



LES MATHÉMATIQUES ARABES DES VIII^e-XV^e SIÈCLES : PASSERELLES ENTRE LES CULTURES

Ahmed DJEBBAR*

I. INTRODUCTION

Les activités mathématiques sont souvent perçues comme des pratiques individuelles et solitaires sans liens ou presque avec leur environnement, sans échanges féconds avec les acteurs de la production philosophique, littéraire, artistique et idéologique, c'est-à-dire sans interaction avec les différentes cultures au sens large. Elles sont également appréhendées comme un ensemble de discours très techniques, donc hermétiques pour les non initiés et, par nature, fermés à tout échange. Elles sont enfin considérées, le plus souvent, et pour toutes les raisons qui viennent d'être évoquées, comme incapables de produire de la culture scientifique.

Pourtant, à quelque niveau que l'on se place, l'Histoire des disciplines mathématiques contredit ou, à tout le moins, relativise fortement ces idées reçues. Et cela est encore plus vrai pour la période qui s'étend entre le VIII^e et le XV^e siècle, c'est-à-dire ce qu'il est convenu d'appeler la « *phase arabe des mathématiques* », même si, au cours de cette phase, d'autres traditions scientifiques étaient actives : celles de la Chine, de l'Inde et de l'Europe.

C'est cette réalité, rapportée partiellement par les sources anciennes, aujourd'hui accessibles, qui nous permettent d'abord d'affirmer l'existence, à toutes les époques, du développement des sciences en pays d'islam, d'échanges interculturels favorisés par les activités mathématiques elles-mêmes. Elles nous permettent aussi de décrire la forme de ces échanges, leurs contenus et les implications que cela a pu induire tant à l'intérieur de la tradition scientifique elle-même qu'au niveau des relations qui se sont tissées entre les différents groupes culturels de la cité islamique ou bien entre l'espace musulman pris dans son ensemble et les trois espaces « *mitoyens* » que nous avons déjà évoqués.

Dans cette courte présentation, nous allons distinguer quatre phases d'interculturalité correspondant aux quatre moments de l'activité mathématique entre le VIII^e et le XV^e siècle: La phase des savoir-faire locaux, celle de l'appropriation des héritages préislamiques (où la partie grecque est prépondérante), celle de la créativité dans les foyers scientifiques de l'empire musulman et celle de la diffusion, consentie ou non par ses détenteurs, du patrimoine ancien récupéré, assimilé puis enrichi par les apports nouveaux produits en pays d'islam.

II. LE CONTENU DES MATHÉMATIQUES ARABES

Du point de vue de leur contenu, les activités mathématiques de l'empire musulman se présentent essentiellement sous trois aspects. Historiquement parlant, il y eut d'abord l'élaboration d'un savoir-faire en prise directe avec la vie au quotidien, c'est-à-dire avec les problèmes que l'on pourrait qualifier de transactionnels, au sens juridique du terme. La plupart du temps, ils impliquent plusieurs individus dans le cadre de leurs liens familiaux, comme la répartition des héritages, ou dans le cadre d'un contrat commercial ou administratif, comme les répartitions des bénéfices, le paiement des soldes et des salaires ou la détermination de l'assiette de l'impôt. Ce savoir-faire est généralement défini comme l'ensemble des objets, des outils, des procédures techniques, des méthodes et des résultats permettant de fournir des solutions acceptables à chaque type de situations que nous venons d'évoquer. A partir du IX^e siècle, cet ensemble de connaissances et de pratiques dispersées a commencé à alimenter des écrits mathématiques très variés : manuels de calcul digital et mental, épîtres sur la géométrie du mesurage, ouvrages sur les problèmes de transaction¹.

Avec le développement des différents aspects de la vie citadine et la multiplication des besoins qui en a découlé, cet ensemble de savoir-faire mathématiques va s'enrichir considérablement avec la constitution d'un savoir théorique. Ce nouveau corpus s'est d'abord nourri des contenus de sources écrites préislamiques (essentiellement grecques et indiennes) avant de se développer dans différentes directions : élaboration d'outils et de résultats originaux dans les disciplines anciennes (géométrie, théorie des nombres, astronomie, mécanique), constitutions de chapitres nouveaux (algèbre, trigonométrie, combinatoire, science du temps)².

Cette première rupture dans le processus de constitution du savoir mathématique a eu lieu avec la naissance puis le développement de recherches « désintéressées », c'est-à-dire sans sollicitations préalables, exprimées par des demandes de la société, et sans but « utilitaire », du moins immédiat, fixé par les promoteurs de ces recherches. Les auteurs de cette rupture, d'une grande portée historique et même culturelle, ont été les mathématiciens, appréhendés non plus comme individus isolés mais comme membres des premières communautés scientifiques. Dans ce nouveau contexte, l'activité mathématique, sans cesser d'être une « prestation de service » pour les deux catégories d'utilisateurs que nous avons évoqués, devient aussi une pratique au service de ses propres acteurs et promoteurs, en tant que groupes structurés. Les membres de cette communauté seront seuls habilités à définir les orientations de leurs recherches dans la mesure où ils se considéraient, à juste titre, les seuls aptes à se poser de nouvelles questions, à partir de ce qui est considéré par eux comme admis ou comme déjà établi.

Le résultat de cette rupture a été le développement discontinu, et selon deux démarches distinctes, d'un savoir savant supposant des structures d'enseignement, des supports matériels pour la préservation des acquis et des rapports différents entre les acteurs de cette activité, c'est-à-dire les apprenants et ceux qui détiennent le savoir. La première de ces démarches, qualifiée d'algorithmique, privilégie la procédure de calcul ou de résolution et sa vérification

¹ - A. Djebbar : *Les transactions dans les mathématiques arabes : classification, résolution et circulation*, Actes du Colloque International « Commerce et mathématiques du Moyen âge à la Renaissance, autour de la Méditerranée » (Beaumont de Lomagne, 13-16 mai 1999), Toulouse, Editions du C.I.H.S.O., 2001, pp. 327-344.

² - M.-Th. Debarnot : *Trigonométrie*. In R. Rashed (édit.) : *Histoire des sciences arabes*, Paris, Seuil, 1997, vol. 2, pp. 163-198 ; A. Djebbar : *L'algèbre arabe, genèse d'un art*, Paris, Vuibert-Adapt, 2005 ; A. Djebbar : *Islamic Combinatorics*. In R. Wilson & J.-J. Watkins (édit.) : *Combinatorics, Ancient and Modern*, Oxford, Oxford University Press, 2013, pp. 82-107.

par la technique du test. L'exemple le plus simple qui illustre cette démarche est celui de la multiplication avec la « *preuve par 9* » qui l'accompagne. Cette manière de faire des mathématiques est caractéristique des traditions savantes, de l'Égypte pharaonique, de la Mésopotamie, de l'Inde et de la Chine.

La seconde démarche, qualifiée d'hypothético déductive, est présente, sous certaines formes peu développées, dans les traditions que nous venons d'évoquer. Mais elle caractérise plutôt un vaste champ des pratiques mathématiques grecques, depuis le V^e siècle avant J. C. jusqu'aux dernières productions alexandrines puis byzantines des V^e-VI^e siècles.

Mais, si ces deux démarches se sont effectivement développées dans le cadre de cultures différentes, elles n'en sont pas restées prisonnières. Comme on le verra par la suite, le phénomène d'interculturalité a favorisé leur diffusion, leur juxtaposition puis leur synthèse harmonieuse dans une démarche unificatrice qui a caractérisé les pratiques mathématiques de la tradition scientifique arabe, héritière des prestigieuses traditions antérieures.

