

Le programme d'enseignement scientifique de 1^{ère} générale 2019 stipule : « Le mouvement de la Terre dans l'Univers a été l'objet de célèbres et violentes controverses. L'étude de quelques aspects de ces débats permet de comprendre la difficulté de la construction du savoir scientifique. »

Les découvertes de Galilée au début du 17^{ème} siècle et les controverses qui ont suivi sont un moment fondamental de l'histoire des sciences. C'est le thème de cet exposé.

Nous adopterons le plan suivant :

- LE CONTEXTE

- LES DECOUVERTES

De nouvelles étoiles, la Voie lactée, les nébuleuses

La Lune est comme la Terre

Des satellites pour Jupiter

Vénus a des phases

Le Soleil a des taches et il tourne

- LA RÉCEPTION ET LE COMBAT

LE CONTEXTE

1 – Géographique

L'Italie est constituée de plusieurs entités différentes : celles qui interviennent dans cette histoire sont :

Le grand-duché de Toscane

Galileo Galilei naît à Pise le 15 février 1564. Il reçoit sa première formation à Pise et Florence.

Il y retourne à partir de 1610.

Il meurt à Florence le 8 janvier 1642

La République de Venise

Galilée enseigne à Padoue de 1592 à 1610. C'est en 1609 et 1610 qu'il fait ses principales découvertes, il retourne ensuite à **Florence** où il est nommé « Mathématicien et Philosophe » du Grand-Duc de Toscane.

Les Etats de l'Eglise

A partir de 1610, Galilée fait plusieurs voyages à Rome, pour présenter ses découvertes aux Jésuites mathématiciens, pour tenter de convaincre, pour être félicité, pour subir des procès.

2 – Historique

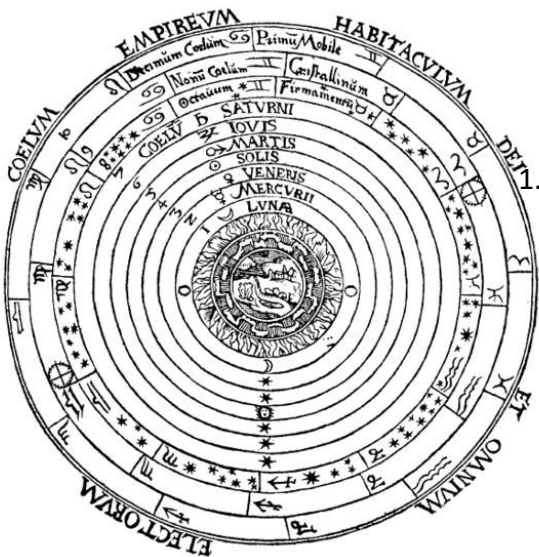
En 1517 a eu lieu le début de la **Réforme protestante** (publication des 95 thèses de Martin Luther) qui aboutit à une scission entre l'Eglise catholique romaine et les Eglises protestantes. Le **Concile de Trente** (1545 – 1563) a pour objectif d'engager une grande réforme au sein de l'Eglise catholique (la « Contre-Réforme »). Le Concile renforce l'unité des catholiques autour du pape dont la suprématie en matière de religion est affirmée. 1542 : création à Rome par Paul III de la Sacrée Congrégation de l'Inquisition romaine et universelle

En 1543 Nicolas Copernic (1473-1543) publie *De revolutionibus orbium coelestium* (*Des révolutions des orbés célestes* ou *des sphères célestes*). Il y expose sa vision héliocentrique du système solaire. La préface du livre (non rédigée par Copernic) la présente comme une **hypothèse de calcul**. C'est pourquoi le livre n'a pas été interdit avant que Galilée ne montre la validité physique réelle de l'héliocentrisme.

3 – Cosmologique et Philosophique

Le modèle astronomique en vigueur à la fin du 16^{ème} siècle était en effet celui, **géocentrique**, de **Ptolémée**,

Schema huius praeiudicis diuisionis Sphaerarum.



hérité d'Aristote, selon qui la Terre est au centre. Le monde est clos. Le ciel est une sphère immense qui tourne en 24 h en emportant avec lui les sphères plus petites qui portent les planètes. Les cieux sont faits d'une substance particulière dure et transparente.

