Renaissance scientifique en Europe

par Éliane Cousquer

Table des matières

1 Le Moyen Âge : contexte intellectuel

Nous parlerons ici de l'évolution des conceptions au Moyen Âge dans la partie de l'Europe autrefois dominée par les Romains. L'Europe, après les invasions de tribus venues de l'Est traverse une phase de stagnation, du 5-ième au 12-ième siècle. Elle se convertit progressivement au catholicisme et ne porte intérêt qu'au salut des âmes. Les écrits des Pères de l'Église sont considérés comme la source de toutes les connaissances. Les seules écoles existantes sont rattachées aux monastères.

Les connaissances mathématiques sont celles des Romains, très rudimentaires et en deçà des connaissances des Grecs. Elles se sont limitées à des techniques calculatoires et à quelques calculs d'aires et volumes. Le système de notation des nombres des Romains est très proche de celui des anciens Grecs et inadapté au calcul écrit. Les calculs pratiques se font sur abaque comme chez les Grecs.

Cependant, vers la fin du Moyen Âge, les villes se développent, et les connaissances techniques anciennes sont utilisées par des artisans et des techniciens. À partir de la fin du 11-ième siècle [1], des universités formellement indépendantes de l'Église se créent à Bologne (1088), Paris, Salerne, Oxford, Cambridge, etc. Les

[1] sur la pensée scientifique médiévale, lire *La physique au moyen Âge, 6-ième au 15-ième siècle* de Edward *Grant*.

programmes d'études comportent le trivium, c'est à dire la rhétorique, la dialectique, la grammaire et pour les études scientifiques, le quadrivium, c'est à dire de la géométrie [2], de l'arithmétique [3], de la musique [4] et de l'astronomie [5]. Le calcul se fait d'après l'usage de l'abaque par les Romains et se limite aux quatre opérations et à l'usage de quelques fractions. Les irrationnels ne sont pas mentionnés. La division est considérée comme difficile et relevant d'un niveau universitaire [6]. L'utilité sociale des études mathématiques est d'entraîner les étudiants au raisonnement, en particulier pour la théologie [7], de permettre l'établissement du calendrier et de prévoir les fêtes. Quant à l'astrologie, elle est indispensable pour les présages et la formation des futurs médecins.

Une première renaissance des œuvres grecques à partir du 12-ième siècle, se fait à la suite des croisades et des voyages de savants dans les centres intellectuels arabes d'Espagne et de Sicile en particulier [8]. Les œuvres d'*Euclide*, de *Ptolémée*, de *Théodose*, d'*Aristote*, de *Héron* et quelques textes d'*Archimède* sont traduites, souvent au mot à mot. Les œuvres du mathématicien arabe *Al Khwarismi* font connaître en Europe les chiffres indiens et les travaux d'algèbre arabes. À partir de cette époque, une querelle oppose les abacistes, adeptes du calcul sur abaque et de l'usage des chiffres romains, aux algoristes [9], partisans du calcul écrit et de l'usage des chiffres indiens ou chiffres arabes [10].

Bien que liée toujours à des débats théologiques [11], les «disputes» portent aussi sur des sujets intéressants du point de vue scientifique, par exemple l'infini. L'infini, maintenant lié aux attributs divins, reçoit une connotation positive. Les historiens des sciences ont tendance à réévaluer de façon plus nuancée cette période vue très négativement depuis la Renaissance. Cependant une nouvelle scolastique se développe : de 1100 à 1400, l'autorité des Pères de l'Église et celle des travaux d'*Aristote* [12] bloquent en partie le développement intellectuel. La fin de cette période est marquée par la peste noire du 14–ième siècle qui fait disparaître un tiers

[2] d'après un résumé fait par *Boèce* des premiers livres des *Éléments* d'*Euclide*, avec des définitions et des énoncés de théorèmes sans preuve.

[3] à partir du livre de Nicomaque et de quelques traductions d'*Aristote*.

[4] d'après *Euclide*, *Ptolémée* et *Nicomaque*.

[5] d'après *Ptolémée*.

[6] *Ribemont*, *Le moyen âge et la symbolique des nombres* La Recherche spécial Nombres.

[7] *Benoit*, *La théologie au 13-ième siècle, une science pas comme les autres* dans *Serres Éléments d'histoire des sciences*.