Il faut enfin remarquer, à propos de ce même savoir mathématique de type savant, que grâce à l'approfondissement de cette rupture dans la manière d'élaborer le savoir et grâce au développement parallèle d'autres activités intellectuelles, et plus particulièrement la philosophie, une troisième orientation a vu le jour, essentiellement dans l'aire culturelle grecque. Il s'agit de l'élaboration d'un ensemble de discours sur le contenu et la nature des pratiques mathématiques, c'est-à-dire sur leurs objets, leurs outils, leurs méthodes et sur la pertinence des éléments constitutifs de leurs fondements. Cet aspect est très important dans la mesure où il a évité d'enfermer les mathématiques dans une simple activité technique et il leur a procuré un discours sur elles-mêmes qui a éclairé leurs pratiques³.

III. LA PHASE D'APPROPRIATION DES PRATIQUES MATHÉMATIQUES LOCALES

Cette phase correspond à la période des conquêtes au nom de l'islam qui s'achèvent vers le milieu du VIII^e siècle, puis à celle de la consolidation du nouveau pouvoir au cours des premières décennies de la dynastie abbasside. Les pratiques mathématiques de cette époque ont lieu dans des environnements culturels encore fortement cloisonnés et elles s'expriment dans les différentes langues des populations du nouvel empire. Les deux disciplines les plus sollicitées sont le calcul et la géométrie. La première est pratiquée, suivant les régions, sous forme de calcul indien, alphabétique, ou mental. La seconde se limite aux techniques d'arpentage, de découpage et de décoration.

En dehors du système décimal, dont l'origine est clairement identifiée, les autres techniques ne sont rattachées, explicitement, à aucune des traditions mathématiques antérieures à l'islam. Elles appartiennent donc à un fond commun qui s'est probablement constitué, au cours des siècles, comme savoir-faire produits dans différentes aires culturelles, avant de « *migrer* » d'une aire à l'autre. La plus connue de ces « *migrations* » est celle du calcul indien, apparu au VI^e siècle, au plus tard, et dont la présence est attestée au Proche Orient au VII^e siècle, comme le confirme le précieux témoignage du savant syriaque Sévère Sebokht (m. 667)⁴.

L'interculturalité, au cours de cette première phase des pratiques mathématiques en pays d'islam, se situe, en particulier, au niveau de l'appropriation, à travers l'arabe (qui n'avait

³ - M. Caveing : *La figure et le nombre, Recherches sur les premières mathématiques des Grecs*, Lille, Editions du Septentrion, 1997.

⁴ - F. Nau : Notes d'astronomie syrienne, *Journal Asiatique*, Série 10, t. 16 (1910), p. 225.

encore aucune tradition scientifique), d'un savoir-faire produit en grande partie dans d'autres aires culturelles et qui va conserver des traces de ses origines dans des termes techniques ou dans des procédures de calcul. Ce sera le cas, par exemple, lorsque certains mots désignant des objets géométriques ne trouveront pas d'équivalents en arabe. Ils seront conservés tels quels, mais dans une transcription approximative⁵. On observera ce même phénomène quelques siècles plus tard, lorsque les traducteurs européens seront amenés à rendre en latin des concepts nouveaux découverts pour la première fois dans des textes scientifiques arabes. Ce sera aussi le cas de certaines techniques qui circuleront avec leurs «*marques*» culturelles, comme ce fut le cas pour le procédé persan utilisé pour la détermination des gains et des pertes à l'issue d'une transaction⁶.

IV. LA PHASE D'APPROPRIATION DES MATHÉMATIQUES SAVANTES

Cette phase, qui a duré plus d'un siècle et demi, a connu une première impulsion officielle à la fin du VIII^e siècle lorsque le calife al-Mansûr (754-775) a pris la décision de financer la traduction d'un ouvrage astronomique écrit en sanskrit. Il est intéressant de constater que ce premier acte, hautement symbolique, est toujours présenté dans son contexte interculturel qui est l'arrivée, à Bagdad, nouvelle capitale de l'empire, d'une délégation indienne venue rendre hommage au détenteur du nouveau pouvoir et lui offrir des présents exprimant la créativité scientifique et culturelle de l'Inde.

Il est également bien connu qu'à partir de ce fait avéré, et dans le but de magnifier la dynastie abbasside à travers certains de ses représentants, d'autres faits, en partie imaginaires ceux-là, ont été «*fabriqués*» par certains membres de l'élite bagdadienne pour promouvoir l'interculturalité et son rôle dans l'appropriation des sciences «*étrangères*». A titre d'exemple, on peut évoquer ici le fameux rêve au cours duquel le calife al-Ma'mûn (813-833) aurait eu, au cours d'un rêve, un échange avec Aristote (m. 322 av. J.C.) sur la notion de «*bien*». A l'issue de cet échange ésotérique, le calife aurait pris la décision de financer toute action permettant de récupérer le savoir savant grec en vue de le redynamiser dans le contexte culturel arabe de l'empire musulman⁷. Et, de fait, on assiste à partir de la fin du VIII^e siècle, à une dynamique nouvelle au cours de laquelle, transcendant les conflits latents, les obstacles culturels et linguistiques, des citoyens de toute confession et de toute origine culturelle se sont transformés en passeurs de savoirs et, en particulier, de savoirs mathématiques.

Sur le plan des faits, et en nous limitant aux mathématiques, il est bon de rappeler que, à quelques exceptions près, tous les écrits mathématiques grecques accessibles ont été traduits : Les *Eléments* et les *Données* d'Euclide (III^e s. av. J.C.), les *Coniques* d'Apollonius (III^e s. av. J.C.), la *Mesure du cercle* et la *Sphère et le cylindre* d'Archimède (m. 212 av. J.C.), les *Arithmétiques* de Diophante (II^e s.) et l'*Introduction arithmétique* de Nicomaque de Gérase (II^e s.). A ce corpus imposant qui va puissamment nourrir les pratiques mathématiques arabes des IX^e-XII^e siècles, il faut ajouter quelques écrits apocryphes attribués abusivement à Pythagore et à Archimède.

Par ailleurs, il faut insister sur le fait que cette opération de transfert n'était pas exclusivement technique. Elle a mobilisé des centaines de personnes. D'abord celles qui étaient parties à la recherche des manuscrits, puis celles qui se sont chargées de traduire leurs contenus. Enfin, l'armée des copistes qui allaient permettre à ces travaux solitaires de circuler

⁵- C'est le cas de «*jayb*» (= sinus), transcription du mot sanskrit «*jiva*», ou de «*ibarbola*», transcription du mot grec «*hyperbole*».

⁶ - Al-Baghdadi : *Al-Takmila fi l-hisâb* [La complétion en calcul], Koweit, Publications de l'Institut des Manuscrits Arabes, 1985, pp. 263-264.

⁷ - D. Gutas : *Pensée grecque, culture arabe*, Paris, Aubier, 1998, pp. 156-160.

dans le milieu des chercheurs puis dans celui des enseignants et de leurs étudiants. Même si les témoignages sur les aspects interculturels de ce phénomène sont rares, il n'est pas pensable que la mobilisation de toutes ces compétences aux profils culturels et confessionnels si différents, et au cours d'une période si longue (fin VIII^e s.- début X^e s.), n'a pas été l'occasion de contacts et d'échanges favorisant une meilleure connaissance mutuelle. A titre d'exemple, on peut évoquer le cas du musulman al-Hajjâj ibn Yûsuf (VIII^e-IX^e s.). Il avait fait partie d'une délégation multiconfessionnelle envoyée par le calife al-Ma'mûn à Byzance pour en rapporter des ouvrages scientifiques et philosophiques⁸. Par la suite, il réalisera deux traductions en arabe des *Eléments* d'Euclide. Au début du IX^e siècle, et probablement en réponse à une demande de membres de la nouvelle communauté des mathématiciens, c'est au tour d'Ishâq Ibn Hunayn (m. 873), un chrétien maîtrisant mieux qu'al-Hajjâj la langue scientifique grecque, et au courant des évolutions récentes de la langue arabe, de proposer une nouvelle traduction des *Eléments*. C'est enfin Thâbit Ibn Qurra (m. 901), un païen d'origine sabéenne, féru de grec et expert dans les mathématiques de son temps, qui a réalisé une révision complète de la troisième traduction. Il est d'ailleurs intéressant de noter qu'aucune préférence culturelle ou confessionnelle n'est intervenue lorsqu'il a fallu choisir parmi les quatre versions des *Eléments* qui circulaient alors. Les spécialistes ont manifestement préféré, pour ses seules qualités scientifiques, la version d'Ishâq Ibn Hunayn révisée par Thâbit Ibn Qurra⁹.

