

LE CONCEPT DE NATURE À TRAVERS LES ÂGES

Galilée, vers une nouvelle science de la nature

Repères biographiques

Né à **Pise** en **1564**, Galilée Galilei est issu d'une famille d'origine florentine qui retourne s'installer à Florence en 1574. Son père, musicien et commerçant, lui fait donner une **éducation à caractère humaniste**. En 1581 Galilée entame des **études de médecine** à l'Université de Pise, et à partir de 1583 il s'intéresse aux **mathématiques**, auxquelles l'a initié Ostilio Ricci, un ami de la famille. Après deux ans d'études Galilée revient à Florence sans avoir terminé sa médecine, mais il est capable de donner des leçons de mathématiques, ce qui lui permet de subsister tout en acquérant des connaissances dans d'autres domaines, tels que les **sciences**, la **philosophie** et la **littérature**. Il réussit à se faire nommer à la **chaire de mathématiques** de l'Université de Pise en **1589**, puis en 1592 il obtient celle de l'Université de Padoue. À côté de ses activités d'enseignement, Galilée se consacre à la **recherche scientifique** : en **astronomie** il **défend la théorie héliocentrique de Copernic** ; en **physique** il **fait d'importantes découvertes concernant les lois du mouvement** et contribue à l'étude des phénomènes optiques et hydrostatiques. De plus il **conçoit ou perfectionne des instruments de mesure et d'observation**, en particulier une **lunette astronomique**, avec laquelle dès **1609** il fait des **observations remettant en cause l'astronomie héritée des anciens**. Le géocentrisme étant alors soutenu par l'Église catholique, le combat mené par Galilée en faveur de la théorie copernicienne lui vaut finalement d'être **convoqué à Rome en 1633** pour comparaître devant le tribunal du Saint-Office. **Condamné par l'Inquisition**, Galilée est contraint d'abjurer et ensuite assigné à résidence, d'abord chez l'archevêque de Sienne, puis dans sa villa d'Arcetri. Il **poursuit néanmoins ses recherches, avant de s'éteindre en 1642**. Ayant contribué de manière fondamentale à la compréhension de plusieurs phénomènes physiques, Galilée est considéré aujourd'hui comme l'un des pères de la science moderne. Par ailleurs, son procès a fait de lui une figure symbolisant l'antagonisme qui dans certaines circonstances peut exister entre la science et la religion (1).

Moyen Âge, Renaissance et philosophie naturelle

La **religion chrétienne** avait joué, après les grandes invasions du V^e siècle et la chute de l'Empire romain, un **rôle non négligeable dans la préservation d'une partie du savoir de l'Antiquité**, notamment grâce à l'**emploi du latin comme langue liturgique** et à la **création des monastères**, ces derniers disposant d'**ateliers d'écriture** qui ont rendu possibles la copie et la **transmission d'un nombre très respectable d'ouvrages classiques**. Malgré cela, durant le haut Moyen Âge l'**étude de la nature** ne représentait plus pour les érudits qu'une **activité marginale** : la **poursuite d'objectifs spirituels** était perçue comme **prioritaire**, ce qui se traduisait par une éducation ecclésiastique centrée principalement sur l'exégèse biblique et

l'histoire religieuse. La **philosophie**, qui englobait alors les connaissances naturelles, s'est vu attribuer le rôle de **servante de la théologie** : elle devait avant tout aider à l'**interprétation des Écritures**, et participer à la **défense de la foi**.

Cependant, aux **XII^e et XIII^e siècles** l'Europe a connu un grand **renouveau intellectuel** qui allait permettre de raviver l'intérêt pour l'étude de la nature. Dans un premier temps, la **traduction en latin d'œuvres de philosophes grecs et de leurs commentateurs arabes** a mis à la disposition des savants un corpus d'œuvres auxquelles ils n'avaient pas accès jusque-là. Ils ont dès lors pu redécouvrir le **système philosophique d'Aristote**, dont l'influence sera profonde et durable dans de nombreuses disciplines, allant de la logique à l'astronomie. Ensuite, l'**essor des villes et des corporations** a favorisé l'émergence de structures d'enseignement disposant d'une relative autonomie face à l'Église : les **universités**. Elles proposaient un **enseignement qui ne se limitait pas à la théologie**, mais incluait aussi le droit, la médecine et les arts libéraux, ces derniers recouvrant à la fois des disciplines littéraires (comme la rhétorique ou la grammaire), et scientifiques (telles que l'astronomie et les mathématiques) (2).

