. 65-194, surtout « L'algèbre et son rôle unificateur », p. 65-105.

Al-Khwārizmī et le commencement de l'algèbre.

Tout commence avec al-Khwārizmī. Au temps du Calife al-Ma'mūn, c'est-à-dire entre 813 et 833, Muḥammad ibn Mūsā al-Khwārizmī publie un petit ouvrage intitulé *Al-jabr wa al-Muqābala* (désormais, *l'Algèbre*), dans lequel il fait une classification des équations du premier et du deuxième degré et fournit des algorithmes pour les résoudre.

Tout cela était bien connu avant que Rashed n'entame ses recherches en histoire de l'algèbre arabe. Néanmoins, comme ailleurs dans la science arabe, al-Khwārizmī était souvent présenté comme une figure isolée, et son importance était réduite à ses algorithmes, au rôle qu'il avait joué dans la transmission des chiffres indiens à l'Europe, aussi bien qu'à l'influence qu'avaient exercé, aux XII^{e}-XIII^{e} siècle, les œuvres d'al-Khwārizmī et certains de ses successeurs sur l'œuvre des premiers mathématiciens européens. Quant à la suite de l'histoire, il faudrait la rechercher en Europe, chez Fibonacci et chez les algébristes allemands, italiens et français ; et ce en dépit de l'existence d'une édition de *l'Algèbre* d'al-Khayyām ainsi que d'une analyse partielle du contenu du traité algébrique d'al-Karajī, intitulé *al-Fakhrī*, publiés, tous les deux, par Woepcke vers le milieu du XIX^{e} siècle.

En outre, puisqu'al-Khwārizmī mentionne, dans l'introduction de son ouvrage, certains bénéfices pratiques que l'on en pourrait tirer – dans la division des legs, dans la mensuration des terrains, etc. –, on interprétait cet ouvrage, conformément à l'image que l'on faisait de la science arabe, comme un traité écrit avec une visée pratique et donc de très peu de valeur théorique. En général, l'algèbre arabe, souvent jugée à partir du texte d'al-Khwārizmī, n'échappait à la caractérisation générale de la science arabe : « visée pratique, allure calculatoire, absence d'exigence de rigueur » (*Notion*…, p. 309). De plus, une bonne partie des études sur l'algèbre arabe, vue à travers le seul ouvrage d'al-Khwārizmī, se concentrait sur la recherche des « origines » de la terminologie et des algorithmes de l'auteur chez les mathématiciens antérieurs, très spécifiquement chez Diophante et dans les mathématiques babyloniennes et indiennes.

La grande découverte de Rashed dans l'histoire de l'algèbre, c'est qu'il s'est rendu compte que l'ouvrage d'al-Khwārizmī devrait être pris plutôt pour un début qu'une fin. Et le début de trois choses à la fois. Il s'agit, d'une part, du commencement d'une théorie des équations algébriques, théorie qui est certes limitée, chez al-Khwārizmī, aux équations des degrés un et deux, mais qui a déjà en elle tous les éléments nécessaires pour s'étendre aux équations des degrés plus hauts. Il y a, d'autre part, le début d'un calcul algébrique qui se développera, lui aussi, dans l'œuvre des successeurs d'al-Khwārizmī. Et ces aspects dépendent, tous deux, de la création d'un langage algébrique. Examinons de plus près ces deux aspects, en s'appuyant sur l'œuvre de Rashed.

Pour ce qui touche aux équations, elles sont formulées par al-Khwārizmī en toute généralité – et non pas, comme c'était la coutume chez ses devanciers, représentées par des exemples numériques. Comme le dit Rashed,

> contrairement à ses prédécesseurs et à ses contemporains mathématiciens, dans toutes les langues, qui commençaient par se donner les problèmes pour

> ensuite les formuler en équations, al-Khwārizmī prend pour le point de départ les équations, la théorie qui permet de les obtenir et de les classer (*D'al-Khwārizmī …*, p. 45).

Cela se fait par l'intervention des termes techniques forgés par l'auteur. Afin d'exprimer l'inconnue, son carrée et la quantité connue, al-Khwārizmī invente un lexique dont les termes sont empruntés à la langue arabe courante : *shay'* (chose) pour l'inconnue (x), *māl* (bien) pour son carré (x^2) et *dirham* (une unité monétaire) pour la quantité connue (c). A partir de ces termes primitifs, al-Khwārizmī donne une classification de toutes les équations du premier et du deuxième degré. La classification est exhaustive, car elle est fondée sur les différentes combinaisons que l'on peut faire avec ces termes-là. Ainsi arrive-t-il aux six équations canoniques suivantes :

(1) $x^2 = bx$
(2) $x^2 = c$
(3) $bx = c$
(4) $ax^2 + bx = c$
(5) $ax^2 + c = bx$
(6) $x^2 = bx + c \quad (x, a, b, c > 0)$

Al-Khwārizmī fournit alors un algorithme pour résoudre chacune de ces équations.

Or, puisqu'une équation n'est pas toujours donnée sous l'une de ces formes canoniques, Al-Khwārizmī définit deux opérations – « *al-jabr* » et « *al-muqābala* » -- par lesquelles on peut ramener toute équation quadratique donnée à l'une de ces formes.

Or, que faire si une équation n'est pas donnée sous une forme canonique, ou sous une forme réductible à l'une des formes canoniques à l'aide des deux opérations mentionnées, mais par exemple sous la forme

$$(7) \quad (mx + n)(px + q) = r\,?$$

C'est là que se présente le deuxième aspect de l'œuvre d'al-Khwārizmī. Afin de convertir l'équation ci-dessus en l'une des formes canoniques, il traite de chacune des binômes en x comme un nombre naturel à deux digits écrit dans la base x, et il y applique les règles déjà connues de l'addition, de la soustraction et de la multiplication des nombres. Alors, puisque

$$\overline{mn_{10}} = 10m + n, \quad \overline{pq_{10}} = 10p + q$$

et que

$$(10m + n)(10p + q) = 10^2mp + 10mq + 10np + qn$$

On aura

$$\overline{mn_x} = xm + n, \quad \overline{pq_x} = xp + q$$

et

$$(xm + n)(xp + q) = x^2mp + xmq + xnp + qn$$

Donc l'équation (7) devient

$$x^2mp + xmq + xnp + qn = r$$

ou
$$x^2mp + x(mq + np) = r - qn$$

qui est une équation canonique de la forme (4) (pour $r > qn$).

C'est là que se trouvent les débuts de ce que Rashed appelle « l'arithmétisation de l'algèbre ». Il s'agit, à ce stade, d'appliquer aux monômes et aux binômes en x les règles connues de l'addition, de la soustraction et de la multiplication des nombres. On constate déjà, dans l'exemple donné ci-dessus, les règles
$$mx \times px = mpx^2,$$
$$xmq + xnp = x(mq + np)$$

Le troisième aspect de l'ouvrage d'al-Khwārizmī, réside en ce que l'auteur entend créer une discipline qui soit, selon Rashed, à la fois algorithmique et démonstrative. C'est pourquoi il ne se contente pas de mettre en avant ses algorithmes pour la résolution des équations quadratiques ; il en cherche les « causes », autrement dit, il essaie d'en démontrer la validité. Or puisque l'algèbre n'est pas encore dotée d'outils de démonstration propres, il recourt à la géométrie.

Les successeurs d'al-Khwārizmī : l'arithmétisation de l'algèbre

Bien qu'al-Khwārizmī se fût arrêté aux équations du deuxième degré et aux règles que nous venons de mentionner, ses successeurs ont vite compris combien cette approche était fertile. En ajoutant à la liste donnée par al-Khwārizmī le terme *ka^{c}b* (cube) pour désigner la troisième puissance de l'inconnue (x^3), ils créent une terminologie qui pouvait, en principe, exprimer n'importe quelle puissance de l'inconnue. Cela leur permet d'interpréter algébriquement certaines propositions des *Eléments* d'Euclide, pour arriver à des relations comme

$$x^m = x^{m-1} \times x$$

(formule récursive par laquelle on pouvait définir toute puissance de l'inconnu), mais aussi à

$$x^m \times x^n = x^{m+n}$$

$$\frac{x^m}{x^n} = x^{m-n}$$

etc.

Comme on vient de voir, al-Khwārizmī introduit, pour la première fois sans doute, les monômes et les binômes à une inconnue. Ses successeurs, qui comprennent, il faut le dire, très vite la signification de tout son livre, et non pas seulement de la partie consacrée à la résolution des équations quadratiques, continuent sur le chemin qu'il a frayé. Ainsi trouve-t-on chez des mathématiciens comme Sinān ibn Fatḥ et Abū Kāmil (IXe-Xe siècle), une extension de la notion de puissance algébrique, laquelle va déboucher, chez al-Karajī (Xe-XIe siècle), sur une première élaboration en termes généraux de la notion de polynôme à une inconnue.

C'est dans l'œuvre d'al-Karajī et de son successeur al-Samaw'al (XIIe siècle) que nous assistons à une tentative d'extension aux polynômes de toutes les opérations arithmétiques : addition, soustraction, multiplication, division et enfin extraction des racines.

La méthode employée pour ce faire est souvent « la méthode des tableaux », dont nous présentons au lecteur intéressé un exemple très simple.

Soit le polynôme $f(x) = 2x^3 + 3x + 5 + \frac{1}{x}$ à multiplier par. $g(x) = x + 1$ Il convient de noter qu'un polynôme, tel qu'il est conçu dans cette école, peut comprendre aussi bien les puissances positives de l'inconnue que ce que nous appelons aujourd'hui ses puissances négatives. Le tableau ci-dessous montre comment cette multiplication se fait :

rang	4	3	2	1	0	1	2	3	4
f(x)				1	5	3		2	
g (x)					1	1			
f(x).x					1	5	3		2
f(x).1				1	5	3		2	
F (x).g(x)				1	6	8	3	2	2

Sur ce tableau, les puissances de l'inconnue sont représentées sur la ligne « rang ». On voit que les entiers naturels sont rangés de part et d'autre de 0. Ainsi, les entiers qui se trouvent à la droite de 0 représentent les puissances positives de l'inconnue, alors que ceux qui se trouvent à sa gauche en représentent les puissances négatives. Les deux lignes suivantes représentent les deux polynômes, chaque monôme étant représenté par son coefficient, écrit au-dessous de son rang. On multiplie alors tous les nombres de la deuxième ligne par chacun des nombres de la troisième ligne. Les produits ainsi obtenus seront écrits sur les quatrième et cinquième lignes. Nous laissons le lecteur deviner le rang sous lequel chaque produit doit être écrit.

On ne manquera pas de voire à l'œuvre, dans ce tableau, les règles

$$ax^m.bx^n = abx^{m+n}, \quad ax^m.\frac{b}{x^n} = abx^{m-n}$$

Mais aussi,

$$x^m.\frac{1}{x^m} = x^{m-m} = x^0 = 1$$

C'est en employant ces règles que l'on obtient, à la dernière ligne du tableau, une série de nombres qui représente le polynôme

$$f(x).g(x) = 2x^4 + 2x^3 + 3x^2 + 8x + 6 + \frac{1}{x}$$

Ce problème offre, tout d'abord, un exemple simple de cette « arithmétisation de l'algèbre » et de la puissance des méthodes déployées. En second lieu y transparaît un élément pour ainsi dire social : la méthode des tableaux était peut-être la méthode la plus convenable du calcul, car elle se laissait pratiquer par des moyens accessibles à tous – « la tablette et la poussière » – et permettait de contourner l'usage du papier qui n'était toujours pas à portée de la main et, qui plus est, coûtait cher.

De plus, la méthode des tableaux, avec son rangement, de part et d'autre de 0, des nombres qui représentent les puissances de l'inconnue et avec son usage des règles susdites, donne à penser les entiers négatifs. S'agit-il vraiment, dans cette pratique, du début de la connaissance de tels nombres ? De cette question, nous ne pouvons pas nous occuper ; qu'il suffise pour l'heure de noter que l'école d'al-Karajī fournit d’autres exemples susceptibles d’alimenter ce soupçon[1].

Une partie importante de l’œuvre de Rashed regarde les liens qui se tissent, au cours des décennies et des siècles ultérieurs, entre, d’une part, cette arithmétisation de l’algèbre et, d’autre part, des développements produits dans des domaines aussi divers que la résolution numérique des équations algébrique, l’analyse numérique, l’analyse diophantienne, la théorie des nombres, etc. Autant de champs qui continueront à se développer jusqu’à nos jours, où ils constituent des chapitres à part entière des mathématiques. Rashed montre que même l’introduction des fractions décimales, jadis attribuée à al-Kāshī (XIVe-XVe siècle), s’est produite dans l’école d’al-Karajī et ne saurait être dissociée de ce projet d’arithmétisation de l’algèbre.

Les successeurs d’al-Khwārizmī : La géométrisation de l’algèbre

Au moins à partir du IXe siècle, les mathématiciens commencent à utiliser l’algèbre pour résoudre quelques problèmes qui restaient encore irrésolus. Ils procédaient en deux étapes, traduisant d’abord le problème dans un langage algébrique et recherchant ensuite la racine de l’équation qui en résultait. Selon al-Khayyām, al-Māhānī (IXe siècle) fut le premier mathématicien à essayer ce procédé. Sa tentative pour résoudre un lemme d’Archimède l’amena à une équation du troisième degré, qu’il ne sut pas résoudre.

(1) Voir, Hélène Bellosta, « L’émergence du négatif », dans *De Zénon* …, p. 65-83.

L’équation ainsi produite par al-Māhānī fut, plus tard, reprise par al-Khāzin (IXᵉ-Xᵉ siècle), qui trouva sa racine par l’intersection de deux sections coniques. Cette tentative de traduire des problèmes, aussi bien géométriques qu’arithmétiques, en des équations algébriques sera poursuivie par les mathématiciens des Xᵉ et XIᵉ siècles et mobilisera des mathématiciens comme Ibn ‘Irāq, al-Qūhī, al-Ṣāghānī ou al-Būzjānī. Le résultat en était toujours une équation cubique qu’on cherchait à résoudre par intersection de sections coniques. L’un de ces mathématiciens, Abū al-Jūd ibn al-Layth, fut le premier, selon al-Khayyām, à avoir conçu une théorie des équations des trois premiers degrés, « sans toutefois en épuiser toutes les formes » (*Al-Khayyām*…, p. 89). Sa classification des équations était donc incomplète.

C’est dans une telle ambiance qu’al-Khayyām s’attache, dans la deuxième moitié du XIᵉ siècle, à faire pour les équations cubiques ce qu’avait fait al-Khwārizmī pour les équations quadratiques. Il y procède selon la méthode déjà employée par al-Khwārizmī : al-Khayyām se donne les quatre termes primitifs – *jadhr* (racine, terme qu’il utilise, au lieu du *shay’* d’al-Khwārizmī, pour designer l’inconnue x), *māl* (x^2), *ka*ᶜ*b* (x^3) et ᶜ*adad* (nombre, terme qu’il utilise pour la quantité donnée) – et il en fait toutes les combinaisons possibles. La classification d’al-Khayyām comprend toutes les équations de degré inférieur ou égal à trois : celles du premier et du deuxième degré, celles du troisième degré réductibles à des équations du premier ou du deuxième degré, une seule dont la résolution se ramène à l’extraction de la racine cubique et, enfin, les douze équations du troisième degré à proprement parler. En voici la première : « un cube plus une racine sont égaux à un nombre », ce qui veut dire : $x^3 + bx = c$.