La traduction des *Coniques* d'Apollonius a également été l'occasion d'une collaboration qui a transcendé les particularismes culturels et confessionnels. Ce sont les trois frères Banû Mûsâ (IX^e s.), musulmans d'origine probablement persane par leur père mais un pur produit du milieu culturel arabe de Bagdad, qui ont financé la recherche, l'achat puis la traduction d'ouvrages grecs qui intéressaient directement leurs travaux en géométrie. S'étant procuré une copie très défectueuse des *Coniques* puis le précieux commentaire d'Eutocius (VI^e s.) sur cet ouvrage, ils ont d'abord recruté un premier traducteur, un musulman de Homs, Hilâl Ibn Abî Hilâl, qui s'est acquitté de la tâche pour seulement les quatre premiers chapitres. Puis, pour une raison qui nous est encore inconnue, ils ont demandé au sabéen Ibn Qurra d'achever le travail en traduisant les trois chapitres restants.

L'arrivée en force, à Bagdad, de ces mathématiques « étrangères » et des sciences grecques et indiennes d'une manière générale, puis la dynamique multiforme qui s'en est suivie, dans le cadre du processus de traduction et d'assimilation, ont eu deux conséquences au niveau de l'interculturalité. La première est la diffusion, bien au-delà des cercles scientifiques, d'une opinion très favorable aux sciences des « Anciens », c'est-à-dire celles qui avaient été produites dans les cultures païennes de l'Inde, de la Perse et, surtout, celles de la Grèce, avec son prolongement byzantin. Ce fait n'est pas anodin quand on sait que, dès le IX^e siècle puis aux XII^e-XIII^e siècles, de fortes personnalités, appartenant à des courants théologiques dogmatiques, ont adopté une attitude d'enfermement culturel en s'opposant à l'enseignement de certaines sciences rationnelles parce qu'elles avaient été élaborées par des païens¹⁰. Mais plusieurs facteurs liés aux différents aspects du développement de la civilisation arabo-musulmane ont fini par avoir raison de la vision exclusivement religieuse de l'activité scientifique. Parmi ces facteurs, il y avait la dynamique des sciences, l'élaboration de solutions mathématiques aux trois grands problèmes de la pratique religieuse (la direction de la Mecque, les cinq moments des prières quotidiennes et la visibilité du croissant de lune pour l'établissement du calendrier), ainsi que les encouragements constants

⁸ - F. Sezgin : *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, Leide, Brill, 1974, pp. 83-96.

⁹ - Th. L. Heath : *Euclid, The Thirteen Books of the Elements*, New York, Dover, 1956, vol. 1, pp. 75-90.

¹⁰ - I. Goldziher : *Stellung der Alten Islamischen Orthodoxie zu den Antiken Wissenschaften, Abhandlungen der Koniglich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, Berlin, n° 18 (1915), pp. 3-46.

de la plupart des califes et des détenteurs du pouvoir dans les différentes régions de l'empire¹¹.

La seconde conséquence touche les mathématiques elles-mêmes. Elaborées à partir d'apports provenant d'aires culturelles différentes, qui ont fini par se fondre dans une grande synthèse, et pratiquées dans les environnements cosmopolites des foyers scientifiques de l'empire, les mathématiques de cette époque n'avaient plus comme spécificité que la langue qui les exprimait. Pour le reste, on était devant une activité totalement profane à caractère universel, transcendant les particularismes culturels.

V. LA PHASE D'INNOVATION DES MATHÉMATIQUES ARABES

Cette phase correspond à la période qui s'étend du début du IX^e siècle à la fin du XIV^e, avec des rythmes différents, d'un siècle à l'autre et d'une région à l'autre, dans la dynamique scientifique et dans sa créativité. Au cours de cette période, une communauté scientifique a rapidement émergé, avec un premier noyau à Bagdad dont le modèle a essaimé aux quatre coins de l'empire, au fur et à mesure que des métropoles régionales naissaient et se développaient. La caractéristique essentielle de ces communautés a été la multiculturalité au sens large, avec deux dénominateurs communs : L'activité scientifique partagée et la langue arabe qui exprimait son contenu.

C'est dans ce contexte, et avec ces données, que s'est développée une puissante tradition mathématique qui a transcendé les spécificités confessionnelles et culturelles. Parmi les éléments qui pourraient expliquer ce phénomène, il y a le caractère universel du contenu des mathématiques pratiquées, en particulier les méthodes et les démarches qui ont permis de les élaborer. Il y a aussi la collaboration de chercheurs de tous horizons culturels, à la fois dans l'enrichissement de son contenu, dans son enseignement et dans sa diffusion selon des formes d'expression qui ne laissaient que peu de place aux spécificités régionales (comme les graphies différentes des chiffres d'Orient et d'Occident pour exprimer un même système de numération hérité de l'Inde, ou la représentation symbolique des fractions qui n'était pas la même à Bagdad et à Cordoue, ou bien des différences terminologiques dans la dénomination de certaines figures géométriques que les usages locaux avaient consacrées).

Parmi les conséquences du développement des sciences, parallèlement à celui de la philosophie et des sciences humaines de l'époque, une sorte de besoin s'est manifesté dans les milieux cultivés pour une connaissance « *culturelle* » du contenu des savoirs en vogue, et en particulier des mathématiques. Il en a découlé la publication de trois catégories d'ouvrages : Des bibliographies, des encyclopédies et des classifications des sciences. Le plus ancien ouvrage de la première catégorie n'est autre que « *Le Catalogue* » d'Ibn al-Nadîm (m. 995)¹². Il est en fait le premier représentant d'une série d'ouvrages dont la rédaction s'est étalée du XI^e siècle jusqu'au XVIII^e, avec parfois des publications consacrées à une seule discipline, comme la médecine et ses chapitres annexes. Dans la seconde catégorie, il y a deux ouvrages du X^e siècle représentant deux orientations tout à fait complémentaires, l'une que l'on pourrait qualifier de « *culturelle* », au sens large, et l'autre plutôt « *philosophique* ». Le premier est le « *Livre des clés des sciences* » d'Abû Abdallah al-Khwârizmî. Il réserve aux mathématiques un chapitre où est exposé ce que devait retenir un homme cultivé du contenu d'une discipline réputée hermétique pour les non initiés. Il est intéressant de noter que, dans le même ouvrage,

¹¹ - D. A. King : *Astronomy in the Service of Islam*, Variorum, Ashgate Publishing, Aldershot, 1993.

¹² - Ibn al-Nadîm : *Al-Fihrist* [Le catalogue], G. Flügel (édit.), Leipzig, Verlag von Vogel, 1871-1872.

se côtoient des développements sur le Droit, la grammaire, la chimie, l'astronomie, l'astrologie et les sciences religieuses¹³.

