Introduction

Ce volume est une des réalisations d'un projet de recherches mené, entre 2003 et 2006, dans le cadre de l'action concertée « Histoire des savoirs » du CNRS. Nous nous étions proposé d'étudier les relations qu'entretiennent certains domaines des mathématiques, en particulier la théorie des proportions, avec certains aspects de la connaissance de la nature comme les théories du continu et de l'infini, les théories du mouvement et la science des poids et des machines simples ; la période couverte allait du début du XIVe siècle jusqu'à la fin du XVIe siècle[1]. Il s'agissait de comprendre comment durant cette période se nouent des formes originales de mathématisation de phénomènes physiques, qui ne sont réductibles ni à la théorie aristotélicienne de l'abstraction, ni à une vision de la nature « écrite en langue mathématique »[2].

1. Ce projet a donné lieu à plusieurs publications : Joël Biard & Sabine Rommevaux (eds.), *Mathématiques et Théorie du mouvement (XIVe-XVIe siècles)*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2008 ; Thomas Bradwardine, *Traité sur les rapports entre les rapidités dans les mouvements*, suivi de Nicole Oresme, *Sur les rapports de rapports*, introduction, traduction et commentaires de Sabine Rommevaux, « Sagesses médiévales », Paris, Les Belles Lettres, 2010 ; édition et traduction française des *Mécaniques* de Galilée par Sophie Roux et Egidio Festa, à paraître aux éditions des Belles Lettres.

2. Galilée, dans le *Saggiatore* (*L'Essayeur*), écrit : « La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours ouvert devant nos yeux, je veux dire l'Univers, mais on ne peut le comprendre si on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit en langue mathématique. » (Traduction française de Christiane Chauviré, Paris, Les Belles Lettres, 1979, p. 141.)

La plupart des historiens des sciences s'accordent pour faire de la mathématisation de la physique une des caractéristiques principales de l'émergence de la science classique au XVII[e] siècle. Reprenons, par exemple, le début de la préface par Jacques Merleau-Ponty dans l'ouvrage de Michel Blay, *La Naissance de la mécanique analytique* :

> *On se plaît couramment à dire que l'un des éléments les plus importants de la « révolution scientifique » du Grand Siècle fut l'inauguration du projet d'une science mathématique de la nature se substituant à la physique qualitative héritée d'Aristote*[3].

D'un autre côté, des spécialistes du Moyen Âge, dont John Murdoch, expliquent que les philosophes de la nature du XIV[e] siècle révolutionnent la physique aristotélicienne en faisant un usage nouveau et important des mathématiques, par exemple dans la quantification des mouvements, dans la question de la composition du continu à partir d'indivisibles, dans la doctrine de l'intension et de la rémission des formes, etc.[4] John Murdoch remarque alors que cette application des mathématiques à l'étude de la nature conduisit à un rapprochement entre les deux disciplines :

> *Les idées et problèmes de l'infini et de la continuité étaient un terrain commun à la philosophie et aux mathématiques médiévales. En explorant ce terrain commun, les deux disciplines se rapprochèrent de manière importante, comme j'ai essayé de*

3. Michel Blay, *La Naissance de la mécanique analytique. La science du mouvement au tournant des XVII[e] et XVIII[e] siècles*, Paris, Presses universitaires de France, 1992, p. 3.

4. Voir John E. Murdoch, « *Mathesis in philosophiam scholasticam introducta*. The Rise and Development of the Application of Mathematics in Fourteenth Century Philosophy and Theology », in *Arts libéraux et philosophie au Moyen Âge,* Actes du quatrième Congrès international de philosophie médiévale, université de Montréal, Canada, 27 août – 2 septembre 1967, Paris, Vrin, 1969, p. 215-249.

> *le montrer, grâce à l'utilisation toujours croissante des* rationes mathematice *pour résoudre les problèmes qui jusqu'alors n'avaient été étudiés que du point de vue philosophique. Naturellement, la philosophie et les mathématiques allaient se rapprocher aussi par une influence produite en sens contraire : on introduisit des concepts philosophiques ou métaphysiques dans l'axiomatisation médiévale de certaines branches de la géométrie et de l'arithmétique, et même à propos de certains points particuliers de démonstrations mathématiques*[5].