Tout en étant dans la lignée des recherches d'al-Khwārizmī, l'algèbre d'al-Khayyām s'en distingue en soulignant d'emblée l'aspect démonstratif de cette science. C'est pourquoi, même dans le cas des équations d'al-Khwārizmī, al-Khayyām procède, après avoir donné l'algorithme de la solution, à une démonstration géométrique de sa validité.

Au sujet des douze équations cubiques à proprement parler, al-Khayyām précise qu'elles n'ont pas de solutions algorithmiques, qu'elles ne se laissent pas résoudre par la règle et le compas, et qu'il faut les résoudre par l'intersection des sections coniques.

C'est ce qu'al-Khayyām fait dans ses deux traités algébriques. Il réussit de fait à résoudre *toutes* les équations cubiques par la méthode qu'il suggère : par l'intersection d'une parabole et d'un cercle, d'une hyperbole et d'une parabole, d'un cercle et d'une hyperbole ou de deux hyperboles.

En parlant de l'existence de la racine d'une équation, al-Khayyām recourt au langage des « données » : pour chaque équation, il précise les sections coniques qui donnent, en se coupant l'une l'autre, la racine de l'équation. Il affirme que, puisque ces courbes sont données, leur point d'intersection est lui aussi donné. Il démontre par conséquent *l'existence* de la racine sans parler de la manière dont peut la *construire*. Dans ce contexte, « donné » ne veut pas dire déjà tracé, mais signifie une courbe que l'on peut tracer si l'on dispose des outils nécessaires. Or, comment s'assurer que les deux sections coniques se coupent l'une l'autre sans les avoir tracées ? Autrement dit : comment peut-on tracer les sections coniques ?

Ces questions ont incité les mathématiciens à entreprendre deux genres de recherches. Dans un premier temps, dès lors qu'ils ont commencé à traduire leurs problèmes arithmétiques ou géométriques en équations algébriques et qu'ils ont compris que dans les cas où l'équation résultante était du troisième degré sa résolution dépendrait de l'intersection de deux sections coniques, ils ont essayé de fabriquer un instrument qui pouvait tracer les sections coniques de la même façon que l'on trace un cercle au compas, à savoir par un mouvement continu.

Le résultat de ce genre de recherches est un nombre important de traités sur « le compas parfait », dans lesquels les auteurs, comme par exemple al-Qūhī, mathématicien qui participait activement à la résolution des équations cubiques, exposent la théorie d'un tel instrument et la manière dont on peut le fabriquer.

Dans un second temps, en réfléchissant toujours sur la question de l'intersection de deux courbes, ces mathématiciens sont parvenus à ce que Rashed appelle une « proto-topologie ». A partir d'une analyse plutôt qualitative du comportement de chaque courbe, de sa courbure, des points qui sont à l'intérieur ou à l'extérieur d'elle, ils ont essayé de répondre à la question que nous avons posée : comment s'assurer que les deux courbes se coupent l'une l'autre ?

Jusqu'à une date récente, les historiens unanimes croyaient que le développement de la théorie des équations au pays d'Islam s'arrêtait avec l'œuvre d'al-Khayyām. C'est avec la découverte, par Rashed, d'un traité important, rédigé dans la deuxième moitié du XII^e^ siècle, par un mathématicien nommé Sharaf-al-Dīn al-Ṭūsī, que le paysage change radicalement. Il fallait toute la compétence historique de Rashed pour permettre ce nouveau regard. Les deux manuscrits de cet ouvrage, en effet, ne contiennent pas les tableaux qui jouent un rôle primordial dans la méthode d'al-Ṭūsī et, par conséquent, dans la compréhension de son texte. Ce manque n'est pas dû à l'intervention des copistes, car ce dont on dispose aujourd'hui n'est pas le texte original d'al-Ṭūsī mais un remaniement dû à un auteur plus tardif.

On entrevoit ici, au moins partiellement, la difficulté de la tâche que Rashed s'était définie. Il s'agissait de la restitution des parties manquantes du traité et de la compréhension d'un texte dont la langue même était « d'une exceptionnelle difficulté » (*Sharaf* ..., vol. 1, p. LII). Ce travail, dont les premiers résultats paraissent dans les années 70 du siècle dernier (voir, *Entre* …,) aboutit à la publication, en 1986, de l'œuvre d'al-Ṭūsī[(1)].

Sans vouloir entrer dans les détails du traité d'al-Ṭūsī, dont on ne saurait s'exagérer l'importance, nous nous bornerons ici à citer Rashed :

> Parti de l'œuvre d'al-Khayyām, al-Ṭūsī voulait consacrer un ouvrage entier à la théorie des équations cubiques, devenue pour ainsi dire un chapitre autonome des mathématiques. C'est, semble-t-il,

(1) *Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī, Œuvres mathématiques. Algèbre et Géométrie au XII^e^ siècle*, 2 vols, Paris, Les Belles Lettres, 1986 (*Sharaf* ...).

pour confirmer ce statut qu'al-Ṭūsī intègre au début du *Traité* des courbes dont il se sert plus tard, et qu'il introduit et justifie mathématiquement la méthode – dite de Ruffini-Horner – pour la résolution numérique des équations. En adoptant le projet de son devancier, al-Ṭūsī entend donc en donner la réalisation la plus complète et la plus unitaire. … Et pourtant, c'est précisément ce projet qui n'a pu résister à la construction du *Traité* : l'unité voulue est en effet brisée par l'émergence, au cours de la recherche, d'une problématique que rien ne laissait prévoir initialement, et qui scinde le *Traité* en deux parties, solidaires certes, mais relevant de mathématiques différentes. La première partie, dans la tradition d'al-Khayyām, est destinée à la construction géométrique des racines des équations ; c'est au cours de cette recherche qu'al-Ṭūsī s'impose une contrainte supplémentaire : démontrer systématiquement… l'existence du point d'intersection de deux courbes dont l'abscisse détermine la racine positive demandée. Cette nouvelle exigence a, tout naturellement, conduit l'auteur à poser les problèmes de localisation et de séparation des racines, et à traiter des conditions de leur existence indépendamment de leur constructibilité géométrique. C'est pour résoudre ce problème qu'al-Ṭūsī définit la notion de maximum d'une expression algébrique, et s'efforce de trouver concepts et méthodes pour la détermination des maxima. Non seulement le mathématicien est-il amené, dans cette démarche, à inventer notions et

> méthodes qui ne seront baptisées que plus tard, mais il doit, pour y parvenir, changer de mode d'approche : pour la première fois, que je sache, il découvre la nécessité de procéder localement. La seconde partie du *Traité*, précisément consacrée à ces problèmes, se différencie de la première par les objets qu'elle considère, et s'en démarque plus encore par le style mathématique qu'elle adopte. Mais la découverte de ce nouveau continent dont al-Ṭūsī venait à peine d'aborder les côtes, ne pouvait plus se satisfaire de la langue naturelle, et aurait eu besoin d'une langue mieux adaptée à ses objets. C'est alors qu'entre en scène le symbolisme, dans un rôle négatif tout au moins : en un mot, si la langue naturelle pouvait encore convenir à l'algèbre arithmétique, elle se dresse comme un véritable obstacle à l'extension de la recherche engagée par la dialectique entre algèbre et géométrie. Peut-être est-ce là qu'il faut chercher l'une des principales raisons de l'épuisement des recherches en ce domaine dans les mathématiques arabes, mais aussi l'explication de leur essor au XVII^e^ siècle en Europe (*Sharaf* …, vol. 1, p. XXXI-XXXII).

Les remarques de Rashed rappellent la méthode qu'il recommandait aux historiens dans son allocution consacrée à Descartes, avec laquelle on a commencé cet ouvrage, et qu'il pratique partout dans son œuvre. Rashed y proposait de porter un double regard sur les rapports entre, d'une part, le philosophe français et, d'autre part, ses devanciers et successeurs :

> Tels sont, brièvement esquissés, ces deux mouvement qui semblent régler l'évolution de la *Géométrie* de Descartes. Le premier s'oriente vers l'accomplissement d'un projet scientifique conçu six siècles auparavant sous d'autres climats ; le second recueille le début d'une étude des courbes, pour en faire un nouveau programme dont la réalisation sera un gage d'avenir, avec Cramer et Bézout : et celui de la géométrie différentielle, avec les frères Bernoulli (*Al-Khayyām* …, p. 29).

A la découverte de nouvelles disciplines

La production de Roshdi Rashed en histoire des mathématiques, on l'a dit, comprend presque toutes les disciplines mathématiques pratiquées de l'Antiquité à l'Âge classique. Pourtant, une telle assertion n'est pas rigoureusement exacte, car quelques chapitres des mathématiques, dont traitent certains écrits de Rashed, n'existaient pas encore, en tant que disciplines ou en tant que chapitres à part entière, aux temps dont il parle. Il s'agit, autrement dit, de saisir ces « proto-disciplines » au moment de leur conception. Ainsi arrive-t-il à Rashed de discerner, derrière ce qui semble être un simple événement interne à une discipline déjà existante, avec ses problèmes, ses méthodes et son histoire, le début de quelque chose de nouveau, qui est en train de prendre forme peu à peu, et qui se détachera, au fil du temps, de sa terre natale. Rashed le suit souvent durant tous les étapes de son développement, jusqu'au moment où il se transforme, selon le cas, en une discipline indépendante ou en un chapitre à part entière. Nous tenterons d'expliciter cette démarche au moyen d'un exemple abordable et dans un langage aussi simple que possible.

Exemple : Les **Connus** *et les transformations géométriques*

Le traité d'Ibn al-Haytham intitulé *Sur les connus* semblerait être, à première vue, une simple continuation des *Données* d'Euclide. Chez ce dernier, il est question des conditions qui doivent être « données », lorsque l'on considère une figure géométrique, pour que l'on puisse la déterminer – complétement ou partiellement. Par exemple, si le centre et le rayon d'un cercle sont donnés, le cercle est complétement donné. Alors que, si seul le rayon du cercle est donné, le cercle n'est que partiellement donné.

Le traité d'Ibn al-Haytham sur les *Connus*, édité, traduit et commenté par Rashed(1), se divise en deux parties. Dans l'introduction du traité, Ibn al-Haytham précise que la seconde partie du traité, « est du genre de ce qu'Euclide a mentionné dans les *Données*, sans que pourtant rien n'en soit mentionné dans le livre des *Données* », alors que, dans la première partie, il s'agit de « notions qui n'ont été mentionnées par aucun des prédécesseurs, ceux-ci n'ont rien mentionné de leur genre » (*Les mathématiques* ..., vol. 4, p. 484). Donc, à en croire Ibn al-Haytham, la deuxième partie de son traité renferme des problèmes nouveaux, mais du genre de ceux qui étaient déjà abordés par Euclide ou par

(1) *Les mathématiques* ..., vol. 4, p. 393-583.

d'autres mathématiciens, alors que les problèmes de la première partie sont d'un genre nouveau.

En effet, dans cette première partie du traité d'Ibn al-Haytham, il ne s'agit plus de déterminer une figure géométrique en en connaissant quelques propriétés. Le problème y est tout à fait différent : Une figure géométrique étant donnée, comment peut-on arriver, par le biais de quelques opérations géométriques – rotation, translation, homothétie, etc. –, à une autre figure qui, elle aussi, sera connue, suite à ces opérations ?

Bien qu'Ibn al-Haytham précise que les *notions* qu'il va présenter dans la première partie de son traité sont *d'un genre nouveau*, le fait qu'il emploie toujours le langage euclidien peut nous cacher cette nouveauté. D'autant plus qu'il ne baptise ni ce nouveau genre de problèmes ni les opérations que nous avons rappelées à l'aide des noms qu'elles portent aujourd'hui. De plus, il présente ces opérations sous une forme conforme à l'orthodoxie euclidienne.

Pourtant, Rashed a pu discerner, dans ce traité, le début d'un nouveau chapitre de la géométrie qui s'appellera, plus tard, « les transformations géométriques ». De plus, la démarche d'Ibn al-Haytham, bien qu'elle soit dissimulée sous le langage traditionnel et présentée par des opérations qui paraissent tout à fait légitimes du point de vue euclidien, n'implique rien moins que l'usage du mouvement en géométrie. Nous évoquerons ce dernier aspect au chapitre VI.

La « traduction » et ses enjeux

Rashed a découverte quelques-unes de ce ces nouvelles disciplines, quelques-uns de ces nouveaux chapitres, des mathématiques et il leur donne des noms qu'ils recevront beaucoup plus tard dans l'histoire. Ce qui est encore plus remarquable dans son œuvre, c'est qu'il n'hésite pas à utiliser le symbolisme pour décrire les procédés et les méthodes mis en avant par des mathématiciens qui ont travaillé en un temps où le symbolisme n'avait pas encore vu le jour.

Cette démarche de Rashed pourrait éveiller certains soupçons. Tout en admettant l'importance de ses recherches, on pourrait le critiquer pour la raison qu'il « moderniserait » des études faites et des résultats obtenus dans un autre « milieu culturel » et qu'il ne tiendrait pas compte du « contexte social » dans lequel ces activités ont éclos. De telles critiques rappelleraient également que des expressions comme « géométrie algébrique » ou « topologie » renvoient à des concepts « modernes » qu'il serait périlleux d'appliquer aux mathématiques pré-modernes.

Si l'on examine de plus près cette critique, on ne manquera pas d'y voir à l'œuvre l'idée d'une « modernité », tout au moins d'une modernité scientifique, qui aurait affecté, à partir d'un certain moment dans l'histoire, toutes les disciplines ou tous les chapitres d'une discipline. Or comme on l'a vu, le point de départ de Rashed, c'est qu'un tel moment n'existe que dans l'imagination des historiens. En outre, même si l'on ignore les motivations idéologiques à l'arrière-plan, dont, encore et toujours, la notion d'occidentalité de la science, il reste que l'idée de modernité scientifique, telle que nous venons de la décrire, est assurément fondée sur une connaissance insuffisante de ce qui s'est passé entre les IXe et XVIIe siècles. On peut donc détecter, dans cette critique, quelque chose comme une pétition de principe : son point de départ est une notion que les recherches de Rashed, et la périodisation différentielle qui s'ensuit, remettent précisément en cause.

Plus important encore, c'est le lien qui existe entre ce genre de critique et la tendance anthropologisante dont nous avons parlé au chapitre II. Car les protagonistes de cette approche, tout au moins dans sa version la plus radicale, nous conseillent, lorsque nous nous trouvons devant un fait « scientifique » provenant d'une autre aire culturelle, de faire ce que les ethnologues font lorsqu'ils rencontrent des pratiques sociales ou religieuses appartenant à une tribu étrangère : le décrire sans chercher à en rendre compte ; le voir dans son « contexte social ».

