

LA SCIENCE DANS LA CIVILISATION ARABO-MUSULMANE **ENTRE LE VIII^o ET LE XV^o siècle**

1. Introduction

L'histoire des sciences a longtemps minimisé, dans le domaine des sciences, l'apport de la civilisation arabo - musulmane. Ainsi on peut lire dans l'ouvrage « Les somnambules » d'**Arthur Koestler** (1905 / 1983), publié en 1958, les remarques suivantes :

« [...] les arabes n'avaient guère été que des intermédiaires : les légataires universels de cet héritage [des Grecs]. Ils avaient fait preuve d'assez peu d'originalité scientifique. Si pendant des siècles ils avaient été les seuls dépositaires du trésor, ils en firent peu d'usage. [...] aux mains des Arabes et des Juifs qui le conservèrent deux ou trois siècles, ce vaste ensemble de connaissances demeura stérile. »

En 2008 paraissait chez Albin Michel l'ouvrage de Sylvain Gouguenheim « *Aristote au mont Saint Michel : les racines grecques de l'Europe chrétienne* ». On peut y lire en quatrième de couverture : « *On considère généralement que l'Occident a découvert le savoir grec au Moyen Âge, grâce aux traductions arabes. Sylvain Gouguenheim bat en brèche une telle idée en montrant que l'Europe a toujours maintenu ses contacts avec le monde grec. Le Mont-Saint-Michel, notamment, constitue le centre d'un actif travail de traduction des textes d'Aristote en particulier, dès le XIIe siècle. On découvre dans le même temps que, de l'autre côté de la Méditerranée, l'hellénisation du monde islamique, plus limitée que ce que l'on croit, fut surtout le fait des Arabes chrétiens. Même le domaine de la philosophie islamique (Avicenne, Averroès) resta en partie étranger à l'esprit grec. Ainsi, il apparaît que l'hellénisation de l'Europe chrétienne fut avant tout le fruit de la volonté des Européens eux-mêmes. Si le terme de "racines" a un sens pour les civilisations, les racines du monde européen sont donc grecques, celles du monde islamique ne le sont pas. »*

Pour Koestler, la raison de cette méconnaissance – qu'il partageait avec beaucoup d'autres de ses contemporains – tenait essentiellement à un sous-développement important de la recherche dans ce domaine. On se limitait à quelques noms et généralités transmis par les siècles précédents sans vraiment en faire un axe d'étude permettant d'approfondir notre connaissance de cette époque et de cette partie du monde. On remarquera donc qu'au milieu du siècle dernier on disposait d'une meilleure vision de l'histoire des sciences et techniques chinoises que de celle relative au monde arabo - musulman grâce, en particulier, à de grands chercheurs – comme **Joseph Needham** (1900 / 1995) – qui n'avaient pas d'équivalent pour cette autre partie du monde.

Pour S. Gouguenheim on peut tout d'abord supposer que, du fait de sa formation et de sa spécialité, ce dernier n'a qu'une faible connaissance de la science arabe, de ses origines et de ses développements. Ensuite l'essentiel de son livre n'aborde que la partie « philosophique » de la culture grecque, ce qui, évidemment, est trop partiel pour être pertinent à propos de la richesse des sciences dans cette partie du monde.

Une autre raison de ce manque d'intérêt est à rechercher dans les origines de cette civilisation que l'on considérait comme trop « récentes » et trop « modestes » pour avoir pu donner de grandes avancées. Contrairement à celle de la Chine, dont l'ancienneté et la puissance étaient reconnues depuis longtemps, on estimait qu'elle s'était bâtie à partir d'un événement fondateur arrivé en un lieu culturellement peu favorable et s'était développée sur un substrat géographique déjà extrêmement riche, - celui du monde grec de l'Antiquité - qu'elle n'avait fait que s'approprier sans y apporter d'éléments nouveaux.

Un point également important doit être abordé en préalable à cette étude : pourquoi parler de sciences « **arabes** » alors que les peuples concernés, qui avaient une élite locale cultivée, étaient beaucoup plus divers : persans, berbères, andalous ? La réponse n'est pas de nature ethnique mais linguistique : entre la fin du VIII^e siècle et la fin du XIII^e les savoirs étudiés, écrits, enseignés, publiés l'étaient essentiellement dans la langue arabe. Ce choix est d'ailleurs bien meilleur que celui de sciences « **musulmanes** » car les hommes les ayant pratiquées étaient de religions diverses souvent autres que l'Islam ; on rencontrait, certes des musulmans, mais aussi des chrétiens, des juifs, des zoroastriens¹, voire des païens et des athées.

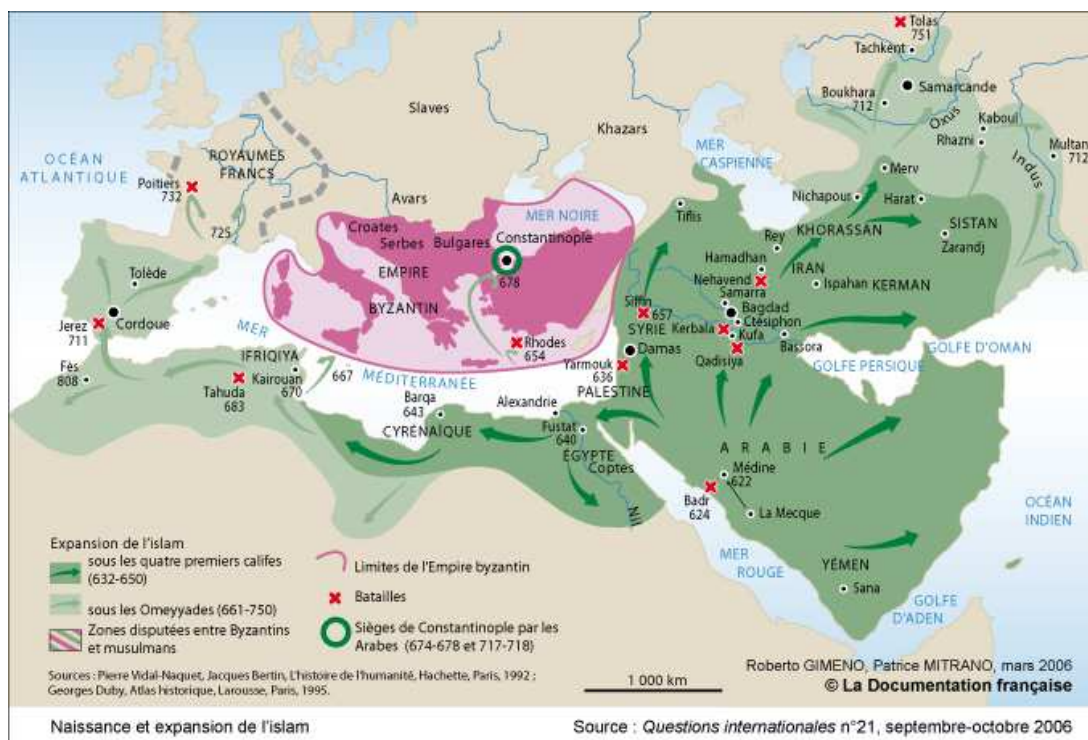
Pour terminer cette introduction il est intéressant d'anticiper pour le lecteur une question sur laquelle nous reviendrons dans la conclusion : les sciences qui se sont développées dans le monde musulman sont-elles fondamentalement différentes de ce que l'on appelle quelquefois les sciences occidentales ? Autrement dit, les sciences ont-elles une déclinaison socioculturelle régionale qui leur enlèverait tout caractère universel ? Cette interrogation est à placer dans le débat ouvert il y a quelques années par les adeptes d'un relativisme culturel. Pour ce mouvement le noyau conceptuel de ce que nous appelons « sciences » a été modelé localement par des postulats, des valeurs et intérêts religieux, sociaux, politiques et économiques, ce qui en exclut une validité universelle. La science arabe est née et s'est développée dans un contexte qui est bien différent de celui de la science occidentale : sont-elles pour cela bien différentes l'une de l'autre ?

¹ Fondé par Zarathoustra, prophète perse du VI^e (?) siècle avant J.-C., le zoroastrisme est une religion monothéiste dans laquelle le dieu unique est le Seigneur Sage Ahura Mazdâ incarnant la bonté, la lumière et la vérité. Mais le monde est soumis au mal contre lequel l'homme doit s'opposer pour aider Ahura Mazdâ dans sa lutte. Le zoroastrisme devint la religion officielle de l'empire sassanide.

2. Quelques repères historiques de l'empire arabo-islamique

Muhammad² est né à la Mecque en 570³. A propos de son rôle on peut lire sur Wikipédia : « Les non-musulmans le considèrent comme le fondateur de l'Islam, et comme un chef religieux, politique et militaire arabe. Les musulmans le considèrent comme le dernier des prophètes du monothéisme, au sens où il termine et scelle le cycle de la révélation monothéique abrahamique. Ses biographies rapportent qu'il récitait à ses premiers compagnons les versets du Coran qu'il présentait comme la parole même de Dieu (Allah en arabe), transmise à lui par l'archange Gabriel. Le Coran aurait été compilé après la mort de Mahomet, à partir de transcriptions sur des supports divers, par ses disciples. Par ailleurs, certaines de ses actions et de ses paroles forment la Sunna qui est la seconde source à la base du droit musulman. »

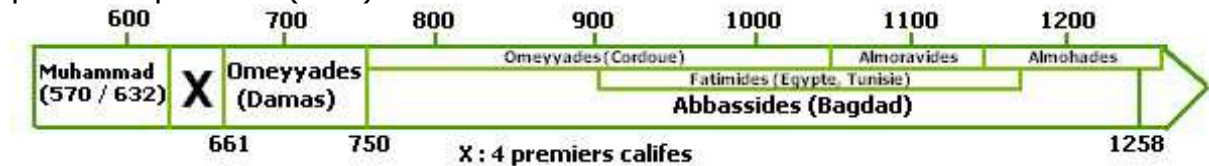
Lorsqu'en 632 le prophète meurt à Médine, il avait réussi, avec ses partisans, à unir les tribus d'Arabie dont les membres avaient embrassé la religion musulmane. Sa succession donna lieu à de nombreuses discussions aboutissant à la première période de l'empire : le califat médinois (632 / 661) durant lequel quatre califes – dit califes « bien dirigés » – étendirent l'empire sur tout le croissant fertile et une partie de l'Iran actuel (chute du royaume Sassanide qui avait été préalablement très affaibli par son affrontement avec les byzantins), sur la Palestine, l'Égypte et la Cyrénaïque. Constantinople est attaquée mais résiste malgré des pertes territoriales importantes en Asie Mineure.



² On trouve en français plusieurs orthographes du nom du prophète dont la plus ancienne est Mahomet. On trouve également Mohammed mais la plus proche de la prononciation arabe est Muhammad donnée ici (forme retenue par l'Encyclopédie Universalis).

³ Pour des raisons de lisibilité les dates sont données non pas dans celui de l'hégire mais dans notre calendrier julio / grégorien.

Ces premiers dirigeants étaient désignés d'une manière « élective » qui donnait lieu chaque fois à des rivalités et des troubles graves ; ces instabilités récurrentes se manifestent clairement dans le fait que trois des quatre califes de cette première période furent assassinés. Après la mort violente du dernier, une opposition ouverte entre les Arabes d'Irak et ceux de Syrie tourna à la guerre ouverte. A l'issue de celle-ci le gouverneur de Syrie, **Mu'âwiya**, descendant de Umayya, grand oncle de Muhammad, prend le pouvoir (661) .



Pour assurer la stabilité future du nouvel empire il décide alors de remplacer l'ancien mode de désignation du successeur du Prophète par la création d'un état dynastique : c'est donc le fondateur de la première famille dirigeante des **Omeyyades**⁴. Il installe la capitale de l'empire à Damas (construction de la grande mosquée des Omeyyades au début du VIII^e siècle). C'est sous cette dynastie que l'Etat atteint son extension maximale : dès le début du VIII^e siècle le Maghreb est sous le solide contrôle des Arabes – après de nombreux mouvements de conquête et de perte des territoires correspondants – qui fondent Kairouan en Tunisie. Franchissant le détroit de Gibraltar en 711, ils balayent les restes du royaume Wisigoth occupant alors l'Espagne et, en 714, Saragosse tombe. Tout le sud de la France (prise et occupation de Narbonne en 721) fera alors régulièrement l'objet de razzias et de pillage. A partir de leurs bases méridionales, ils remontent jusqu'à Autun (!) qui, après Lyon, Mâcon, Chalon sur Saône, sera pillé et occupé brièvement en 725. Par la suite, poursuivant leur expansion vers le nord, ils seront arrêtés en 732 près de Poitiers par **Charles Martel** (690 / 741).

A l'est de l'empire, l'expansion se poursuit également. L'Afghanistan actuel est conquis en 712 et les armées arabes parviennent sur les rives de l'Indus : à la fin de l'ère des Omeyyades les territoires contrôlés vont de Séville à Samarcande. Comment peut-on expliquer qu'en un peu plus d'un siècle, les Arabes soient parvenus à unifier sous la bannière de l'Islam un territoire aussi vaste ? Dans un de ses ouvrages⁵, Hossam Elkhaden⁶ ouvre quelques pistes que l'on peut compléter. Donnons ici quelques clés permettant de mieux comprendre les raisons de la rapidité de la conquête et de l'accueil plutôt bienveillant des vainqueurs par les populations) :

- L'affaiblissement de Constantinople et de l'empire sassanide (Perse), épuisés par les incessants conflits qui les opposent. Il en est de

⁴ On rencontre aussi Omayyades et Umayyades comme orthographe du terme en alphabet latin.

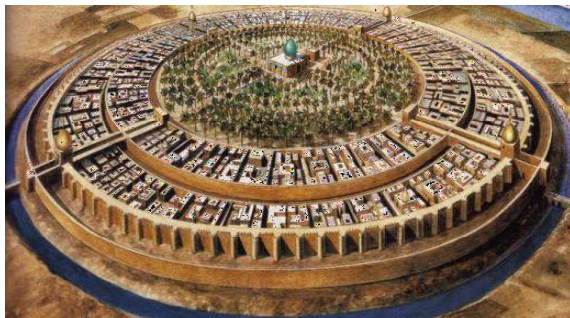
⁵ « A la découverte de l'âge d'or des sciences arabes » - éditions Lure Pire

⁶ Professeur d'histoire des sciences à l'Université Libre de Bruxelles

même en Espagne où le royaume Wisigoth est, au début du VIII^e siècle, en déliquescence complète.