Nous souhaitons revenir dans ce volume sur cette question d'une articulation entre mathématiques et philosophie naturelle, à une époque où, selon la doctrine aristotélicienne encore dominante, il devrait exister une séparation stricte entre ces disciplines, chacune devant s'appuyer sur ses propres principes et développer ses propres modes de validation. Nous verrons que si entre le XIVe et le XVIe siècles se font jour de nombreuses tentatives d'utilisation des mathématiques pour la connaissance de la nature, celle-ci ne va pas toujours de soi et l'attitude des différents auteurs étudiés est à ce sujet très contrastée, entre le refus catégorique et l'acceptation sans état d'âme. Nous examinerons par ailleurs des disciplines traditionnellement rattachées aux mathématiques, comme la musique, afin de voir comment se joue ici la prise en compte des phénomènes naturels dans des théories mathématisées. Nous dressons ainsi le tableau d'une époque de grand foisonnement, sans un arrière-plan épistémologique constitué et unique quant à la pertinence de l'usage des mathématiques pour la connaissance du monde réel.

Ces études sont aussi l'occasion de poser la question de la place et du poids des arguments mathématiques face aux arguments philosophiques ou encore logiques qui sont traditionnellement

5. Voir John E. Murdoch, *Rationes mathematice : un aspect du rapport des mathématiques et de la philosophie au Moyen Âge*, Paris, Palais de la découverte, 1962, p. 36.

avancés dans la résolution de tels ou tels problèmes, comme dans la question de la composition du continu ; il ne faut pas oublier que la logique, qui fut très développée au Moyen Âge, était considérée comme l'instrument principal de la connaissance. Par ailleurs, nous verrons si l'utilisation d'outils mathématiques change la nature même des problèmes dans lesquels ils interviennent et si elle conduit à de nouveaux questionnements ou à des développements mathématiques originaux, comme c'est le cas par exemple avec l'étude du mouvement qui poussa Thomas Bradwardine, mais surtout Nicole Oresme à mettre en place une théorie des rapports de rapports[6]. L'intrusion des mathématiques dans des domaines où elle n'avait normalement pas droit de cité pose enfin la question de la nature des objets dont traitent les philosophes de la nature dans ce nouveau cadre. Selon la théorie aristotélicienne les objets mathématiques sont abstraits des objets naturels, de sorte qu'ils ne sont pas sans lien avec le monde réel ; mais d'un autre côté, pour la plupart des médiévaux, ces objets n'existent que dans l'imagination des géomètres. Dans ce cadre, quel est le statut ontologique des objets d'une physique mathématisée ?

Les études qui composent ce volume sont regroupées en trois séries. Dans la première série, nous revenons sur la question du continu. John Murdoch, qui a longuement étudié cette question dans les traités du XIV[e] siècle[7], insiste sur la nature profondément

6. Voir l'introduction à la traduction française par Sabine Rommevaux des traités de Thomas Bradwardine et Nicole Oresme, *op. cit.*

7. Voir par exemple : John E. Murdoch, « Superposition, Congruence and Continuity in the Middle Ages », *Mélanges Alexandre Koyré*, Paris, Hermann, 1964, vol. I, p. 416-441 ; *id.*, « *Mathesis in philosophiam scholasticam introducta…* » ; *id.*, « Naissance et développement de l'atomisme au bas Moyen Âge latin », *La Science de la nature : théories et pratiques*, « Cahiers d'études médiévales » 2, Montreal, Bellarmin, 1974, p. 11-32 ; *id.*, « Thomas Bradwardine : Mathematics and Continuity in the Fourteenth Century », *in* E. Grant & John E. Murdoch (eds.), *Mathematics and its Applications to Science and*