Loin de nous, bien entendu, l'idée qu'il ne faille pas situer une œuvre dans son contexte. Mais tout dépend de ce que l'on entend par « contexte ». Qu'est-ce donc, en effet, que le contexte dans lequel le travail d'un scientifique, en tant que scientifique, se déroule ? Les milieux sociaux qu'il fréquente, les cérémonies auxquelles il participe, ou bien les traditions conceptuelles auxquelles il se rattache ? Au nom de quel principe l'historien devrait-il fonder son travail sur un découpage opéré dans l'espace et non dans le temps ? D'autant plus que les méthodes anthropologiques, que l'on recommande aux historiens de la science d'adopter, ont pour origine les recherches faites, en premier lieu, sur des sociétés que l'on qualifiait de « sans histoire ». Appliquer ces méthodes à l'histoire ne serait donc qu'un acte d'autodestruction.

Quant à la traduction, ou la réécriture, des textes anciens dans le langage symbolique moderne, nous espérons avoir montré plus haut que l'on peut réécrire, comme le fait Rashed, en symbolisme algébrique des procédés originellement exposés dans un autre langage, tout en restant attaché au texte que l'on veut comprendre. Traduire n'est donc pas forcément trahir. Il s'agit d'un acte herméneutique qui est non seulement permis, mais même nécessaire. Car, comme écrit Rashed à ce propos, en parlant de l'œuvre de Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī :

> Il ne fait aucun doute que la traduction précise dans la langue des mathématiques postérieures à celle de l'auteur, des opérations et des concepts, révèle le sens objectif des idées sous-entendues par ces derniers. S'arrêter là, cependant, serait presque sûrement trahir le sens que l'auteur attribuait à ces concepts et à ces opérations. En effet, face à ces œuvres, et elles sont nombreuses, où le mathématicien travaille dans le futur mais avec les moyen du présent, l'historien se trouve confronté à deux tâches, dont la réalisation simultanée est loin d'être aisée : placer les idées de l'auteur dans la diachronie pour saisir et situer le type de rationalité qu'elles n'acquerront que bien loin des origines ; s'astreindre d'autre part à déterminer leur place dans la structure de l'œuvre pour déchiffrer le sens qui n'a jamais cessé d'être le leur (*Sharaf* …, vol. 1, p. XVIII).

V
Le renouvellement de l’histoire de l’optique

Une partie importante de l’œuvre de Rashed est consacrée à l’histoire de l’optique. Or, bien que ses apports dans ce domaine soient parfois aussi importants que ses contributions à l’histoire des mathématiques, la situation y est différente.

S’il a fallu attendre les dernières décennies du XXe siècle avant que l’histoire n’ose placer les œuvres algébriques d’al-Khayyām et de Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī au côté de celles de Descartes et de Fermat, au moins un savant de la période islamique avait longtemps occupé une place importante dans l’histoire de l’optique. Il s’agit d’Ibn al-Haytham (Alhazen des Latins) dont le *magnum opus*, *le Livre de l’optique*, traduit en Latin au XIIe siècle, était le livre de chevet des savants qui s’occupaient de cette discipline jusqu’au milieu du XVIIe siècle et même bien après.

En fait, contrairement à ce que l’on constate dans certains disciplines physiques, la dynamique par exemple, où la naissance des idées nouvelles exigeaient une rupture presque totale avec ce qui existait avant, l’histoire de l’optique présente l’exemple d’une science où la continuité et la rupture vont ensemble, où les idées nouvelles se présentent souvent suite à une nouvelle lecture d’un texte où des textes anciens.

C’est ainsi que Ptolémée reprend le travail d’Euclide en le complétant, qu’al-Kindī met en avant ses idées nouvelles en critiquant celles d’Euclide, que toute l’optique latine médiévale se constitue autour de la lecture de certains ouvrages d’al-Kindī et d’Ibn al-Haytham, et qu’enfin Kepler conçoit son optique sous la forme d’une critique, surtout de celle d’Ibn al-Haytham qu’il connaissait à travers la recension de Vitello.

Les écrits de Rashed traitent d’une bonne partie de cette histoire, surtout des parties écrites ou traduites en arabe. Un trait distinctif de l’optique arabe c’est la spécificité de ses sources. A la différence d’autres disciplines comme l’astronomie, pour laquelle les savants arabes disposaient de divers sources – indiennes, persanes et grecques –, l’optique géométrique arabe, comme le dit Rashed, était l’héritier de l’optique grecque et de rien d’autre (*Histoire* …, vol 2, p. 293). On ne peut donc pas attribuer le développement de l’optique en arabe, et surtout sa réforme par Ibn al-Haytham, à la rencontre de plusieurs traditions et aux problèmes qui en résulteraient.

L’optique, aujourd’hui partie intégrante de la physique, est l’une des plus anciennes sciences mathématiques, à savoir, l’une de ces disciplines que l’on peut appeler aujourd’hui les mathématiques appliquées, qui employaient des méthodes et des concepts mathématiques dans le but de rendre compte d’un phénomène naturel. En effet, s’agissant de l’optique géométrique grecque, elle se réduisait à une tentative de la géométrisation de la vision. Cette géométrisation était possible grâce à l’intervention des rayons visuels. Car, selon les opticiens grecques, et d'après le plus ancien texte de cette tradition dont on dispose, à savoir l'*Optique* d'Euclide, la vision est crue se produire suite à l'émission de l'œil des rayons qui suivent les directions des lignes droites et qui, en tombant sur le visible et en en balayant la surface, le « voient ». La propagation rectiligne des rayons visuels est donc le principe sur lequel tout l'édifice de l'optique géométrique grecque est fondé, et bien que cette théorie subisse plusieurs modifications importantes après Euclide, et surtout dans l'œuvre de Ptolémée, ce principe ne sera jamais abandonné.

Avec l'*Optique* de ce dernier, nombre de sujets y seront intégrés : désormais elle comprendra, au côté de la vision directe, la vision indirecte, c'est-à-dire, celle qui se produit par le biais de la réflexion ou de la réfraction des rayons visuels. Les études consacrées à ces deux dernières, à savoir, la réflexion et la réfraction des rayons visuels, constitueront au fils du temps des chapitres à part entière et donc porteront des noms propres à elles : la catoptrique et la dioptrique. En outre, dans l'*Optique* de Ptolémée, il y a un élément expérimental qui n'existait pas chez son prédécesseur.

C'était à cette fin que l'optique grecque employait ses rayons et, par conséquent, elle n'avait rien à voir avec la lumière et sa propagation. La lumière n'était que l'une des *conditions* de la vision, car on ne peut rien voir dans l'obscurité. Pourtant, il existait une autre discipline qui traitait de l'embrasement par la réflexion des rayons, cette fois lumineux, sur les miroirs paraboloïdes ou sphériques ou un jeu de miroirs plans. Néanmoins, cette dernière discipline n’avait rien à voir avec la vision et était donc considérée comme une discipline purement mathématique.

Comme on l’a déjà remarqué, la grande majorité des traités grecs sur l’optique, aussi bien sur l’optique au sens propre que sur les miroirs ardents, furent traduites en arabe durant le mouvement de traduction, et cela allait de pair avec une recherche intensive dans ce domaine.

Un trou dans l’histoire

Pourtant, en dépit de la continuité que l’on peut constater dans l’histoire de l’optique, il paraissait, avant les travaux de Roshdi Rashed, qu’il existât un vide dans cette continuité. Il nous faut donc revenir à la situation de l’histoire de l’optique vers les années 60 du XX^{e} siècle, au moment où Rashed commence ses travaux dans ce domaine.

Ceux-là s’étalent sur une période de plus de trois décennies et renferment trois domaines à la fois liés et distincts : l’histoire de l’optique avant Ibn al-Haytham ; l’optique d’Ibn al-Haytham ; et l’histoire de l’optique après Ibn al-Haytham. De plus, ils traitent aussi bien de l’histoire de l’optique à proprement parler que de celle des miroirs ardents.

Cette classification ne reflète pourtant pas l’ordre dans lequel ces travaux ont été réalisés. *Les catoptriciens grecs*, ouvrage qui traite des débuts de la discipline des miroirs ardents, et qui restait en chantier pendant plusieurs années, n’est paru qu’en 2000, alors que certains travaux sur Ibn al-Haytham et Kamāl al-Dīn al-Fārisī datent de la fin des années 60 du siècle dernier.

Cet écart entre, d'une part, l'ordre chronologique dans lequel Rashed a réalisé son projet sur l'histoire de l'optique et, d'autre part, les ordres logique et historique, n'est pas sans raison. Il paraît que, pour Rashed, comme pour bien d'autres avant lui, la recherche dans ce domaine ait commencé par un questionnement sur la nature de la réforme réalisée par Ibn al-Haytham dans l'optique. Au moment où il a entamé sa recherche, la question se posait dans un cadre déjà donné : les historiens de l'optique, même les plus grands parmi eux, croyaient qu'entre Ptolémée et Ibn al-Haytham, c'est-à-dire entre le II^e^ et le X^e^ siècle, rien d'important n'était produit dans l'histoire de l'optique. Donc Ibn al-Haytham était vu comme l'héritier direct de Ptolémée, dont le livre aurait servi de modèle dans la rédaction du son *magnum opus*, à savoir *le Livre de l'optique* (*Kitāb al-Manāẓir*). Cette situation est ainsi caractérisée par Rashed :

> En analysant la contribution d'Ibn al-Haytham dans le domaine de la réfraction de la lumière, les historiens ne font que se référer à Ptolémée. Par conséquent, Ibn al-Haytham leur paraît comme une figure isolée apparue à la fin du X^e^ et le début du XI^e^ siècle. Entre lui et Ptolémée il y avait un vide, et après il y avait un autre vide entre lui et Kamāl al-Dīn al-Fārisī.[1]

Ce qu'écrit Rashed à propos de la réfraction est également vrai pour toute la science de l'optique. Voici, par exemple,

---

(1) Roshdi Rashed, « A Pioneer in Anaclastics : Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses », *Isis*, 81, 1990, p. 464-491, surtout p. 464-465, réimprimé dans *Optique* ….

ce qu'écrivait, en 1957, Albert Lejeune, grand spécialiste de l'optique de l'Antiquité : « Pour Alhazen, le traité de Ptolémée représente donc encore le dernier état de la science ». [1]

A partir de l'image ainsi formée de l'histoire de l'optique entre Ptolémée et Ibn al-Haytham, les historiens ont mis en avant plusieurs thèses à propos de la place de ce dernier dans l'histoire de l'optique, ses rapports avec son prédécesseur et la nature de son renouvellement de l'optique.

Puisque le livre d'Ibn al-Haytham paraît s'ordonner autour de la question de la vision, et que ses chapitres correspondent, au moins dans leur aspect apparent, à ceux de *l'Optique* de Ptolémée, on ne voyait aucun mal à inscrire tout le projet optique d'Ibn al-Haytham dans le cadre d'une recherche dont *l'Optique* de Ptolémée était le meilleur exemple et qui avait pour problème fondamental la question de la vision sous toutes ses formes. La seule différence entre les deux auteurs serait donc le remplacement, par Ibn al-Haytham, des rayons visuels par les rayons lumineux. C'est ainsi que l'optique d'Ibn al-Haytham c'était présentée comme une nouvelle théorie de la vision.[2]

Néanmoins, on ne manquait pas de voir certaines différences fondamentales qui séparaient cette œuvre de ses prédécesseurs, plus spécifiquement de *l'Optique* de Ptolémée. Parmi ces

---

(1) Albert Lejeune, *Recherches sur la catoptrique grecque, d'après les sources antiques et médiévales*, Académie Royale de Belgique, Mémoires, Collection in-8°, t. III, 1957, pp. 7 et 29.

(2) Pour voir combien cette idée est tenace, voilà l'intitulé de la traduction anglaise récente de la version latine de *l'Optique* d'Ibn al-Haytham : A. Mark Smith, *Alhacen's Theory of Visual Perception*, 2 vol. American Philosophical Society, 2001.

différences, la plus évidente, c'est que dans son *Optique*, Ibn al-Haytham se débarrasse des rayons visuels et il n'y parle que des rayons lumineux. De plus, il emploie l'expérience comme un nouvel outil de démonstration, et ses expériences dépassent de beaucoup, dans leur conception aussi bien que dans leur réalisation, tout ce qui existait avant lui. Pourtant, tout cela se ne serait produit, selon la majorité des historiens, que dans la perspective déjà définie par Ptolémée.

Situation assez paradoxale. D'une part, il semblait qu'Ibn al-Haytham s'était donné beaucoup de peine pour arriver à des résultats déjà obtenus par Ptolémée où pour vérifier des principes, comme celui de la propagation rectiligne de la lumière, que personne ne mettait en question. D'autre part, les chercheurs semblaient être tous d'accord que, dans un sens ou un autre, l'œuvre d'Ibn al-Haytham était un véritable renouvellement de l'optique.

En quoi consisterait donc ce renouvellement ? Si l'optique d'Ibn al-Haytham n'est qu'une nouvelle théorie de la vision, et si elle n'est pas, dans ses grandes lignes, trop différente de celle de Ptolémée, pour quoi son auteur a entrepris la reforme d'une discipline qui n'en avait pas autant besoin ? A cette question, les historiens de l'optique donnent des réponses très diverses.

En ce qui concerne l'aspect expérimental de l'optique d'Ibn al-Haytham, certains évoquent l'existence d'une tradition expérimentale qui remontait au moins aux expériences de Ptolémée sur la réflexion et la réfraction des rayons visuels. Certains d'autres croient voir dans les expériences d'Ibn al-Haytham une pratique déjà courante chez les astronomes, lesquels essayaient toujours de vérifier, ou de modifier, par de nouvelles observations, des résultats déjà obtenus(1).

Quant à la grande innovation d'Ibn al-Haytham, à savoir le remplacement des rayons visuels par les rayons lumineux, on a essayé d'en rendre compte, en l'absence de toute sorte de justification au sein de l'histoire de l'optique telle qu'ils la conçoivent, par des causes externes. Certains le présente comme une autre façon de parler de la loi du retour à l'inverse : puisque, sur le plan purement géométrique, le rôle de chaque rayon se réduit en fin de compte à garantir l'existence d'une droite joignant l'œil à un point de l'objet visible, il importerait peu si l'on croit à l'émission des rayons de l'objet vers l'œil ou de l'œil vers l'objet.