Le second ouvrage, intitulé « *Epîtres des Frères de la sincérité* », est une œuvre collective réalisée par les Ikhwân al-Safâ', un groupe d'intellectuels de Bagdad. C'est un pur produit de la culture du X^e siècle, imprégnée de conviction philosophique et de sensibilité chiite. Les mathématiques y ont une place de choix à la fois comme savoir et comme outils dans l'exposé argumenté des conceptions des auteurs¹⁴.

Ces deux ouvrages, et d'autres moins connus, illustrent en fait une situation où la diffusion d'une certaine culture mathématique dans les milieux lettrés les plus variés ne pouvait que favoriser les échanges et les étendre à des domaines jugés souvent incompréhensibles à cause de la technicité ou le caractère ésotérique de leurs discours.

A dire vrai, le phénomène avait commencé à se développer dès la seconde moitié du IX^e siècle avec la publication d'un texte important appartenant à la catégorie que nous n'avons pas encore évoquée, celle des classifications des sciences. Il s'agit de « *L'Épître sur le recensement des sciences* » du grand philosophe al-Fârâbî (m. 950). Son contenu ne s'adressait manifestement pas aux praticiens des différentes disciplines qui y sont évoquées, mais plutôt à ce milieu multiculturel de Bagdad dont les membres étaient friands de débats de haut niveau.

Il nous est d'ailleurs parvenu quelques témoignages de ces échanges entre spécialistes de disciplines différentes ou entre défenseurs de conceptions du monde ou de visions culturelles éloignées les unes des autres. Un premier exemple est fourni par le biobibliographe du XIII^e siècle, Ibn Abî Usaybi'a (m. 1285), qui évoque un salon de Bagdad qui était tenu par une dame de la haute société de la ville et qui s'appelait Oum Ja'far. Cette dernière recevait, régulièrement, des mathématiciens et des médecins pour les faire débattre sur différents sujets¹⁵. Un autre exemple, plus significatif encore, nous est fourni par un texte du IX^e siècle qui évoque des débats théologiques entre des intellectuels de confessions différentes et auxquels a participé le grand mathématicien païen Thâbit Ibn Qurra. Au cours d'une discussion qui portait sur la nature finie ou infinie du nombre des âmes, différents arguments ont été exposés et discutés. Parmi ces arguments, il y avait une justification mathématique de l'infinitude du nombre des âmes. Mais pour que l'argumentation soit compatible avec l'infinitude de Dieu, son auteur a introduit une notion toute nouvelle pour l'époque : celle d'une relation d'ordre entre différents types d'infinis permettant de les comparer et de les ordonner en infinis « *plus petits* » ou « *plus grands* » que d'autres¹⁶.

Il faut enfin évoquer l'un des résultats les plus importants de l'interculturalité qui a caractérisé les pratiques mathématiques et, d'une manière générale, toutes les activités scientifiques. Il s'agit des discours des mathématiciens sur leur discipline et sur le métier de producteurs de savoirs. Il se dégage des rares textes qui nous sont parvenus une vision humaniste qui situe les savoirs mathématiques et leur élaboration dans un processus historique qui transcende les horizons d'une seule communauté, d'une seule culture ou même d'une seule civilisation. Parmi les prises de position les plus significatives et les plus emblématiques dans ce domaine, il y a celle d'al-Samaw'al (m. 1175), un bagdadien du XII^e

¹³ - A. Al-Khwârizmî : *Kitâb mafâtîh al-^sulûm* [Livre des clés des sciences], G. Van Vloten (édit.), Leide, Brill, 1968.

¹⁴ - Ikhwân al-Safâ : *Rasa 'il* [Epîtres], Beyrouth, Dar Sadir, 1957.

¹⁵ - Ibn Abî Usaybi'a : *Uyûn al-anbâ' fî tabaqât al-atibbâ'* [Les sources de l'information sur les catégories de médecins], Beyrouth, Maktabat al-hayât, non datée, pp. 192-193.

¹⁶ - S. Pines : *Thabit Ibn Qurra's Conception of Number and Theory of the Mathematical Infinite*, Actes du XI^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Varsovie, III, pp. 160-166.

siècle dont le père était un rabbin maghrébin de Fez qui avait émigré à Bagdad. Ce mathématicien est un parfait représentant du scientifique novateur puisqu'il a, à son actif, le développement d'une nouvelle théorie algébrique, celle des polynômes abstraits avec une extension à leur domaine de toutes les opérations arithmétiques classiques qui ne concernaient, auparavant, que les nombres entiers et les fractions. C'est également lui qui a élaboré, de la manière la plus développée, la première théorie des fractions décimales, qui sera redécouverte, quelques siècles plus tard, par le mathématicien belge Stevin (m. 1620). Mais la hauteur de vue de ce savant, acquise dans le quotidien de ses investigations et de ses interrogations, n'est pas étrangère à ses activités pluridisciplinaires et interculturelles. En effet, al-Samaw'al a exercé deux métiers, celui de mathématicien et celui de médecin, et il a adhéré, successivement, à deux religions : Le judaïsme et l'islam. A l'exception d'un ouvrage de circonstance, très polémique, publié après sa conversion et dans lequel il fustige son ancienne religion, ce sont des réflexions d'une grande ouverture d'esprit et une large vision de la pratique scientifique qu'il nous livre dans son évocation des sciences et de leur développement à travers l'Histoire. Dans un écrit peu connu, intitulé « *Livre sur les travers des astrologues* », et qui s'adressait manifestement à un lectorat plus large que celui des spécialistes de la communauté scientifique de son époque, il dit, en évoquant une opinion dominante en faveur des traditions mathématiques des civilisations antiques : « *La majorité [des gens] s'imagine que les Anciens ont produit tout ce qui était possible de connaître en science et qu'il n'est plus possible à personne de connaître autre chose que ce que connaissaient les Anciens (...). Cela vient soit du fait que, pour eux, ce qui peut être accessible en science rationnelle est fini et que les esprits ne peuvent en composer autre chose (...), soit du fait de leur croyance qu'il y avait chez les Anciens un degré d'infailibilité et d'intelligence qui n'a pas d'équivalent chez ceux qui sont venus après eux.*

Pour ce qui est de l'infailibilité, elle n'appartient à aucun être humain, hormis les prophètes. Quant aux sciences, si l'excès de dogmatisme et d'admiration ne les pousse pas à les considérer comme le résultat d'une révélation, les faits les obligent à admettre leur accroissement et leur clarification à chaque époque. Et c'est d'ailleurs ce dont témoignent le mouvement général des sciences et les biographies des mathématiciens »¹⁷.

VI. LES MATHÉMATIQUES AU CŒUR DES ÉCHANGES ENTRE LE IX^E ET LE XVIII^E SIÈCLES

C'est à la fin du X^e siècle que des phénomènes de circulation en persan et, surtout, en arabe, du savoir mathématique produit en pays d'islam sont observés dans quatre aires culturelles aux antipodes les unes des autres, celles de la Chine, de l'Inde, de l'Afrique subsaharienne et de l'Europe chrétienne. Mais, ces types de transferts n'ont eu ni la même nature ni la même durée ni, surtout, les mêmes effets sur les traditions scientifiques de chacune de ces grandes régions du monde.

VII. MATHÉMATIQUES ET ASTRONOMIE PERSANES ET ARABES EN CHINE

A partir du IX^e siècle, les références à la Chine se multiplient dans les écrits arabes. Les premiers auteurs qui se sont intéressés à cette région sont d'abord des marchands qui y ont séjourné un certain temps¹⁸. Ils en ont rapporté quelques informations sur les technologies de ce pays et sur son savoir-faire en médecine ou en astronomie. Mais peu d'informations nous

¹⁷ - Al-Samaw'al : *Livre sur le dévoilement des travers des astrologues*, Ms. Leiden University Library, n° Or. 98, f. 1b.