Dans les **facultés enseignant les arts libéraux**, la pensée d'Aristote s'est peu à peu imposée. Devenue une étape presque incontournable du curriculum, elle fournissait les principes d'une **philosophie naturelle englobant la physique ainsi que la connaissance des êtres vivants et de leur milieu**. En effet, cette philosophie naturelle **avait pour objet l'ensemble des choses soumises au changement**, qu'elles soient animées ou non, et laissait de côté les choses considérées comme immuables et éternelles : celles-ci, dans la cosmologie d'Aristote, constituaient le monde céleste, par opposition au monde terrestre ou sublunaire, et obéissaient à leurs propres lois. Dans le cadre de la philosophie naturelle, la nature faisait maintenant l'objet d'une **approche scholastique par questionnement, fondée sur le recours à la logique**, et dont le but était de comprendre les causes des changements observés dans la nature, en complétant ou en corrigeant le savoir aristotélicien, mais sans contester sa validité générale, que ce soit au niveau du contenu ou de la méthode (3).

Il faut relever néanmoins que l'adhésion à ce courant philosophique dans le cadre des universités médiévales a parfois suscité des heurts, et que **plusieurs conclusions découlant des principes d'Aristote ont été condamnées par l'Église** au cours du XIII^e siècle, malgré les efforts d'éminents théologiens – comme Thomas d'Aquin et d'autres – pour rendre la pensée du philosophe compatible avec le christianisme. D'ailleurs les laïcs se consacrant à la philosophie naturelle n'avaient pas le droit d'aborder les questions se rapportant aux dogmes religieux, qui ne pouvaient être tranchées que par les théologiens, conformément à la **primauté accordée à l'Église** et au **statut de reine des sciences**

dont bénéficiait alors la **théologie**. Toutefois la situation a commencé à évoluer au **XIV^e siècle**, grâce à l'émergence de l'**humanisme**, qui a transformé la culture du Moyen Âge sous de nombreux aspects : en redécouvrant les **valeurs de la culture antique**, on allait bientôt **placer l'Homme au centre du savoir** et insister sur les mérites de l'action par rapport à la contemplation. Au siècle suivant, cette évolution – qui a caractérisé la **Renaissance** – s'est accélérée, grâce notamment aux **innovations techniques** : l'apparition de l'**imprimerie** a facilité la **diffusion des connaissances profanes**, tandis que les **progrès en matière de navigation** ont rendu possible la **découverte de continents et de cultures dont on ne soupçonnait pas l'existence**, suscitant de nombreuses interrogations concernant la vision du monde qui durant des siècles avait prévalu en Europe.

La mathématisation de la nature

Dans le domaine technique, l'esprit curieux et inventif de la Renaissance illustre la **volonté d'associer la théorie à la pratique**, afin d'atteindre des **buts temporels plutôt que spirituels** ; néanmoins **les croyances et la métaphysique continuaient à jouer un rôle majeur**, tant au niveau des motivations que des moyens employés. Il en allait de même dans le domaine scientifique : si de notables progrès ont été accomplis en **astronomie** au cours du XVI^e siècle, ils répondaient dans une bonne mesure à la **nécessité d'établir un calendrier solaire fiable pour fixer avec précision la date des fêtes religieuses**, ainsi qu'à **l'espoir d'arriver à prédire l'avenir par l'observation du mouvement des astres**. Et si, pour parvenir à ces fins, les **mathématiques étaient de plus en plus utilisées** en astronomie, c'était dû en grande partie à l'intérêt croissant qu'ont suscité à la Renaissance les **conceptions métaphysiques de la philosophie platonicienne**. Mais alors que dans l'Antiquité Platon concevait les mathématiques comme une discipline servant d'introduction à la dialectique, dont le but ultime était d'élever l'esprit humain vers le monde des idées, dans le contexte de la Renaissance les mathématiques sont devenues peu à peu un instrument efficace pour comprendre et résoudre des problèmes concrets, notamment ceux que posait la **recherche de connaissances naturelles**. En effet cette dernière allait progresser de façon spectaculaire grâce à la **formulation mathématique des lois de la nature**, lorsque les mathématiques seraient appliquées à la physique et non plus seulement à l'astronomie.