L'image que d'autres font d'Ibn al-Haytham, c'est-à-dire, celle d'un savant de fortes tendances philosophiques et bien versé dans la philosophie péripatéticienne, s'est présentée comme une solution pour le problème de la démarche générale d'Ibn al-Haytham et, plus précisément, de son réforme de l'optique. Puisqu'il parle, au moins à trois reprises -- au début de l'*Optique*, du *Halo et l'arc-en-ciel* et du *Discours de la lumière* -- , de la nécessité, dans l'étude des phénomènes relevant de lumière et de la vision, d'une « composition » des sciences physiques et mathématiques, l'optique d'Ibn al-Haytham est souvent représentée comme une synthèse des théories déjà existantes au sujet de la

(1) Voir, A. I. Sabra, « The astronomical Origins of Ibn al-Haytham's Concept of Eperience », *Actes du XII^e Congrès International de l'Histoire des Sciences, Paris 1968*, T. III, Paris, Albert Blanchard, 1971.

lumière et sa propagation et de la vision. Selon de tels historiens, il ne s'agirait en fait que d'« une synthèse des deux doctrines qui se partageaient entre elle tout le champ du discours », celle des « géomètres, Euclide et Ptolémée », et celle des « philosophes péripatéticiens ». A en croire les protagonistes de cette interprétation, dans cette synthèse « l'approche des 'mathématiciens' » aurait dominé « la forme de l'enquête, alors que leurs doctrines » auraient été « transformées, en fait renversées, sous la lumière de celles des 'physiciens' ».(1)

Or, comme Rashed l'a montré, cette image est due, au moins en partie, à la confusion entre un philosophe nommé Muḥammad ibn al-Haytham et notre mathématicien al-Ḥasan ibn al-Haytham, confusion qui remonte à des anciens bio-bibliographes et qui est d'ailleurs répétée par plusieurs auteurs contemporains.(2)

La liste des solutions ne s'arrête pas là. Certains sont allés même beaucoup plus loin en parlant de cette synthèse comme une solution, semblable à celle d'Averroès, pour

---

(1) A. I. Sabra, « Ibn al-Haytham », dans Charles C. Gillispie (éd.), *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 6, New York, Charles Scribner's Sons, 1972, p. 189-210, surtout p. 191. Le présent auteur a montré ailleurs, par une analyse de la doctrine avicennienne de la lumière, que c'est en vain que l'on chercherait, chez les philosophes péripatéticiennes, une « théorie » de la lumière. En fait pour eux, le statut ontologique même de la lumière n'était pas bien défini : Hossein Masoumi Hamedani, « La lumière et sa propagation chez Alhazen et Avicenne », dans Trottmann, Christian et Anca Vasiliu (éd.), *Du visible à l'intelligible : Lumière et ténèbres de l'Antiquité à la Renaissance*, Paris, Honoré Champion Editeur, 2004, p. 145-171.

(2) Voir : *Les mathématiques* ..., vol. 2, p. 8-19 ; vol. 3, p. 937-941 ; vol. 4, p. 957-960.

« l'énigme de la place des mathématiques dans le schéma aristotélicien des sciences ».[1]

Voilà une revue sommaire de la situation dans laquelle se trouvait la recherche sur l'optique écrite en arabe vers le milieu des années soixante du XX^e siècle, au moment où Rashed commence son travail sur l'histoire de l'optique. Et ce, malgré l'existence, en arabe, du grand ouvrage de Muṣṭafā Naẓīf qui avait entrepris une recherche exhaustive sur tous les ouvrages optiques d'Ibn al-Haytham, pour la plupart des manuscrits, qui étaient à sa disposition, et en avait éclairé beaucoup de points obscurs.

Dans ce paysage, il était peut étonnant qu'Ibn al-Haytham soit considéré presqu'une singularité. Parmi ces prédécesseurs, al-Kindī n'était connu qu'à travers la traduction latine de l'un de ses ouvrages, le célèbre *De aspectibus*, qui n'était étudié que pour l'influence qu'il avait exercée sur le développement de l'optique dans l'occident médiéval ; personne n'avait abordé ce livre pour la lumière qu'il pourrait jeter sur la naissance de la nouvelle optique d'Ibn al-Haytham. L'apport majeur d'al-Kindī, son analyse ponctuelle de la vision, était donc vu sous le seul aspect de la théorie de la vision. Ibn Sahl n'était connu que par le biais d'un passage du *Discours de la lumière* d'Ibn al-Haytham. Quant à l'histoire des miroirs ardents, elle restait toujours dans son enclave de l'histoire des mathématiques, à distance respectueuse de l'histoire d'une optique qui se définissait comme une théorie de la vision.

---

(1) Voir Schlomo Pines, *Collected Works*, vol. 2, Leiden, Brill, 1986, p. 80.

Quant à Kamāl al-Dīn al-Fārisī, grand successeur d'Ibn al-Haytham, dont le livre avait longtemps servi du seul moyen pour qu'on puisse former une idée de ce qui aurait été le contenu du *Livre de l'Optique* d'Ibn al-Haytham, il était connu certes pour ce qu'il avait écrit à propos de l'arc-en-ciel. Pourtant, cette première explication d'un phénomène sur lequel avait coulé beaucoup d'encre depuis l'Antiquité, n'avait pas encore reçue l'analyse qu'elle méritait.

C'est dans cette ambiance que Rashed entame ses recherches en histoire de l'optique. Comme nous l'avons déjà indiqué, ses recherches commencent par certains travaux sur Ibn al-Haytham et sur Kamāl al-Dīn al-Fārisī. Les articles qu'il publie à ce sujet[(1)] portent, entre autres, sur les questions dont nous avons parlées. Sans vouloir entrer dans une polémique avec les protagonistes de telle ou telle interprétation, Rashed essaye surtout de reformuler la question que nous avons déjà proposée -- en quoi consiste la nouveauté de l'œuvre d'Ibn al-Haytham ? – en éclaircissant certains aspects de l'œuvre de ce denier.

Il écarte d'emblée la thèse de la synthèse entre deux théories. D'abord parce que ce qui sortirait de cette synthèse serait une nouvelle théorie, alors que, dans le cas d'Ibn al-Haytham, ce à quoi nous assistons, c'est toute une nouvelle science qui n'est pas réductible à une théorie sur la nature de la

---

(1) Ce sont : « Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham », « Le 'Discours de la lumière' d'Ibn al-Haytham (Alhazen) », « Le modèle de la sphère transparente et l'explication de l'arc-en-ciel : Ibn al-Haytham, al-Fārisī » ; « Lumière et vision : l'application des mathématiques dans l'optique d'Alhazen ». Ces articles sont tous réunis et réimprimés dans *Optique* ….

lumière et sur sa place dans la vision. Comme le dit Rashed :

> La difficulté est donc : si synthèse il y eut, comment a-t-elle pu produire parfois une doctrine et parfois une science ? Comment a-t-elle pu, au moins à un certain niveau, réformer les critères de la connaissance et introduire les normes d'une preuve mathématique et expérimentale ? C'est là, semble-t-il, que réside la véritable question.(1)

S'agissant du problème du rapport entre l'optique d'Ibn al-Haytham et les thèses des philosophes péripatéticiens, il est vrai qu'il emploie le langage des formes, en disant par exemple que la lumière est une forme, qu'elle est une forme essentielle dans les corps qui sont lumineux en soi et une forme accidentelle dans les corps illuminés. Cela n'empêche pourtant qu'il utilise ce terme dans un sens plutôt inédit. En effet, chez Ibn al-Haytham, le concept unitaire de la forme des philosophes se décompose. C'est pourquoi, au lieu de parler de « la forme » d'un objet, il évoque souvent « les formes » de ses parties.

Doc l'usage de ce langage ne doit pas nous cacher son approche de la lumière et de ses propriétés. La décomposition de la lumière en deux composantes pour rendre compte de sa réfraction et l'analogie mécanique qui en résulte montrent que, en dépit l'usage qu'il fait du langage de formes, c'est surtout aux propriétés énergétiques de la lumière qu'Ibn al-Haytham s'intéresse. C'est un point que Rashed essaye de clarifier dans ces articles.

---

(1) Roshdi Rashed, « Lumière et vision : l'application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham », dans René Taton (éd.), *Roemur et la vitesse de la lumière*, Paris Vrin, 1978, p. 21, réimprimé dans *Optique* ….

Un autre aspect de l'optique d'Ibn al-Haytham dont traite Rashed dans ses premiers écrits, c'est l'aspect expérimental. Par une analyse méticuleuse de la manière dont Ibn al-Haytham a conçu certaines de ses expériences sur la lumière et sa propagation, Rashed montre comment les mathématiques entrent dans la conception même de ces expériences. Ce qui permet à l'auteur de les contrôler. De plus, le concept alhazenien de l'expérience est multiforme : il comprend non seulement des expériences pour ainsi dire directes, mais aussi des « modèles » proposés pour l'étude des phénomènes qui ne se trouvent pas, tels quels, dans la nature.

Dans l'article sur le modèle de la sphère transparent, Rashed montre comment cette dernière démarche permet à Kamāl al-Dīn al-Fārisī d'aller plus loin, plus spécifiquement dans l'étude de l'arc-en-ciel là où Ibn al-Haytham a échoué. Il s'agit donc plutôt de la mise en œuvre d'un nouveau concept de l'expérience, que de la reprise d'une pratique courante, chez les astronomes ou chez les autres.

En dépit de tous leurs apports à notre connaissance de l'œuvre d'Ibn al-Haytham et de son successeur al-Fārisī, ces articles ne font que poser la question sous un jour nouveau. Car ils ne précisent pas encore les conditions historiques et conceptuelles qui ont donné naissance à cette nouvelle optique ; ils ne déterminent pas ses « conditions de possibilité »[1].

Il nous semble que, à cette étape de son travail, Rashed ait ressenti la nécessité de prendre du recul, de remonter plus loin dans l'histoire. Tant qu'on n'aura pas éclairé l'histoire

(1) Rashed, *Géométrie et Dioptrique au Xᵉ siècle : Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris, Les Belles Lettres, 1993, p. IX.

de l'optique avant Ibn al-Haytham, tant qu'on n'aura pas anéanti le mythe de l'existence d'un vide entre Ptolémée et ce dernier, toute réponse resterait conjecturale. C'est ainsi que commence un travail de découverte, d'établissement et d'analyse de textes qui ne donne ses fruits que dans les années 80 et 90 du siècle dernier.

Les écrits de Rashed en histoire de l'optique avant Ibn al-Haytham a trait à cette science dans toutes ses manifestations : non seulement la théorie de la vision, mais aussi la théorie des miroirs ardents et de celle de la réfraction atmosphérique. Le nombre des traités qu'il a découvertes, éditées et commentés témoigne aussi bien de l'intensité de la recherche qui se faisait dans ces domaines à partir du IX^e^ siècle, que de sa négligence presque totale par l'historiographie moderne. Certains de ces travaux portent sur les ouvrages perdus en grecs et dont le texte arabe nous est fourni pour la première fois par Rashed. Certains d'autres sont des trouvailles sur la science arabe elle-même.

Ibn Sahl : Des miroirs ardents aux instruments ardents

Dans le traité sur les instruments ardents, d'ailleurs tout à fait inconnu avant sa découverte par Rashed[(1)], le mathématicien du X^e^ siècle Abū Sa^c^d Alā' Ibn Sahl élargit l'étude de l'embrasement, limitée jadis à l'embrasement à un point donnée par la *réflexion* des rayons solaires sur un miroir paraboloïde, pour comprendre non seulement le cas

(1) Voir, Roshdi Rashed, *Géométrie et dioptrique au X^e^ siècle : Ibn Sahl, Al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris, Les Belles Lettres, 1993, p. XV-XLII et 1-52.

de l'embrasement par la *réflexion* des rayons de lumière sur une miroir ellipsoïdal, mais aussi le cas où l'embrasement se produit par la *réfraction* des rayons lumineux. Cette dernière étude aboutit à la première formulation de la loi de la réfraction de la lumière dans les lentilles, loi connu auparavant sous le nom de la loi de Snellius ou de Descartes.

Le traité d'Ibn Sahl, et l'analyse qu'en fournit Rashed, montrent comment une discipline a pu aboutir, par sa logique interne, à la découverte d'une loi que l'on croyait doit être produit par une intervention de l'extérieur. Par conséquent, la recherche de Rashed a un double effet : non seulement elle déplace la date de la découverte de cette loi à six siècles avant celle que tout le monde croyait, mais aussi elle met en cause l'opinion de ceux qui croient à l'existence d'un rapport entre, d'une part, la découverte de cette loi et, d'autre part, les besoins des artisans qui essayaient d'améliorer la qualité des lentilles qu'ils façonnaient.

Quoi qu'il en soit, l'extension par Ibn Sahl du champ de l'embrasement établit un lien entre l'étude géométrique de la réfraction, qui était toujours liées à la seule vision, et celle de la propagation de la lumière. Désormais, la réfraction des rayons lumineux ne serait pas une propriété que l'on déduirait, comme l'aurait fait Ptolémée, seulement à partir de la réfraction des rayons visuels, en évoquant la nature commune de la lumière et de la vision, mais un phénomène à part entière qui se prête, au même titre que la réflexion de la lumière, à une analyse géométrique. D'autre part, cette nouvelle extension du domaine de l'application de la géométrie à l'étude de la lumière va de pair avec la multiplication des sources lumineuse qui peuvent produire l'embrasement.

Avant Ibn Sahl, les mathématiciens traitaient, dans les écrits sur les miroirs ardents, d'un seul groupe de rayons, c'est-à-dire des rayons parallèles provenant d'une source située à l'infini, en l'occurrence du soleil. Or Ibn Sahl s'intéresse, dans son étude des miroirs ardents ellipsoïdaux, à l'embrasement à un point donné par les rayons provenant d'une source qui se trouve non pas à l'infini mais à une distance définie. Car il démontre que, dans un miroir ellipsoïdal, tous les rayons émanant d'un foyer se réfléchissent, après avoir tombé sur la surface du miroir, vers le deuxième foyer. Même si ce problème avait déjà été abordé par Anthémius de Tralles, mathématicien byzantin du VIe siècle, il revêt une signification particulière dans le traité d'Ibn Sahl. Car, ce dernier parait vouloir épuiser le champ de l'embrasement, tel qu'il comprend non seulement les cas déjà étudiés, mais aussi le cas où l'embrasement se produit par la réfraction des rayons. Dans ce dernier cas, il ne s'agit plus de miroirs, mais des lentilles biconvexes ou plan-convexes, et la source lumineuse peut être, selon la structure géométrique de la lentille, située à l'infini ou à une distance finie.

Al-Kindī : La primauté opératoire de la lumière

Grace à la traduction latine de son *De aspectibus*, dont l'original arabe est perdu, al-Kindī, philosophe et savant du IXe siècle, a exercé une grande influence sur le développement de l'optique au Moyens Âge. Cependant, puisque le reste de son œuvre optique n'était ni publié ni étudié jusqu'à une date très récente, l'étendue de sa contribution à cette discipline n'était pas encore connue. La situation a changé depuis la publication, en 1997, des *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī, Volume 1 : L'optique et la catoptrique* (*Œuvres* …), éditées, traduites et commentées par Rashed. Cet ouvrage contient non seulement une nouvelle édition de *De aspectibus*, mais aussi un texte important d'al-Kindī, intitulé *Sur la rectification des erreurs et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique, ainsi que son traité *Sur les rayons solaires* et quelques fragments et traités qui datent de la même époque. L'analyse poussée de Rashed fait ressortir les aspects marquants de cette œuvre et en définit la place dans l'histoire de l'optique.

Dans l'œuvre optique d'al-Kindī, nous assistons à un mouvement dans une direction autre que celui qu'Ibn Sahl prendra plus tara. Car, en effet les études d'al-Kindī sont centrées non pas sur la lumière, mais sur les rayons visuels et la manière dont ils se propagent. Défenseur acharné de la théorie des rayons visuel, il critique toutefois cette théorie sous la forme que l'on la trouve dans *l'Optique* d'Euclide. Chez ce dernier, l'œil se réduit en effet à un point géométrique, comme si tous les rayons visuels émanaient du point géométrique qu'est le centre de l'œil. En outre, cette théorie exige que les rayons visuels soient discontinus, et qu'entre tous les deux rayons visuels il existe un espace vide.