Pour interpréter les anomalies, Ptolémée donne au mouvement du Soleil une orbite excentrique pour rendre compte de la durée inégale des saisons ; des épicycles et des déférents rendent compte de la rétrogradation des planètes (surtout Mars) et des variations d'éclat. Ptolémée recourt au point équant, symétrique de la Terre, par rapport au centre du cercle déférent ; le centre de l'épicycle tourne autour du point équant avec une vitesse angulaire constante ; c'est un abandon du mouvement circulaire uniforme. (Copernic va réagir contre lui).

Ptolémée critique le système des sphères homocentriques d'Aristote. Les planètes doivent être autonomes à cause des épicycles, elles ne restent pas à distance constante de la Terre et ont un double mouvement vs Aristote).

Les orbites sont disproportionnées : L'orbite de Mars est énorme (son épicycle très grand), 50 fois plus épais que celui du Soleil

Le Système de Ptolémée est rigoureusement géostatique, mais pas parfaitement géocentrique. Il se présente comme un modèle mathématique qui ne prétend pas être une représentation de la réalité (laquelle est d'essence divine, donc inaccessible). Il s'agit de « *sauver les apparences* » ou sauver les phénomènes.

Malgré les modifications, il est en harmonie avec la cosmologie aristotélicienne conciliée par Thomas d'Aquin avec la doctrine de l'Eglise catholique. Les deux conséquences nécessaires de cette cosmologie sont :

1^{ère} conséquence nécessaire
L'immobilité de la terre
au centre du monde

2^{ème} conséquence nécessaire
L'hétérogénéité physique du
ciel et de la terre

Copernic quant à lui propose un monde harmonieux où chaque partie concourt à la beauté de l'ensemble. Il préserve certains symboles : sphères, mouvements circulaires uniformes

La dualité céleste/terrestre n'a plus de fondement¹

L'accueil réservé au copernicanisme

Il n'y a pas de remous à la publication (il est présenté comme une hypothèse). Mais l'avertissement au lecteur n'était pas de Copernic. Les péripatéticiens et les théologiens s'opposent à Copernic. Luther le traite de fou.

Les modèles simplifiés de Copernic et de Ptolémée rendent compte tous les deux de la rétrogradation des planètes. Une activité est possible avec les élèves².

¹ Cf. Maurice Clavelin, *Galilée copernicien*, p. 535

² Voir par exemple : Ptolémée et Copernic, in Fiches pédagogiques du CLEA, Hors Série n°5 Gravitation et Lumière

Biographie de Galilée (écrite à partir des différents ouvrages décrivant la vie et les œuvres de Galilée, voir la bibliographie)

Galilée est né à Pise le 15 février 1564.

Son père, Vincenzo Galilei, commerçant, est un bon musicien (joueur de luth), auteur de plusieurs ouvrages de théorie musicale. Les exigences financières de sa famille (y compris sa mère) seront à l'origine des perpétuels soucis et des multiples pérégrinations de Galilée après la mort de son père en 1591.

Le 11 novembre 1572, le grand astronome Tycho Brahé observe une nouvelle étoile ; toutes les nuits pendant 18 mois : immobile, elle s'éteint en mars 1574. Il publie en 1573 De stella nova.

1574 Galilée reçoit une éducation essentiellement humaniste dans un monastère de Florence.

1581 Il s'inscrit à l'université de Pise, comme élève de médecine. Il y reçoit un enseignement de physique aristotélicien.

1583 Il étudie les mathématiques et Archimède avec un ami de son père, Ostilio Ricci (en marge de l'université), découvre l'isochronisme des petites oscillations du pendule

1584 - Giordano Bruno (1548-1600) publie à Londres "De infinito, universo e mondi" (l'infini, l'Univers et les mondes) où il expose d'idée d'un univers non centré sur la Terre.

L'homme s'affranchit et fait éclater en mille soleils les limites du monde. G. B. exprime les conséquences métaphysiques des idées de Copernic : toutes les étoiles sont des soleils, d'autres terres tournent autour d'elles, le monde est infini. Ces conceptions sont trop audacieuses. Bruno périt en 1600 sur un bûcher de l'Inquisition.

1586 Galilée invente une balance hydrostatique, *la Bilancetta* et démontre des théorèmes sur le centre de gravité.

De 1589 à 1592, il enseigne les mathématiques à l'université de Pise (discipline mineure, mal payée). Il lit *Diversarium mathematicarum et physicarum liber* de Giambattista Benedetti.