mathématique des débats qui eurent lieu, notamment à Oxford, sur la composition du continu (un continu est-il composé d'un nombre fini ou infini d'indivisibles, ou est-il indéfiniment divisible en continus de plus en plus petits ?). Murdoch centre son analyse sur le traité *De continuo* de Thomas Bradwardine dont il met en avant les aspects mathématiques. Dans ce traité, Thomas Bradwardine se propose de réfuter les positions indivisibilistes ou atomistes de ses contemporains et il utilise pour cela des arguments mathématiques, dont certains sont repris à al-Ghazālī. Mais Edith Sylla ancre le même traité de Thomas Bradwardine dans la philosophie naturelle, voire dans la théologie[8]. Le statut du traité de Bradwardine est, de fait, difficile à cerner. Sabine Rommevaux y revient et montre que l'on a ici un bon exemple des relations complexes qu'entretiennent mathématiques et philosophie naturelle, les deux disciplines se servant mutuellement de modèle. Ceci est possible car Bradwardine considère que le continu peut être, indifféremment, l'objet d'un traitement physique ou mathématique. Aurélien Robert revient lui aussi sur l'opinion de John Murdoch, mais son étude porte sur les auteurs médiévaux qui soutiennent une théorie atomiste du continu : Gauthier Chatton, Guillaume Crathorn et Jean Wycliff. Il montre que ces derniers rejettent les arguments géométriques que l'on oppose à leurs théories, car selon eux les mathématiques ne sont pas pertinentes pour l'étude de l'objet physique qu'est le continu. Il montre aussi combien le contexte théologique dans lequel a été posée initialement la question du continu au Moyen Âge joue un rôle important chez ces auteurs ; *a contrario* ce contexte est totalement absent du traité de Bradwardine.

Natural Philosophy in the Middle Ages. Essays in Honor of M. Clagett, Cambridge, Cambridge University Press, 1987, p. 103-137.

8. Edith D. Sylla, « Thomas Bradwardine's *De continuo* and the Structure of Fourteenth-Century Learning », *in* Edith D. Sylla & Michael Mc Vaugh (eds.), *Texts and Contexts in Ancient and Medieval Science. Studies on the Occasion of John E. Murdoch's Seventieth Birthday*, Leiden-New York-Köln, Brill, 1997, p. 148-186.

Avec l'étude de Stephen Clucas sur Thomas Harriot, on aborde les débuts de la science classique. La question de l'infini – qui est liée à la question de la composition du continu – est un des enjeux de cette époque[9]. Dans son étude, Stephen Clucas revient sur la question des sources des conceptions de Thomas Harriot sur l'infini et le continu, réfutant l'opinion généralement admise selon laquelle Harriot aurait puisé dans la philosophie naturelle de Giordano Bruno. À cette occasion, il montre que Harriot est conduit à proposer une conception atomiste du continu physique et à poser l'existence d'un infini actuel dans l'univers en liaison avec ses travaux mathématiques sur le mouvement.

La deuxième série de travaux concerne la musique, au XIV^e^ siècle, période charnière où la théorie pythagoricienne fondée sur les proportions trouve ses limites avec l'*Ars nova* et l'apparition de nouvelles consonances. Jean de Murs (ou Jehan de Meur) propose alors une nouvelle théorie musicale, dont Dorit Tanay analyse les fondements mathématiques et physiques. Elle souligne les ressemblances entre la théorie de Jean de Murs et les travaux de l'école de Merton sur la quantification des qualités. Elle se demande si les théories mathématiques développées à Oxford et à Paris à cette époque ont pu être suscitées par ce nouveau contexte musical. Dans son étude, Matthieu Husson montre, quant à lui, comment l'étude de la production du son prend une importance toute particulière à la même époque, notamment dans les travaux de Jean de Boen. Ce dernier, en effet, fait une place importante à la théorie des sensations, fondant sa théorie musicale sur une comparaison entre l'ouïe et la vue. Et aussi bien Dorit Tanay que Matthieu Husson montrent que les considérations esthétiques, notamment sur l'harmonie, jouent un rôle fondamental dans la mise en place de ces nouvelles théories musicales. Finalement, ces deux études soulignent comment, à cette époque, la musique passe progressivement du domaine des mathématiques (la musique est une des compo-

9. Voir, par exemple, Michel Blay, *Les Raisons de l'infini. Du monde clos à l'univers mathématique*, Paris, Gallimard, 1993.

santes du *quadrivium*, à côté de la géométrie, de l'arithmétique et de l'astronomie) à celui des disciplines intermédiaires (*sciencia media*) entre mathématiques et physique.