[8] voir Les cahiers de Science & Vie, 1000 ans de sciences, Le Moyen Âge, comment les sciences s'installent en Europe, numéro 43, février 1998.

[9] déformation du nom d'*Al Khwarismi*.

[10] *Allart*, *L'occident médiéval à l'heure indo-arabe* dans *Comptes et légendes* Courrier de l'Unesco et *La révolution arithmétique au moyen âge* La Recherche spécial Nombres.

[11] *Jerphagnon*, *Histoire de la pensée, philosophies et philosophes,* Tome 1 Antiquité et Moyen Âge.

[12] cf. le roman de Humberto *Ecco*, *Le nom de la rose*.

de la population européenne.

2 Premiers progrès scientifiques

Léonard de Pise dit *Fibonacci* (1170–1250) est le mathématicien le plus créateur de cette époque. Il a étudié auprès des Arabes au cours de ses nombreux voyages. En 1202 il publie le *Liber Abaci* qui fait connaître les calculs arabes et indiens sur les entiers, les fractions, les racines carrées et cubiques. En 1225, le *Liber Quadratorum* développe l'algèbre des équations déterminées du premier et du deuxième degré et quelques équations du troisième degré. En 1220, il publie *Practica Geometriae* qui présente la géométrie grecque et la trigonométrie. À l'époque *Fibonacci* pense que l'équation générale du troisième degré ne peut être résolue algébriquement. Il montre que les solutions d'une certaine équation du troisième degré :

$$x^3 + 2x^2 + 10x = 20$$

ne sont pas constructibles à la règle et au compas. Il s'agit là de la première indication dans l'histoire de l'existence d'autres irrationnelles que celles classées par *Euclide* dans le livre 10 des *Éléments*.

Oresme [13] (1323–1382) introduit dans le livre *Algorismus Proportionum* des exposants fractionnaires qui ne seront pas utilisés avant le 16-ième siècle. Il est le premier à penser à un taux de variation quantitativement et à introduire une représentation graphique du mouvement avec le temps suivant une droite horizontalement et la vitesse verticalement.

Oresme est le premier mathématicien à développer les calculs sur les rapports dits géométriques, ce qui est une étape importante sur le long chemin qui amènera à considérer ces rapports comme des nombres. Dans le livre *De proportionibus proportionum*, *Oresme* développe les opérations sur les rapports : ajouter, soustraire, diminuer des rapports ; composer des rapports [14] ; faire un rapport de rapports, voir s'il est ou non rationnel ; entre deux rapports, insérer une moyenne. Les rapports se comportent comme des grandeurs continues ; entre deux rapports, il est possible d'insérer autant de moyennes que l'on voudra. Les rapports ont donc des propriétés opératoires semblables à celles des nombres.

En physique, des progrès sont faits en optique et *Buridan* développe sa théorie de l'*impetus* qui change la conception traditionnelle du mouvement. On commence à considérer l'expérience comme source de connaissance et l'on reconnaît la valeur des mathématiques pour appréhender les phénomènes quantitativement au lieu de discourir sur les causes premières.

[13] Cahiers de Science & Vie, 1000 ans de sciences...
[14] les multiplier.

3 La Renaissance (1400–1600)

Il n'est pas question de développer ici une analyse historique, mais simplement de rappeler quelques points importants. Le développement d'une classe d'artisans et de commerçants libres dans les villes favorise le développement du commerce et des voyages et crée une ouverture intellectuelle et un renouveau d'intérêt pour les questions techniques et financières [15]. Le mouvement de la réforme introduit une contestation de l'Église et brise le carcan scolastique.

L'Italie a joué un rôle central dans le réveil intellectuel et culturel de l'Europe. Des savants et des missions sont envoyés dans l'empire byzantin pour étudier le grec. Après la chute de Constantinople, des érudits grecs se réfugient en Italie en apportant de nombreux manuscrits. L'usage du papier depuis le 12-ième siècle, le développement de l'imprimerie depuis le milieu du 15-ième, favorisent la diffusion des œuvres grecques. La première édition imprimée des *Éléments d'Euclide* paraît en latin à Venise en 1482. Les sections coniques d'*Apollonius*, les œuvres de *Pappus*, *Diophante*, de *Platon* sont traduites et publiées.