- Les persécutions religieuses de Byzance à l'égard de ceux qu'elle jugeait hérétiques (les monophysites en Egypte et en Syrie et les nestoriens en Syrie et en Irak)
- L'unité indéfectible des tribus arabes scellée par la nouvelle religion
- Les atouts militaires des généraux arabes
- L'endurance des Arabes, habitués à des conditions de vie très dures
- La maîtrise de la cavalerie et de la méharée (monture sur dromadaire)
- Une taxation plus légère pour les non-convertis que celle de Byzance et de la Perse
- Une faible ingérence des musulmans dans les pratiques religieuses des autres communautés

Mais la dynastie Omeyyade rencontre dès le début du VIII^e siècle des difficultés intérieures. Ayant conservé un fort sentiment tribal, méfiants envers les nouveaux convertis à l'islam, les Omeyyades privilégieront, dans leur administration et pour pourvoir les postes importants, les membres de grandes familles arabes. La lignée Omeyyade est également jugée décadente et « impie », en particulier pour le mauvais traitement appliqué aux musulmans qui ne sont pas d'origine arabe. Ces derniers demandaient la reconnaissance des droits que le Coran leur garantissait et la stricte égalité entre tous les musulmans, en conformité avec la parole du Prophète. Ces différents mécontentements aboutissent en 750 à une révolte qui voit les **Abbassides**⁷ arriver au pouvoir. Tous les Omeyyades sont éliminés à l'exception de Abd al-Rahmân⁸, petit-fils du dernier calife, qui parvient à s'enfuir et à rejoindre l'al-Andalus.



La nouvelle dynastie, qui va régner jusqu'en 1258, déplace sa capitale à Bagdad, fondé sur les bords du Tigre en 762. Pendant deux siècles et demi cette ville sera un haut lieu culturel dont le dynamisme va rayonner sur tout l'empire, en particulier dans le domaine

scientifique. On retiendra le nom de quelques grands califes de cette période correspondant à un véritable âge d'or : **al-Mansûr** (754-775), **Harun ar-Rachid** (786-809), contemporain de Charlemagne, **al-Mamun** (813-833). Sous cette dynastie, l'économie est prospère et les villes se développent ; l'industrie, les arts et les lettres atteignent leur apogée et on redécouvre les écrits des anciennes civilisations. Une grande opération de traduction est lancée ; elle est commanditée par le calife lui-même et par de hauts dignitaires. Cet aspect sera développé un peu plus loin.

⁷ Cette famille descend d'Al Abbas, oncle du Prophète

⁸ Après s'être rallié des soldats arabes et berbères, il prend Cordoue et se fait reconnaître comme émir.

Cependant, au cours du temps, le pouvoir des califes va s'affaiblir peu à peu. Les Abbassides avaient inauguré en effet une nouvelle politique consistant à remplacer les armées populaires de volontaires par des troupes permanentes de professionnels qu'ils recrutèrent de plus en plus parmi les populations d'origine turque : victimes de nombreuses révoltes et des affrontements entre sunnites et chiites, ils s'attachent au milieu du XI^e siècle une « garde prétorienne » recrutée principalement chez les Turcs Seldjoukides qui vont rapidement prendre le pouvoir temporel. Ils donnèrent ainsi naissance à un féodalisme qui, plus tard, aboutit à l'établissement de provinces indépendantes, où l'on vit apparaître de véritables dynasties de gouverneurs. Environ un siècle après leur avènement au pouvoir, les califes Abbassides de Bagdad se mirent à déléguer, voire même à perdre purement et simplement, leurs prérogatives souveraines en faveur de gouverneurs locaux et en quelques décennies leur pouvoir politique effectif se limita aux environs de Bagdad, le reste de l'empire étant contrôlé localement. L'empire hérité des Omeyyades va alors se fragmenter progressivement en états autonomes ne reconnaissant plus l'autorité centrale de Bagdad, le calife ne conservant plus que son autorité spirituelle.

- **909** : Proclamation, en Tunisie révoltée, d'un nouveau califat chiite, celui des Fatimides.
- **929** : L'émir de Cordoue, Abd Al Rhaman III, se proclame calife (sunnite) mais en **1030** ce même califat de Cordoue éclate en plusieurs petits royaumes hispano-musulmans.
- **969** : Les Fatimides, en provenance de Tunisie, conquièrent l'Égypte et fondent le Caire

A la fin du XI^e siècle, débute une période de troubles (invasions, croisades chrétiennes) qui vont encore affaiblir le pouvoir des Abbassides. Mais, au milieu de cette décadence, apparaît encore de temps à autre de brillantes mais courtes périodes d'intenses activités culturelles : entre 1180 et 1225 le calife abbasside **An-Nâsir**, qui ne règne de manière effective que sur Bagdad et ses environs mais dont la suzeraineté religieuse est encore reconnue par tous les sultanats sunnites d'Asie, développe une brillante renaissance culturelle dans l'ancienne capitale califale.

Au début du XIII^e siècle, les Mongols, un peuple nomade de la Chine du nord, se rassemblèrent sous l'autorité de **Gengis Khan** (1155 / 1227). Ce dernier fonda un immense empire – près de trente millions de km² à son apogée ! - agrandi plus tard par ses successeurs et qui allait, à son maximum d'extension, du Pacifique à l'est jusqu'à l'embouchure du Danube à l'ouest. Face aux coups de butoirs de ces hordes bien organisées et très mobiles le califat abbasside ne put résister longtemps et disparut en **1258**, après la prise et le pillage de Bagdad par les troupes de **Houlagü** (1217 / 1265), petit fils de Gengis Khan.

A l'ouest, après une période de grande faiblesse, les états chrétiens d'Espagne reprennent la guerre contre les états musulmans divisés de la partie méridionale : en 1085 Tolède est prise par le roi **Alphonse VI de Léon** (1040 / 1109), en 1236 c'est au tour de Cordoue de tomber à la suite de son siège par **Ferdinand III de Castille**⁹ (1199 / 1252) qui assiège et prend Séville en 1246.

Malgré ces nombreuses vicissitudes la vie culturelle et scientifique va se poursuivre dans d'autres régions de l'empire où la désorganisation attachée aux révoltes et aux invasions ne sévit pas. Cependant la libre circulation des hommes et des idées qui était courante entre le milieu du VIII^e siècle et la fin du X^e devient difficile et l'immense espace culturel particulièrement dynamique qui allait de Saragosse à Samarcande se fragmente et se limite à quelques régions où se poursuit une vie intellectuelle importante.

3. Facteurs favorables à l'émergence des sciences arabes

A la mort de Muhammad en 632, la société arabe est encore essentiellement pastorale et agricole. Elle est structurée en tribus, pratiquant le nomadisme. Moins de deux siècles plus tard le lointain successeur du Prophète, Harun ar-Rachid, règne sur un empire immense, depuis une ville de près d'un million d'habitants où se croisent de nombreux hommes de culture pratiquant l'astronomie, les mathématiques, la médecine ou les techniques nécessaires à la prospérité de l'empire. Comment a-t-on pu passer dans un laps de temps aussi court de la première situation à la seconde ? Pour répondre à la question il faut se plonger dans l'étude des différents facteurs ayant permis l'apparition de cet âge d'or.

Existence d'un corpus scientifique ancien lors de l'arrivée des Arabes

Les espaces géographiques envahis à partir du milieu du VII^e siècle par les Arabes étaient occupés durant les siècles précédents par des civilisations très anciennes ayant développé des cultures d'un haut niveau : l'empire sassanide, par exemple, était l'héritier des Perses qui eux-mêmes avaient succédé à différentes et brillantes civilisations ayant vécu dans le croissant fertile. La Syrie (Edesse), mais aussi l'Égypte (Alexandrie), ont conservé dans des centres actifs de nombreux ouvrages en syriaque ou en grec. En contact direct avec l'Inde, la Perse s'était enrichie également d'un important corpus écrit en sanskrit.

Cependant la persistance de toute cette richesse culturelle aurait pu être remise en cause si les conquérants arabes s'étaient comportés comme le feront les Mongols quelques siècles plus tard : massacre et mise en esclavage des populations à grande échelle, destruction systématique des

⁹ Alors que son prédécesseur, Alphonse VI, fut tout d'abord roi de Léon puis de Léon et de Castille, Ferdinand III fut tout d'abord roi de Castille puis de Castille et de Léon. L'histoire des royaumes espagnols est assez compliquée !

lieux de culture, comme ce fut le cas de la grande bibliothèque de Bagdad en 1258. Or les études récentes montrent qu'il n'y eut pas, la plupart du temps, de politique organisée de destruction et que ce comportement fut rare. Les Arabes connaissaient l'ancienneté et la richesse culturelle des civilisations qu'ils venaient de conquérir et les considéraient avec respect.

Persistance de communautés cultivées dans les territoires occupés par les Arabes

Au-delà des centres précédents, les territoires conquis ont conservé des élites cultivées ayant un bon niveau dans des domaines comme la médecine ou les mathématiques. Ces régions ont également profité indirectement de la répression conduite par l'empire byzantin contre les chrétiens nestoriens et monophysites. Ces derniers ont alors trouvé refuge dans l'empire perse. Parmi eux il y avait de nombreux philosophes et autres penseurs qui ont pu s'installer à Ctésiphon, capitale de l'état sassanide, et y poursuivre leurs travaux.

Ces communautés avaient entretenu de vastes bibliothèques contenant une grande quantité d'ouvrages écrits en grec, en pehlevi (langue iranienne parlée dans l'empire sassanide), en syriaque, que les Arabes s'approprièrent à leur arrivée tout en permettant aux élites locales d'y poursuivre leurs travaux.

Tolérance envers les membres des autres communautés religieuses

Le Coran - dans lequel on peut lire « il ne doit pas y avoir de contrainte en religion » - n'encourage pas les conversions forcées. La situation des communautés religieuses autres que musulmane n'est cependant pas idyllique : chacun de ses membres doit payer un tribu (dimi) et porter un vêtement caractéristique. Dans de nombreuses régions, il lui est interdit de monter à cheval, de construire de nouveaux lieux de culte. Cependant sous les Abassides ils peuvent occuper de hautes fonctions administratives et, comme nous le verrons un peu plus loin, de nombreux intellectuels appartenaient à ces groupes. D'une manière générale leur situation est beaucoup plus enviable que celle de leurs coreligionnaires dans les états chrétiens.

Existence d'une langue « universelle » pratiquée dans tout l'empire, l'arabe

Au départ la langue arabe avait une vocation essentiellement religieuse ; la révélation du Coran avait été transmise en arabe. C'était donc la langue dans laquelle devait se développer les commentaires, s'élaborer le code juridique et culturel. Mais c'était aussi la langue des vainqueurs ; ces derniers l'étendirent à l'administration impériale. L'arabe devint donc, dès le début, la langue de la religion, de la politique, de l'armée et des textes officiels. Par la suite elle devint tout naturellement la langue de la production littéraire et scientifique pour tout l'empire. Ce fut également la langue dans laquelle furent traduits de très nombreux ouvrages

disponibles¹⁰ dans les pays conquis. Commencée au VIII^e siècle, l'œuvre de traduction sera à peu près achevée à la fin du X^e. Ce mouvement de traduction atteint son apogée au IX^e siècle (il ne nous reste d'ailleurs pratiquement rien des traductions antérieures). En l'espace de quelques décennies les *Éléments* d'Euclide, fondement de la géométrie, sont traduits trois fois, l'*Almageste* de Ptolémée, deux fois ; seront également traduits les *Coniques* d'Apollonius, ainsi que deux traités d'Archimède (*De la mesure du cercle* et *De la sphère et du cylindre*) et *Les Arithmétiques* de Diophante, pour ne parler, en mathématiques, que des ouvrages fondamentaux, dont l'impact sera profond sur le développement ultérieur des mathématiques arabes. Certains de ces textes, dont les originaux grecs sont perdus, ne nous sont d'ailleurs connus aujourd'hui que par leurs traductions arabes.

On peut se demander comment une langue qui, au départ, était adaptée à une population de pasteurs nomades surtout intéressée, sur le plan culturel, par la poésie et l'art oratoire, a pu devenir celle dans laquelle se sont exprimés quelques siècles plus tard des scientifiques comme Ibn al-Hayttam ou al-Khwârizmî. Ce sont essentiellement les traducteurs qui, pour parvenir à faire évoluer cette langue, l'ont considérablement enrichie en utilisant deux procédés :

- *La dérivation* : à partir d'une racine existante on crée de nouveaux mots
- *L'analogie* : on élargit le sens d'un mot connu à un nouveau concept

La structure de la langue arabe est suffisamment souple pour permettre une mise en œuvre très large de ces deux procédés.

Echange facile entre les intellectuels grâce au réseau de voies de communication

Au milieu du VIII^e siècle, la dynastie omeyyade a unifié sous la bannière de l'Islam un immense territoire sillonné par un réseau dense de voies de communication, permettant des échanges aisés et rapides des ouvrages et des hommes. Cette facilité va rapidement disparaître dans le courant du X^e siècle lorsque l'empire se fragmentera et que de nombreux troubles secoueront la société arabo – musulmane.

Maîtrise de la technologie de fabrication du papier (récupérée chez les Chinois)

En 751, lors de la bataille de Talas (au nord de la ville de Samarcande) entre les Chinois et les Arabes ces derniers, vainqueurs, firent de nombreux prisonniers. Parmi ces derniers plusieurs maîtrisaient parfaitement la technique de fabrication du papier. Les Arabes virent immédiatement dans ce nouveau support un moyen efficace de diffuser la parole du Prophète. La première usine à papier s'implanta à Samarcande sous le règne d'Harun ar-Rachid. Rapidement son utilisation s'étendit à

¹⁰ Rappelons que les conquêtes arabes n'ont pas donné lieu à des destructions massives mais, au contraire, à une volonté de conservation et de valorisation des ouvrages récupérés. Ce ne fut pas le cas lors de la Reconquista espagnole durant laquelle les autodafés se multiplièrent au fur et à mesure de l'avancée des chrétiens.

d'autres écrits et permit d'augmenter considérablement le volume des ouvrages en circulation dans l'empire.

Incitation par le Coran à rechercher la connaissance dans l'étude des sciences

Fondement de la civilisation arabo – musulmane, le Coran est un guide dans lequel tout croyant peut puiser les réponses aux questions qu'il se pose, quel que soit le domaine concerné. Or, en ce qui concerne les sciences et leur pratique, il n'y a pas, dans le Coran, d'affirmation qui s'y oppose. Au contraire, on peut y lire plusieurs phrases émettant un avis favorable, semble-t-il, à propos de la science. Citons, par exemple :

- Sourate 12, verset 76 : *Nous élevons en rang qui Nous voulons. Mais, au-dessus de tout savant, il y a Celui dont la science n'a point de limite.*
- Sourate 20, verset 114 : *Gloire à Dieu, le Souverain, l'Authentique ! Ne te hâte pas de répéter les versets du Coran, avant que leur révélation ne soit achevée ! Dis plutôt : «Seigneur, donne-moi encore plus de savoir !»*
- Sourate 58, verset 11 : *Dieu élèvera de plusieurs rangs ceux d'entre vous qui ont la foi et qui ont reçu la science.*

La difficulté est de déterminer précisément le sens du mot « science » dans le Coran. Ceci est d'autant plus nécessaire que, dans les paroles du Prophète¹¹ (Hadith) rapportées par ses compagnons, on rencontre, par exemple, une phrase énigmatique qui a fait l'objet d'interprétations diverses (exégèse) : « *Dieu préserve moi des sciences dangereuses* ». S'agit-il des sciences en dehors de la religion ? Dans ce cas la « science des Anciens » doit être condamnée. Doit-on, dans la lecture du Coran, se limiter uniquement aux sciences religieuses lorsqu'on rencontre ce terme ou a-t-il un sens plus large ? Les discussions, à partir du IX^e siècle, vont être vives et les affrontements entre les différentes interprétations vont faire rage pendant plusieurs siècles. Parmi celles-ci on rencontre le mutazilisme. Ce dernier était profondément influencé par le rationalisme d'Aristote et affirmait que la foi et la pratique religieuse devaient être dirigées par la Raison sur les bases du Coran. Cela allait à l'encontre de la tradition qui disait que chacun doit trouver toutes les réponses dans la lecture littérale du Coran et des Hadiths. Le mutazilisme devint en 833 la croyance officielle à la cour du califat abbasside, après avoir été officiellement adopté par le calife al-Ma'mûn. Une telle vision était évidemment favorable au développement des sciences et ce milieu du IX^e siècle correspond effectivement à une période florissante pour les études dans de nombreuses disciplines scientifiques.