Ces deux aspects sont sévèrement critiqués par al-Kindī. Selon lui, ce qui existe en réalité, ce par quoi l'œil voit les choses, n'est pas un ensemble de rayons discontinus, mais un cône solide. En outre, il ne s'agit plus d'un seul cône qui sortirait du centre de l’œil, car, selon al-Kindī, les rayons visuels n’émanent pas du seul centre de l’œil, mais de toute la surface extérieure de la pupille, dont chaque point est le sommet d’une infinité de cônes solides.

Or, les arguments que présente al-Kindī pour soutenir cette thèse, et qu’il appelle « les preuves sensibles », sont tous élaborés à partir des « expériences » faites sur la lumière. (Ajoutons que ces arguments ont pour l’origine un passage de la recension de Théon d’Alexandrie de la *Catoptrique* attribuée à Euclid.) Ainsi, ce défenseur acharné de la théorie des rayons visuel, se voit-il obligé d’évoquer la manière dont la lumière se propage pour en déduire ses thèses à propos des rayons visuels et de leur propagation.

Nous ne pouvons pas entrer dans les détails de ces expériences qui sont d’ailleurs amplement clarifiées par Rashed. Il suffit de dire qu’elles visent deux buts : dans un premier temps, mettre en évidence la propagation rectiligne des rayons visuels et, dans un deuxième temps, se procurer une preuve, ou tout au moins une justification, pour l’analyse ponctuelle de la vision. Pour ce faire, il recourt à des expériences faites sur la lumière.

Afin de démontrer que les rayons visuels se propagent sur des lignes droites, il prend en considération le trajet rectiligne de la lumière lorsqu’elle sorte de petits orifices, la formation des ombres qui montre, elle aussi, la propagation rectiligne de la lumière, etc. Quant à l’analyse ponctuelle de la vision, al-Kindī la justifie en faisant appel à la manière dont la lumière émane à partir des sources lumineuses étendues : elle en émane de tous les points et dans toutes les directions.

Les « expériences » d’al-Kindī

Si nous avons mis entre guillemets le mot expérience, c’est pour deux choses. Premièrement, parce que rien n’indique qu’al-Kindī ait vraiment exécuté ces expériences exactement telles qu’il les décrit. Car, en effet au moins certaines d’entre elles exigent qu’il ait préalablement préparé des dispositifs -- à titre d’exemple, une source lumineuse toute à fait sphérique --, qui auraient été très difficile à réaliser avec les moyens techniques dont il disposait. Deuxièmement, les figures géométriques qui accompagnent quelques-unes de ses descriptions donnent à penser que ça serait plutôt à partir de telles figures, et de quelques observations non pas très rigoureuses, qu’il a déduit ce qu’il dit à propos de la propagation rectiligne des rayons visuels et de l’analyse ponctuelle de la vision.

Donc si ces expériences sont importantes, ce n’est pas autant pour leur contribution à l’idée d’expérimentation et à son développement, que pour le rôle négatif qu’y jouent les rayons visuels. Car Al-Kindī part, sans le dire, dans ses expériences, de l’idée que les rayons visuels ne se prêtent pas à l’expérimentation.

L’objet de l’expérience : Ptolémée, al-Kindī, Ibn al-Haytham

Or si les rayons visuels ne se prêtent pas à l’expérimentation, que peut-on dire des expériences de Ptolémée ? On a beau parler de ces dernières, -- surtout de celles qui portent sur la réflexion et sur la réfraction --, il vaut la peine que l’on se penche davantage sur leur véritable statut. Surtout, il faut se demander : *sur quoi* sont-elles été faites ? La réponse parait être assez simple : sur les rayons visuels bien sûr. Mais il n'en est pas ainsi.

Pour faire une expérience, dans n'importe quel domaine, il faut être en mesure de produire, dans le milieu, un effet *sensible*, tel que le milieu ne reste plus, pendant l'expérience, dans le même état qu'il était avant. Au premier regard, il semble que les expériences de Ptolémée répondent à cette exigence. En effet, il prépare, dans un premier temps, des dispositifs expérimentaux, peu importe qu'ils soient simples ou sophistiqués. De plus, ses expériences impliquent une intervention, par l'intermédiaire de ces dispositifs, dans le milieu pour y changer des choses.

Prenons, à titre d'exemples, l'expérience de Ptolémée sur la réfraction des rayons visuels lorsqu'ils passent d'un milieu, en l'occurrence de l'aire, à un autre, en l'occurrence à l'eau.

Pour faire cette expérience, il faut d'abord préparer un disque tout à fait circulaire, la diviser en deux parties par un diamètre et graduer les deux demi-cercles ainsi produits. Ensuite, il faut faire entrer le disque perpendiculairement dans l'eau, jusqu'à ce que son diamètre touche la surface de l'eau. Il faut mettre l'œil à un point de la circonférence du demi-cercle qui se trouve dans l'aire et viser le centre du cercle. Puis, il faut déplacer un index sur la circonférence du demi-cercle qui se trouve dans l'eau, tel que les trois points – l'œil, le centre du cercle et l'index – se voient sur une même droite. En déplaçant l'œil sur le demi-cercle qui se trouve dans l'aire, ce qui nécessiterait un déplacement de l'index, on arrivera à différents angles de réfraction, lesquels correspondent à différents angles d'incidence. En mesurant ces angles, Ptolémée dresse une table. Le reste de l'histoire ne nous intéresse pas pour le moment.

On semble être là en face d'une véritable expérience qui se déroule avec toutes les préparations et les précautions nécessaires. De plus, il ne s'agit pas, dans cette expérience, de la vérification d'un postulat ou de quelque chose que l'on déjà sait, mais de la recherche d'une régularité que l'on ne connait pas encore. On est donc très loin des expériences du type qu'al-Kindī prétend avoir faites. Pourtant, tout cela ne doit pas nous empêcher de répéter notre question : Cette expérience se fait certes *au sujet* de la réfraction des rayons visuels, mais c'est quoi son *objet* ? Autrement dit, c'est quoi cette chose qui se propage et dont on veut comprendre, par le biais de cette expérience, la réfraction ?

Pour apporter plus de précision à cette question, prenons un autre exemple, cette fois tiré de l'œuvre d'Ibn al-Haytham. Dans son *Optique*, telle que nous l'avons sous la main aujourd'hui, Ptolémée ne recourt pas à l'expérience pour vérifier la propagation rectiligne des rayons visuels ; ou bien parce qu'il la prend pour un postulat, ou bien parce qu'il l'a faite dans le premier livre, perdu, de son traité. Quant à l'expérience d'Ibn al-Haytham que nous allons décrire, son but n'est pas de vérifier la *propagation* des rayons visuels, pour la simple raison qu'il n'y croit pas, mais de montrer que l'œil voit les choses sur les prolongements des lignes droites. Autrement dit, le seul but de cette expérience est de garantir l'existence des lignes droites qui joignent l'œil à chaque point sur la surface de l'objet. Elle est d'ailleurs la seule expérience qu'Ibn al-Haytham se propose, dans le premier livre de son *Optique*, à ce sujet.

Pour ce faire, il prend un tuyau, il trace une droite sur sa surface intérieure et, en mettant son œil à une extrémité de la ligne tracée, il vise, par cet instrument, un objet. En visant par le tuyau les différentes parties de l'objet et en couvrant petit à petit l'ouverture du tuyau, il montre que ce que l'on voit de l'objet, ce sont les seuls points qui se trouvent sur le prolongement de la droite tracée. Voilà une expérience dont pourrait bien servir un Euclide ou un Ptolémée, s'ils avaient envie de vérifier expérimentalement la propagation rectiligne des rayons visuels.

Malgré les apparences, cette expérience est très difficile à réaliser. En fait, pour la faire, il faut par exemple que le tuyau soit assez étroit, sinon ce que l'on verra ne serait plus un point sur le prolongement de la droite, mais toute une partie de la surface de l'objet. A la différence d'al-Kindī, Ibn al-Haytham semble être fort conscient de ces difficultés : sa description est bien détaillée et il fait toutes les précautions nécessaires pour que l'expérience se déroule comme il faut.

Quoi qu'il en soit, en décrivant cette expérience, Ibn al-Haytham ne dit rien à propos de la propagation : ni de celle des rayons lumineux, ni *à fortiori* de celle des rayons visuels. Parce qu'il sait bien qu'on ne peut pas démontrer, ni même vérifier, de telles propriétés par de telles expériences et, qui plus est, on ne peut pas vérifier la propagation rectiligne des rayons *visuels*.

La raison, nous semble-t-il, en est que la propagation des rayons visuels ne change rien au milieu dans lequel ils se propagent. Revenons par exemple à l'expérience de Ptolémée sur la réfraction. Ou bien on la fait dans l'obscurité, alors on ne verra rien ; ou bien on la fait dans la lumière, alors la propagation des rayons visuels n'ajoutera rien à ce que l'on pouvait voir avant leur propagation.

Car en fait les rayons visuels ne peuvent opérer aucun découpage dans le milieu dans lequel ils se propagent, alors que la lumière, elle, partage le milieu en deux parties : celle qui est éclairée et celle qui ne l'est pas. C'est pour cela que la lumière peut se prêter à l'expérience, alors que les rayons visuels ne peuvent pas.

A en croire les historiens qui proposent une lecture conventionnaliste de toute l'optique grecque et médiévale(1), de tels problèmes ne pouvaient inquiéter ni Ptolémée ni, à plus forte raison, Euclide. Car, pour l'un comme pour l'autre, les rayons visuels ne seraient que des astuces mathématiques, des inventions de l'esprit humain, afin de « sauver les phénomènes » ; ils ne s'attendraient donc pas à ce que ces rayons se manifestent dans la réalité, qu'ils soient visibles et qu'ils produisent des effets sensibles.

Il nous importerait peu si cette interprétation est vraie ou fausse. Quoi qu'il en soit, elle ne s'applique pas à l'optique d'al-Kindī, dont le trait le plus marquant est, comme dit Rashed, l'« infléchissement physique » de l'optique d'Euclide

---

(1) Une telle interprétation a été proposée par A. Mark Smith, surtout dans ses traductions anglaises de *l'Optiques* de Ptolémée de celle d'Ibn al-Haytham, et par Gérard Simon, tout au moins dans *L'être, le regard et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*, Paris, Seuil, 1989.

(*Œuvres* …, p. 75). En effet, si al-Kindī remplace les rayons visuels euclidiens par des cônes visuels, c'est que les rayons ne sont que des objets géométriques et que, par conséquent, ils ne peuvent pas exister dans la réalité physique. Ce qui existe, ce sont des cônes visuels ; les rayons visuels se trouvant à des « limites » de tels cônes, à des intersections de deux cônes, etc.

Or l'existence de ces cônes soulève un grave problème : si les rayons visuels, dans le sens euclidien, n'existent pas, comment peut-on justifier l'usage que l'on en fait, dans l'optique, pour rendre compte des phénomènes visibles ? Autrement dit, les cônes visuels étant eux-mêmes invisibles, comment peut-on détecter leurs limites ou leurs intersections ?

C'est là que recours à la lumière s'impose. Car, cette dernière est visible, et même si elle ne l'est pas, elle peut toujours produire des phénomènes visibles : elle peut tout au moins diviser le milieu dans laquelle elle se propage en parties sombres et lumineux. Et c'est de ce point que partent les « expériences » d'al-Kindī. Désormais il peut effectuer à son aise ses expériences sur la lumière, sur les rayons lumineux, et ensuite appliquer les résultats obtenu aux rayons visuels.

Mais pourquoi al-Kindī ne laisse-t-il pas tomber ces rayons visuels qui semblent créer plus de problèmes qui n'en résolvent ? Pour trouver la réponse, il ne faut pas aller très loin, car al-Kindī la précise lui-même : il ne le fait pas, parce que la thèse des rayons visuels est la seule qui peut soutenir l'existence et la pratique de l'optique géométrique. La seule théorie concurrente qu'il mentionne, c'est la théorie selon laquelle la vision se produit par la transmission à l'œil des « formes » des objets, « imprimées et inscrites », comme dit al-Kindī, dans le milieu transparent, en l'occurrence dans l'aire ; il s'agit donc de la théorie des philosophes. Or cette théorie n'est pas, selon al-Kindī, en mesure de garantir la vision rectiligne.

Revenant à la question que nous avons posée au début de cette partie, nous pensons pouvoir maintenant la trancher : les expériences telles que celle de Ptolémée, même si elles sont désignées et mises en œuvre de façon convenable, sont les expériences dont le supposé objet n'existe pas. Si donc elles aboutissent à des résultats importants, c'est qu'en réalité elles sont faites sur la lumière et non sur les rayons visuels. Alors que les « expériences » d'al-Kindī, qui en dépit de leurs apparences simples sont difficiles à réaliser, ont le privilège d'opérer sur un objet réel.

Une nouvelle optique

Ainsi peut-on constater, en partant des éditions et des commentaires de Rashed sur l'histoire de l'optique entre Ptolémée et Ibn al-Haytham, et plus précisément aux IX^e^ et X^e^ siècles, et en suivant les pistes y suggérées, l'existence de deux mouvements parallèles mais aux sens opposés. Pour ce qui est de la théorie de l'embrasement, il y a un foisonnement de phénomènes étudiés par des méthodes géométriques, foisonnement dont le traité d'Ibn Sahl sur les instruments ardents n'est qu'un exemple. Ce traité est marqué non seulement par le traitement de la lumière sous des formes inédites, y compris celle de la réfraction, mais aussi de la nécessité d'une formulation plus rigoureuse de la loi de la propagation de la lumière, de sa réflexion et de sa réfraction.

La tentative de formuler une telle loi, toute au moins dans le cas de la propagation, se trouve déjà chez al-Kindī dans son effort pour asseoir la loi de la propagation rectiligne des rayons visuel sur un socle qui lui parait philosophiquement plus solide. En outre, l'analyse ponctuelle de la vision, s'inspirant d'une analyse similaire à propos de la propagation de la lumière, va de pair avec une conception plus physique de la source lumineuse. La multiplication de nombre des sources, laquelle, chez Ibn Sahl, relève de la géométrie des situations qu'il envisage, renvoie, chez al-Kindī, à son souci de renforcer la loi de la propagation rectiligne de la lumière par des « preuves sensibles ». Le fait que la lumière se prête plus aisément à ce genre de preuves, ou de « proto-expériences », lui accorde donc sa primauté opératoire sur la vision.

Ainsi, les deux principales branches de l'optique géométrique se rapprochent l'une de l'autre, rapprochement qui se réalise toutefois d'une manière non-systématique et par plusieurs voies. Or les questions essentielles restent toujours en suspens : la nature exacte du rapport entre la vision et la lumière, entre l'objet physique et l'objet géométrique et, enfin, la nature de l'optique en tant qu'une discipline physique employant des outils mathématiques. C'est pourquoi, au moins à partir d'al-Kindī, « s'amorce une situation conflictuelle qi nécessitera un siècle et demi pour éclater » (*Œuvres* …, p. 76).