L'intérêt pour le pythagorisme et les œuvres grecques amènent à s'intéresser aux lois quantitatives des phénomènes. La religion est conciliée avec la recherche scientifique en considérant que Dieu a établi la nature suivant des lois mathématiques quantitatives et que le but de l'activité scientifique est de découvrir le plan de l'univers que Dieu a utilisé et donc de découvrir ces lois.

L'usage du latin est un obstacle à la diffusion du savoir auprès des usagers potentiels des connaissances techniques et scientifiques. On assiste donc au début du 16-ième siècle à la traduction des œuvres grecques en langues vernaculaires. Ainsi par exemple, les *Éléments d'Euclide* sont traduits par *Tartaglia* en 1543 en italien. *Descartes* écrit ses œuvres en français. La cherté des livres est également un obstacle et de nombreuses bibliothèques sont créées à partir du 16-ième et du 17-ième siècle. Cependant les universités restent pour l'essentiel en dehors de ce mouvement et sclérosées.

Les mathématiciens sont aussi des humanistes au savoir encyclopédique, par exemple l'algébriste *Cardan* né à Pavie en 1501. Souvent des résultats sont développés sans beaucoup de méthode, justes ou faux selon les cas. Le philosophe *Bacon* critique la scolastique mais prône que des progrès dans les sciences nécessitent des changements de méthodes. Les progrès techniques entraînent un développement de l'empirisme.

[15] *Benoit, Calcul, algèbre et marchandises* dans *Serres Éléments d'histoire des sciences*.

4 Contributions scientifiques de la Renaissance

Cette période, après la redécouverte des sciences de l'Antiquité et des sciences arabes, est celle d'un développement créateur, qui voit le développement de nouvelles branches du savoir. Les européens, en même temps qu'ils redécouvrent la science grecque et arabe en particulier, sont aussi les héritiers des problèmes et des blocages que nous avons relevés. Le mouvement scientifique n'est pas guidé par les études théoriques en mathématiques, mais par la découverte des lois de la nature et leurs applications pratiques. Dans le développement des conceptions sur les nombres en Grèce, nous avons vu coexister l'axiomatique des Éléments d'Euclide avec une pratique des calculs dénommée logistique et non intégrée dans ce corpus, jusqu'aux grands traités d'*Archimède* où, sans qu'on ait aucune trace des réflexions et débats qui ont dû exister sur ce thème, les fractions enrichissent le corpus des nombres. La période qui débute en Europe est celle d'une explosion de la créativité mathématique dans de multiples domaines. Par contre le cadre de référence théorique, comme modèle de rigueur est celui de l'axiomatique d'*Euclide*, alors que les nouvelles méthodes et les nouveaux objets ne peuvent pas être pensés dans ce cadre.

La perspective

Dès la période de la Renaissance, la perspective [16] en donne un exemple. Des peintres développent la perspective qui apportera de nouveaux points de vue en géométrie. Les artisans en seront *Brunelleschi* (1377–1446), *Alberti* (1404–1472), avec en particulier son traité *Della pittura* de 1435, *Piero delle Franscesca* (1410–1492) et sans doute le plus connu *Dürer* [17] (1471–1528). Alors que dans les Éléments d'Euclide tout objet était d'abord défini, son existence démontrée avant qu'une propriété soit établie à son sujet, les mathématiciens utilisent des objets impossibles, à savoir les points à l'infini, c'est-à-dire les points d'intersection de droites parallèles, qui, par définition, selon le canon euclidien, sont des droites coplanaires qui n'ont aucun point commun [18].

La géométrie est l'objet de nombreux travaux sur les constructions à la règle et au compas, l'étude des centres de gravité des corps, l'étude des projections. L'établissement des cartes de géographie est une motivation importante. On peut ici citer *Mercator* (1512–1594). En trigonométrie, on construit des tables de plus en plus précises, et on développe la trigonométrie sphérique. En algèbre, après *Pacioli* dont le livre *Summa* de 1494 ne contient guère plus que celui de *Léonard*

[16] Jean Pierre *Le Goff* dans *Repères-IREM* numéro 7 et *Comar* *La perspective en jeu.*
[17] *Dürer, Géométrie.*
[18] *Bkouche, La naissance du projectif.*

de Pise de 1202, *Cardan*[19] publie son *Ars Magna*[20] en 1545. Là aussi les mathématiciens vont créer de nouveaux objets mathématiques qu'ils dénommeront eux-mêmes nombres impossibles. Cette période est celle d'une révolution en astronomie[21] avec le rejet par *Copernic* en 1543 du système de *Ptolémée*, le travail d'observation de Tycho *Brahé*, les œuvres[22] de *Képler*[23] et de *Galilée*[24].