¹¹ Le corpus regroupant les actes et les paroles du Prophète. Il a été compilé près de 150 ans après la mort de ce dernier. On a recensé plus de 700 000 ! Elles sont classées en plusieurs groupes en fonction de la confiance que l'on peut accorder à leur véracité.

Constitution d'un espace économique unifié avec apparition d'une société prospère

L'existence d'une unité politique sur un territoire immense allant des bords de l'Océan Atlantique aux rives de l'Indus va permettre le remplacement d'une économie traditionnelle (agriculture, artisanat, commerce local complétés par les revenus du pillage des nouvelles conquêtes) par une économie à grand rayon d'échange largement ouverte sur le commerce international. Ce dernier génère pour l'empire des taxes qui enrichissent considérablement l'Etat. De plus les grandes voies de communications terrestres ou maritimes permettent l'importation de nombreuses denrées qui étaient utilisées directement par la population - dont une partie importante était devenue citadine - ou exportées vers l'Europe. Ce dynamisme permet le développement d'une société prospère permettant à une élite intellectuelle de se professionnaliser et de s'adonner à ses nombreux travaux de traduction et de recherche dans différents domaines.

Mise en place d'institutions d'enseignement et de recherche dans tout l'empire

L'éducation faisait partie des préoccupations importantes de l'Etat califal. On dispose malheureusement de peu de documents sur son organisation mais on possède tout de même quelques éléments.

Les premiers lieux utilisés étaient les mosquées qui disposaient souvent d'espaces polyvalents pouvant accueillir diverses activités. Rapidement un mécénat privé se lança dans la construction d'espaces profanes de diffusion des savoirs ayant des activités prolongeant celles se déroulant dans les bibliothèques. De plus, à partir du X^e siècle, sous les Abbassides, se développèrent des « collèges supérieurs » ou madrasas préfigurant les premières universités. On peut citer en particulier la création en 832 à Bagdad de la « Maison de la Sagesse »¹² par Al Mamun. Cet établissement comportait une grande bibliothèque, un centre de traduction et des lieux de réunion. Il accueillait des intellectuels de tout l'empire, embauchés par le calife pour traduire en arabe le plus grand nombre d'ouvrages, disponibles au départ en grec, en syriaque, en sanskrit ou en pehlvi. C'est la première institution scientifique de l'empire abbasside : elle fournira un cadre institutionnel à la science et favorisera une professionnalisation des savants. Cet effort considérable de traduction est un aspect spécifique de la civilisation arabo - musulmane .

Mais il est établi aujourd'hui - notamment grâce aux travaux de recherche de Roshdi Rashed et d'Ahmed Djebbar à propos de l'histoire des mathématiques - que ce domaine, comme ceux de l'ensemble des sciences arabes, est fait également de recherches originales et de découvertes, et non pas uniquement de traductions et de transmissions d'œuvres antérieures. C'est, en effet, l'un des principaux apports de leurs

¹² On a ici l'équivalent du « Musée » d'Alexandrie où étudièrent Euclide et Eratosthène

travaux d'avoir démontré que l'héritage des sciences de cette tradition arabe ne fut pas seulement, comme les commentateurs l'ont longtemps prétendu, un intermédiaire entre la pensée antique et la science européenne mais constitue également un ensemble de résultats originaux ayant considérablement enrichi le savoir universel et fécondé la recherche occidentale à partir du XII^e siècle.

Rappelons également qu'on ne peut pas à proprement parler de transmission par les Arabes ou d'héritage en faveur des Occidentaux : les premiers n'avaient pas la volonté ou le désir de transmettre quoi que ce soit aux autres civilisations et les rapports politiques et culturels entre les grands espaces géographiques installés sur les bords de la Méditerranée ne permettaient aucune collaboration institutionnelle.

4. Classification des sciences arabes

Les Arabes distinguent deux types de sciences : les *sciences de transmission* et les *sciences rationnelles* appelées également « sciences des Anciens ». Les premières correspondent aux savoirs ne donnant pas lieu à des découvertes : parmi elles ils rangent l'histoire (généalogies, chronologies, biobibliographie¹³, chroniques, analyse historique), la géographie (géographie descriptive, cartographie, relations de voyages), la linguistique (construction de la langue, grammaire, métrique, lexicographie, littérature) et la religion (lecture coranique, sciences du Hadith, fondements du droit, théologie). Détaillons la seconde catégorie qui concerne notre sujet. Elle est voisine de celle proposée par les Grecs mais a évolué sur plusieurs points.

Les sciences rationnelles

Deux domaines principaux¹⁴ se partagent ce second terme de la classification arabe proposée par les philosophes les plus connus (Al Farabi, Ibn Sina, Ibn Khaldun) :

Les mathématiques :

On va rencontrer dans ce domaine plusieurs groupes de disciplines particulières :

- Science numérique :
 - Méthodes de calcul (élaboration de l'algèbre)
 - Arithmétique
 - Analyse combinatoire (à partir du XIII^e siècle)

- Géométrie :
 - Géométrie de mesure (techniques d'arpentage)
 - Géométrie archimédienne (détermination des surfaces et des volumes)
 - Géométrie euclidienne
 - Géométrie des coniques
 - Géométrie sphérique

¹³ Etude portant sur la vie et l'œuvre d'un intellectuel.

¹⁴ La logique, non citée ici et que l'on range aujourd'hui dans les mathématiques, constituait à elle toute seule un domaine de cette classification arabe.

- Optique
- Astronomie :
 - Trigonométrie
 - Etude et observation du ciel
 - Applications à la religion (calendrier, dates des fêtes, heures des prières, direction de la Mecque)
 - Applications à l'astrologie
- Musique
 - Théories musicales
 - Pratiques musicales
 - Instruments musicaux

On constate que cette classification présente quelques « anomalies » par rapport à celle qui nous est aujourd'hui familière. Par exemple, ici, la musique est rangée dans la catégorie des mathématiques ce qui n'est plus, bien sûr, le cas actuellement. Mais ce rapprochement n'est pas sans raison : les théories, les modes musicaux élaborés par les Arabes ainsi que les instruments construits ont un rapport étroit avec les mathématiques dans le cadre de la théorie des proportions. Rappelons que cette place était déjà celle donnée par les Grecs.

Nous avons également, en rapport avec la partie de l'astronomie classée dans les mathématiques, la rubrique « applications à la religion ». Cette association, qui peut nous surprendre, correspondait à une nécessité religieuse : plusieurs exigences de l'Islam s'appuyaient sur la détermination précise d'évènements astronomiques importants :

- heures des cinq prières quotidiennes
- début du Ramadan
- direction de la Mecque
- organisation du calendrier

La physique :

Les disciplines retenues et qui sont classées dans cette catégorie sont les suivantes :

- Les sciences des êtres vivants et des plantes
 - La botanique
 - La zoologie
 - L'agronomie
 - La médecine
 - La pharmacologie
- Les sciences des corps terrestres
 - La géographie physique
 - La géologie
 - La météorologie
 - La chimie
- Les sciences des instruments

- L'astronomie d'observation
- La mécanique ou procédés ingénieurs
 - Hydraulique
 - Appareils ludiques (automates)
 - Art militaire

5. Quelques travaux originaux dans les sciences arabes

Il n'est pas question ici d'être exhaustif sur la question mais de fournir le point de départ de quelques pistes que l'on pourra emprunter à travers les ouvrages donnés en bibliographie. Il faut également remarquer que la plupart des intellectuels de l'empire arabo - musulman étaient compétents dans plusieurs disciplines, quelquefois très éloignées les unes des autres : par exemple **Omar al-Khayyam** (1045 / 1131) est connu autant par la qualité de ses poèmes que par celle de ces travaux de mathématiques !

Mathématiques

C'est probablement le domaine où la contribution des savants de l'empire arabo - musulman fut la plus importante. On peut citer quelques uns d'entre eux particulièrement prolifiques et originaux dans leurs travaux :

- ***Al Khwârizmî*** (780 / 850) : persan
- ***Al Kindî*** (801 / 873) : irakien
- ***Abû Kâmil*** (850 / 930) : égyptien
- ***Ibn Sinân*** (908 / 946) : persan
- ***Al Bîrûnî*** (973 / 1048) : persan
- ***Al-Khayyam*** (1045 / 1131) : persan
- ***At Tûsî*** (1201 / 1272) : persan
- ***Al Kâshî*** (1350 / 1435) : persan

Certaines des personnalités citées ci dessus ont vécu bien au-delà de la période dite de « l'âge d'or » (VIII^e au XI^e siècle) des sciences arabes car, curieusement, les mathématiques n'eurent pas autant à souffrir que les autres domaines scientifiques des querelles théologiques. Nous savons que dès les débuts de l'empire il n'y avait pas unanimité chez les religieux sur le caractère positif de la pratique des sciences dites rationnelles ou « sciences des Anciens ». Remarquons que jusqu'au milieu du XII^e siècle ce sont les « progressistes », partisans du développement des sciences, qui ont connu un rapport de force en leur faveur. Puis, progressivement, les facteurs de déclin que nous avons déjà évoqués ont amené le basculement des influences. Mais cette détérioration de la qualité des travaux scientifiques dans le monde arabe ne fut préjudiciable aux mathématiques que beaucoup plus tardivement du fait qu'ils avaient partiellement échappé à ces querelles. Cette exception pour les mathématiques était en lien avec le fait qu'ils avaient une grande utilité dans la vie courante, économique et religieuse.

En prolongeant les travaux des Grecs et des Indiens, les résultats les plus originaux obtenus par les Arabes dans cette discipline l'ont été en algèbre

(invention arabe détaillée dans le prochain chapitre), en trigonométrie plane et sphérique et en arithmétique (combinatoire). Ces avancées se sont appuyées sur l'unification de deux approches méthodologiques distinctes : d'une part la méthode hypothético - déductive d'origine grecque et, d'autre part, la méthode algorithmique d'origine indienne (le mot algorithme vient de la latinisation du nom du mathématicien Al Khwarizmî en Algorismus).

A l'origine, le développement des différentes branches des mathématiques correspondait à des besoins pratiques liés à la vie économique et sociale ou à des demandes provenant d'autres disciplines comme l'astronomie. Puis, suite à l'assimilation des ouvrages anciens, naquit une pratique théorique - ne correspondant à aucune nécessité externe - qui donna lieu à la mise en place de véritables programmes de recherches (par exemple pour la résolution d'équations de différents degrés).

Astronomie

Comme indiqué un peu plus haut l'astronomie (observations et calculs) constituait pour les arabes, dès les débuts de l'empire, une discipline importante car la bonne connaissance de la position et du mouvement des astres était capitale pour l'organisation de la vie religieuse. Par la suite, l'étude de cette discipline pour elle même prit de l'ampleur et des résultats intéressants furent obtenus. Comme chez les Grecs, l'astronomie arabe était fortement liée aux mathématiques, en particulier à la trigonométrie sphérique.



On peut distinguer l'astronomie théorique et l'astronomie d'observation. La première s'appuyait, d'une part, sur la tradition grecque contenue pour l'essentiel dans l'Almageste (de l'arabe al-Mijisti signifiant « la plus grande ») de Claude Ptolémée et, d'autre part, sur les écrits indiens parmi lesquels se distingue « As-Sindhind » du mathématicien **Brahmagupta** (598 / 668). Cet ouvrage contient un recueil de formules astronomiques permettant de calculer des tables astronomiques du mouvement du Soleil, de la Lune et des planètes et l'une des premières tables de sinus.

L'astronomie grecque était géocentrique, c'est-à-dire que la Terre était considérée comme immobile au centre du monde, tous les autres objets tournant autour d'elle. Les astronomes arabes resteront attachés à cette tradition mais uniquement pour des questions de commodité. Cependant plusieurs recherches historiques récentes sur l'astronomie arabe ont montré que, au contraire, cette affirmation avait été remise en cause au XI^e siècle et même qu'un astrolabe avait été construit en se fondant sur l'idée que la Terre tournait autour du Soleil avec un mouvement diurne propre. Cette question sera étudiée en particulier par al- Bîrûnî dans un de

ses ouvrages où il comparait l'hypothèse du mouvement de la Terre et celle de son immobilité. Mais, finalement, il en resta au modèle grec qui lui semblait plus simple, l'autre créant des difficultés qui n'étaient pas, selon lui, faciles à résoudre.

Le second volet de l'astronomie dans le monde arabo – musulman concernait l'observation. Il s'agissait au départ d'améliorer les tables des objets du Système Solaire (en particulier le Soleil et la Lune) et les paramètres terrestres (diamètre, inclinaison sur l'écliptique) pour suivre de la meilleure façon les obligations religieuses.



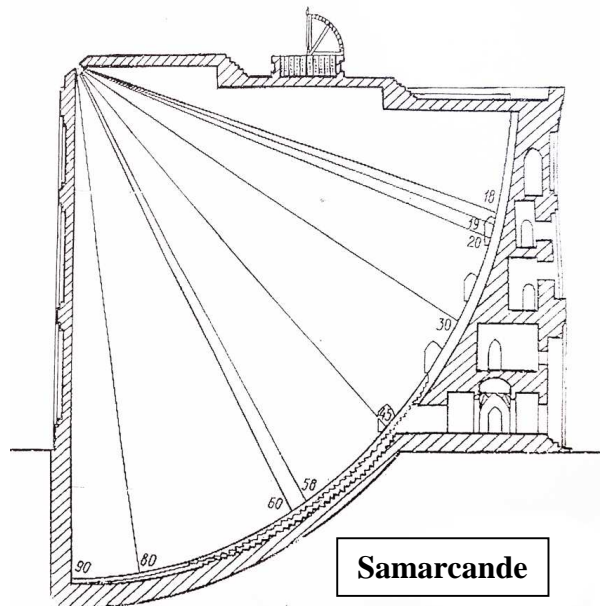
Prenons par exemple la détermination de la direction de la Mecque dans laquelle devait se placer le croyant pour prier. Dans la péninsule arabe le problème n'était pas très compliqué mais en Espagne ou au Maroc, à près de 5000 km de la Ka'ba, cela devenait

beaucoup plus difficile. En effet la Terre étant une sphère, l'identification d'une direction donne lieu à des calculs complexes résolus par **Habash al-Hâsib** (≈ 770 / ≈ 865) au IX^e siècle et consistant à trouver, en terme moderne, la ligne orthodromique reliant deux points de la Terre (grand cercle passant par ces deux points). Pour appliquer les formules trouvées les astronomes avaient besoin de connaître avec précision le rayon terrestre. Dans ce but ils refirent à plusieurs occasions les mesures entreprises dix siècles plus tôt par Eratosthène et mirent également en œuvre de nouvelles méthodes, comme le fit, par exemple, **al-Bîrûnî** (**Aliboron** - 973 / 1048). Comme on le voit ici, les mathématiques et leur développement était indispensable à la progression de l'astronomie. Cette dernière était à son tour nécessaire à l'étude de la cartographie – qui appartenait à la discipline « géographie » – qui permettait le calcul des distances, la détermination de l'orientation sur terre et sur mer et celle des latitudes et longitudes, la réalisation de cartes.