En **physique**, la mathématisation de la nature comptait déjà des **précurseurs dans l'Antiquité, tel Archimède**, qui avait recouru aux mathématiques pour l'étude des **phénomènes propres à un fluide au repos**, et formulé le fameux théorème qui porte son nom. Bien des siècles après, **Galilée** a suivi la voie tracée par Archimède, mais plus spécialement pour l'**étude de phénomènes dynamiques comme la chute des corps**, et en défendant une **application des mathématiques à la philosophie naturelle** qui conduirait à ce qui serait tenu plus tard pour une **révolution méthodologique**. En effet, Galilée avait

perçu ou pressenti quelques-uns des **avantages que l'emploi des mathématiques peut procurer à la science** en général, et à la physique en particulier. Tout d'abord, elles requièrent l'usage de concepts clairement définis, ce qui implique un **langage scientifique précis et rigoureux**, focalisé sur les propriétés géométriques et mécaniques des corps, afin d'obtenir une **représentation simplifiée des phénomènes pour faciliter leur étude**. Ensuite, les mathématiques permettent, grâce à des **déductions nécessaires**, de parvenir à des démonstrations évidentes et d'opérer des **combinaisons entre des expressions formelles distinctes pour faire apparaître des relations entre les phénomènes** qui n'étaient pas envisagées au départ. Finalement, les mathématiques rendent possibles la quantification et la mesure des phénomènes naturels. Ce dernier point est décisif, car pour Galilée la science ne devait pas être uniquement logique et théorique, mais également empirique et expérimentale : le chercheur doit formuler des hypothèses et en dériver mathématiquement des conséquences testables, afin de pouvoir les confirmer ou les infirmer ; or **la quantification et la mesure des phénomènes physiques permettent une vérification précise et concluante des résultats de l'expérimentation**.

Toutes ces raisons qu'on vient d'évoquer n'expliquent cependant pas à elles seules pourquoi **Galilée** considérait les mathématiques comme un instrument indispensable à la philosophie naturelle, cette dernière étant appelée à ses yeux à devenir une véritable physique mathématique. Pour lui la physique et la cosmologie restaient intimement liées, sa **manière de concevoir la science étant influencée par ses croyances sur l'origine de l'univers**. Comme la plupart de ses contemporains, Galilée voyait dans la nature l'œuvre d'une divinité créatrice, à cela près qu'il concevait **Dieu** comme un **géomètre omniscient qui aurait fait de sa création un système totalement mathématique**. Par conséquent, **rechercher les lois mathématiques de la nature** revenait pour Galilée à **déchiffrer le langage employé par Dieu dans son activité créatrice**. D'après cette conception du monde, les mathématiques structurent le réel, elles ne sont pas qu'un simple langage formel créé par l'Homme et s'ajustant plus ou moins bien à la réalité, car **si la nature créée par Dieu est le règne de l'ordre et de la mesure, la réalité doit être mathématique dans sa forme**. Ceci implique que la même physique, une physique mathématique, vaut également sur terre et dans les cieux : il y a une unité fondamentale des lois de la nature. Or, en donnant une **formulation mathématique de la loi du mouvement naturellement accéléré**, avec une **première définition du principe d'inertie**, Galilée a invalidé non seulement la physique d'Aristote, mais aussi sa distinction entre monde sublunaire et monde céleste : il a bel et bien fondé une **nouvelle physique** et unifié son champ d'application (4).

Toutefois, malgré ses résultats remarquables, la **physique mathématique et expérimentale** prônée par Galilée a éga-

lement des **limites**. En effet, certains **phénomènes, par leur complexité, rendent difficile une formalisation mathématique** prenant en compte tous les facteurs déterminants. Et à cela peut s'ajouter un autre problème. Beaucoup de **phénomènes se produisant sur une très large échelle ne peuvent être reproduits par l'Homme, ce qui empêche une vérification expérimentale** des théories scientifiques, même si ces dernières ont été formalisées mathématiquement : il faut alors se contenter de recourir à l'observation, avec les limites que cela implique, en particulier celle de devoir attendre passivement pour constater si un phénomène prévu par une théorie se produit ou non, et pouvoir valider ou infirmer cette dernière. Ceci explique en grande partie pourquoi, dans certains cas de figure, même un abondant recours à la formalisation mathématique n'aboutit en fin de compte qu'à une **capacité prédictive assez restreinte**, ce qui suppose que la **théorie n'a pas encore été validée de manière concluante**, ou alors qu'on a affaire à une **théorie ne permettant d'effectuer que des prédictions de type probabiliste**, moins précises que celles de type déterministe (5).