5 Références

BACON. The origin of the infinitesimal calculus. Dover, 1987.
BEAUJOUAN. Le moyen âge, héritage, originalité. Dans Le matin des mathématiciens, par NOËL. Belin, 1990.
BENOIT. La théologie au 13e siècle. Calcul, Algèbre et marchandises. dans SERRES Éléments d'histoire des sciences. Bordas 1989.
BKOUCHE. La naissance du projectif. Dans Mathématiques et philosophie de l'Antiquité à l'Âge classique, par ROSHDI RASHED. Éditions du CNRS 1991.
BOAS HALL. The scientific Renaissance, 1450, 1630. Dover, 1994.
BOYER. The history of calculus and its conceptual development. Dover, 1959.
CAHIERS DE SCIENCE & VIE. 1000 ans de sciences, Le Moyen Âge, comment les sciences s'installent en Europe. numéro 43, février 1998.
CARDAN. Ars magna or the rules of algebra. Dover 1993.
CARDAN. Ma vie. Belin 1991.
CIFOLETTI. Mathématiques et rhétorique, les algébristes parisiens avant VIÈTE. Quatrième Université d'été d'histoire des mathématiques IREM de Lille, 1994.
COHEN. Les origines de la physique moderne. Points Sciences Seuil.
COMAR. La perspective en jeu. Découvertes Gallimard.
COPERNIC. Réédition Diderot Éditeur, 1998.
DHOMBRES, DAHAN, BKOUCHE, HOUZEL, GUILLEMOT. Mathématiques au fil des âges. Gauthier Villars, Bordas, Paris, 1987.
DUMAS. Histoire de la pensée, philosophies et philosophes. Tome 2 Renaissance et siècle des lumières, Livre de poche, Tallandier, 1990.
DÜRER. Géométrie. réédition Seuil 1995.
ECCO. Le nom de la rose. Grasset, 1980.
FEYNMAN. Le mouvement des planètes autour du soleil. Diderot Éditeur, 1997.

[19] *Cardan, Ma vie*.

[20] *Cardan, Ars magna or the rules of algebra*.

[21] Arthur *Koestler, Les somnambules*, Françoise *Monnoyeur, Infini des mathématiciens, Infini des philosophes* et *Infini des philosophes et infini des astronomes*.

[22] *Kepler, Le secret du monde*.

[23] *Cartier, Kepler et la musique du monde* La recherche spécial Nombre.

[24] *Geymonat, Galilée, Maury, Galilée, le messager des étoiles* et Isabelle *Stengers, Les affaires Galilée*.

EDWARD GRANT. La physique au moyen Âge, 6-ième 15-ième siècle. Puf, 1995.
LE GOFF. La perspective en première scientifique... dans Repères-IREM, numéro 7, avril 1992.
JERPHAGNON. Histoire de la pensée, philosophies et philosophes, Tome 1 Antiquité et Moyen Âge. Livre de poche, Tallandier, 1989.
KEPLER. Le secret du monde. TEL Gallimard, 1984.
KLINE. Mathématiques, la fin des certitudes. (1980), traduction Christian Bourgois Éditeur, 1989.
KOESTLER. Les somnambules. Grasset, 1960.
KOYRÉ. Études galiléennes. Hermann 1980
KOYRÉ. Études d'histoire de la pensée scientifique. Gallimard, 1966.
MAURY. GALILÉE, le messager des étoiles. Découvertes Gallimard, 1986.
MONNOYEUR ET ALII. Infini des mathématiciens, infini des philosophes. Belin, 1992.
MONOYEUR ET ALII. Infini des philosophes, infini des astronomes. Belin, 1995.
STENGERS. Les affaires GALILÉE. Dans *Serres*, Éléments d'histoire des sciences. Bordas 1989.