Pour établir des tables fournissant des données de base précises il était également nécessaire de disposer d'observatoires de qualité. Il y en avait dans tout l'Empire mais on retiendra principalement celui de Maragha, près de Tabriz, et celui de Samarcande. Le premier fut construit en 1259 par Hülegü, petit-fils de Gengis Khan. L'astronome **at-Tûsî** (1201 / 1274) y travailla. Le second fut fondé par le prince timouride **Ulugh Beg**¹⁵ (1393 / 1449) qui y travailla avec **al-Kâshî** (1350 / 1435). Il s'agissait d'un bâtiment circulaire de 3 étages, formé de nombreuses arches, avec un diamètre de 48m et une hauteur de 45m ; il comportait de nombreux

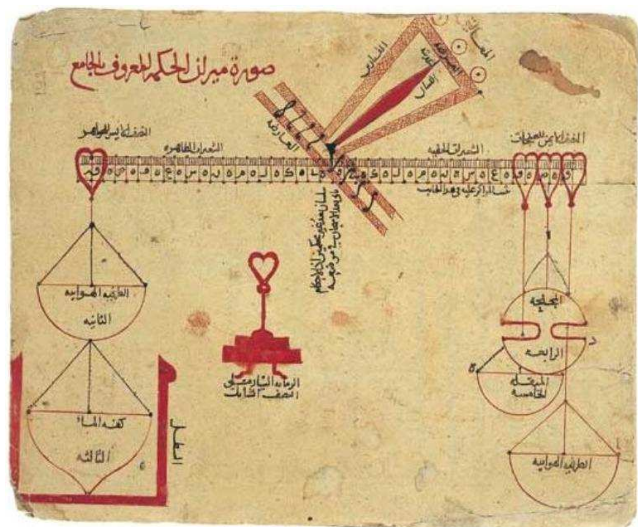
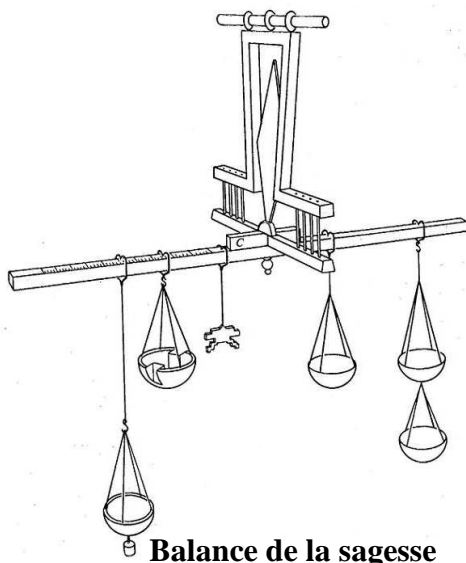
¹⁵ Il s'agit du petit-fils de Tamerlan, beaucoup plus pacifique que son grand-père.

instruments de mesure et d'observation, dont un quart de cercle gradué gigantesque de plus de 40 mètres de rayon. Mais il ne fonctionna que de 1420 à 1449. Les recherches qui y furent conduites permirent la publication d'un ouvrage remarquable (le « zij » de 1437) avec des tables des coordonnées de nombreuses villes, des chroniques et almanachs, une table des étoiles fixes et des tables décrivant les mouvements de la Lune, du Soleil et de ses planètes. Ulugh Beg y mesura la durée de l'année sidérale : son résultat de 365 jours 6 heures 10 minutes et 6 secondes ne diffère que de 56 secondes de la valeur admise aujourd'hui (365 jours 6 heures 9 minutes 10 secondes). Après l'assassinat d'Ulugh Beg par son fils aîné, l'activité de l'observatoire déclina rapidement et il fut démantelé et rasé quelques décennies plus tard. Il n'en reste aujourd'hui que les fondations.



Physique

La physique arabe va s'intéresser à trois domaines : la statique (équilibre des solides et des liquides), la dynamique (mouvement des solides et des liquides) et à l'optique. Les résultats obtenus dans ces trois parties seront mis en œuvre dans les réalisations technologiques (procédés ingénieux) que nous rencontrerons un peu plus loin. Ils vont bien sûr s'inspirer des ouvrages grecs traduits (Archimède, Aristote principalement) mais ne vont pas en rester là. L'apport principal



de leur contribution est d'ordre quantitatif et expérimental¹⁶. C'est une nouvelle méthodologie qui se met en place et on la retrouvera dans les autres disciplines comme la chimie ou la médecine.

En statique, à partir des écrits déjà très élaborés d'Archimède, les Arabes vont faire progresser les connaissances sur les questions de recherche des centres de gravité, d'élaboration des systèmes basés sur les propriétés des leviers et sur les balances. A propos de ce dernier point on peut citer les améliorations apportées par *al-Khâzinî* (XI^e siècle) avec sa « balance de la sagesse » ou balance à cinq plateaux. On peut la présenter comme une balance universelle : avec deux plateaux on conduit une pesée dans l'air, en ajoutant un troisième on peut le faire dans l'eau. Les deux autres plateaux sont mobiles et permettent de résoudre des questions compliqués : change monétaire, composition des alliages, et même résolution de problèmes mathématiques. En effet, en réalisant des pesées et en s'appuyant sur des tables numériques préalablement calculées on avait la possibilité de résoudre des systèmes d'équations linéaires sans poser aucun calcul : il suffisait de lire sur la balance graduée à la suite d'un équilibre !

Dans le domaine de la science du mouvement les propositions d'Aristote ne furent pas remises en cause et peu de travaux originaux furent conduits par les Arabes.

En optique, par contre, de nombreux travaux originaux furent conduits dans le prolongement des œuvres d'Euclide et de Ptolémée. On verra plus loin, lors de la présentation des travaux d'Ibn al-Haytham, le détail et la richesse des apports de la civilisation arabo - musulmane. Les ouvrages qui en ont résulté ont été, pour un certain nombre, traduits à Tolède au XII^e siècle et ont largement inspiré les savants européens jusqu'à Johan Kepler.

Chimie

Entre l'Antiquité et le XVII^e siècle cette discipline a donné lieu – comme l'astronomie – à deux types d'activités. Tout d'abord il y a ce que nous continuons à appeler la chimie et qui correspond à tous les savoirs et les techniques qui permettent d'analyser et de synthétiser les différents produits connus ou nouveaux. Ensuite nous rencontrons l'alchimie qui, aujourd'hui, n'est plus intégré dans le domaine scientifique. Elle s'appuyait avant tout sur un corpus philosophique et ésotérique prolongé par des pratiques de laboratoire dont le but était en particulier de transmuter un métal en or.

La chimie arabe héritait d'une longue tradition dans laquelle s'étaient distingués les Egyptiens, tout d'abord, et, ensuite les Grecs. Il y avait également des pratiques nécessitant des connaissances en chimie, comme

¹⁶ Seul Archimède et, plus tard, Ptolémée, chez les Grecs, ont eu une démarche de ce type. Les autres ont eu essentiellement une démarche qualitative.

celles liées à la métallurgie, qui avaient été puisées chez les descendants des peuples mésopotamiens.

Les objectifs des chimistes étaient la plupart du temps d'ordre pratique et étaient de fabriquer des produits utiles à la société, à l'économie et à l'état. On peut citer quelques unes de ces applications :

- Pour l'industrie des tissus et du papier
 - Solvant
 - Dégraissant
 - Teintures et couleurs
 - Fixateur
 - Encres

- Pour les peintures et la céramique
 - Pigments
 - Ciments

- Pour la maison
 - Savon
 - Cosmétiques
 - Fard
 - Parfum
 - Boissons alcoolisés
 - Verre

- Pour les armées du calife
 - Engins incendiaires
 - Poudre et explosifs
 - Acier et métaux

Pour fabriquer ces différents produits les chimistes avaient besoin de laboratoires, d'ateliers et de techniques de production utilisant souvent de nouveaux instruments. Bien qu'apportant peu de chose nouvelle par rapport à la théorie grecque des quatre éléments, ils chercheront à mettre au point de nouvelles méthodes de travail et à améliorer celles déjà connues. Ces progrès ont laissé des traces dans notre vocabulaire actuel : alambic, alcali, alcool, goudron, laiton, soude ... etc.

Le plus connu de ces chimistes de l'empire arabo - musulman est **Jabir Ibn Hayyan (Geber)** - $\approx 721 / \approx 815$). Il vécut l'essentiel de son existence en Irak, à Koufa, et eut une activité aussi bien en chimie qu'en alchimie, comme la plupart de ses collègues. Il fut l'initiateur d'un nombre important de nouveaux processus de chimie appliquée (évaporation, distillation, calcination, cristallisation) et l'inventeur de notre alambic. Ses contributions incluent également la mise au point de l'acier, la préparation de différents métaux, la prévention face à la corrosion, la teinture des tissus et le tannage du cuir, le vernissage de tissus pour les rendre

imperméables...etc. Il aurait créé également l'eau régale permettant la dissolution de l'or après avoir découvert l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique.

Les idées de Geber - tirées pour la plupart de l'expérience - ont ouvert la voie à ce qui est aujourd'hui communément connu sous le nom de classification des éléments. Il distinguait trois types de substances en fonction de leurs propriétés :

- les « spiritueux » ou « esprits » qui sont les substances se vaporisant par échauffement, comme le camphre, l'arsenic et le chlorure d'ammonium.
- les métaux comme l'or, l'argent, le plomb, le cuivre, le fer.
- les « pierres » formés par les composés pouvant être broyés et réduits en poudre.

Geber insista également, à partir des faits d'observation, que des quantités définies de différentes substances sont mises en jeu dans les réactions chimiques. On a ici une première et lointaine expression de la loi des proportions définies.

Son traité le plus connu est le *Kitâb al-Kîmiâ* (Le Livre de la Chimie), dédié au Calife Haroun Ar Rachid. Il fut traduit en latin par l'Anglais **Robert de Chester** en 1144.

Médecine

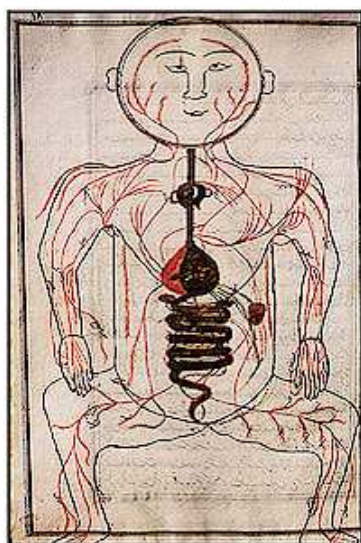
Il faut distinguer ici la médecine traditionnelle, particulièrement répandue dans les couches populaires, de la médecine savante. La première, comme dans d'autres pays, s'appuyait sur une expérience multiséculaire à laquelle s'ajoutaient les recommandations hygiénique et diététique puisées dans les paroles du prophète Muhamad. Elle s'est enrichie, après la conquête, des connaissances empiriques disponibles dans les différentes régions englobées, en particulier la Perse qui disposait d'un large corpus puisé en Inde.

La seconde racine a emprunté l'essentiel de son héritage chez **Hippocrate** (≈ -460 / ≈ -370) et **Galien** (≈ 130 / ≈ 200), même si certains apports persans et indiens ne doivent pas être négligés. Elle est fondée sur la théorie des « humeurs », d'origine grecque. Ces dernières sont au nombre de quatre : le sang, le flegme, la bile jaune et la bile noire (atrabile). On leur associe des qualités – qui se rattachent aux quatre éléments - et des tempéraments selon le tableau suivant :

THEORIE DES HUMEURS			
Tempérament	Humeur	Qualités	Eléments
<i>Sanguin</i>	<i>Sang</i>	<i>Chaud / Humide</i>	<i>Air</i>
<i>Flegmatique</i>	<i>Flegme</i>	<i>Froid / Humide</i>	<i>Eau</i>
<i>Bilieux</i>	<i>Bile jaune</i>	<i>Chaud / Sec</i>	<i>Feu</i>
<i>Atrabilaire</i>	<i>Bile noire</i>	<i>Froid / Sec</i>	<i>Terre</i>

Chez une personne en bonne santé il y a équilibre entre ces quatre humeurs. La maladie va alors correspondre à un déséquilibre qu'il faut corriger.

S'appuyant sur cette théorie plusieurs grands médecins vont laisser leur nom à la postérité et transmettre à l'Occident des ouvrages de référence. Parmi ceux-ci on peut citer **Ibn Sîna (Avicenne)** – Perse - 980 / 1037) qui, dans son ouvrage « *Le canon de la médecine* », codifie cette dernière selon les critères de ses lointains prédécesseurs et **Ibn Rushd (Averroès)** – Espagne - 1126 / 1198).



Manuscrit d'Ibn an-Nafîs

Cependant, là comme dans d'autres domaines, certains intellectuels de l'empire contestent la science des anciens. Parmi eux citons **Ibn an-Nafîs** (1210 / 1288). Ce dernier, d'origine syrienne et qui fit l'essentiel de sa carrière au Caire, était attaché à une réflexion basée sur l'observation. Il n'hésite pas à remettre en cause les affirmations de Galien sur la circulation sanguine. Il proposera, trois siècles avant **William Harvey** (1578 / 1657), un nouveau modèle beaucoup plus proche de la réalité qui s'appuyait sur ses vastes connaissances anatomiques. Ses travaux seront rédigés dans « *Commentaire de l'anatomie du Canon* », un ouvrage critique de celui d'Avicenne. Une étude plus détaillée de ces travaux est développée un peu plus loin.

La mise en place de cette médecine se fait à partir du IX^e siècle dans des hôpitaux qui sont implantés dans les grandes villes. Ces structures avaient une organisation qui nous semble moderne. L'encadrement est assuré par un corps de médecins munis d'un diplôme obtenu dans un centre de formation, la plupart du temps attaché à un hôpital. L'hygiène y joue un rôle de première importance et les malades disposent d'une pharmacie où, munis d'une ordonnance, ils peuvent venir chercher des médicaments. Il s'y pratique une médecine de haut niveau avec des services que nous avons encore à notre époque : médecine générale, ophtalmologie, obstétrique, chirurgie ...etc. Certains hôpitaux possèdent même un service pour les déments. Chacun d'entre eux est dirigé par un spécialiste.