L'autonomie de la science

Les limites inhérentes à la mathématisation de la physique et de la science en général ne préoccupaient pas encore Galilée : il était confronté à un problème d'un tout autre genre en voulant montrer que la **théorie copernicienne** n'est pas contraire aux Écritures. En effet, si les mathématiques sont bien le langage dont Dieu s'est servi pour écrire ce que Galilée appelle « le grand livre de la nature », une question cruciale se pose à ceux qui essaient d'en saisir le contenu grâce à la science : quelle attitude adopter vis-à-vis de l'autre grand livre, celui que la religion présente comme étant la parole de Dieu, à savoir la Bible ? **Une contradiction pourrait surgir entre une théorie scientifique et la vision du monde que présentent les Écritures**, remettant ainsi en cause les dogmes de l'Église, comme ce fut le cas avec l'héliocentrisme. Galilée a tenté de résoudre ce problème en affirmant qu'il n'y a qu'une seule vérité, car **Dieu étant à la fois celui qui a créé le monde naturel et inspiré les Écritures, il ne saurait se contredire lui-même**. Les contradictions ne sont donc qu'apparentes et résultent d'une **mauvaise interprétation du texte biblique**, due au fait que ce dernier a été **rédigé dans un langage suffisamment simple** pour pouvoir être compris sans trop de difficulté, afin de **rendre accessible à tous la parole de Dieu**. Il n'a donc pas le caractère précis et univoque du **langage scientifique**, qui **requiert la maîtrise des mathématiques** et n'est donc compréhensible que par un nombre de personnes relativement restreint.

Si la science et la religion se distinguent par le type de langage qu'elles emploient, Galilée différencie aussi très nettement les objectifs qu'elles poursuivent. Selon lui, **la Bible n'a pas pour but d'énoncer des vérités concernant le monde naturel, elle apporte des vérités d'ordre spirituel que la raison ne peut démontrer** ; par conséquent **il ne faut pas en**

appeler à l'autorité des Écritures dans le domaine scientifique et faire de la Bible l'arbitre de la connaissance humaine. Galilée accepte toutefois que cette autorité soit invoquée en dernier recours pour les questions naturelles ne pouvant être tranchées par la science. Pourtant, bien qu'il ait cherché à **concilier la science et la religion, la séparation de leurs domaines respectifs** que préconisait Galilée revenait à **faire en sorte que la science ne soit plus complètement subordonnée à la théologie**. Durant le Moyen Âge, la recherche de connaissances naturelles restait très liée à des préoccupations théologiques, la nature étant alors considérée comme l'une des manifestations de la divinité. Après la fin de la Renaissance, la **nature** pourrait être **étudiée pour elle-même, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir Dieu dans l'explication scientifique**. Car en dépit de sa condamnation par l'Église, Galilée a été, avec Newton, une des figures majeures du XVII^e siècle ayant tracé la voie qui mènerait les sciences de la nature à conquérir leur autonomie vis-à-vis de la religion (6).

L'opinion de Galilée sur **l'autorité de la Bible en matière de connaissances naturelles** ressort très clairement dans sa lettre à Christine de Lorraine, dont voici un extrait ci-dessous. À la suite on trouvera un court passage tiré de *l'Essayeur*, dans lequel Galilée souligne **l'importance des mathématiques pour la compréhension du monde**.

Textes

« Il me semble que, dans les discussions concernant les problèmes naturels, on ne devrait pas commencer par invoquer l'autorité de passages des Écritures ; il faudrait d'abord faire appel à l'expérience des sens et à des démonstrations nécessaires : en effet l'Écriture Sainte et la nature procèdent également du Verbe divin, celle-là dictée par l'Esprit-Saint, et celle-ci exécutrice parfaitement fidèle des ordres de Dieu ; or, alors qu'il est convenu que les Écritures, pour s'adapter aux possibilités de compréhension du plus grand nombre, disent des choses qui diffèrent beaucoup de la vérité absolue, du fait de leur genre et de la signification littérale des termes, la nature au contraire se conforme inexorablement et immuablement aux lois qui lui sont imposées sans en franchir jamais les limites et ne se préoccupe pas de savoir si ses raisons cachées et ses manières d'opérer sont à la portée de nos capacités humaines.