¹⁸ - P. Charles-Dominique (trad.) : *Documents sur la Chine et sur l'Inde*, Paris, Gallimard, 1995, pp. 3-24.

sont parvenues au sujet de la circulation de certains habitants de cette région vers l'espace musulman. Les seuls témoignages ayant trait à la présence de chinois en pays d'islam concernent précisément le domaine des sciences : au IX^e siècle, un étudiant est signalé dans l'équipe du grand médecin Abû Bakr al-Râzî (m. 935)¹⁹. Au début du XIII^e siècle, l'astronome chinois Yelü Chucaï accompagne Gengis Khan (1197-1227) dans ses expéditions en territoires musulmans. Au cours de son séjour en Asie centrale, et plus précisément à Samarkand, il apprend le persan et a des échanges avec des astronomes musulmans de la ville. Par leur intermédiaire, il a accès à des ouvrages et à des tables astronomiques. Il s'initie à leurs contenus et il intègre, dans au moins deux de ses ouvrages, un certain nombre d'outils, comme l'utilisation de méthodes géométriques ou trigonométriques « *islamiques* » pour réaliser la conversion entre coordonnées écliptiques et coordonnées équatoriales, ou comme l'application de procédés permettant de déterminer les moments des éclipses²⁰. Le troisième témoignage est également du XIII^e siècle : après la prise de Bagdad par les Mongols, en 1258, un important observatoire est construit à Maragha. Sa direction est confiée au grand savant persan Nasîr al-Dîn al-Tûsî (m. 1274). Ce dernier s'entoure d'un certain nombre d'astronomes très qualifiés parmi lesquels il y avait un chinois dénommé Fu Meng Chi (ou Fao Mun Ji)²¹. Mais ces trois exemples ne suffisent pas pour conjecturer l'existence d'une circulation régulière d'hommes de sciences chinois vers les foyers scientifiques des pays d'islam.

Dans l'autre sens, cette circulation est également attestée même si, là aussi, la rareté des informations ne permet pas de décrire, dans le détail, le contenu et les caractéristiques des échanges qui ont eu lieu. Les quelques informations qui concernent les IX^e-XII^e siècles témoignent de la présence d'hommes de sciences musulmans en Chine. Le plus ancien témoignage concerne le IX^e siècle. Il est associé à l'avènement de la dynastie des Song (960-1127). Un astronome et astrologue musulman, originaire de Samarkand, nommé Ma Yize (X^e s.), aurait été recruté en 961 pour travailler au service de l'empereur de l'époque, Song Taysu (960-976). A la demande de ce dernier, il aurait réalisé un nouveau calendrier, intitulé *Yingtian li*, qui serait devenu, de 964 à 982, le calendrier officiel de la dynastie²².

Le second moment favorable à la circulation d'écrits mathématiques arabes ou persans en Chine a commencé avec l'avènement de la dynastie mongole des Yuan (1279-1368). En 1271, à la demande du grand Khan Kubilaï (1260-1294), un bureau astronomique musulman est fondé à Pékin. Il est dirigé par Jamâl al-Dîn al-Zaydî, un scientifique de Boukhara. Une quarantaine de personnes travaillent dans cette nouvelle structure. Des tables et des instruments astronomiques y sont réalisés. Le bureau en question serait resté en activité jusqu'au XVII^e siècle. Parmi les travaux qui ont découlé de ces échanges, il y a le *Huihuili*, une traduction chinoise de tables astronomiques réalisées en persan vers 1383. Cet ouvrage aura une longue histoire en Chine, avec des prolongements en Corée et au Japon²³.

Quant aux livres de mathématiques consignés dans le catalogue de la bibliothèque de ce « *bureau musulman* », on relève, dans une transcription chinoise, un certain nombre de titres de manuels anonymes ou de traités connus. C'est le cas des *Eléments* d'Euclide, d'un « *Livre de calcul* », d'un « *Livre de problèmes mathématiques avec figures* », d'une « *Epître sur le*

¹⁹ - Ibn al-Nadîm : *Al-Fihrist*, op. cit., pp. 16-17.

²⁰ - K. Yabuuti & B. van Dalen : *Islamic Astronomy in China during the Yuan and Ming Dynasties, Historia Scientiarum*, (1997), vol. 7-1.12 ; B. Van Dalen : *Islamic and Chinese Astronomy under the Mongols: a Little-Known Case of Transmission*, Dold-Samplonius Y, Dauben J W, Folkerts M et al. (édit.) : *From China to Paris: 2000 Years Transmission of Mathematical Ideas*, Stuttgart: Steiner, 2002, pp. 331-333.

²¹ - A. Sayili : *The Observatory in Islam and its Place in the General History of the Observatory*, Ankara, Türk Tarih Kurumu Basimevi, 1960, pp. 205-207.

²² - L. Xianglin : *Revue Bibliographique de Sinologie*, Paris, 1968-70, 14^e -15^e années, notice n° 18.

²³ - Y. Shi : *The Korean Adaptation of the Chinese-Islamic Astronomical Tables, Archive for History of Exact Sciences*, n° 57 (2003), pp. 25-60.

compas parfait », etc. Aucune copie chinoise de ces ouvrages ne nous est parvenue. Mais il est possible, à partir de quelques un des titres du catalogue de faire des conjectures sur la nature des mathématiques contenue dans ces ouvrages.

Quant à la connaissance précise de ce qui a pu circuler comme objets, outils et procédures mathématiques de l'espace musulman vers la Chine, seule l'analyse comparative nous permet aujourd'hui de donner quelques réponses ou d'avancer des hypothèses. C'est également la comparaison des contenus et la prise en compte de la chronologie des publications réalisées dans ces deux aires culturelles qui nous permettent de repérer une éventuelle circulation vers l'espace musulman d'une partie du savoir mathématique chinois.

Pour prendre l'exemple du calcul élémentaire, on constate que, dans les deux traditions, les étapes des procédures classiques de la multiplication et de la division sont les mêmes. Compte tenu de l'antériorité des pratiques chinoises dans ce domaine, on peut conjecturer une circulation des méthodes d'Est en Ouest. En ce qui concerne la multiplication par la « *méthode du grillage* » ou de la « *jalousie* », la similitude entre les deux traditions est frappante. Mais, cette fois, et compte tenu de l'Histoire de cette technique dans le cadre des pratiques calculatoires islamiques, il semble que la circulation se soit faite d'Ouest en Est.

Dans l'arithmétique des fractions, les notations chinoises sont semblables à celle que l'on trouve dans les écrits persans et dans ceux qui ont été produits en Orient. Elles sont différentes de celles qui sont apparues au XII^e siècle en Andalus avant de circuler au Maghreb. Ces dernières se caractérisent par l'utilisation de la « *barre de fraction* » et de symboles particuliers pour écrire différents types de fractions²⁴.

Dans le prolongement de ces procédures, il y a la méthode dite de « *double fausse position* » qui permet de résoudre, arithmétiquement des problèmes linéaires. La plus ancienne trace de ce procédé se trouve dans le célèbre traité chinois du I^e siècle, intitulé *Jiuzhang suanshu* [Neuf chapitres sur l'art du calcul]. Cette méthode est présente dans les ouvrages arabes d'Orient sous le nom de « *méthode des deux erreurs* ». Dans ceux du Maghreb, elle est appelée « *méthode des deux plateaux* »²⁵.

En théorie des nombres, il y a le fameux « *problème chinois* » qui consiste à déterminer un nombre dont la division par des nombres donnés fournit des restes donnés. La version la plus ancienne est traitée dans le *Sunzi suanjing* [Classique arithmétique de Sunzi] daté du IV^e ou du V^e siècle. Une formulation semblable a circulé en pays d'islam, d'abord comme un problème récréatif, dans le chapitre des « *nombres pensés* » qui s'est développé à Bagdad, à partir du IX^e siècle. Puis comme un sujet de recherche qui a abouti à des résultats théoriques nouveaux établis par Ibn al-Haytham (m. après 1040)²⁶.