1592 Nomination à Padoue (nette augmentation de salaire). **Il y restera 18 ans.** Pour augmenter ses ressources, il dispose d'un atelier de fabrication d'instruments de mesure et donne des cours privés. Il fréquente également les cercles vénitiens (où il fait la connaissance de Giovanfrancesco Sagredo, immortalisé dans les Dialogues), et de Paolo Sarpi ainsi que l'arsenal. 1592 – 1609 Publication de textes concernant l'architecture militaire, la mécanique (machines simples) le compas géométrique et militaire.

1597 Dans 2 lettres (à Kepler et à Mazzoni) il s'affirme **copernicien**

1602 -1609 Période d'étude intense du mouvement de chute, et l'essentiel des travaux publiés en 1638 est réalisé.

1604 Apparition d'une nova, qui amène à reconsidérer les idées sur le ciel (il n'est plus immuable)

1609 Galilée apprend l'existence de la lunette, s'en procure, la perfectionne et la tourne vers le ciel.

Commencement du « combat » pour faire accepter notamment par l'Église la vision héliocentrique du monde

Première période : la victoire entrevue

1610 Il publie ses constatations, qui contredisent la vision aristotélicienne de l'univers, dans le **Messenger des étoiles**. En juillet, il est nommé « premier mathématicien à l'Université de Pise », sans obligation de résidence ni d'enseignement. Il peut se consacrer à ses recherches. Il rentre à Florence.

1612 *Discours sur les corps flottants* L'introduction fait allusion aux taches solaires et aux satellites de Jupiter

1613 *Les lettres solaires*, réponses polémiques à des publications sur les taches solaires

Deuxième période : la bataille perdue

1616 : condamnation de l'ouvrage de Copernic, Galilée est « averti »

L'espoir demeure, la lutte continue

1623 Le pape élu, le cardinal Barberini (Urbain VIII) est un ami de Galilée

1624 *L'essayeur*, réplique aux attaques des Jésuites concernant l'interprétation de la nature des comètes observées en 1618

Dès 1624, il commence la rédaction du *Dialogue*, fréquemment interrompue par des problèmes de santé

1632, le 21 février. Parution en italien à Florence du **Dialogue de Galileo Galilei, de l'Académie des Lincei, où, en quatre journées, il est discourt des deux plus grands systèmes du monde, le ptolémaïque et le copernicien** ». L'ouvrage est bien accueilli par les personnes cultivées à qui il est destiné. Mais le pape (on l'aurait convaincu qu'il était représenté sous les traits de Simplicio, l'aristotélicien borné) change brutalement d'attitude à l'égard de Galilée et devient un adversaire acharné.

1633 le procès intenté à Galilée par le Saint-Office aboutit à sa condamnation et à son abjuration le 22 juin 1633. Il est relégué à Arcetri, près du couvent où réside sa fille. Son œuvre est largement diffusée en Europe. Il rédige ses travaux de mécanique.

1638 publication à Leyde son ouvrage **Discours sur deux sciences nouvelles**. Galilée est alors aveugle. En raison de la dégradation de son état de santé, il est autorisé en 1639 à recevoir un jeune savant, Vincenzo Viviani, qui publiera ses derniers travaux inédits ainsi qu'une esquisse de biographie. En 1641, Evangelista Totticelli arrive à Arcetri, entretenant un climat de discussions scientifiques.

1642, le 8 janvier, il meurt.

LES DÉCOUVERTES

Fernand Hallyn³ souligne la presque concomitance de deux événements :

En 1609 paraît **l'Astronomie nouvelle** de Kepler qui contient les deux premières lois décrivant le mouvement des planètes autour du Soleil . C'est un ouvrage de 337 pages, dont la lecture est difficile. **Il s'impose lentement**. Pourtant Kepler publie depuis 10 ans et depuis 1597 (publication du *Mysterium Cosmographicum*) il a pris ouvertement parti pour Copernic.

En 1610 paraît le **Sidereus Nuncius** de Galilée de 56 pages ; **son impact est immédiat**. C'est presque la 1^{ère} publication de Galilée et sa 1^{ère} prise de position publique pour Copernic (il l'avait exprimée auparavant dans des lettres).