« Il en résulte que les effets naturels et l'expérience des sens que nous avons devant les yeux, ainsi que les démonstrations nécessaires que nous en concluons, ne doivent d'aucune manière être révoqués en doute ni a fortiori condamnés au nom des passages de l'Écriture, quand bien même le sens littéral semblerait les contredire. Car les paroles de l'Écriture ne sont pas astreintes à des obligations aussi sévères que les effets de la nature et Dieu ne se révèle pas moins excellemment dans les effets de la nature que dans les Écritures sacrées. C'est ce que Tertullien a voulu dire par ces paroles : « Nous déclarons

que Dieu doit être d'abord connu par la nature et ensuite reconnu par la doctrine : la nature est atteinte par les œuvres, la doctrine par les prédications ».

« Je ne veux pas dire par là que l'on ne doit pas avoir une très haute considération pour les passages de l'Écriture. Mais, lorsque nous sommes arrivés à une certitude dans des conclusions naturelles, nous devons nous servir de ces conclusions comme d'un moyen parfaitement adapté à une exposition véridique de ces Écritures et à la recherche du sens qui y est nécessairement contenu, puisqu'elles sont parfaitement véridiques et qu'elles concordent avec la vérité démontrée. J'estime que l'autorité des Saintes Lettres a pour but principalement de persuader les hommes des propositions qui, dépassant tout discours humain, ne peuvent être rendues croyables par une autre science, ni par un autre moyen que par la bouche du Saint-Esprit [...]. Mais, comme Dieu nous a doté de sens, de facultés discursives et d'intelligence, ceci signifie qu'il a voulu, qu'usant de ces moyens, nous puissions connaître tout ce qu'il nous permet d'atteindre. Je ne pense pas que nous devions rejeter les raisons que nous trouvons dans les conclusions naturelles qui proviennent de l'expérience des sens ou des démonstrations nécessaires, qui se trouvent ainsi présentées devant nos yeux et notre intelligence (7). »

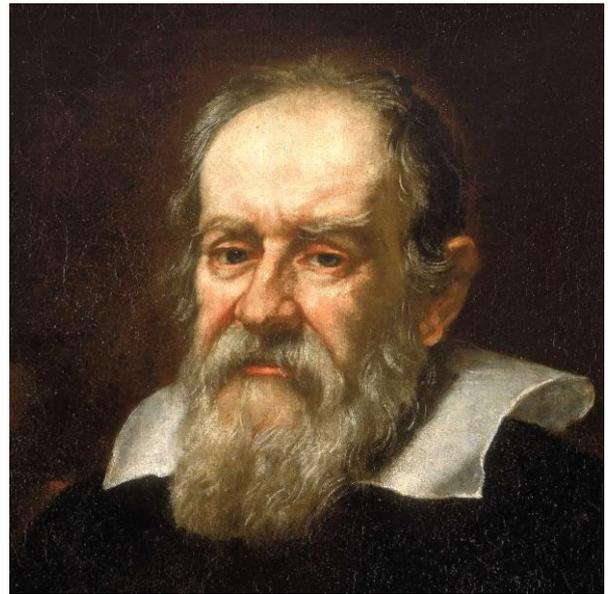
« La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours ouvert devant nos yeux, je veux dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit dans la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot. Sans eux, c'est une errance vaine dans un labyrinthe obscur (8). »

Francisco Marzoa, Géographe, ISE

Références

- (1) Ludovico Geymonat, *Galilée*, Seuil, Paris, 1992 [nouvelle édition revue et augmentée].
- (2) David C. Lindberg, *The beginnings of Western science : the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to A.D. 1450*, The University of Chicago Press, Chicago, 1992.
- (3) Edward Grant, *The nature of natural philosophy in the late Middle Ages*, The Catholic University of America Press, Washington D.C., 2010.
- (4) Alexandre Koyré, *Études galiléennes*, Hermann, Paris, 2001.
- (5) Hugues Chabot et Sophie Roux (dir.), *La mathématisation comme problème*, Archives contemporaines, Paris, 2011.
- (6) John Hedley Brooke, *Science and religion : some historical perspectives*, The Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- (7) Galilée, François Russo (trad.), « Lettre de Galilée à Christine de Lorraine, Grande-Duchesse de Toscane (1615) », in *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 17, n° 4, 1964, pp. 343-344.

- (8) Galilée, Christiane Chauviré (trad.), *L'Essayeur de Galilée*, Les Belles Lettres, Paris, 1980, p. 141.



Portrait de Galilée, par Justus Sustermans (1635)

CONTACT

Francisco Marzoa
Institut des Sciences de l'Environnement
Site de Battelle, Bâtiment D
Route de Drize 7
1227 Carouge (Genève)
SUISSE

Tél. : +41 22 379 07 53

Fax : +41 22 379 07 89

francisco.marzoa@unige.ch