Un troisième domaine où la circulation est attestée est celui des problèmes de type algébrique qui aboutissent aujourd'hui à des systèmes d'équations indéterminées. Dans les ouvrages arabes, comme celui d'Abû Kâmil (m. 930), ils portent le nom de « *Problèmes de volatiles* ». Les spécimens les plus anciens sont dans le *Zhang Qiujian suanjing* [Classique arithmétique de Zhang Qiujian], un ouvrage du V^e siècle. On en trouve aussi dans des écrits indiens publiés avant l'avènement de l'islam. C'est probablement par cette voie et par celle de la tradition scientifique persane qu'ils ont circulé vers l'Ouest.

²⁴ - A. Djebbar : *Le traitement des fractions dans la tradition mathématique arabe du Maghreb*, Actes du Colloque International sur l'Histoire des fractions (Paris, 30-31 Janvier 1987), P. Benoit, K. Chemla & J. Ritter (édit.) : *Histoire de fractions, fractions d'histoire*, Berlin, Birkhäuser Verlag, 1992, pp. 223-245.

²⁵ - Ibn al-Bannâ : *L'Abrégé des opérations du calcul*, M. Souissi (édit.), Tunis, 1969, pp. 87-90.

²⁶ - R. Rashed : *Entre arithmétique et algèbre*, Paris, Les Belles Lettres, 1984, pp. 227-243.

Le dernier domaine mathématique, qui permet des rapprochements entre les traditions de Chine et des pays d'islam, est celui des algorithmes d'extraction de la racine n^{ième} d'un nombre. A titre d'exemple, on peut évoquer la méthode, dite « *de Hörner* » qui est présente dans des écrits chinois depuis la première moitié du XI^e siècle et que l'on retrouve, au XII^e siècle, chez al-Samaw'al, dans son ouvrage intitulé « *Le Qîwâmî en calcul* »²⁷.

VIII. MATHEMATIQUES ET ASTRONOMIE ARABES EN INDE

La seconde aire culturelle asiatique qui a été constamment en contact avec celle de l'empire musulman, par terre mais surtout par mer, est celle du sous-continent indien. L'apport de cette région à la tradition scientifique arabe dès sa naissance, en particulier en science du calcul et en trigonométrie, est bien connu. Mais, avec le développement des sciences arabes, à partir du IX^e siècle, c'est une circulation des savoirs en sens inverse qui a été observée. Ainsi, dès le X^e siècle, des éléments de l'astronomie mathématique arabe se retrouvent dans les écrits de Munjala. Aux XI^e-XII^e siècles, on constate le même phénomène chez Sripati et Bashkara II. Au XV^e siècle, des tables et des instruments astronomiques réalisés en pays d'islam se retrouvent en Inde. Cette circulation se poursuivra entre le XVI^e et le XVIII^e siècle. Pour cette dernière période, les informations sont plus précises puisque nous connaissons une partie des ouvrages qui ont été traduits en sanskrit. Certains sont d'origine grecque, comme l'*Almageste* de Ptolémée et les *Sphériques* de Théodose. D'autres appartiennent à la tradition scientifique des pays d'islam, comme le « *Livre du rappel* » de Nasîr al-Dîn al-Tûsî (m. 1274) et les *Tables* d'Ulug Beg (m. 1441)²⁸.

Mais pour tous les exemples qui viennent d'être donnés, il nous manque des informations sur la nature des contacts et des échanges qui ont permis cette diffusion du savoir pendant des siècles. En dehors des noms des hommes de sciences qui ont bénéficié de ces transferts, aucun autre acteur, parmi les simples vendeurs de livres, les copistes, les traducteurs, n'est mentionné par les auteurs indiens. Du côté musulman, nous disposons d'un seul témoignage, celui du grand mathématicien et astronome des X^e-XI^e siècles al-Bîrûnî (m. 1051). En tant que membre de la cour du roi Mahmûd al-Ghaznawî (971- 1030) il a accompagné ce dernier dans son expédition militaire qui a abouti à la conquête du nord de l'Inde. Au cours de son séjour forcé dans cette région, il a appris le sanskrit et l'a suffisamment maîtrisé pour pouvoir accéder, directement, à toute une partie du savoir indien qui n'avait pas été traduit aux VIII^e-XI^e siècles. Après cela, et dans une démarche totalement désintéressée, il a traduit de l'arabe au sanskrit, pour les scientifiques indiens, deux ouvrages majeurs de la science grecque, l'*Almageste* de Ptolémée et les *Eléments* d'Euclide.

IX. MATHEMATIQUES ET ASTRONOMIE ARABES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

L'espace géographique qui nous intéresse ici correspond aujourd'hui à la zone subsaharienne de l'Afrique de l'Ouest. Nous savons que dès l'installation des premiers Etats musulman au Maghreb, d'anciennes routes commerciales aboutissant à cette région ont été réactivées et de nouvelles ont été ouvertes. Parmi ces dernières, il y a les itinéraires du pèlerinage annuel qui aboutissaient tous à Fustât la métropole de l'Egypte puis au Caire après sa fondation par les Fatimides (969-1171). C'est par ces axes qu'on circulé les premiers écrits arabes qui allaient

²⁷ - Op. cit., pp. 93-128.

²⁸ - D. Pingree : *History of Mathematical Astronomy in India*, In Ch. Gillispie (édit.) : *Dictionary of Scientific Biography*, New York, Scribner's Sons, vol. 15, suppl. 1, pp. 625-629.

diffuser la nouvelle religion. Dans une seconde phase, les autres productions, en particulier mathématiques, suivront les mêmes voies.

Parmi les foyers d'échanges qui vont connaître un certain développement dans cette région, à différentes époques de son Histoire, il y a les villes d'Awdaghost, de Tadmakka, de Kumbi Saleh, de Gao, de Walata, de Takrur et de Tombouctou. Au cours de la longue période qui s'étend de la fin du VIII^e siècle au milieu du XV^e, Certains itinéraires ont fini par disparaître. D'autres ont résisté au temps et aux événements. C'est le cas de la voie reliant Tombouctou à Kairouan et qui faisait sa jonction avec la route maghrébine du pèlerinage. Longtemps, elle est restée l'une des voies les plus fréquentées par les marchands et par les hommes de religion, de culture ou de science. Une seconde voie, plus directe, reliait Ghana à Fustât en passant par Agades et Gao. C'est cette route qu'a empruntée, pour aller à la Mecque, le fameux le roi Mansa Mûsâ du Mali (1307-1332)²⁹.

Parallèlement aux échanges commerciaux, les pratiques religieuses seront les premières activités qui favoriseront la circulation d'un savoir mathématique et astronomique. Les premiers ouvrages ont d'abord servi à la formation des enfants des commerçants originaires du Maghreb qui contrôlaient l'économie des grands carrefours caravaniers, comme Sijilmassa, Ghana, Gao et Takrur. Puis, avec l'islamisation des élites et de certains chefs politiques autochtones, l'arabisation va progresser et, avec elle, l'enseignement des éléments de base de la science du calcul et de l'astronomie. Malheureusement, nous n'avons pas d'informations sur le contexte social dans lequel ont eu lieu ces échanges. Il faudra attendre le XIV^e siècle pour que des témoignages écrits confirment la présence d'une communauté de lettrés et d'hommes de religion. Ce qui suppose aussi un enseignement ou une utilisation, au moins par une élite, d'un certain savoir mathématique indispensable aux pratiques culturelles, aux transactions commerciales et à la répartition des héritages. Ces aspects sont confirmés par le grand voyageur Ibn Battûta (m. 1369) qui a séjourné dans la région vers le milieu du XIV^e siècle³⁰, et par le témoignage des biographes qui ont évoqué la grande quantité de livres achetés par le roi Mansa Mûsâ, à l'occasion de son séjour au Caire³¹.