Il faut dire, pour terminer, que de nombreux médecins, en particulier en Irak, étaient des chrétiens nestoriens (les califes de Bagdad avaient, en général, un médecin de cette origine) qui avaient été formés, pour beaucoup à Jundishapur, en Perse. Cette ville avait accueilli une importante diaspora nestorienne en 489 lorsque l'empereur byzantin

Zénon avait fermé l'Ecole d'Edesse, important foyer intellectuel chrétien et de littérature chrétienne syriaque, dont l'origine remontait au II^e siècle apJC.

Technologie

On place dans ce domaine les applications pratiques de la mécanique que les Arabes appelaient « sciences des procédés ingénieux ». Un des « ingénieurs » le plus célèbre de cette époque est **al-Jazarî** (1135 / 1206) auquel on attache plusieurs inventions comme une pompe hydraulique ou le système bielle / manivelle.

On peut diviser cette science en trois parties :

- Les automates

Ils ont avant tout une vocation ludique et prolongent les travaux de savants grecs comme **Philon de Byzance** (III^e siècle AvJC) ou **Héron d'Alexandrie** (I^e siècle AvJC) dont les ouvrages ont été traduits en arabe. Comme pour les autres formes de savoir les Arabes ont tout d'abord étudié et reconstitué les réalisations du passé. Puis, à partir du IX^e siècle, ils ont conçu et fabriqué leur propres automates en y introduisant quelques innovations intéressantes comme le système bielle / manivelle qui permet la transformation d'un mouvement de translation oscillatoire en mouvement de rotation. En Europe il faudra attendre la Renaissance pour voir apparaître un tel dispositif. Un des traités les plus connus de cette époque est celui des deux frères **Banû Mûsâ** où est expliqué la fabrication de jets d'eau musicaux, de bateaux à propulsion automatique...etc.

- La mécanique utilitaire

- L'hydraulique : horloges et utilisation de la puissance mécanique de l'eau

L'empire à besoin de fournir l'heure à ses habitants aussi bien pour la vie quotidienne que pour la pratique religieuse. De jour, par beau temps, cette connaissance pouvait être obtenue à l'aide d'un gnomon mais dans des circonstances moins favorables il fallait disposer d'autres instruments. Parmi ces derniers, les plus anciens s'appuient sur l'écoulement d'un liquide comme l'eau ou le mercure. Les Arabes étaient arrivés à une maîtrise exceptionnelle dans la réalisations de ces dispositifs comme le montre l'horloge à eau qu'Harûn ar-Rashîd avait offert à Charlemagne en 806.

Situé géographiquement sur des territoires à faible pluviométrie, l'empire arabo – musulman avait besoin d'une gestion optimisée de ses ressources en eau aussi bien pour l'irrigation des cultures (stockage, transport) que pour l'exploitation de la puissance disponible utilisée dans les différents types de moulins¹⁷ (céréales, tissus, métaux,

¹⁷ Il y avait d'autres types de moulins utilisant la force humaine, animal, éolienne voire marémotrice.

papier). Peu de nouveautés apparaissent dans les maigres ressources documentaires dont on dispose de cette époque mais les innovations technologiques décrites à propos des automates ont quelquefois été utilisées sur des dispositifs de grande taille (pompe à eau utilisant le système bielle / manivelle par exemple).

➤ Engins de levage

Ici les Arabes ont essentiellement apporté des améliorations aux dispositifs déjà existants et que les Grecs connaissaient déjà. Le principe de ces machines s'appuyait sur l'étude de la statique qu'avait réalisée Archimède (III^e / II^e siècle AvJC) et que l'on a déjà rencontrée dans la partie consacrée à la physique. Dans le prolongement de ce travail les Arabes vont produire des résultats pertinents, en particulier dans l'élaboration d'une théorie des centres de gravité pour des systèmes tridimensionnels déformables.

• Technologie militaire

On comprend facilement que le pouvoir politique de l'empire ait encouragé particulièrement ce domaine dès le premier siècle de son existence. Cependant les documents qui lui sont relatifs sont rares, au moins jusqu'au XII^e siècle.

6. Le déclin des sciences arabes

On a ici une question qui fait débat depuis plusieurs siècles et qui est loin d'être aujourd'hui résolu : Fernand Braudel ne parlait-il pas en 1979 de « *l'irritant problème de la décadence [de la civilisation arabo – musulmane], problème malheureusement sans solution* » ?

On ne peut pas dissocier les difficultés rencontrées par l'évolution des sciences dans l'espace arabo – musulman de celles qui ont amené son affaiblissement et son remplacement final par l'empire ottoman. Cependant ce mouvement n'a pas été identique dans toutes les zones géographiques : les premiers signes de décadence sont apparus à l'est vers le milieu du XI^e siècle – avec quelques périodes ponctuelles de relance – et se sont propagés progressivement vers l'ouest jusqu'au XV^e siècle. Comme pour les facteurs ayant favorisé leur développement, on peut tenter de lister ceux qui ont participé à leur étiolement et, finalement, leur disparition en tant que force productrice de nouveaux savoirs.

Fin du despotisme éclairé des premiers califes Abassides

On ne trouve pas dans la religion musulmane ce que nous avons connu dans le christianisme de la même époque : la séparation des pouvoirs spirituel et temporel. Le message transmis par les Evangiles était, dans ce domaine : « *Rendez à César ce qui est à César et rendez à Dieu ce qui est à Dieu* », ce qui signifie qu'il appartient à la religion – en l'occurrence le pape, représentant sur Terre de Dieu - de s'occuper des affaires spirituelles et à l'Etat – rois, empereurs ...etc. - d'assurer la gestion des affaires politiques. Dans l'Empire islamique, cette distinction n'existe pas,

les deux pouvoirs sont intimement confondus – avec une prééminence indiscutable du premier sur le second - et la même personne, le Calife, conduit la politique de l'Etat et garantit le respect de la parole de Dieu.

Les dirigeants au pouvoir entre 750 et la fin du X^e siècle ont été, en général, plutôt tolérant envers la liberté de pensée des intellectuels de leur empire. Mieux encore, ils ont encouragé, financé et protégé les savants ayant participé à ce grand mouvement intellectuel. Mais à partir du XI^e /XII^e siècle de nouveaux leaders s'appuyant sur des mouvements religieux conservateurs ont pris le dessus et l'islam s'est progressivement opposé à toute pensée libre et à toute curiosité scientifique. Dans le même temps l'encouragement par la puissance publique des recherches scientifiques s'est considérablement amenuisé, sauf en quelques courtes occasions comme à Samarcande, sous la direction d'Ulug Bey .

Ce qui était au départ un avantage s'est alors transformé, avec cette nouvelle lecture du message divin, en un inconvénient préjudiciable à tous les intellectuels extérieurs à la religion pour conduire leurs travaux de recherche. Ceci ne fera que s'accroître sous la domination des Turcs.

Les croisades

Les chrétiens vont lancer contre les « infidèles », entre 1098 et 1270, huit croisades vers le Moyen-Orient. Elles vont avoir plusieurs conséquences défavorables. Tout d'abord elles vont entraîner la perte pour l'empire musulman du monopole du commerce international en Méditerranée. Elles vont ensuite accentuer les divergences entre les différents royaumes, califats, principautés dont l'apparition quelques décennies auparavant avait déjà fait émerger des oppositions et des confrontations allant parfois jusqu'à l'affrontement militaire : au fil des siècles, le pouvoir des califes s'était affaibli peu à peu, victime notamment des affrontements constants entre sunnites et chiites, mais aussi suite également à de nombreuses révoltes.

Les invasions turcs et mongoles

C'est une cause capitale du déclin général de cet espace. Depuis le milieu du XI^e siècle la partie est de l'empire eut à subir plusieurs invasions. La première, celle des Seldjoukides (turcs venant des steppes de l'Asie centrale) est le fait d'un peuple nomade déjà islamisé qui va s'imposer au calife de l'époque sans employer la violence. Mais leur prise du pouvoir va s'accompagner de conséquences économiques particulièrement néfastes : ils abandonnent l'économie monétaire basée sur le commerce et sur l'argent, pour revenir à une économie féodale du type domanial, c'est-à-dire basée sur la valeur de la terre. De plus, convertis récemment à l'islam sunnite, ils manifestent un grand zèle religieux qui est à l'origine d'une grande intransigeance qui aura des répercussions sur le développement des études rationnelles.

La seconde invasion sera beaucoup plus dévastatrice. Elle est menée par les Mongols qui viennent de la partie centrale de la Chine. Ils déferlent sur

le flanc Est de l'empire abasside à partir de 1219 sous le commandement du fameux Gengis Khan. Une seconde campagne est menée à partir de 1243. Il faudra attendre 1260 pour qu'ils subissent leur première défaite en Egypte devant les Mamelouks.

Sous leurs assauts, les infrastructures économiques, commerciales, sociales et culturelles de la partie Est de l'empire furent largement démantelées, voire détruites. Les villes qui refusent de se rendre sont prises et rasées, leur population est massacrée. Bagdad qui compte à cette époque plusieurs centaines de milliers d'habitants – certains historiens envisagent le million – est ravagé en 1258. De nombreux monuments culturels - comme la grande bibliothèque comportant probablement des centaines de milliers d'ouvrages - furent définitivement anéantis. Une surface importante de terres fertiles nécessitant des réseaux d'irrigation restèrent incultivables pendant longtemps suite aux destructions massives des systèmes de distribution de l'eau.

Malgré les dégâts causés, ces diverses attaques n'ont cependant pas totalement arrêté les activités scientifiques du monde arabo - musulman. La dynamique des sciences n'est en effet pas la même que celle des actions militaires et politiques. Malgré ces défaites, les désorganisations et l'instabilité qui en découlent, l'astronomie et les mathématiques, en particulier, continuèrent quelque temps encore de se maintenir, en particulier dans la partie Ouest de l'ancienne espace géographique concerné (Egypte, Maghreb) mais pas en Andalus que les rois castillans vont peu à peu reconquérir. C'est donc l'Egypte avec Le Caire qui devient le foyer principale de la culture arabe

La dernière vague de ces invasions destructrices, se produit à la fin du XIV^e siècle avec **Tamerlan** (1336 / 1405). D'origine turco-mongole il fonda, en s'appuyant sur la guerre et la terreur, un empire dont la capitale était Samarcande. Là encore se furent les régions d'Irak, d'Anatolie et de Perse qui eurent à subir ces terribles épreuves.

Modifications des grandes voies arabes de communication commerciale

Jusqu'au XI^e siècle les Arabes ont dominé l'essentiel du commerce dans le bassin méditerranéen en développant les échanges qu'ils avaient mis en place entre les différentes régions de l'empire et les pays plus lointains (Chine, Afrique subsaharienne ...etc.). Mais progressivement les équilibres vont se modifier : les Normands, après leur installation en « Normandie », entreprennent la conquête de l'Angleterre mais aussi de la Sicile – aux mains des Arabes - , tandis que les Italiens et les Francs partent à la conquête du bassin occidental de la Méditerranée. Avec les progrès de l'autorité monarchique et l'influence pacificatrice de l'Eglise, les routes deviennent plus sûres, ce qui favorise la reprise d'une activité commerciale dynamique en Méditerranée et dans la plus grande partie de l'occident chrétien. Les états italiens dotés de grands ports (Naples,

Amalfi, Bari, Pise, Gêne et surtout Venise), vont contrarier les échanges entre les différentes parties de l'empire. Cette désorganisation aura également une influence sur la circulation des idées et l'irrigation intellectuelle mutuelle des foyers d'étude arabes.

A la fin du XV^e siècle, les européens lancent de grandes expéditions vers le continent américain récemment (re)découvert et établissent de nouvelles routes commerciales qui vont accentuer le déclin de l'activité économique de l'empire arabo – musulman .

La formation de l'empire Ottoman (Turcs)

L'émiettement du pouvoir au Moyen-Orient qui a suivi les invasions mongoles a profité à une tribu d'origine turc – seldjoukide installée en Anatolie : les ottomans. Après avoir repoussé les Byzantins jusqu'à la mer Méditerranée, conquis les royaumes serbes le long de l'Adriatique ils vont progressivement reconstituer un empire qui recouvre pratiquement l'ancien empire abbasside : il y manque bien sûr l'Espagne mais il intègre en plus de vaste territoire européen (Serbie, Grèce, Hongrie). Constantinople est pris en 1453 : c'est la fin de l'Empire Romain d'Orient.

On aurait pu croire que cette nouvelle période de stabilité politique et d'unité territoriale allait dynamiser un nouvel élan de la recherche scientifique. Il n'en a rien été. Les nouveaux maîtres ne sont pas, comme leurs prédécesseurs abassides, des monarques éclairés ayant à cœur d'encourager l'étude scientifique du monde. Bien au contraire : lorsque fut inventée en Europe l'imprimerie, le sultan de Constantinople, sous la pression des copistes et des conservateurs religieux, interdit son usage dans son empire pour produire des ouvrages en arabe ou en turc. A cela plusieurs raisons : économique tout d'abord car les copistes formaient une puissante corporation et une source de revenus importante, culturelle ensuite car le savoir intellectuel et religieux était détenu par les partisans de la tradition qui étaient systématiquement hostiles aux réformes. Enfin l'écriture arabe jouissait d'un prestige bien plus grand que celle d'un simple instrument de communication : liée à la révélation coranique de la parole de Dieu, elle est sacrée et ne peut être transcrite par une machine. Ce ne sera donc qu'au milieu du XIX^e que l'imprimerie commencera réellement à concurrencer la copie manuscrite.

7. Arrivée en Europe de la science arabe

Les contacts entre le monde arabo – musulman et le monde chrétien occidental ont connu plusieurs périodes : sous les califes « bien dirigés » et les Omeyyades, les Arabes eurent vis à vis des pays francs une attitude plutôt belliqueuse et expansionniste qui se manifesta en particulier par la conquête des deux tiers de l'Espagne. Par la suite, pendant les premières décennies du califat abasside de Bagdad, les affrontements furent beaucoup moins fréquents et des ambassades furent même échangées entre Charlemagne et Haroun Ar Rachid. Après la prise du pouvoir par les Seldjoukides les causes de confrontation se firent plus nombreuses (accès

à Jérusalem, contrôle du commerce en Méditerranée ...etc.) et les contacts furent essentiellement conflictuels. Il n'y avait donc pas, chez l'élite de cette civilisation, la volonté particulière de transmission¹⁸ de leurs découvertes aux autres parties du monde. Ils avaient avant tout – en tout cas durant les premiers siècles - la mission de transmettre et d'imposer le message du Coran, prolongement et achèvement des religions monothéistes du Livre¹⁹.

Cependant, à partir du XII^e siècle et malgré les fréquents conflits, de nombreux occidentaux vont venir de différents états de l'Europe vers les régions reconquises, pour se former dans le domaine des sciences développé et dynamisé par les intellectuels arabes. C'est une démarche d'appropriation individuelle car il n'y a pas encore de volonté institutionnelle des universités et ces dernières auront un temps de retard avant de s'intéresser à ces nouveaux savoirs. On peut citer parmi ces voyageurs à la recherche de nouvelles connaissances, **Léonard de Pise**, dit **Fibonacci** (1180 / 1240). Ce dernier passa plusieurs années à Bougie, en Algérie, où il apprit l'arabe et put accéder directement à des sources mathématiques arabes. Il en rapporta un ouvrage écrit en latin, « Liber Abacci », reprenant, sans les citer, de nombreux résultats obtenus par ceux qu'il avait traduits et enrichis par ses propres travaux.