On verra les conséquences de cet éclatement dans l'œuvre d'Ibn al-Haytham –dans son *Optique* mais aussi dans toute son œuvre optique. Il s'agit là, tout d'abord, d'un nouveau concept de la lumière. Celle-ci qui, aussi bien dans la psychologie aristotélicienne que dans l'optique Ptolémaïque, ne comptait pas parmi les visibles, mais qui était quelque chose dont la présence rendait les choses visibles, retrouve sa place à la tête de la liste des vingt-deux « notions » visibles dressée par Ibn al-Haytham. Elle est une composante du monde physique et, de plus, elle est visible.

Quant aux rayons visuels, ce n'est pas par des arguments du genre avancés par les philosophes qu'Ibn al-Haytham s'en débarrasse. Car, sa solution ne se présente pas au tout début de *l'Optique*, mais seulement plus tard, après que l'auteur a montré, pour une série d'expériences, l'existence d'une homologie totale entre, d'une part, la manière dont l'œil voit les choses et, d'autre part, la manière dont la lumière se propage : ils se produisent, tous deux, sur les directions des lignes droites. Homologie que l'on pouvait entrevoir dans les « expériences » d'al-Kindī.

De la seule expérience d'Ibn al-Haytham à propos de la vision rectiligne, nous avons déjà parlé. Quant aux expériences relevant de la propagation rectiligne de la lumière, la situation en est beaucoup plus compliquée. Car, bien que la lumière se prête à l'expérimentation, elle ne le fait pas facilement. Par conséquent, il ne s'agit plus de simples « arguments sensibles », du même type qu'al-Kindī se proposait, mais des expériences faites à partir des faisceaux lumineux, objets physiques, lesquels correspondent à des rayons lumineux, objets mathématiques. Isoler un tel faisceau est ce à quoi Ibn al-Haytham parvient à l'aide de la « chambre noire ».

Ce qui rend ces expériences encore plus compliquées, c'est que leur objet n'est plus seulement la lumière émanant des corps lumineux en soi – le soleil, les chandelles, le feu –, mais aussi la lumière seconde, c'est-à-dire, celle émise par tout corps opaque illuminé par une source lumineuse. Concept qui ne pourrait avoir d'homologue, ni dans une optique géométrique qui ne s'intéressait qu'au rayons visuels, ni dans la théorie de l'embrasement qui ne s'occupait encore que des groupes fort limités de rayons : ceux qui émanait du soleil, du foyer d'un éclipse ou de celui d'une hyperbole.

La lumière seconde se propage de la même façon que fait la lumière première : elle émane de tous les points du corps éclairé et dans toutes les directions. C'est pourquoi la lumière seconde crée aussi des problèmes, car elle est partout. Donc l'un des principaux soucis d'Ibn al-Haytham, dans ses expériences à propos de la propagation rectiligne de la lumière, est d'éliminer l'intervention nuisible des lumières secondes quand il veut expérimenter sur la lumière première, aussi bien que celle de la lumière première lorsqu'il veut expérimenter avec la lumière seconde.

C'est après toutes ces expériences qu'Ibn al-Haytham met en avant sa thèse concernant les rayons visuels : ils n'existent pas, non pas parce qu'on peut réfuter leurs existence par des arguments spéculatifs, mais parce que l'on n'en a plus besoin : ils sont redondants. Les rayons lumineux peuvent faire tout ce que l'on supposait faire à l'aide des rayons visuels, à condition que l'on opère quelques modifications, certes mineures mais pourtant importantes, dans la structure et la fonction de l'œil envisagées par les médecins, tel qu'il peut recevoir la lumière de manière à ce que la structure de l'optique géométrique reste intacte. Et c'est ce qu'il fait.

Les expériences d'Ibn al-Haytham, lesquelles seront encore plus sophistiquées dans le cas de la réflexion et de la réfraction de la lumière, lui servent de moyen de démonstration. Ainsi, la démonstration expérimentale trouve-t-elle sa place, au côté de la démonstration mathématique, au sein de cette nouvelle optique.

Ce tour d'horizon de l'optique d'Ibn al-Haytham nous révèle aussi bien ce qu'il doit à ces prédécesseurs des IXe et Xe siècles que la nouveauté de sa démarche. Nulle recherche en histoire de l'optique n'est donc désormais possible sans prendre en considération les recherches de Rashed sur l'histoire de l'optique entre Ptolémée et Ibn al-Haytham, surtout aux IXe et Xe siècles. Car, elles nous apprennent que l'optique d'Ibn al-Haytham ne pouvait pas partir du seul livre de Ptolémée, aussi important qu'il soit : sans les transformations qu'a subite l'optique pendant ces siècles, le renouvellement de l'optique aurait été impensable. Ces recherches qui font date marquent donc le début d'un véritable renouvellement de l'histoire de l'optique.

VI
Philosophie des mathématiques

Si l'histoire des sciences arabes, en l'occurrence celles des mathématiques et de l'optique, a existé dès le début de l'histoire des sciences en tant que discipline, et que la philosophie des mathématiques en général soit aussi ancienne que la philosophie elle-même, la philosophie des mathématiques écrites en arabe n'a attiré que très peu d'attention avant que Rashed n'entame ses recherches dans ce champ. Il s'agit donc d'un nouveau domaine de recherche ouvert par lui.

Dans ce chapitre, nous allons nous pencher, entre autres, sur les questions suivantes : D'où venait ce manque d'attention ? Pourquoi, selon Rashed, une telle recherche doit-elle être entreprise ? Quelle image peut-on se faire des rapports entre les mathématiques et la philosophie à travers les recherches de Rashed ? Quels sont les problèmes philosophiques mis en avant par les mathématiques arabes ? Et, enfin, qu'elles sont les réponses données, aussi bien par les mathématiciens que par les philosophes, à ces problèmes ? Traiter de toutes ces questions dépassant de beaucoup les limites de ce travail, nous espérons du moins en donner un aperçu aussi éclairant que possible.

Avant d'entamer notre discours, il convient de rappeler les principaux problèmes de la philosophie des mathématiques. Ceux-ci peuvent être résumés sous les rubriques suivantes :

Problèmes ontologiques, parmi lesquels, tout particulièrement : Quel est le statut ontologique des objets mathématiques ? Quel est le lieu de leur existence ?

Problèmes épistémologiques : D'où vient cette certitude qui est toujours associée à la connaissance mathématique ? Pourquoi les mathématiques sont-elles applicables au monde physique ? Et, enfin, en quoi consiste une démonstration mathématique ? autrement dit, quels sont les outils que l'on peut légitimement employer dans une démonstration mathématique ?

La liste des questions n'est pas fermée et on peut leur en ajouter d'autres. Les différentes écoles de la philosophie des mathématiques se démarquent les unes des autres par les réponses qu'elles donnent à ces questions ou à des questions similaires. Toujours est-il que la réponse que l'on y présente dépend de ce qu'on entend par le mot mathématique, et que cela dépend à son tour des mathématiques dont on dispose. C'est peut-être pourquoi, avec chaque changement radical du paysage mathématique, des questions du genre que nous venons d'indiquer sont à nouveau posées. A titre d'exemple, la réémergence de la philosophie des mathématiques dans les premières décennies du XX^{e} siècle fut étroitement liée aux grands événements mathématiques produits au cours du XIX^{e} siècle : la nécessité d'asseoir l'analyse sur des fondements plus rigoureux, l'axiomatisation croissante des disciplines mathématiques, l'émergence de la théorie des ensembles et les paradoxes qui en découlaient, etc.

Par conséquent, l'une des particularités de la philosophie des mathématiques, qui la distingue d'autres branches de la philosophie, est la participation active des mathématiciens eux-mêmes à son élaboration. C'est ainsi que la philosophie des mathématiques moderne est associée aux noms de grands mathématiciens comme Hilbert ou Brouwer.

Cela dit, la philosophie des mathématiques ne se réduit pas aux courants contemporains qui se réclament de ces noms-là mais, en un sens, est aussi ancienne que la philosophie même. Car dès l'Antiquité, certaines disciplines mathématiques existaient sous une forme assez avancée pour susciter des questions auxquelles les philosophes s'essayaient à répondre. De tels efforts ont souvent abouti à une reformulation des problèmes ontologiques ou épistémologiques de la philosophie. Par conséquent, dans un premier temps, comme le précise Rashed, « aucune discipline scientifique n'a, autant que les mathématiques, contribué à la genèse de la philosophie théorique » (*D'al-Khwārizmī…*, p. 739). Dans un deuxième temps, tout en faisant partie de la philosophie, au moins dans la classification aristotélicienne des sciences philosophiques, et tout en servant de modèle à tout savoir se voulant démonstratif, les mathématiques ont toujours gardé une certaine autonomie par rapport à d'autres branches principales de la philosophie – à savoir la physique et la métaphysique –, raison pour laquelle les rapports entre ces trois branches ont parfois été quelque peu conflictuels.

Avec cet arrière-plan en tête, on peut mieux comprendre le point de départ de Rashed dans ses recherches sur la philosophie des mathématiques arabes. On peut le formuler de la manière suivante :

A l'instar des changements mathématiques qui se sont produits du XVII^{e} au XIX^{e} siècle et qui ont été, à chaque fois, à l'origine de grandes transformations philosophiques, les changements produits dans les mathématiques à la période islamique ont-ils donné lieu à des changements dans la philosophie en général et dans la philosophie des mathématiques en particulier ? Ou, dans les mots de Rashed lui-même :

Sept siècles durant, une recherche scientifique et mathématique des plus avancées s'élaborait en arabe, et dans les centres urbains de l'Islam. Est-il vraisemblable que les philosophes, parfois eux-mêmes mathématiciens, médecins, etc., soient restés reclus dans leur activité philosophique, indifférents aux mutations qui s'opéraient sous leurs yeux, aveugles aux résultats scientifiques qui se succédaient ? Comment imaginer que, face à un fusionnement sans précédent de disciplines et de succès : astronomie critique des modèles ptolémaïques, optique réformée et renouvelée, algèbre créée, géométrie algébrique inventée, analyse diophantienne transformée, théorie des parallèles discutée, méthodes projectives élaborées, etc., les philosophes soient demeurés insensibles au point de rester confinés dans le cadre relativement étroit de la tradition aristotélicienne du néo-platonisme (*D'Al-Khwārizmī* …, p. 738) ?

Il est étonnant qu'une telle question, aussi simple et essentielle soit-elle, n'ait jamais été posée, avant que Rashed y consacre quelques-uns de ces écrits. On est tenté de dire qu'il faut rechercher la cause de ce délai dans deux idées reçues. Premièrement, dans le regard que l'on portait, jusqu'à une date récente, sur les mathématiques arabes : une activité qui suivrait des buts pratiques et calculatoires et qui, par conséquent, ne pouvait ni concevoir ni résoudre des problèmes aussi abstraits que ceux de la philosophie des mathématiques. Deuxièmement, dans l'image que l'on se faisait de la philosophie islamique, à savoir celle d'un tout monolithique, doctrine de l'être et de l'âme comme dit Rashed, qui n'aurait subi aucun changement essentiel durant des siècles. À cela s'ajoutait pour finir une vision des mathématiques comme science subordonnée à la métaphysique. On croyait donc que, si un mathématicien rencontrait quelque problème philosophique dans son travail, il se référerait forcément à cette philosophie, où il trouverait sa réponse tout prête.

La recherche en philosophie des mathématiques arabes, telle qu'elle est pratiquée par Rashed, a deux versants. Le premier est de savoir comment la philosophie islamique a réagi face à la nouvelle situation créée par l'épanouissement mathématique que l'on constate au moins entre le IX^e^ et le XV^e^ siècle. Le deuxième concerne ce que les mathématiciens ont fait eux-mêmes face à de nouveaux problèmes dont la résolution exigeait parfois le dépassement du cadre dans lequel les problèmes philosophiques des mathématiques étaient traditionnellement formulés.

Rashed souligne le fait que bon nombre de philosophes de cette époque étaient en même temps des mathématiciens d'envergure et que ceux qui ne l'étaient pas ne pouvaient pas rester sourds à l'appel des problèmes posés par les mathématiques. C'est ainsi qu'ils ont pu contribuer, au côté des mathématiciens, à une reformulation des questions philosophiques des mathématiques et au développement d'une nouvelle philosophie des mathématiques.

Les écrits de Rashed sur les rapports entre les mathématiques et la philosophie traitent de ces deux versants et ce, comme toujours, à partir de l'analyse des textes originaux. Les problèmes qui interviennent dans ces recherches étant parfois très techniques, nous en resterons aux points essentiels. Par conséquent, ce chapitre ne prétend que présenter, aussi simplement que possible, une partie des résultats obtenus par Rashed dans ce domaine, sans vouloir entrer dans les questions de détail.

Problèmes ontologiques

Premier problème : l'avènement de l'algèbre et ses conséquences ontologiques

Rashed a parlé à plusieurs reprises du changement opéré dans l'ontologie mathématique par l'avènement de l'algèbre. Ceci a non seulement affecté diverses branches des mathématiques et en a créé de nouvelles, mais a aussi entraîné la nécessité d'une nouvelle ontologie. Voyons comment.

Dans la classification des sciences telle qu'elle existait depuis l'Antiquité, les branches principales des mathématiques étaient l'arithmétique et la géométrie, la première traitant des quantités discontinues, à savoir des nombres, la deuxième des quantités continues, en l'occurrence des lignes, des surfaces et des volumes, ou « grandeurs ». Pour nous, qui pensons en termes de théorie des ensembles, l'ensemble des nombres naturels n'est qu'un sous-ensemble de l'ensemble des nombres réels, ce dernier comprenant les nombres rationnels et irrationnels, qui sont d'ailleurs représentés par les points d'une droite. Ainsi, si on démontre une propriété dans le cas des nombre réels, elle est *ipso facto* démontrée pour les nombres naturels. Alors que selon les Anciens, pour qui le rapport entre ces deux types de quantités s'exprimait dans le langage classificateur aristotélicien, les quantités discontinues et les quantités continues constituaient deux espèces appartenant au même genre, à savoir le genre de la quantité (de même que l'homme et le cheval sont des espèces appartenant au genre animal). Par conséquent, démontrer qu'une propriété était vérifiée dans le cas des lignes ne voulait pas dire qu'elle était forcément vérifiée dans celui des nombres naturels. Il fallait donc la démontrer séparément. Et c'est ce qu'Euclide fait dans ses *Éléments*.

Or, l'inconnue (*al-shay'*), qu'on cherche à déterminer en posant l'équation quadratique, peut être aussi bien un nombre (quantité discontinue) qu'une grandeur (quantité continue), sans que l'on ne puisse déterminer d'avance de quel genre de grandeur il s'agit. Voilà un changement dont on constate les conséquences aussi bien chez les mathématiciens que chez les philosophes.

Chez les mathématiciens eux-mêmes, ce changement ontologique a eu pour effet de susciter plusieurs nouveaux chapitres des mathématiques : lecture algébrique du livre X des *Eléments*, lequel était jadis considéré comme relevant de la pure géométrie ; approche algébrique de certains problèmes géométriques, y compris la construction du pentagone régulier, laquelle se ramène, chez Abū Kāmil, à une équation biquadratique, résolue par des méthodes algébriques ; et, plus généralement, la démarche dont nous avons déjà parlé, qui consistait en une tentative pour traduire tout problème géométrique en une équation algébrique, et le résoudre par la recherche de la racine de cette dernière ; démarche qui commence au IX^{e} siècle avec al-Māhānī et qui aboutit, au XII^{e} siècle, à l'œuvre d'al-Khayyām. Tout cela effaçait de plus en plus les barrières qui existaient entre les quantités continues et discontinues, ce qui exigeait un remaniement de l'ontologie des philosophes.