Pour la période postérieure au XVI^e siècle, les sources accessibles nous fournissent des informations sur deux hommes de sciences qui ont manifestement été formés, en arabe, dans des villes subsahariennes. Le niveau de ces deux scientifiques était suffisamment bon pour leur permettre de poursuivre leurs études au Caire, l'une des métropoles de l'islam qui était à l'avant-garde de l'enseignement scientifique. Le premier s'appelle Sa'îd al-Tinbuktî al-Ganawî. C'était un astronome qui a publié un ouvrage sur la science du temps, intitulé *Les phénomènes d'Amad à propos du commentaire sur 'la Brise parfumée'*³². Le second scientifique est Muhammad al-Katsinâwî (m. 1741). D'après le chroniqueur du Caire al-Jabartî (m. 1825), ce savant maîtrisait déjà, à son arrivée dans la capitale égyptienne, le contenu de plusieurs disciplines religieuses, littéraires et scientifiques. En mathématique, en plus de sa formation de base, il s'était perfectionné dans la science du calcul, la science du temps et la construction des carrés magiques³³. Dans ce dernier domaine, il a publié un ouvrage intitulé « *Le livre de la splendeur des horizons et de la clarification de l'ambigüe et*

²⁹ - D. T. Niane : *Le Mali et la deuxième expansion manden*. In D. T. Niane (dir.) : *Histoire générale de l'Afrique, IV. L'Afrique du XII^e au XVI^e siècle*, Paris, Unesco-INA, 1985, pp. 141-196.

³⁰ - P. Charles-Dominique : *Voyageurs arabes*, Paris, Gallimard, 1995, p. 1030.

³¹ - D. T. Niane : *Le Mali et la deuxième expansion manden*, op. cit., p. 145.

³² - B. A. Rosenfeld & E. Ihsanoğlu : *Mathematicians, Astronomers & other Scholars of Islamic Civilisation and their works (7th-19th c.)*, Istanbul, I.R.C.I.C.A., 2003, p. 382.

³³ - Al-Jabartî : *'Ajâ'ib al-âthâr fî l-tarîjim wa l-akhbâr* [Les merveilles des vestiges sur les biographies et les chroniques], A. A. Al-Rahîm (édit.), Le Caire, Dâr al-kutub al-misriya, 1997, vol. 1, p. 271.

de l'hermétique dans la science des signes et des <ombres> harmonieux ». Il a également commenté l'ouvrage de l'un de ses contemporains, intitulé « *Le livre des perles et de la thériaque sur la science des <ombres> harmonieux* »³⁴.

X. LA CIRCULATION DES MATHÉMATIQUES EN EUROPE

Malgré tous les éléments dont pouvait disposer un observateur musulman du XII^e siècle et qui pouvaient lui faire apparaître la Chine ou l'Inde comme des relais naturels aptes à recevoir l'héritage scientifique gréco-arabe, c'est l'Occident chrétien qui réunissait en fait les facteurs nécessaires à la réception de la science écrite en arabe et à sa fécondation dans un contexte nouveau.

Au niveau des faits, ce sont probablement des contacts commerciaux ou intercommunautaires qui ont permis la circulation des premiers savoirs mathématiques à l'occasion de transactions régulières ou par l'intermédiaire d'instruments astronomiques, comme l'astrolabe. Des traces écrites situent ces échanges au plus tard dans la seconde moitié du X^e siècle. Puis, il y eut l'épisode de Constantin l'Africain (XI^e s.) qui ne concerne que le transfert de textes médicaux arabes mais qui a préfiguré peut-être d'autres initiatives moins spectaculaires et qui ont concerné les savoirs mathématiques et astronomiques. En effet, ce personnage haut en couleur illustre bien, à travers sa vie et ses activités, ce profil d'intermédiaires et de passeurs actifs entre deux aires culturelles enfermées dans leurs certitudes idéologiques et s'étant déjà engagées, depuis quelques décennies, dans des affrontements violents³⁵.

Moins romantique mais aussi efficace, il y a tous ces praticiens de la science, de confession juive, qui ont fait de leur particularisme (un vécu linguistique, culturel et religieux dans le contexte arabe et musulman d'al-Andalus et du Maghreb) un formidable atout qui a transformé le discours mathématique de l'époque en un instrument de dialogue et d'échange d'une grande fécondité. Deux scientifiques des XI^e-XII^e siècles sont représentatifs de ce courant qui s'est prolongé jusqu'au XV^e siècle au hasard de la disponibilité des manuscrits. Le premier est Abraham Bar Hiya, citoyen de la ville de Saragosse, qui semble avoir exercé une fonction importante puisqu'il est surnommé *Savasorda*, transcription approximative de *Sâhib al-shurta* [Responsable de la police]. Il est l'auteur d'un manuel de géométrie pratique qui puise essentiellement dans la matière mathématique arabe d'al-Andalus. Le manuel ayant été rédigé en hébreu, il n'était donc pas destiné à ses coreligionnaires arabisés de la péninsule ibérique mais, plus vraisemblablement, à ceux du Sud de l'Europe. Il est à noter, chose encore rare à l'époque, que ce livre a bénéficié d'une traduction latine, intitulée *Liber Embadorum*³⁶.

Le second exemple illustre encore mieux le rôle de « passeur » de ces scientifiques que l'origine, la formation et le statut destinaient naturellement à devenir des hommes de dialogue et d'échange. Il s'agit d'Abraham Ibn Ezra qui a, non seulement publié des manuels semblables à celui de Bar Hiya, mais qui s'est déplacé dans différentes villes d'Europe pour les diffuser et pour faire connaître, directement certains aspects de la tradition mathématique d'al-Andalus³⁷.

³⁴ - Op. cit., vol. 1, p. 272-273.

³⁵ - D. Jacquart & F. Micheau : *La médecine arabe et l'Occident médiéval*, Paris, Maisonneuve & Larose, 1990, pp. 113-124.

³⁶ - Abraham Bar Hiya : *Llibre de geometria, Hibbur hameixihâ uehatixbòret*, J. Millas Vallicrosa (trad.), Barcelone, Editorial Alpha, 1931.

³⁷ - T. Levy : Hebrew and Latin Versions of an Unknown Mathematical Text by Ibn Ezra, *Aleph*, 1 (2001), pp. 295-305 ; T. Levy & R. Burnett : *Sefer ha-Middot : A Mid-Twelfth-Century Text on Arithmetic and Geometry Attributed to Abraham Ibn Ezra*, *Aleph* 6 (2006), pp. 57-238.

C'est à la même époque que des « *passseurs* » de l'aire culturelle latine entrent en scène et initient une tradition qui a été peut-être plus importante que ne le révèlent les textes aujourd'hui accessibles. Deux profils concernent les activités mathématiques. Le premier est celui d'un mathématicien anonyme d'origine ibérique ou ayant vécu dans une des villes reconquises par les Castellans à la partir de la fin du XI^e siècle. Il était manifestement très versé dans les mathématiques pratiques en usage en Andalus et qu'il a probablement acquises en arabe. C'est en tout cas ce qui se dégage d'une lecture, même rapide, de son important ouvrage où l'influence arabe se voit déjà dans le titre, *Liber Mahameleth*, qui renvoie à un titre identique « *Livre des transactions* », déjà utilisé par les mathématiciens andalous du XI^e siècle, comme al-Zahrâwî et Ibn al-Samh. Le second exemple est encore plus significatif dans la mesure où on est en présence d'un habitant de Pise qui, par le hasard de la vie, se retrouve enfant dans la ville de Bejaïa, dans le Maghreb central, alors centre économique prospère et l'un des principaux foyers scientifiques de l'Occident musulman. Il s'agit du fameux Leonardo Pisano, connu également sous le nom de Fibonacci (m. après 1240). D'après son propre témoignage, il a eu sa première formation en mathématique auprès d'un marchand de Bejaïa avant de profiter de ses déplacements commerciaux en Egypte, en Syrie et à Byzance pour se perfectionner en algèbre et en géométrie. L'analyse comparative du contenu de certains de ses ouvrages, comme la *Practica Geometriae* et, surtout, le *Liber Abaci*, confirme leur lien étroit avec le contenu des deux traditions mathématiques arabes de l'Orient et de l'Occident musulman avec, parfois, des indices terminologiques renvoyant à l'une ou l'autre de ces deux traditions³⁸.