Ensuite, après leur reconquête en 1085, Palerme et Tolède vont continuer à être des foyers culturels mais en devenant des lieux où seront produits de nombreuses traductions de l'arabe vers le latin ou l'hébreu. En effet en Espagne et en Sicile, la reconquête des états islamiques par les troupes chrétiennes mettait à disposition des intellectuels européens une grande quantité d'ouvrages qui nourrirent le travail de traduction de plusieurs écoles installées à Tolède, à Palerme mais également à Montpellier et à Avignon. On retiendra parmi ces traducteurs les noms de **Gérard de Crémone** (1114 / 1187) et de **Robert de Chester** (autour de 1150) : le premier traduisit plus de 80 ouvrages dont la version arabe de l'Almageste et le second les œuvres du mathématicien **al-Khwârizmî**.

Enfin d'autres réseaux de collecte vont également se mettre en place : la recherche d'ouvrages va d'abord intéresser les marchands, et suivre les voies commerciales plus que celle des campagnes militaires ou des pèlerinages pour se diffuser en Europe à partir des grands ports, comme Venise, qui vont arracher aux arabes le monopole du commerce méditerranéen.

8. Conclusion

Comme on l'a vu précédemment les causes du déclin de la recherche dans les différents domaines des connaissances humaines sont multiples.

¹⁸ Pas plus que l'on pourrait dire que les populations anciennes du croissant fertile (Mésopotamiens, Chaldéens ...etc.) avaient la volonté de transmettre leurs connaissances à leurs voisins.

¹⁹ La Bible

Certaines sont externes à la communauté arabo - islamique mais la cause principale est interne : l'empire abbasside est secoué par des conflits, mis en péril par la rébellion chiite et bousculé par l'effervescence intellectuelle.

Rappelons qu'en 813 le Calife al-Mamun, prend le pouvoir à Bagdad. C'est un esprit éveillé, curieux de tous les savoirs et de toutes les cultures qu'on trouvait dans la capitale des Abbassides ouverte sur le monde. Pendant une vingtaine d'années al-Mamun va donc incarner cette volonté du pouvoir d'ouvrir de nouvelles pistes intellectuelles en permettant le développement d'une école de théologie novatrice : le mutazilisme déjà rencontré au début de ce texte. Ce dernier a introduit en particulier la théorie d'un « Coran créé », par opposition à celle d'un « Coran incréé »²⁰. Les adeptes de ce mouvement, largement inspirés par la rationalité grecque, soutiennent que le Coran a été créé et s'engagent dans la voie de l'exégèse. Soutenant cette approche, al-Mamun pensait devoir l'imposer pour rassembler la communauté autour d'une théologie unifiée pouvant intégrer d'autres savoirs.

Mais les tenants d'un islam plus rigoriste et plus facilement accessible au peuple refusèrent cette grande réforme religieuse. En l'an 848, **Jafar al-Mutawakkil** (821 / 861), fils du Calife Al-Mamun, impose une politique religieuse plus conservatrice. Celle-ci disqualifie la culture philosophique et scientifique qui est désignée par le nom de science étrangères et intruses.

Puis, en 1019 le calife Abbasside **al Qâdir** (947 / 1031) prend une décision politique lourde de conséquences et s'appuyant sur la religion. Il fait lire dans tout l'empire une profession de foi dans laquelle il condamne la doctrine du «Coran créé», interdit les exégèses et fixe la doctrine officielle. Il détruit ainsi l'esprit critique et encourage l'imitation obéissante au détriment de l'innovation. Le XI^e siècle s'achève donc avec le triomphe de l'orthodoxie pour l'ensemble du monde musulman et, désormais, toute nouvelle interprétation est interdite. Ce verrouillage définitif des interprétations et des règles à appliquer ne concerne pas seulement la théologie mais s'étend également à la loi, à la justice et, bien sûr, à la littérature, à la philosophie et aux sciences et techniques.

Coupée de ses racines vivifiantes, la réflexion scientifique va donc commencer dès la fin du XI^e siècle à décliner. Bien sûr ce dépérissement n'est pas immédiat et ne touche pas, en tout cas au début, l'ensemble de l'empire. Mais petit à petit, les régions d'appauvrissement culturel vont s'étendre progressivement, petites « taches » discontinues au départ qui vont se rejoindre pour former de grandes régions définitivement stériles. Bien sûr d'autres facteurs - on les a énumérés un peu plus haut - vont jouer un rôle important mais ceux-ci ne seront pas déclencheur mais plutôt accélérateur de cet assèchement de la dynamique créatrice, si riche durant les premiers siècles de la civilisation arabo - musulmane.

²⁰ Le mutazilisme affirme, entre autre, que le Coran n'est pas éternel et a été créé. Pour imposer autoritairement sa vision, al Mamun ira jusqu'à créer un organisme chargé de persécuter les érudits qui n'adhèrent pas à cette nouvelle doctrine.

A la lumière de ce qui précède, reprenons, pour terminer, la question que nous nous étions posée dans notre introduction : les sciences ont-elles une déclinaison socioculturelle régionale qui leur enlèverait tout caractère universel ? Une réponse positive est donnée à cette interrogation par la puissante école relativiste des sciences humaines. Dans le domaine de l'épistémologie, cette dernière prétend que la réalité objective n'est pas accessible et qu'il n'y a que des théories subjectives, dépendant des circonstances historiques et culturelles des bassins géographiques dans lesquels elle se développe. Dans ces conditions l'objectivité du savoir scientifique ne serait alors qu'une illusion dépendant du lieu, du moment et des circonstances de son développement. Pour les relativistes, qui ont actuellement le vent en poupe dans certains milieux intellectuels, la « science » est une activité « régionale » et il n'est pas possible de lui donner un statut d'universalité.

Selon ce point de vue il ne devrait pas y avoir de similitude entre ce qui s'est déployé entre le VIII^e et le XI^e siècle dans l'espace arabo – islamique et ce qui est apparu en Europe quelques siècles plus tard à la suite des travaux de Galilée dans un contexte culturel différent. Or si l'on regarde de prêt la manière dont travaillaient les savants précédemment étudiés, on constate qu'ils le faisaient d'une façon très proche de celle que nous connaissons : utilisation de l'expérience et confrontation des hypothèses aux résultats expérimentaux ((Ibn Al Haytham, Ibn an-Nafis par exemple), critiques des travaux de leur prédécesseurs (Ibn an-Nafis qui remet en cause Galien et Ibn Sîna [Avicenne]), mise en place et usage de nouveaux outils théoriques (Al-Khwârizmî, Al Birûni), circulation des personnes dans tout l'empire et échanges d'informations s'appuyant en particulier sur l'existence des « maisons de la sagesse », intervention divine absente ou purement formelle des textes scientifiques.

On peut détailler plus finement cette énumération mais les éléments donnés ci dessus sont déjà suffisants pour comprendre qu'entre le VIII^e et le XI^e siècle s'est mis en place et développé dans l'empire arabo - musulman un système de pensée que l'on peut pleinement associer à une vision universelle de la science que l'Europe n'a découvert que six siècles plus tard. Même sa décadence à une signification pour nous : nous voyons bien que dans un contexte culturel appauvri et une ambiance religieuse sévère et conservatrice la science n'a plus les moyens de progresser et ne peut que péricliter.

Ceci est une leçon pour nos sociétés dans lesquelles la réflexion objective et la curiosité nourrissant cette dernière sont de plus en plus absentes au profit d'une réactivité émotionnelle immédiate et d'une curiosité nombriliste le plus souvent stérile. L'appauvrissement que l'on voit aujourd'hui du terrain fertile qui nous a permis depuis trois siècles de connaître de mieux en mieux notre environnement – et d'en profiter – pourrait bien être à l'image de celui de la science arabo – musulmane qui ne s'en est pas remis.

QUELQUES GRANDES FIGURES DES SCIENCES ARABES

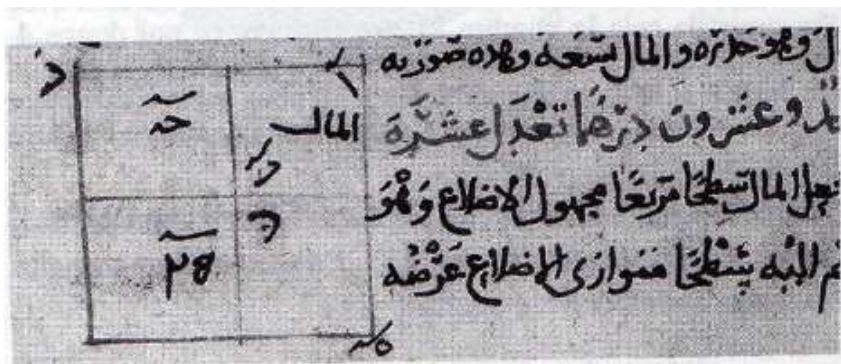
1. Introduction

Les scientifiques de premier plan de l'empire arabo - musulman ne sont pas, pour la plupart, des grands noms de l'histoire universelle. Certains sont passés à la postérité en occident et nous sont connus sous leur nom latinisé mais la majorité d'entre eux a été injustement oubliée, et ceci aussi bien chez nous que dans leur pays d'origine. Bien sûr il ne s'agit pas ici d'être exhaustif mais de présenter quelques figures majeures des intellectuels du monde arabe afin d'illustrer le fait que la science de cette partie du monde a développé des idées et des outils particulièrement originaux qui vont bien au delà de ce que les civilisations antérieures avaient construit.

2. Al-Khwârizmî

La biographie de ce mathématicien d'origine perse est mal connue. Né vers 780 au sud de la mer d'Aral²¹, il vécut jusque vers 850. La plus grande partie de sa vie se déroula à Bagdad et il participa à la grande aventure de la « Maison de la Sagesse » sous le règne du calife al-Mamun. Il s'y adonna donc aux travaux de traduction d'ouvrages scientifiques grecques et y côtoya les frères **Banû Mûsâ** (Muhammed, Ahmed et Hassan), trio de mathématiciens fortunés possédant leurs propres traducteurs chargés de travailler sur les ouvrages achetés à grand prix à l'étranger. Il travailla dans de nombreux domaines : mathématiques, bien sûr, mais également astronomie, géographie.

Al-Khwârizmî nous est connu par plusieurs ouvrages que l'on peut mettre en bonne position dans la littérature scientifique universelle. Le premier est intitulé « *Kit ab al-jam'wal tafriq bi hisab al-Hind* » que l'on peut traduire par « *Livre sur le calcul indien* ». Il y présente le système décimal de numération positionnelle déjà utilisé depuis plusieurs siècles en Inde où le mathématicien **Brahmagupta** (598 / 668) avait introduit le zéro comme le résultat de la soustraction d'un nombre à lui même.



$5x$	x^2
25	$5x$

Extrait du « Kitab al mustasar » de Khwârizmî et représentation moderne de la figure

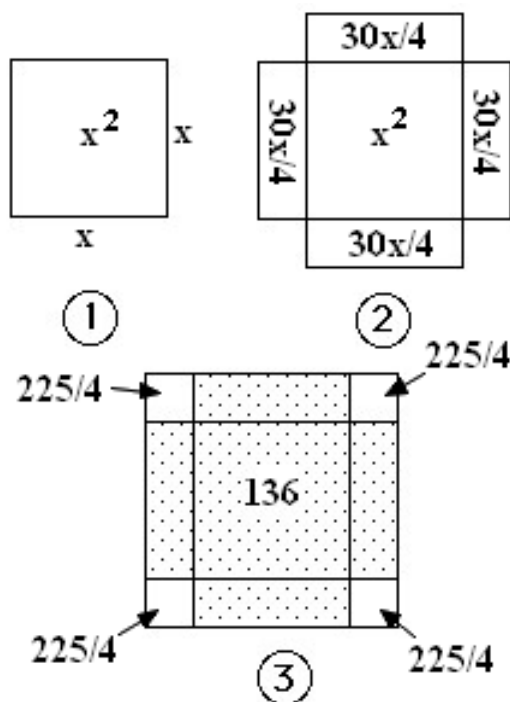
²¹ Pour certains ce serait ces parents qui étaient originaires de cette région et il serait né à Bagdad.

Remarquons également que Brahmagupta avait proposé les règles de manipulation des nombres positifs et négatifs. Ces derniers ne seront pas acceptés par les Arabes, ce qui compliquera, dans certains cas, la résolution des problèmes.

L'autre ouvrage écrit par al-Khwârizmî et qui est passé à l'immortalité est son « *Kitab al-mustasar fi hisab al-jabr wa al-muqabala* », dédié au calife de Bagdad al-Mamun. Il fonde ici une partie des mathématiques entièrement nouvelle : l'algèbre (al-Jabr qui signifie, en arabe, raboutage²² !). Muqabala signifiant « la confrontation », le titre du livre pourrait être traduit par « Traité de calcul du raboutage et de la confrontation » ! Mais bien sûr il faut tenir compte du fait que nous avons affaire à un ouvrage de mathématiques et la traduction retenue est « *Abrégé du calcul par la restauration et la comparaison* ». De quoi s'agit-il ? On y trouve deux parties : la première, composée de six chapitres, met en place les méthodes de résolution d'une équation du second degré ; la seconde, plus importante quantitativement, présente de nombreux exercices résolus en rapport avec le commerce, l'arpentage et la répartition des héritages.

Les six chapitres du début, écrits sous forme littéraire et sans aucune formule, présentent la manière de résoudre des équations du premier et du deuxième degré dont les différents termes possèdent des coefficients numériques positifs. Il définit six formes canoniques que nous écrivons ci-dessous :

$$\begin{array}{lll} 1) ax^2 = bx & 2) ax^2 = c & 3) bx = c \\ 4) ax^2 + bx = c & 5) ax^2 + c = bx & 6) bx + c = ax^2 \end{array}$$



La résolution d'une équation quelconque du premier ou second degré doit tout d'abord se ramener à un des six cas précédents. Cela nécessite deux opérations consécutives :

- L'opération **al-jabr** dont le but est de supprimer les termes précédés du signe (-) en ajoutant des termes égaux dans les deux membres
- L'opération **al-muqabala** consiste à soustraire une certaine quantité afin que des termes de même degré ne puissent se trouver à la fois dans les deux membres de l'équation.

²² Denis Guedj, dans son ouvrage « Le théorème du perroquet » signale que dans « Don Quichotte » de Cervantès on rencontre un *algebraista*, c'est à dire un rebouteux.

Prenons un exemple quelconque, qui n'est pas sous une forme canonique, avec l'égalité :

$$x^2 + 40x - 52 = 10x + 84$$

Appliquons lui l'opération de *restauration* en ajoutant 52 dans les deux membres pour supprimer le terme précédé du signe (-).

$$x^2 + 40x = 10x + 52 + 84 = 10x + 136$$

Appliquons lui l'opération de *comparaison* en soustrayant 10x dans les deux membres pour qu'il n'y est que l'un d'entre eux avec un terme en x.

$$x^2 + 30x = 136$$

On est alors ramené à une équation canonique du type (4).