Chez les philosophes, ce changement, selon Rashed, d'une part, affecte les classifications des sciences, si bien que l'on trouve, dans *L'énumération des sciences* d'Al-Fārābī, (IX^{e}- X^{e} siècle), un chapitre consacré aux « sciences des procédés ingénieux », dans lequel est surtout évoqué l'algèbre. Cette dernière n'est ni arithmétique ni géométrie, alors que les objets dont elle parle peuvent appartenir à l'une ou à l'autre. Plus important encore,

depuis al-Fārābī précisément, on voit se développer dans la philosophie islamique une ontologie suffisamment « formelle », en quelque sorte, pour répondre, entre autres, aux précédentes exigences [créées par l'avènement de l'algèbre]. Dans cette ontologie, « la chose » … revêt une connotation plus générale que l'existant(1).

Ainsi, l'avènement de cette nouvelle discipline, l'algèbre, qui ne se réduisait ni à l'arithmétique, ni à la géométrie, a-t-il pu exercer une influence capitale sur l'ontologie philosophique. On voit également cette influence dans l'ontologie d'Avicenne.

---

(1) Roshdi Rashed, « Mathématiques et philosophie chez Avicenne », dans Roshdi Rashed et Jean Jolivet (éd.), *Etudes sur Avicenne*, Paris, Les belles lettres, 1984, p. 29-35, surtout p. 34-35 ; voir également, *D'al-Khwārizmī* …, p. 750-767.

Un autre exemple de cette ontologie « formelle » se trouve dans l'œuvre de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, philosophe et mathématicien du XIII^e^ siècle. Dans un traité sur le problème philosophique de « l'émanation d'une pluralité des choses à partir de l'Un », al-Ṭūsī calcule, en s'appuyant sur les postulats qui règlent cette émanation, et qui sont d'ailleurs exposés par les philosophes antérieurs, surtout par Avicenne, le nombre d'entités produites à chaque étape de l'émanation.

Sur le plan mathématique, ce calcul se fait à l'aide des formules combinatoires et, à ce titre, le traité d'al-Ṭūsī renferme des résultats qui sont d'une importance capitale pour l'histoire de ce chapitre des mathématiques ; chapitre qui avait commencé assez tôt avec les efforts des lexicographes arabes pour calculer le nombre de mots que l'on pouvait faire à partir des racines trilitères, qui s'était développé graduellement et qui allait se poursuivre même après al-Ṭūsī.

Sur le plan ontologique, cette tentative aboutit à des résultats inattendus. Car, avant qu'al-Ṭūsī n'entame cette question, les philosophes employaient la théorie de l'émanation et les postulats qui la réglaient pour montrer, entre autres, la nécessité des sphères, des âmes et des intelligences célestes – éléments incontournables aussi bien de leur ontologie que de leur cosmologie. Ainsi commençaient-ils par « l'Un », passaient à la sphère la plus haute et puis en descendaient vers les sphères qui se trouvaient au-dessous d'elle, chaque passage marquant une étape de l'émanation. De telle sorte que, en arrivant à la sphère la plus basse, en l'occurrence la sphère de la lune, à son âme et à son intelligence, ils se contentaient de remarquer que c'était de ces dernières qu'émanait la multitude, certes très grande, des êtres qui habitent le monde d'ici-bas.

Or, les calculs d'al-Ṭūsī produisaient, à partir d'une certaine étape, d'ailleurs pas très loin de l'Un, des êtres pour lesquels les philosophes ne connaissaient ni nom ni usage. Autrement dit, le nombre des êtres qu'ils produisaient était beaucoup plus élevé que ce dont les philosophes avaient besoin.

De cette rencontre, magistralement analysée par Rashed[1], entre mathématiques et philosophie, dans un domaine comme la théorie de l'émanation qui paraissait n'avoir aucun rapport avec les mathématiques, naissent ainsi un nouveau chapitre des mathématiques et de nouveaux problèmes philosophiques.

Deuxième problème : le lieu de l'existence des objets mathématiques.

Quant à la deuxième question, à savoir le lieu de l'existence des objets mathématiques, il y avait, depuis l'Antiquité, deux thèses concurrentes. Selon la première thèse, que l'on appelle platonicienne, les objets mathématiques, en tant qu'objets mathématiques, existent non pas dans le monde d'ici-bas, mais dans un monde qui est au-delà de l'espace et du temps. Au contraire, les tenants de la seconde thèse, les aristotéliciens, soutenaient que les objets mathématiques – à savoir, les nombres et les grandeurs – existent dans les choses physiques ; on les

---

(1) Roshdi Rashed, « Combinatoire et métaphysique : Ibn Sīnā, al-Ṭūsī et al-Ḥalabī », dans R. Rashed et J. Biard (éd.), *Les Doctrines de la science de l'antiquité à l'âge classique*, Louvain, Peeters, 1999, p. 61-86.

sépare, dans l'esprit, de leurs supports matériels. Ainsi les objets mathématiques s'obtiendraient-ils par un acte d'abstraction à partir des objets physiques.

Aucune des deux thèses n'allait sans difficulté. La première laissait en suspens le problème de l'applicabilité des mathématiques, alors que la seconde se heurtait, entre autres, à un obstacle, créé par la physique aristotélicienne elle-même, qui est le suivant.

L'une des thèses soutenues par Aristote et ses successeurs était la non-existence de l'infini actuel. Il n'y a pas, dans le monde physique, de grandeurs qui soient infiniment grandes. Par conséquent, la physique aristotélicienne exigeait que le monde physique soit fini. Celui-ci prenait fin à la dernière sphère céleste, si bien que, au-delà de cette sphère, il n'y avait rien : ni matière, ni vide ; rien du tout. Plus tard, les astronomes entreprennent le calcul des dimensions de ce monde, et ils arrivent à une valeur numérique pour le diamètre du monde. Le diamètre du monde était donc la plus grande longueur qui pouvait exister.

Or, selon l'un des postulats d'Euclide, on peut prolonger une droite à volonté. Selon un autre postulat, on peut tracer un cercle de n'importe quel centre et n'importe quel rayon. Autrement dit, dans la géométrie euclidienne, la plus grande longueur n'existe pas. Comment réconcilier ces deux thèses ? Si les objets mathématiques existent dans les choses physiques, comment se fait-il qu'ils puissent avoir des propriétés qui ne sauraient, par définition, exister dans le monde physique (en l'occurrence, une longueur qui dépasserait celle du diamètre du monde) ?

L'une des réponses données à cette question est due à Ibn al-Haytham. Dans un traité consacré à *la Résolution des difficultés des axiomes du livre d'Euclide*, Ibn al-Haytham met en avant la thèse selon laquelle le lieu de l'existence des objets géométriques, en tant que tels, n'est ni le monde séparé des platoniciens, ni le monde physique des aristotéliciens, mais une faculté mentale qui s'appelle *l'imagination*. Si l'on se limite aux seules figures géométriques, le rôle de l'imagination telle qu'elle est conçue par Ibn al-Haytham, et qui n'est d'ailleurs pas exactement ce qu'entendaient les philosophes aristotéliciens sous ce terme, est de nous permettre de faire, entre autres, des opérations qui ne sont pas possibles dans le monde physique. Autrement dit, même si on suppose que l'imagination obtient ses images en *abstrayant* certaines propriétés des objets physiques (ce qui n'est pas sûr dans le cas d'Ibn al-Haytham), elle n'en garde pas la mesure. Les choses se passent comme si l'image que forme cette faculté d'un objet géométrique était conforme à l'objet *à une similitude près*. Les créations de l'imagination restent toujours finies, mais ils n'ont pas de bornes supérieures. Cette dernière caractéristique fait que l'imagination ne connaît pas de limites dans la construction des objets géométriques. Peu importe que le monde physique soit fini ou infini.

Cette nouvelle thèse révèle une partie de sa signification si l'on la met en rapport avec ce qui se passait, à la même époque, en algèbre. Comme on l'a dit au chapitre IV, avec l'extension du calcul algébrique, on pouvait exprimer n'importe quelle puissance de l'inconnu avec les termes inventés par al-Khwārizmī ; nous avons dit également que cela a donné lieu, entre autres, à une interprétation algébrique de certains livres des *Éléments* d'Euclide. Or comment interpréter *géométriquement* une expression comme x^4 ? Tant que l'on en restait à l'interprétation purement géométrique, selon laquelle x représenterait une longueur, x^2 une surface et x^3 un volume, et que ces trois derniers représenteraient autant de choses dans le monde réel, ce problème était voué à demeurer sans solution. Car, comme le dit al-Khayyām, « le carré-carré, qui est chez les algébristes le produit du carré par lui-même, … n'a aucune signification dans les grandeurs continues, puisque, le carré étant une surface, comment peut-on le multiplier par lui-même ? » (*Al-Khayyām* …, p. 251).

Or, l'imagination, telle qu'elle est conçue par Ibn al-Haytham, serait, nous semble-t-il, un lieu propice à accueillir ces nouveaux objets mathématiques, qui pourraient être aussi bien des nombres, des lignes, des surfaces et des volumes, que ses propres constructions à elle, qui ne correspondent à aucun objet ni à aucune opération dans le monde physique.

Pour conclure, on peut dire que la thèse d'Ibn al-Haytham à propos de l'imagination et de son rôle dans les mathématiques est un grand pas vers l'affranchissement des objets mathématiques de la physique, afin de leur donner un statut ontologique à part, dont la nécessité se ressentait de plus en plus, surtout en raison des développements advenus en algèbre.

Problèmes épistémologiques

Premier problème : conception et démonstration

Comment peut-on démontrer l'existence d'une propriété sans pouvoir la concevoir ? Cette question se pose à propos de la propriété asymptotique de l'hyperbole : selon l'une des propositions des *Coniques* d'Apollonius, une branche d'hyperbole et son asymptote se rapprochent l'une de l'autre sans jamais se rencontrer. Or, comment une telle chose était-elle possible et, si elle l'était, dans quelle mesure la démonstration qu'en avait proposée Apollonius pouvait-elle être tenue pour satisfaisante ?

Si cette question se posait, c'était parce que, dans la doctrine aristotélicienne de la science, la conception précédait, psychologiquement aussi bien que logiquement, l'affirmation. Autrement dit, on ne pouvait pas affirmer une proposition sans préalablement connaître le sens des termes qui y sont employés, sans en avoir une idée. Donc, avant de démontrer une proposition, il fallait affirmer l'énoncé, et cela nécessitait d'en avoir une conception, de se faire une idée des termes qui y intervenaient. Or comment pourrait-on bien se faire une idée de deux choses qui se rapprochent toujours et ne se rencontrent jamais, ou qui se rencontrent à l'infini ? Comment serait-il possible de se faire une idée de l'infini ?

Bien sûr, en présentant ce problème sous une forme aussi grossière, nous avons sacrifié une bonne partie de son épaisseur mathématique et philosophique. Car son enjeu, autant que dans la démonstration de la proposition d'Apollonius, consiste dans la signification exacte des termes « concevoir », « imaginer », « infini ». C'est pourquoi il a eu un grand rôle dans les débats philosophiques et théologiques. Quoi qu'il en soit, les questions soulevées par ce problème ont donné lieu à une recherche qui a duré plusieurs siècles et à laquelle ont participé plusieurs mathématiciens et philosophes, au nombre desquels on trouve des figures comme al-Sijzī (mathématicien du X^e^ siècle)[1], Muḥammad ibn al-Haytham (philosophe des X^e^-XI^e^ siècles), Maïmonide (philosophe du XII^e^ siècle) et Hasdai Crescas, (philosophe juif espagnol du XIV^e^ siècle).

Deuxième problème : la place du mouvement en géométrie

Le cinquième postulat des *Éléments* d'Euclide avait donné lieu, depuis l'Antiquité, à un problème. Sous la forme que l'on trouvait chez Euclide, en effet, il ressemblait plus à une proposition à démontrer qu'à un postulat à admettre. De fait, plusieurs propositions qui semblaient plus simples et plus « évidentes » que ce postulat, sont dûment démontrées par Euclide, surtout au premier livre des *Éléments*.

Nous n'entrerons pas dans le détail des efforts déployés par les mathématiciens pour démontrer ce postulat. Qu'il nous suffise de dire qu'il s'agit là d'un chapitre passionnant de l'histoire des mathématiques en Islam, auquel ont participé plusieurs générations de philosophes et de mathématiciens. Parmi ces derniers, on trouve Thābit ibn Qurra, al-Khayyām, Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī et bien d'autres[2].

---

(1) Voir Roshdi Rashed, « Al-Sijzī et Maïmonide : Commentaire mathématique et philosophique de la proposition II-14 des *Coniques* d'Apollonius », *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, no. 119, vol. 37 (1987), p. 263-296.

(2) Voir, Christian Houzel, « Historie de la théorie des parallèles », dans Roshdi Rashed (éd.), *Mathématiques et philosophie de l'Antiquité à l'Âge classique, Hommage à Jules Vuillemin*, Paris, 1991, p. 163-179.

A en croire al-Khayyām, la démarche d'Ibn al-Haytham en la matière était tout autre. Car, dans un traité intitulé *La résolution des difficultés du premier livre* [*des* Éléments], au lieu d'essayer de démontrer ce postulat, il avait proposé de le remplacer par un autre qui, au lieu de porter sur deux droites parallèles, envisageait sur deux droites équidistantes. Ainsi, le postulat n'aura plus besoin de démonstration. Or, comment produire deux droites équidistantes ?

Pour ce faire, Ibn al-Haytham prend une droite et un segment de droite perpendiculaires entre eux. Alors, si une extrémité de ce segment ne se détache jamais de la droite, et qu'il se met à se mouvoir, de telle façon que les deux lignes restent toujours perpendiculaires, la deuxième extrémité du segment trace une droite dont tous les points seront à la même distance de la première droite. C'est donc par ce mouvement que l'on peut produire deux droites équidistantes.