Le troisième et dernier aspect du phénomène de circulation des mathématiques d'une aire culturelle à une autre est plus important quantitativement et sa durée a été plus longue. Le mode opératoire qui le caractérise est également différent de ce que nous avons déjà décrit. Ici, il s'agit de personnes qui ne sont pas spécialement qualifiées en mathématique ou en une quelconque autre discipline scientifique. Leur premier objectif a été de s'initier à la langue arabe dans les seuls espaces chrétiens d'interculturalité et de relative convivialité de l'époque. Il s'agit de Palerme et Tolède qui avaient été reconquises respectivement par les Normands en 1072 et par les Castellans en 1085. Ces deux villes avaient été soustraites définitivement à la domination des pouvoirs musulmans mais elles avaient conservé, pendant de nombreuses décennies, la forte empreinte de la culture arabe et, surtout, la disponibilité de nombreux ouvrages scientifiques. Or ces ouvrages intéressaient au plus haut point tous ces jeunes qui, au XII^e siècle, s'étaient déplacés d'Angleterre, comme Adelard de Bath et Robert de Chester, d'Italie, comme Gérard de Crémone et Platon de Tivoli, de la Péninsule Ibérique, comme Jean de Séville et Hugo de Santalla, de Croatie même, comme Hermann de Carinthie.

On assiste alors à une intense activité de traduction où la part des mathématiques n'a pas été négligeable puisque, en plus des *Eléments* d'Euclide et des *Coniques* d'Apollonius, on a traduit, en latin et parfois en hébreu, des livres d'algèbre, comme *L'Abrégé* d'al-Khwârizmî (m. 850), le « *Livre sur la mesure des figures planes et sphériques* » des frères Banû Mûsâ, le « *Livre sur la figure sécante* » de Thâbit Ibn Qurra, le « *Livre de la démonstrations et du rappel* » d'Abû Bakr al-Hassâr (XII^e s.), etc.

Ce fut là un grand moment d'interculturalité parce que les nécessités de la traduction ont permis parfois des échanges directs à travers des travaux de groupes. En effet, le manque de maîtrise, par une même personne, des deux langues de la traduction a amené certains

³⁸ - A. Djebbar : *La circulation de l'algèbre arabe en Europe et son impact*. Actes du colloque international sur « *The Impact of Arabic Sources in Europe and Asia* » (Erlangen, 21-23 janvier 2014). In *Micrologus* XXIV, Florence, Sismel-Edizioni Galuzzo, 2016, pp., pp. 109-110.

traducteurs à s'orienter vers une solution originale : L'intervention d'une langue intermédiaire, le roman, comprise à la fois par le latiniste et l'arabisant.

Ce fut également le moment d'une interculturalité initiée et financée par des souverains chrétiens. C'est ainsi qu'au XII^e siècle, à Palerme, le roi Roger II de Sicile (1130-1154) met la géographie arabe au service de sa politique en sollicitant les services du meilleur spécialiste maghrébin en la matière, al-Idrîsî (m. 1165). Au XIII^e siècle, à Palerme encore, l'empereur Frédéric II (1194-1250), un monarque féru de science, participe lui-même à des échanges et à des dialogues interculturels. Il entretient des correspondances à contenu philosophique, avec le mystique maghrébin Ibn Sab'în (m. vers 1271), et scientifique avec le mathématicien oriental Ibn Yûnus (m. 1242). A la même époque, mais à Tolède cette fois, le roi de Castille Alphonse X le sage (1221-1284) crée une structure originale où des scientifiques de confessions différentes collaborent à la réalisation de tables astronomiques dans le prolongement des travaux des astronomes et des mathématiciens andalous de la période antérieure.

Le résultat de toutes ces initiatives, et de celles que la recherche révélera peut-être un jour, a été la diffusion d'un savoir mathématique produit dans différents espaces culturels et qui est parvenu à l'Europe dans un discours scientifique profane et universel. Ce discours rigoureux et précis a été exprimé par une langue arabe qui s'était enrichie, au cours des siècles, d'un important lexique technique dont les traces sont encore visibles dans les mathématiques enseignées aujourd'hui, en Europe et ailleurs.

Parallèlement à la diffusion de savoirs, il y a eu aussi et surtout celle de méthodes et de démarches scientifiques non réductibles à telle ou telle spécificité culturelle même si, à l'origine, certaines étaient grecques, d'autres indiennes. La synthèse arabe des IX^e-XI^e siècles avait fondu tous ces apports originaux dans une sorte de « *norme internationale* » que les scientifiques européens ont adoptée pour en faire un puissant outil d'investigation et de découverte dans les domaines déjà explorés par leurs prédécesseurs et dans d'autres qui étaient totalement nouveaux.

Il n'est donc pas étonnant que soient apparus ici où là, dans la communauté européenne du savoir, des opinions et des discours respectueux, parfois même très élogieux, sur la science qui avait été produite en pays d'islam et sur les acteurs de cette science dont les noms circulaient, dans leurs transcriptions latines, sur les couvertures des ouvrages traduits. Au XII^e siècle, Daniel de Morlay (m. 1210) écrivait, à propos de la science arabe : « *La passion de l'étude m'avait chassé d'Angleterre (...). Aussi comme de nos jours c'est à Tolède que l'enseignement des Arabes, qui consiste presque entièrement dans les arts du quadrivium, est dispensé aux foules, je me hâtai de m'y rendre pour y écouter les leçons des plus savants philosophes au monde* ». A la même époque, Adelard de Bath (m. 1160), un traducteur éminent, répondait à un de ses détracteurs en ces termes : « *Moi, j'ai en effet appris de mes maîtres arabes à prendre la raison pour guide, toi tu te contentes de suivre en captif la chaîne d'une autorité affabulatrice* »³⁹.

On a même observé la diffusion de ces opinions, favorables aux scientifiques des pays d'islam, à travers des « *images d'Epinal* » destinées au grand public ou sur des couvertures de certains écrits scientifiques comme celle d'un ouvrage de 1647 qui traite de la Lune et sur laquelle on voit, sous forme d'hommage, mais hautement symbolique sur le plan de l'interculturalité, la juxtaposition délibérément anachronique de deux représentants éminents de deux traditions scientifiques : L'irakien du XI^e siècle al-Hasan Ibn al-Haytham, acteur principal, par ses découvertes et ses avancées théoriques, de la rénovation de l'optique

³⁹ - J. Le Goff : *Les intellectuels au Moyen Âge*, Paris, Seuil, 1985, p. 59.

géométrique, et l'italien Galilée (m. 1642), symbole du nouvel élan de la physique mathématique en Europe. L'auteur de cette illustration était en fait en harmonie, mais sans le savoir, avec ce que disait déjà, au XII^e siècle, le grand mathématicien al-Samaw'al à propos de la marche inexorable de la science qui puise dans l'universel des différentes cultures et qui fait fi de leurs particularismes lorsqu'ils deviennent un frein à la recherche de la vérité.