Pour la résoudre al-Khwârizmî opte pour une solution géométrique. Il considère un carré de côté x, donc de surface x^2 , auquel il ajoute quatre rectangles de côté x et 30/4 : la surface du carré et de ses extensions a donc comme valeur $x^2 + 30x$; elle vaut donc 136.

Le grand carré construit sur cet ensemble a pour surface $136 + 225 = 361 = 19^2$ et son côté est de $x + 2 * 30/4 = x + 15$.

On a donc $19 = x + 15$ ce qui nous donne pour l'inconnue x la valeur de 4.

Vérifions que ce résultat obéit bien à l'équation de départ :

$$4^2 + 40 * 4 - 52 = 124$$

$$10 * 4 + 84 = 124$$

Cependant cette équation possède une autre solution, négative, qui est le nombre -34.

La méthode géométrique suivie par le savant arabe ne pouvait pas la trouver mais toutes les solutions positives de toutes les équations du second degré étaient accessibles.

Ces travaux furent prolongés par ceux d'**Abû Kâmil** (850 / 930) puis d'**al-Bîrûnî** (973 / 1048) qui cherchèrent à étendre les résultats précédents aux équations du 3^e degré sans pouvoir proposer de solution générale. Ceci sera l'œuvre de **Omar al-Khayyâm** (1045 / 1131). Philosophe, poète et mathématicien, il s'appuie lui aussi sur des méthodes géométriques en recherchant les points d'intersection de deux coniques. Par exemple pour résoudre l'équation de la forme²³ $x^3 + ax = b$ il la met sous la forme $x^3 + p^2x = p^2q$ et recherche l'intersection de deux courbes : le cercle $x^2 + y^2 = qx$ et la parabole $x^2 = py$.

²³ Les formules données ici sont une manière moderne de traduire la méthode d'Al Khayyam.

Ces méthodes géométriques de résolution des équations seront utilisées jusqu'au XVII^e siècle. Descartes, en les mettant en œuvre, parvint à trouver les solutions de différentes équations du 3^e et 4^e degré.

Les ouvrages d'al-Khwârizmî ²⁴ seront traduits en Occident au XII^e siècle et y auront un grand retentissement.

3. Ibn al-Haytham (Alhazen)

Avant de présenter les avancées arabes dans le domaine de l'optique, rappelons ici les idées qu'avaient les Grecs sur ces notions. **Euclide et les Pythagoriciens** (IV^e siècle AvJC) estimaient que notre regard émet une corpuscule appelée **quid** allant de l'œil à l'objet car nous devons « viser » la direction dans laquelle se trouve ce dernier pour le « voir ». A partir de là, Euclide introduit la notion de rayons visuels émanant de l'œil et énonce dans ces ouvrages « l'Optique et la Catoptrique » plusieurs lois tirées de l'expérience comme celle relative à la réflexion - où il a raison - et celle relative à la réfraction - où il a tort. Remarquons, en passant, qu'un modèle « faux » peut avoir un réel pouvoir explicatif (voir également le modèle géocentrique du Système Solaire de Ptolémée). On remarquera que pendant longtemps – et en Occident bien au delà que chez les Arabes – les savants ne firent pas une distinction claire entre le mécanisme de la vision et la nature de la lumière.

Empédocle avait développé un modèle identique où le feu jaillissant de l'intérieur des yeux interagit avec celui en provenance des objets extérieurs. Le résultat est transmis à l'âme qui interprète alors cette « vision ».

Leucippe d'Elée et les atomistes (IV^e siècle AvJC) pensaient que les êtres et objets sont constitués de particules indivisibles qui vibrent : les atomes. Ces derniers sont capables d'émettre des « rayons » et, lorsqu'ils sont à la surface de l'objet, ces « rayons » se propagent en conservant la forme dont ils sont issus en diminuant régulièrement de taille jusqu'à notre œil : ce sont les **simulacres** ou **eidolas** (εἰδωλον, en grec, signifie fantôme). **Démocrite**, puis **Lucrèce** (auteur d'une Optique) plus tard, défendirent des idées de même nature.

Aristote (384 / 322 AvJC) combat farouchement l'hypothèse des quid. Pour lui, le fait que, dans l'obscurité, nous ne puissions pas voir est la preuve de son caractère erroné. Il postule que l'objet est l'émetteur et qu'il « excite » le milieu intermédiaire avant que cette stimulation parvienne jusqu'à l'œil. Il en déduit donc que la lumière ne peut pas se propager en l'absence d'air.

²⁴ Le nom latinisé de cet auteur était Algorizmi qui donnera un peu plus tard notre mot algorithme.

Ibn al-Haytham est le plus grand savant arabe dans ce domaine. Né à Bassorah, en Irak, en 965 il aura l'essentiel de son activité au Caire où il meurt vers 1040. Ses travaux les plus connus, qui portèrent principalement sur la vue et l'optique géométrique, sont disponibles dans son ouvrage « *Discours sur la lumière* » (Kitâb al-manâzir). Dans ce domaine de l'optique il s'appuie sur ses prédécesseurs arabes qui ont déjà obtenus des résultats allant au delà de ce que les Grecs avaient défriché. Parmi ceux-ci on rencontre en premier **al-Kindî**²⁵ (vers 760 / 866), déjà cité pour ses travaux en mathématiques. Il traduit les ouvrages d'Euclide et défend la théorie des rayons visuels. Il s'appuie sur l'exemple du cercle vu par la tranche mentionné par Euclide. Si ceux-ci envoyaient de lui une image fidèle, il apparaîtrait comme un cercle et non tel qu'il est perçu, à savoir un segment de droite. Cette « illusion » trouve une interprétation dans la théorie des rayons visuels par un effet de projection. Al-Kindî enrichit les conceptions d'Euclide. Il adapte le cône visuel continu de Ptolémée en discrétisant la surface de l'œil : chaque point de sa surface est associé au sommet d'un cône visuel. Il réalise une discrétisation analogue d'une source lumineuse. al-Kindî dote les rayons lumineux d'un élargissement transversal et crée une géométrie optique des *faisceaux* lumineux.

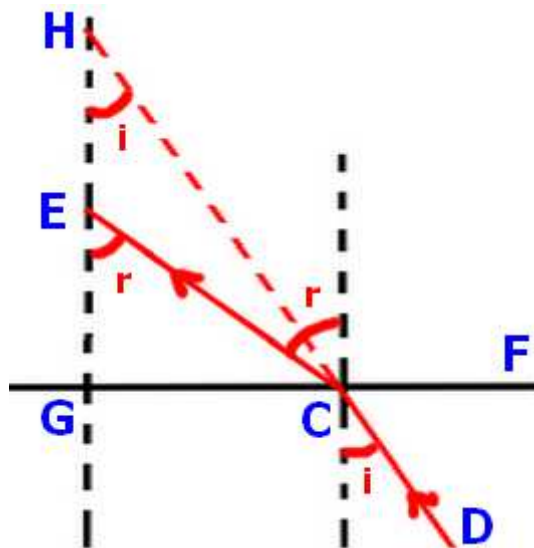
On trouve ensuite les travaux du mathématicien **Ibn Sahl** (vers 940 / vers 1000) qui n'ont été découverts que récemment et de manière incomplète²⁶. Sa période d'activité est située vers 980. Ibn Sahl consacre ses travaux d'optique à un sujet très prisé : la détermination de la forme des miroirs ardents d'Archimède, qui aurait incendié à distance par ce moyen la flotte romaine assiégeant Syracuse. Ibn Sahl utilise ses connaissances sur les coniques pour calculer, dans différentes configurations, quelle forme donner aux miroirs. Dans son ouvrage « *Sur les instruments ardents* » il ne se limite pas à une étude des dispositifs par réflexion mais étudie les foyers ardents des systèmes par réfraction, lorsque la lumière traverse les milieux transparents. Il fait l'étude de lentilles plan-convexe et biconvexe, et s'intéresse au problème de la détermination de la forme à donner à une lentille pour que la lumière converge en un point, suivant ses conditions d'utilisation, problème qui intéressera René Descartes six siècles plus tard. Ses constructions géométriques l'amènent à définir une propriété de la réfraction qui n'était pas connue antérieurement et qui aurait pu constituer la première formulation de la loi des sinus (lois de la réfraction). A la base de tous les raisonnements d'Ibn Sahl se trouve le schéma page suivante.

La droite GF constitue la séparation entre deux milieux : « cristal » au dessous, air au dessus. DC est un rayon lumineux incident qui se réfracte selon CE dans l'air. La perpendiculaire à GF passant par E coupe le prolongement de DC en H.

²⁵ Il était irakien et passa la majeure partie de sa vie à Bagdad.

²⁶ Ces documents de découverte récente ont été étudiés essentiellement par Roshdi Rashed (Université Paris VII).

Pour Ibn Sahl le rapport CE / CH est constant pour un « cristal » donné quelque soit la valeur de l'angle d'incidence. A t-il réalisé des expériences avec mesure ? Son ouvrage – trouvé à l'état incomplet, rappelons le – ne le précise pas. Nous pouvons écrire la relation suivante :



$$\frac{CE}{CH} = \frac{CE}{CG} \times \frac{CG}{CH} = \frac{1}{\sin(r)} \times \sin(i) = \frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

Or nous savons que ce rapport, qui vaut $n = n_{\text{air}}/n_{\text{verre}}$, est effectivement une constante du dioptre. L'affirmation de Ibn Sahl est donc équivalente à la loi de Snell – Descartes !

A l'aide de cette propriété et de ses connaissances relatives aux coniques Ibn Sahl va rechercher la forme des dioptres permettant de concentrer de la meilleure façon les rayons lumineux pour en faire des « dispositifs ardents ».

Dans le prolongement des travaux présentés ci dessus, Ibn al-Haytham va considérablement faire avancer les connaissances comme on peut le suivre dans son ouvrage monumental intitulé « *Traité d'optique* », composé de 7 livres, et complété plus tard par son « *Discours sur la lumière* ». Son contenu est tout à fait novateur sur plusieurs points. Tout d'abord il s'appuie sur les résultats de nombreuses expériences : une telle pratique, qui, aujourd'hui, nous est familière, est au X^e / XI^e siècle peu répandue. Il faudra attendre le XVII^e siècle en Europe pour que Galilée renoue avec cette nouvelle approche. Ensuite il présente des modèles de la lumière et de la vision qui s'opposent à ceux qui étaient jusqu'alors admis.

A la suite des travaux antérieurs déjà présentés, auxquels il s'oppose sur de nombreux points, Ibn al-Haytham construit une nouvelle théorie de la lumière et de sa propagation en s'appuyant sur ses expériences, méthode qu'utilisaient très peu les Grecs²⁷. Il suit les atomistes en distinguant clairement un émetteur, un récepteur et un agent de propagation mais va beaucoup plus loin dans ses conclusions. Grâce à une analyse pertinente des observations courantes, il est amené à rejeter aussi bien les simulacres que les quid. La révolution qu'il va initier sera de donner à la lumière une véritable autonomie en créant la notion de rayon lumineux qui s'oppose à celle utilisée jusque là de rayon visuel.

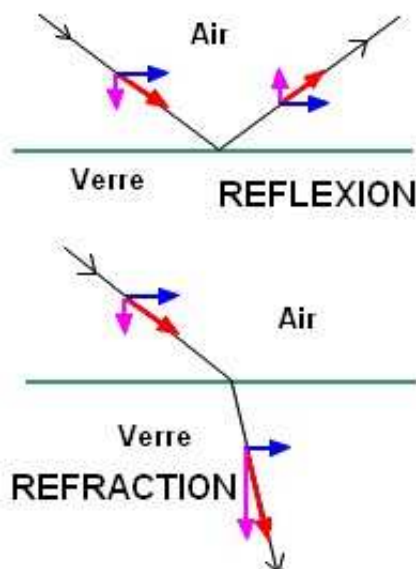
Pour comprendre le mécanisme de la vision, Ibn al-Haytham reprend le modèle de l'œil développé par Galien et lui applique les conclusions des

²⁷ Ptolémée a cependant réalisé des expériences sur la réfraction en mesurant pour différentes interfaces (eau/verre, air/verre, air/eau) l'angle de réfraction r en fonction de celui d'incidence i . Ayant remarqué une dépendance non linéaire il rechercha une loi de la forme $r = a.i - b.i^2$, n'imaginant pas une loi autre que polynomiale.

travaux précédents : les différents points de l'objet émettent un rayon lumineux qui, après avoir traversé les différentes parties de l'œil, forme une image. Nous avons ici la différenciation des deux branches modernes de l'optique : l'optique physique et l'optique physiologique. Il est le premier à définir la composition de l'œil, à illustrer ses constituants et à leur donner les noms que les Occidentaux ont traduit dans leurs langues respectives, et qui sont encore en usage de nos jours, tels que *Retina*, *Cornea*, *Humour Vitreous* et *Humour Aqueous*. Il commettra cependant l'erreur de penser que l'image se forme à l'entrée de l'œil car au delà du cristallin - lentille convergente - elle est renversée ce qui ne correspond pas à ce que l'on pense être la seule vérité possible²⁸ : l'image ne peut être que droite sur la rétine. Il a laissé également des thèses sur l'agrandissement des lentilles qui ont permis la mise au point des verres correctifs pour les yeux.

Le savant arabe poursuit son travail en analysant la réflexion et la réfraction. Contrairement à Ibn Al Sahl qui travaillait plus en mathématicien qu'en physicien, Ibn al-Haytham va émettre des hypothèses sur la manière dont se propage la lumière. On peut lire dans la traduction latine²⁹ de son principal ouvrage que « *les lumières qui se propagent à travers les corps transparents se propagent par un mouvement très rapide, inappréciable à cause de sa rapidité. Pourtant les mouvements dans les corps minces, c'est à dire ceux qui sont diaphanes, sont plus rapides que leur mouvement dans les corps épais, c'est à dire ceux qui sont moins diaphanes.* » Le changement de vitesse en fonction

du milieu de propagation est donc la cause du changement de direction.



Pour mieux expliquer cette « rupture » dans la propagation, il introduit la décomposition de la vitesse de la lumière en deux parties : une composante parallèle au plan séparant les deux milieux et une composante perpendiculaire. La première n'est pas changée à l'interface mais la seconde est modifiée (augmentée ou diminuée) par une réfraction et inversée par une réflexion. Il faudra attendre six siècles en Occident avant de voir apparaître de telles idées ! Mais ce raisonnement – comme celui de Descartes dans sa dioptrique de 1637 – basé sur une

analogie mécanique pose cependant une question : si la composante parallèle à l'interface reste constante et la loi des sinus (ou celle de Ptolémée adoptée par Ibn al-Haytham et numériquement proche) vraie la vitesse de la lumière dans le verre doit être plus grande que dans l'air, ce

²⁸ Rappelons que l'image se forme bien inversée au fond de l'œil, sur la rétine, et que c'est le cerveau qui opère le retournement.

²⁹ Edition Frédéric Risner – 1572. Une édition antérieure de moindre qualité était parue en Italie au XII^e siècle.