Il s'agit là de la construction d'un objet géométrique au moyen d'un mouvement. Cette tentative n'a pas manqué de susciter une critique sévère de la part d'al-Khayyām, à la fois grand mathématicien et philosophe avicennien. Dans son traité intitulé *Commentaire sur les difficultés de certains postulats de l'ouvrage d'Euclide*, qui traite, entre autres, du cinquième postulat et de sa démonstration, al-Khayyām mentionne, avant de proposer sa propre démonstration, ses prédécesseurs qui avait entrepris une telle démonstration. Il les critique tous – al-Khāzin, al-Shannī, al-Nayrīzī, « etc. » –, encore que sommairement, au motif qu'ils sont partis, dans leurs démonstrations, de propositions encore moins évidentes que celle d'Euclide. Toujours est-il que la critique qu'il adresse à Ibn al-Haytham est beaucoup plus véhémente. Après avoir exposé la démarche de son prédécesseur, al-Khayyām écrit :

> Mais ce sont là des propos qui, pour plusieurs raisons, n'ont absolument aucun rapport avec la géométrie : Comment peut-on déplacer la ligne de telle sorte qu'elle soit constamment perpendiculaire aux deux lignes ? et comment démontrer que ceci est possible ? Quel rapport y a-t-il entre la géométrie et le mouvement ? et que signifie le mouvement ? D'autre part, il est évident, aux yeux des chercheurs, que la ligne est un accident qui ne peut exister que dans une surface, cette surface dans un solide ; ou qui peut elle-même exister dans un solide sans faire précéder une surface. Comment donc pourrait-elle se mouvoir en faisant abstraction de son objet ? Comment la ligne pourrait-elle résulter du mouvement du point, alors qu'elle est antérieure au point et selon l'essence, et selon l'existence ? (*Al-Khayyām* …, p. 311)

L'essentiel de la critique d'al-Khayyām à l'encontre de l'usage du mouvement en géométrie peut se résumer en une seule phrase : le mouvement est propre aux corps physiques, alors que les objets géométriques ne sont pas des corps physiques, mais des *accidents* de tels corps ; par conséquent, elle semble être due à ses convictions de philosophe aristotélico-avicennien. Pourtant, il apparaît que, selon al-Khayyām, l'usage du mouvement en géométrie va également à l'encontre de l'orthodoxie euclidienne. C'est sans doute pourquoi il essaie de défendre Euclide contre l'accusation d'avoir utilisé le mouvement dans ses *Éléments*, par exemple dans sa définition de la sphère.

Ce débat renvoie à l'une des questions épistémologiques que nous avons notées : quelles sont les moyens que l'on peut légitimement employer dans une démonstration mathématique ? S'agissant du mouvement, Ibn al-Haytham et al-Khayyām donnent à cette question des réponses différentes. L'un l'autorise, l'autre l'interdit. Or, en dépit des réactions non favorables de la part des philosophes,

transformations ponctuelles et mouvement continu ont été, à partir du milieu du IX^{e} et tout au long du X^{e} siècle, parmi les principaux éléments fondateurs des différents chapitres de la géométrie. … La présence de ces notions et leur intervention de plus en plus fréquente ne pouvaient qu'imposer aux mathématiciens de nouvelles questions et les confronter à de nouvelles tâches. Comment légitimer le rôle de l'une ou de l'autre ? comment admettre, dans les énoncés et dans les démonstrations, la notion de mouvement, alors que celle-ci n'a jamais été définie (*D'al-Khwārizmī* …, p. 59) ?

Ainsi Rashed met-il l'accent sur la nature problématique de ces acquis mathématiques : ils rendaient de plus en plus criante la nécessité de repenser certains concepts fondamentaux des mathématiques, mais aussi de la philosophie.

Ibn al-Haytham et la géométrisation du lieu

Rashed voit un lien entre, d'une part, l'usage du mouvement en géométrie et, d'autre part, la doctrine d'Ibn al-Haytham à propos du lieu. Voyons comment s'établit ce lien.

Dans la physique aristotélicienne, le concept d'espace tridimensionnel servant de réceptacle à tous les corps physiques n'existe pas. Ce qui s'en approche le plus est le concept du lieu du corps, qui se définit comme la surface intérieure du corps enveloppant. Contrairement à l'espace, le lieu est une surface et, par conséquent, il est bidimensionnel. De plus, le lieu de chaque corps lui est attaché, il est donc toujours, par définition, occupé : il n'y a pas de lieu vide ; le lieu d'un corps subit, lui aussi, toutes les transformations qui adviennent au corps : il n'y a rien dans le lieu qui ne change, qui soit invariable.

Dans un traité consacré à ce problème[1], Ibn al-Haytham met en avant un nouveau concept de lieu qui, selon Rashed, pouvait servir de base aux opérations géométriques qui nécessitaient des mouvements. Le lieu, tel que l'envisage Ibn al-Haytham, n'est ni la surface bidimensionnelle qui enveloppe chaque corps, ni l'espace vide et tridimensionnel qui peut être occupé par des corps et qui existerait même en l'absence de tout corps. Le lieu, selon Ibn al-Haytham, est ce qui reste du lieu au sens aristotélicien si l'on enlève le corps qui l'occupe. Ce qui correspond, dans le monde extérieur, au lieu ainsi défini ne saurait être actuellement vide, il est toujours, comme le croyait Aristote, occupé par un corps. Ibn Haytham semble être d'accord avec les aristotéliciens que si on déplace un corps, son lieu sera immédiatement occupé par un autre corps (l'air, par exemple). Cette suppression, sur laquelle le concept alhazenien de lieu

(1) Pour ce traité et l'analyse qu'en présente Rashed, voir, *Les mathématiques* …, vol 4, p. 655-686.

est fondé, n'est donc pas un acte que l'on puisse accomplir pour de vrai dans le monde extérieur. Si pourtant on ôte, *dans l'imagination*, ce corps tridimensionnel, on aboutit à un vide imaginé, de telle façon que les distances entre tout couple de points situés sur l'extrémité de ce vide imaginé sont égales aux distances entre les mêmes points quand l'espace imaginé était encore occupé par un corps. La différence entre ces deux types de lieu est pourtant de taille. Car, du moment où l'on ôte le corps, fût-ce simplement en imagination, le lieu au sens défini par Ibn al-Haytham reste en l'état, alors que le lieu au sens aristotélicien continue à changer suivant les changements du corps qui est enveloppé par lui. L'imagination bloque alors le devenir du lieu aristotélicien. Le lieu, au sens alhazenien, est donc quelque chose d'invariable. Ou dans les mots d'Ibn al-Haytham lui-même,

le lieu du corps, ce sont les distances du corps qui, abstraites dans l'imagination, sont un vide sans matière, égal au corps, d'une figure semblable à celle du corps (*Les mathématiques* …, vol 4, p. 684).

C'est sans doute à cause de l'intervention de cet élément d'invariance dans la conception d'Ibn al-Haytham du lieu que Rashed l'appelle « la géométrisation du lieu ». En outre, c'est un concept du lieu primordialement approprié à l'usage des géomètres.

Est-il possible que, par la juxtaposition des lieux ainsi définis, on arrive, certes dans l'imagination, à un vide tridimensionnel assez étendu pour qu'il puisse accueillir tous les objets, mais aussi rendre possible toutes les opérations, géométriques, y compris les opérations nécessitant un mouvement ? On peut entrevoir, dans le texte d'Ibn al-Haytham et dans l'analyse de Rashed, une telle possibilité.

Comme dans le cas du mouvement en géométrie, les Aristotéliciens se sont vite rendu compte de la nouveauté de ce concept et de tout ce qui le distinguait de leur propre concept de lieu. C'est sans doute pourquoi un philosophe comme ^{c}Abd al-Laṭīf al-Baghdādī (XII^{e}-XIII^{e} siècle) a essayé de le réfuter. Le texte a été, là encore, édité pour la première fois, et étudié, par Rashed (*Les mathématiques* …, p. 901-953).

Philosophie des mathématiques et 'Philosophie des mathématiciens'

Ces exemples, tirés pour l'essentiel de l'œuvre de Rashed, illustrent au moins deux types d'activités philosophiques : la philosophie des mathématiques et 'la philosophie des mathématiciens'. La première traite surtout des questions pour ainsi dire traditionnelles, apparentées à celles que nous avons évoquées au début de ce chapitre, alors que la seconde essaie de trouver des réponses à des questions que les mathématiciens se posent au cours de leur activité mathématique. Ce qui les incite à ce faire, c'est qu'ils ne trouvent plus satisfaisantes les réponses déjà données par la philosophie des mathématique à de telles questions, ou que les questions soulevées par leurs propres recherches ne sont pas encore intégrées dans cette philosophie et, par conséquent, n'ont tout simplement pas encore reçu de réponses.

De telles questions surgissent souvent suite à l'introduction, dans les mathématiques, de nouveaux objets, de nouveaux concepts ou de nouveaux procédés. C'est pourquoi la philosophie des mathématiciens se développe d'une façon peu systématique et assez intuitive. De l'autre côté, la philosophie des mathématiques risque souvent de couper ses liens avec l'évolution des mathématiques elles-mêmes, de se borner à l'analyse des concepts, sinon des mots, et d'essayer de procéder au moyen des seuls outils logiques. L'article récent de Rashed intitulé « Avicenne, 'philosophe analytique' des mathématiques »[(1)] semble présenter, par le biais de l'analyse de la manière dont Avicenne aborde quelques problèmes de la philosophie des mathématiques, un exemple d'une telle démarche, de ses point forts et de ses limites. Et ce, chez un philosophe de premier ordre, au reste bien conscient de l'importance des mathématiques. Ce qui transparaît de cet article, avec son titre quelque peu provocateur, c'est que la philosophie des mathématiques, si elle veut être celle de son temps, doit constamment s'enrichir de la prise en compte des nouveaux apports tant des mathématiques que de la philosophie des mathématiciens.

Les exemples que nous avons examinés dans ce chapitre ne sont qu'un échantillon des rapports qu'entretenaient, à la période islamique, la philosophie et les mathématiques, rapports qui allaient du conflit à l'enrichissement réciproque. L'œuvre de Rashed fournit d'autres exemples de ces rapports multiples et multiformes qui peuvent enrichir notre connaissance de l'activité mathématique et de l'influence qu'elle a pu exercer sur d'autres domaines du savoir.

---

(1) *Les études philosophique*, Avril 2016-2 (Philosophie arabe), p. 283-306.

Epilogue : Le rayonnement

Dans l'introduction d'un livre qui n'a du reste rien à voir avec la science arabe, les auteurs écrivent :

La science naturelle moderne n'est pas le descendant unilinéaire de la philosophie naturelle grecque. Ce mythe s'est évaporé il y a longtemps, lorsque les historiens se sont rendus compte des contextes de l'enquête. Au lieu de cela, ils retracent l'ascendance des spécialités modernes au mélange cosmopolite qui s'est formé dans le monde islamique à partir des traditions syriaques, persanes, indiennes, gréco-romaines, ainsi que de celles du Moyen-Orient ancien et de l'Asie de l'Est. Ce mélange est entré en Europe à partir de l'an 1000 environ, apportant de nombreuses composantes puissantes dont les Grecs n'avaient même pas rêvé. Cela a suscité des changements qui se sont accélérés jusqu'à nos jours(1).

Le passage que nous venons de citer permet de saisir la nature du rayonnement de la pensée et de l'œuvre de Rashed, et de l'appréhender sous un nouveau jour.

Rashed a certes formé plusieurs générations d'étudiants et d'étudiantes qui poursuivent ce qu'il a commencé. Il a fondé des institutions de recherche censées s'occuper, sous leurs formes actuelles, des problèmes qui l'intéresse et, plus important encore, de le faire de la manière qu'il souhaite :

---

(1) Geoffrey Lloyd and Nathan Sivin, *The Way and the Word: Science and Medicine in Early China and Greece*, Yale University Press, 2002, p. xiii.

dans une visée pluridisciplinaire et de la façon la plus rigoureuse possible. Ses œuvres ont été traduites en plusieurs langues – allemand, anglais, arabe, italien, japonais, persan, polonais, etc. –, et c'est à travers ces traductions que ses recherches ont trouvé un public beaucoup plus important que le seul public francophone. Les médailles, les prix et les distinctions qu'il a reçus témoignent éminemment de la reconnaissance de son œuvre par la communauté internationale de l'histoire des sciences, et ce, en dépit de toutes les remises en cause auxquelles il a soumis les visées et les méthodes en usage parmi les membres de cette communauté – visées et méthodes qui, faut-il encore le préciser, ne sont pas toujours les siennes. Dans ses voyages, même quand il part à la recherche de manuscrits ou pour participer aux colloques spécialisés, il ne manque jamais l'occasion de s'adresser aux étudiants, aux universitaires, aux enseignants, mais aussi au grand public pour l'informer du cours de ses recherches mais aussi, voire surtout, pour attirer son attention sur l'importance de la science et de son histoire en tant qu'éléments indispensables de la culture. Les pays arabes et musulmans ont reconnu, nous semble-t-il, l'importance de ses travaux – le nombre des prix et des médailles qu'il a reçus en témoigne –, et il a déployé de grands efforts pour tenter de sensibiliser les peuples et les dirigeants de ces pays à l'importance de la recherche scientifique, comme la condition *sine qua non* de toute réforme qu'ils pourraient envisager.

Pourtant, l'importance de l'œuvre de Rashed revient, en fin de compte, au changement qu'elle apporte à notre conception des civilisations et des rapports qu'elles entretiennent. Ces études, presque toujours très spécialisées et très techniques, nous enseignent que les civilisations ne sont pas des mondes clos et que l'épanouissement d'une civilisation est directement lié à son ouverture sur les autres. L'essor de la science n'est qu'une des conséquences, non des moindres, de cette ouverture.

L'histoire de la science en Islam classique nous en fournit un exemple. Un autre exemple est fourni par l'histoire des sciences en Europe médiévale, lorsque ce « mélange cosmopolite » – transformé et enrichi par l'intense activité scientifique que nous avons évoqué dans cet ouvrage – se transfère, par l'intermédiaire des milieux polyglottes, multiconfessionnels et multiculturels de l'Andalousie et de la Sicile normande, vers l'Europe, pour y produire « des changements qui se sont accélérés jusqu'à nos jours ».

La vie et l'œuvre de Rashed en présentent aussi, au fond, un heureux exemple : celui d'une rencontre féconde entre, d'une part, un étudiant du Caire débarquant au milieu des années cinquante à Paris, doté de son bagage culturel, linguistique, mathématique et philosophique et, d'autre part, la société et les milieux scientifiques et universitaires de la France de l'époque, avec les traditions de recherche, plus spécifiquement en histoire et philosophie des sciences qui étaient les leurs. Rashed a assimilé, corrigé, enrichi ces traditions, et il les a mises en rapports avec d'autres héritées, ou découvertes au cours de ses études, de ses enseignements et de ses recherches.

Données biographiques

-Né au Caire en 1936.

'Actuellement directeur de recherche émérite (classe exceptionnelle) au CNRS.

-Directeur du Centre d'Histoire des Sciences et des Philosophies Arabes et Médiévales jusqu'à 2001.

'Directeur de la formation doctorale d'épistémologie et d'histoire des sciences. Université Denis Diderot-Paris 7 jusqu'à 2001. Professeur Honoraire à l'Université de Tokyo. Professeur émérite à l'Université de Mansoura.

Fondateur (1984) et Directeur (jusqu'à mai 93) de l'équipe de Recherche REHSEIS (Recherches en Epistémologie et Histoire des Sciences et des Institutions Scientifiques, CNRS).

Domaines de recherche

Histoire et philosophie de l'algèbre.

La théorie classique des nombres.

Optique géométrique et optique physique.

Constructions géométriques et déterminations infinitésimales.

Problèmes historiques et philosophiques de l'application des mathématiques dans les sciences sociales.

Études diverses en histoire des sciences et de la philosophie.

La liste complète des publications de Roshdi Rashed se trouve sur le site internet de l'équipe SPHÈRE du CNRS, à l'adresse suivante :

http://www.sphere.univ-paris-diderot.fr/spip.php?article171&lang=fr