La troisième série commence par deux études sur la mécanique, qui, dès l'origine, appartient au domaine des disciplines intermédiaires, étant subalternée à la fois à la géométrie et à la philosophie naturelle. L'utilisation des mathématiques en mécanique va donc de soi. Deux questions peuvent alors se poser : comment les réalités du monde extérieur sont-elles prises en compte ? quels types d'outils mathématiques sont utilisés et quelles contraintes imposent-ils dans le traitement des phénomènes ? La première question est au cœur de l'étude sur la science des poids menée par W. Roy Laird. Ce dernier rappelle que dans leurs travaux sur la balance, les auteurs anciens négligeaient la résistance du milieu dans lequel est placée la balance. C'est encore le cas pour Jordanus de Nemore dont le traité sur les poids fait autorité au Moyen Âge. W. Laird montre comment Blaise de Parme, à la fin du XIVe siècle, cherche à tenir compte des contraintes extérieures sur la balance : résistance du milieu, forme de la balance, position par rapport au centre de la terre (importante pour la prise en compte de la gravité), etc. Ce faisant, Blaise de Parme mobilise les ressources de la philosophie naturelle et des mathématiques de son temps, notamment les innovations produites à Oxford, comme la règle du mouvement de Thomas Bradwardine. Avec l'étude de Sophie Roux sur Galilée et Torricelli on aborde la deuxième question. Celle-ci montre en effet comment la théorie des proportions, d'une part, et la géométrie des indivisibles, d'autre part, ont été mobilisées pour étudier le phénomène de la percussion, en particulier pour mesurer la force inhérente au corps percutant qui est posée comme hypothèse depuis longtemps et que reprend Galilée. Elle montre que cette hypothèse fausse sera finalement remise en cause dans un contexte d'expérimentation propre à cette époque.

La dernière étude porte sur l'architecture. Samuel Gessner rappelle qu'au XVIe siècle, la plupart des architectes affirmaient l'importance des mathématiques pour leur discipline. Un art est, selon eux, d'autant plus digne qu'il s'appuie sur des modèles mathématiques. Toutefois, si l'on examine leurs traités, les arguments mathématiques se répartissent inégalement selon les parties qui composent traditionnellement les ouvrages d'architecture. Très présents dans les deux premières parties qui traitent du cadran solaire et des machines simples, ils le sont beaucoup moins dans la partie qui concerne l'édification. Ainsi, Samuel Gessner montre que Daniele Barbaro n'utilise la théorie des proportions qu'une seule fois dans cette partie de son commentaire aux *Decem Libri* de Vitruve ; et il le fait en se trompant. Il y a ainsi, chez certains auteurs de cette époque, une différence importante entre les pétitions de principe sur le rôle des mathématiques en architecture et leur place réelle dans les traités.

De l'ensemble de ces études, on peut tirer au moins deux conclusions. Premièrement, il convient de nuancer les affirmations anciennes sur le rôle prédominent des mathématiques dans la philosophie naturelle du XIVe siècle. Certes, ces dernières s'y développent et trouvent de nouveaux champs d'application, mais on a noté des attitudes très contrastées des différents auteurs étudiés vis-à-vis de l'utilisation des mathématiques pour la connaissance des phénomènes naturels, attitudes qui perdurent encore à la Renaissance. Deuxièmement, ces études montrent comment entre le XIVe et le XVIe siècles, une plus grande attention a été portée à la prise en compte des réalités du monde extérieur. Aux XIVe et XVe siècles, il ne s'agit pas encore à proprement parler d'expérimentation (sauf en de très rares occasions), comme on le verra au XVIe siècle. Mais il s'agit de mieux rendre compte de la complexité des phénomènes étudiés.

Sabine Rommevaux (CNRS, université François-Rabelais de Tours, Centre d'études supérieures de la Renaissance)