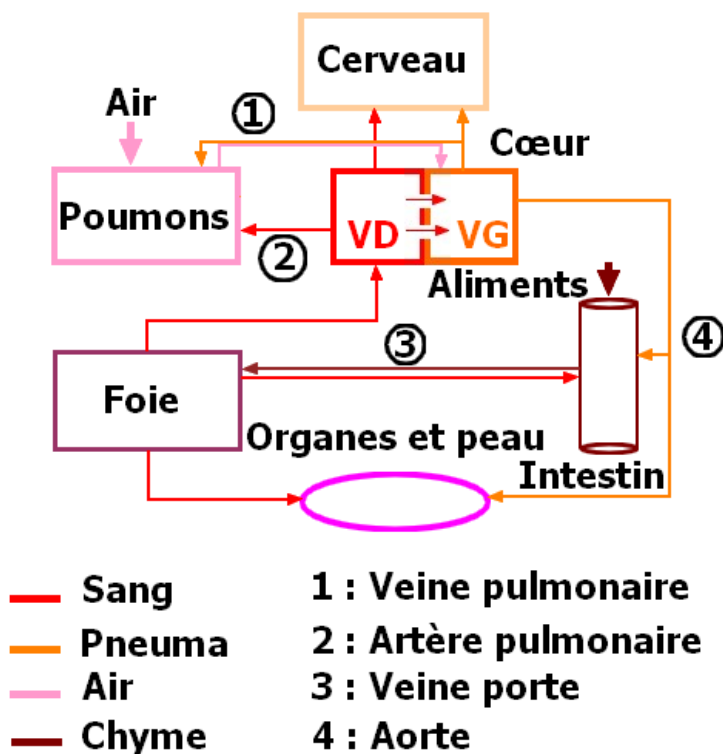
qui va à l'encontre de ce qu'écrivait Ibn al-Haytham et que l'on rapporte un peu plus haut. Cette conclusion choque son intuition physique et il laisse à ses successeurs le soin de résoudre ce paradoxe.

Comme le dit Vasco Ronchi dans son ouvrage « *Histoire de lumière* » « *on sent dans cette lumière d'Alhazen des éléments qui nous semblent très modernes*³⁰ ». Malheureusement il faudra attendre plusieurs siècles en Occident pour que ces travaux soient repris ou plus exactement pillés puisqu'un auteur nommé Vittellone ou Witelo fera paraître en 1271 en Italie un traité reprenant point par point celui de Ibn al-Haytham, sans jamais le citer et, quelquefois, sans avoir bien compris le grand savant arabe.

On peut également regretter que Ibn al-Haytham n'ait pas eu de successeurs dignes de son œuvre en pays d'Islam. Mais il est vrai qu'il vécut durant la partie « tardive » de l'âge d'or de la physique arabe et les progrès postérieurs dans cette discipline furent modestes.

On s'est attardé ici sur la une partie optique de l'œuvre de ce « Newton » arabe mais il faut rappeler qu'il fut aussi mathématicien, astronome, philosophe.

4. Ibn an-Nafis³¹



On a déjà rencontré ce savant dans la partie consacrée à la médecine. Dans ce paragraphe nous allons développer sa grande découverte relative à la circulation pulmonaire.

C'est la théorie de Galien qui faisait à cette époque autorité. Pour ce dernier on ne peut d'ailleurs pas parler de circulation puisqu'il pensait que le sang était en permanence fabriqué par le foie et détruit dans la transpiration. Son modèle s'appuyait sur un mélange d'observations plus ou moins cohérentes et de préceptes transmis depuis Hippocrate,

³⁰ Ibn Al-Haytham a donc introduit deux concepts très modernes : la vitesse de la lumière est finie et on peut la décomposer en deux parties respectivement parallèle et perpendiculaire au dioptré de séparation entre les deux milieux.

³¹ Ce paragraphe s'inspire essentiellement du chapitre II intitulé « la circulation pulmonaire » de l'ouvrage « Les découvertes en pays d'Islam » sous la direction de Ahmed Djebbar aux éditions « Le Pommier ».

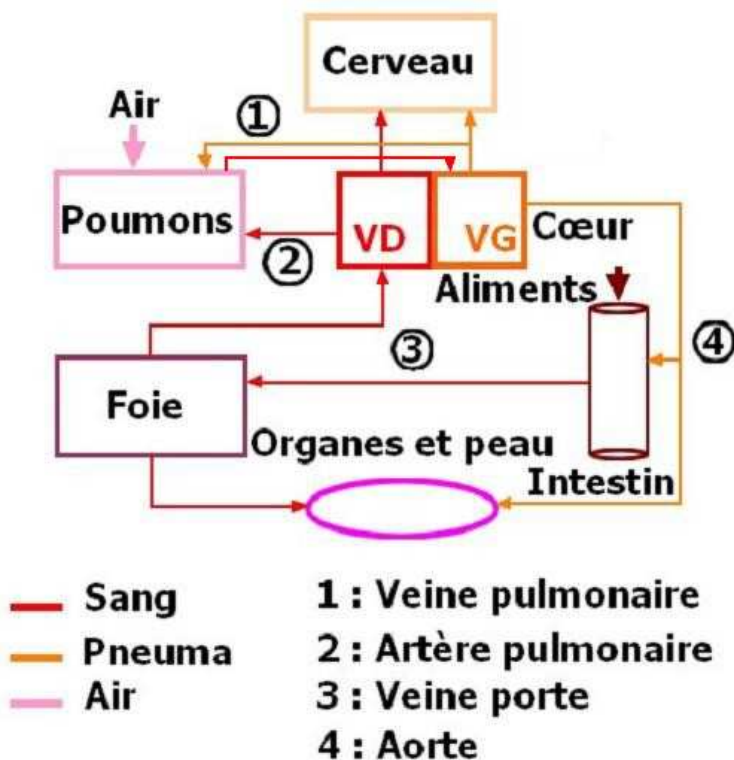
dont la théorie des humeurs. Un des principes fondamentaux de la conception de Galien, en rapport avec la « circulation sanguine », était la conviction en l'existence d'un principe, le **pneuma** (souffle), déjà proposé par Aristote. Pour Galien, le pneuma était le substrat de la vie. Il était constitué de trois types de souffle : le souffle animal ayant son siège dans le cerveau, le souffle vital résident dans le cœur et le souffle naturel se trouvant dans le foie qui est considéré comme un échangeur capital.

A partir de ces bases il propose un déroulement en plusieurs étapes. Tout d'abord les produits de la digestion en provenance de l'estomac et de l'intestin suivent la veine porte pour parvenir au foie où ils servent à fabriquer du sang, grâce à l'action du souffle naturel. Depuis le foie le sang est conduit, d'une part aux différents organes – y compris à l'intestin dans la veine porte fonctionnant ici à double sens - et, d'autre part, au ventricule droit (VD) par la veine cave. A partir de là, une fraction est envoyée aux poumons dans la « veine artérielle » (artère pulmonaire) pour les nourrir et le reste passe dans le ventricule gauche (VG) où Galien voit le siège de la « chaleur innée ». Là, le sang « réchauffé » est mélangé avec l'air en provenance des poumons par « l'artère veineuse » (veine pulmonaire) pour produire le pneuma sous sa forme de souffle vital qui est alors transmis à tous les organes. Le cerveau reçoit d'une part le sang par le système veineux et d'autre part le pneuma par le système artériel. Dans le cerveau est alors produit le souffle animal qui est redistribué à tous les organes à travers les nerfs.

On a donc ici un système ouvert avec deux réseaux : le premier est le réseau veineux dirigé par le foie et emprunté par un sang lourd et épais pour « nourrir » les différents organes, le second est le réseau artériel centré sur le cœur et parcouru par un sang « ténu et subtil » transportant le pneuma vital.

L'explication de Galien est reprise, avec quelques modifications, par Ibn Sinâ (Avicenne) qui va faire l'objet d'une « critique constructive » de la part d'Ibn an-Nafis. Ce dernier écrit, dans son « *Commentaire anatomique du canon d'Ibn Sinâ* », à propos de la circulation pulmonaire : « *Quand le sang a été raffiné dans le ventricule droit, il lui faut passer dans la cavité gauche où se forment le pneuma. Cependant il n'existe aucun point de passage entre ces deux cavités. À ce niveau, la substance du cœur est particulièrement solide et il n'existe ni passage visible, ni passage invisible pouvant permettre le transit de ce sang comme l'a cru Galien. Bien au contraire, la substance est épaisse et il n'y a pas de pores perméables. Donc, ce sang, après avoir été raffiné, doit nécessairement passer dans la veine artérielle, aller ainsi jusqu'au poumon, se répandre dans sa substance et s'y mélanger avec l'air pour que sa portion la plus subtile soit purifiée et puisse passer dans l'artère veineuse pour arriver dans la cavité gauche du cœur, devenu apte à former les esprits vitaux.* »

Il écrit encore un peu plus loin : « *Il n'y a point de passage entre les deux ventricules. La cloison entre les deux ventricules est plus épaisse que dans toutes les autres parties du cœur, et cela afin qu'il ne puisse y avoir interpénétration et perte du sang ou des esprits. L'opinion de celui qui prétend que cette partie est très poreuse est donc totalement fautive. Ce qui l'a induit en erreur est son opinion préconçue, à savoir que le sang qui se trouve dans le ventricule gauche serait passé par ces porosités et cela est faux. Le passage du sang dans le ventricule gauche se fait par les poumons après que ce sang a été chauffé et remonté du ventricule droit, comme nous l'avons déjà dit plus haut.* ».



La théorie de Ibn an-Nafis n'est pas encore conforme à ce que nous savons aujourd'hui. Il continue à adopter la théorie des humeurs et le principe vitaliste de pneuma. On le voit en observant que la circulation veineuse et artérielle entre le cœur et le cerveau se fait dans le même sens. Il n'a donc pas découvert tout ce qui concernait la circulation sanguine mais son explication des liens entre le cœur et les poumons est correcte ainsi que le rôle joué par ces derniers dans l'organisme humain.

Là encore, cet exemple de la théorie de la circulation sanguine par Ibn an-Nafis ne peut donc que s'opposer au reproche fait aux Arabes de n'être que des compilateurs. On constate que même les savants arabes se sont corrigés les uns après les autres. Cette nécessité est explicitement exprimée par Averroès. Il précise, contrairement à ce que prênaient les théologiens, que la science ne peut être achevée à un moment ou à un autre. Dans le même sens, il signale l'importance des sciences naturelles (fondamentales) dans la compréhension de la médecine.

QUELQUES GRANDS NOMS DES SCIENCES ARABES

Nom	Nom latin	Domaines scientifiques	Pays	Dates
Jaber ibn Hâyyam	Geber	Chimie	Irak	721 / 814
Al-Khwârizmî	Algoritmi	Mathématiques / Astronomie	Irak	780 / 850
Al-Tabari		Médecine	Irak	800 / 861
Sanad Ibn Alî		Mathématiques / Astronomie	Irak	Mort >864
Banû Mûsâ (frères)		Mathématiques / Mécanique	Irak	IX ^o siècle
Al-Kindî	Alchindius	Mathématiques / Astronomie	Perse	801 / 873
Al-Razî	Rhazes	Médecine / Chimie	Perse	865 / 925
Al-Battânî	Albatenius	Astronomie / Mathématiques	Syrie	855 / 929
Abû Kâmil		Mathématique	Egypte	850 / 930
Ibn Sinân		Mathématiques / Astronomie	Irak	908 / 946
Al-Fârâbî	Alpharabius	Philosophie / Mathématiques	Syrie	872 / 950
Ibn al-Jazzar		Médecine	Tunisie	898 / 980
As-Sûfî		Astronomie	Perse	903 / 986
Al-Majrîtî		Astronomie	Andalous	X ^o siècle
Ibn Sahl		Mathématiques / Physique	Irak	940 / 1000
Ibn Yunus		Mathématiques / Astronomie	Egypte	950 / 1009
Al-Karajî		Mathématiques / Technologie	Irak	953 / 1029
Ibn Sînâ	Avicenne	Médecine / Physique	Perse	980 / 1037
Ibn al-Haytham	Alhazen	Physique / Math / Astro	Irak / Egypte	965 / 1039
Al-Bîrûnî		Mathématiques / Astronomie	Irak / Inde	973 / 1048
Al-Zarqalî	Arzachel	Mathématiques / Astro / Géo	Andalous	1029 / 1087
Umar al-Khayyam		Mathématiques	Irak / Perse	1045 / 1131
Al-Khazînî		Physique / Astronomie	Perse	Mort > 1130
Ibn Zûhr	Avenzoar	Médecine	Andalous	1091 / 1162
Ibn Tofail		Médecine / Astronomie	Andalous	1100 / 1185
Ibn Rushd	Averroes	Médecine	Andalous	1126 / 1198
Al-Jazarî		Technologie	Irak	1136 / 1206
Al-Bitrûjî	Alpéradius	Astronomie	Andalous	Mort = 1204
Ibn al-Baytar		Botanique / Pharmacologie	Andalous	1197 / 1248
At-Tûsî		Astronomie / Mathématiques	Perse / Irak	1201 / 1274
Ibn al-Nafis		Médecine	Egypte	1210 / 1288
Al-Chirâzî		Astronomie / Mathématiques	Perse / Egypte	1236 / 1311
Ibn al-Banna		Mathématiques / Astronomie	Andalous	1256 / 1321
Ibn al-Chater		Mathématiques / Astronomie	Syrie	1304 / 1375
Al-Kashî		Astronomie / Mathématiques	Perse	1350 / 1435
Ulugh Bey		Astronomie	Perse	1393 / 1449

PETITE BIBLIOGRAPHIE

« *Une histoire de la science arabe : introduction à la connaissance du patrimoine scientifique des pays de l'Islam : entretiens avec Jean Rosmorduc* » / A. Djebbar, J. Rosmorduc - éd. du Seuil, 2001. (384 p.)

« *Les sciences dans l'islam : Entre le VIIe et le XIIe siècle, l'âge d'or du monde islamique* » / S. Azar - Editions Paris-Méditerranée, 2005. (183 p.)

« *Histoire des sciences arabes : astronomie, théorique et appliquée* » - T1 / R. Rashed - Seuil, 1997. (380 p.)

« *Histoire des sciences arabes : mathématiques et physique* » - T2 / R. Rashed - Seuil, 1997. (434 p.)

« *Histoire des sciences arabes : Technologie, alchimie et sciences de la vie* » - T3 / R. Rashed – R. Morelon - éd. du Seuil, 1997. (321 p.)

« *Les découvertes en pays d'Islam* » / A. Djebbar – C. de Hosson – D. Jasmin / La Main à la pâte - Ed. le Pommier, 2009. (191 p.)

« *L'âge d'or des sciences arabes* » / A. Djebbar - Ed. le Pommier : Cité des sciences et de l'industrie, 2005 (187 p.)

« *Avicenne ou la Route d'Ispahan* » / G. Sinoué - Denoël, 1989. (382 p.)

« *L'islam et la raison : anthologie de textes juridiques, théologiques et polémiques* ». Précédée de « *Pour Averroès* » / Averroès – A. de Libera – M. Geoffroy - Flammarion, 2000. (218 p.)

« *Averroès* » / A. Benmakhlouf - Perrin, 2009. 1 vol. (242 p.)

« *Al-Biruni, un génie de l'an mil* » / L. Herz - Ed. du Cygne, 2007 . (102 p.)