En 1609, donc, Galilée apprend l'existence de **la lunette**, s'en procure, la perfectionne et la tourne vers le ciel. « *Il y a environ dix mois, le bruit parvint à nos oreilles qu'un certain belge avait fabriqué une lunette grâce à laquelle des objets, même très éloignés de l'observateur, pouvaient être nettement distingués comme s'ils étaient proches (...)* Ceci me poussa finalement à tenter de rechercher une explication à ce phénomène et donc à trouver les moyens de fabriquer une lunette semblable. Je l'ai réalisée peu de temps après en m'appuyant sur la théorie des réfractions (...) Enfin, n'épargnant nulle peine ni nulle dépense, je parvins à me construire un instrument si excellent que ce qu'on observe apparaît près de mille fois plus grand et plus de trente fois plus voisin que si on l'examine seulement grâce à la vision naturelle (...)

Délaissant les affaires de la Terre, je me consacrai à l'étude de celles du Ciel » Galilée, début du **Sidereus Nuncius (Messenger des étoiles)**

En dépit de ses prétentions, Galilée a peu de connaissances en optique. Mais, comme le souligne Hallyn, « *il intègre la lunette au monde de la science* ». Nous y reviendrons à propos des controverses.

Dans le Messenger des étoiles, il indique comment mesurer le grossissement de la lunette ⁴

Galilée publie ses constatations, qui contredisent la vision aristotélicienne de l'univers, dans le **Messenger des étoiles en 1610**.

- Galilée découvre que certaines étoiles ne sont pas visibles à l'œil nu :

« *leur nombre dépasse de plus de dix fois celui des étoiles anciennement connues* »

- Lorsqu'il examine la Lune avec son instrument, Galilée remarque que la surface de l'astre n'est pas rigoureusement sphérique. Sa surface est accidentée, et ressemble à la surface de la Terre. Ce n'est pas un objet céleste parfait. C'est une remise en cause de la doctrine d'Aristote.
- Il découvre quatre satellites de Jupiter en janvier 1610. Il les observe jour à près jour.
- Il continue ses recherches après la parution du Sidereus Nuncius et remarque les phases de Vénus, qui confirment la validité de l'hypothèse de Copernic. Il observe une forme ovale pour Saturne.

En 1610, Galilée est nommé « premier mathématicien à l'Université de Pise », sans obligation de résidence ni d'enseignement. Il peut se consacrer à ses recherches.

Revenons sur ces découvertes :

1 – La Lune

Lorsqu'il examine **la Lune** avec son instrument, Galilée remarque que **la surface de l'astre n'est pas rigoureusement sphérique**. Sa surface est accidentée, et ressemble à la surface de la Terre.

³ Galileo Galilei, *Le messenger des étoiles*, traduit par Fernand Hallyn, Seuil

⁴ Voir par exmple : Lunette de Galilée, in Fiches pédagogiques du CLEA, Hors Série n°5 Gravitation et Lumière

Ce n'est pas un objet céleste parfait.. Elle est comme la Terre. Cela contredit l'hétérogénéité physique du ciel et de la Terre.

Galilée interprète ce qu'il voit de la Lune en la comparant à la Terre

« *Comment savons-nous que la Lune est montagneuse ? Nous ne le savons pas simplement par le sens, mais par l'adjonction du raisonnement à l'observation des apparences sensibles* » lettre à Grienberger du 1^{er} septembre 1611

Dans le texte du **Messenger des étoiles**, on peut noter toutes les comparaisons de la Lune avec la Terre. Par exemple :

« *Au contraire elle est inégale, rugueuse, formée de cavités et de protubérances comme la Terre elle-même est pourvue de montagnes et de vallées* » Galilée 1609-2009 *Observations astronomiques* avec Les textes originaux du *Sidereus nuncius* et autres, avec traduction et compléments, sous la direction d'Alain Brémond, p. 35

« *Sur Terre au lever du Soleil nous observons le même phénomène avec les vallées pas encore inondées par la lumière alors que les montagnes qui les entourent resplendent déjà du côté opposé au Soleil ; et de la même façon que les ombres des cavités de la Terre diminuent quand le Soleil s'élève, ces taches lunaires perdent également de leurs ténèbres tandis que s'accroît la partie lumineuse* », p. 37

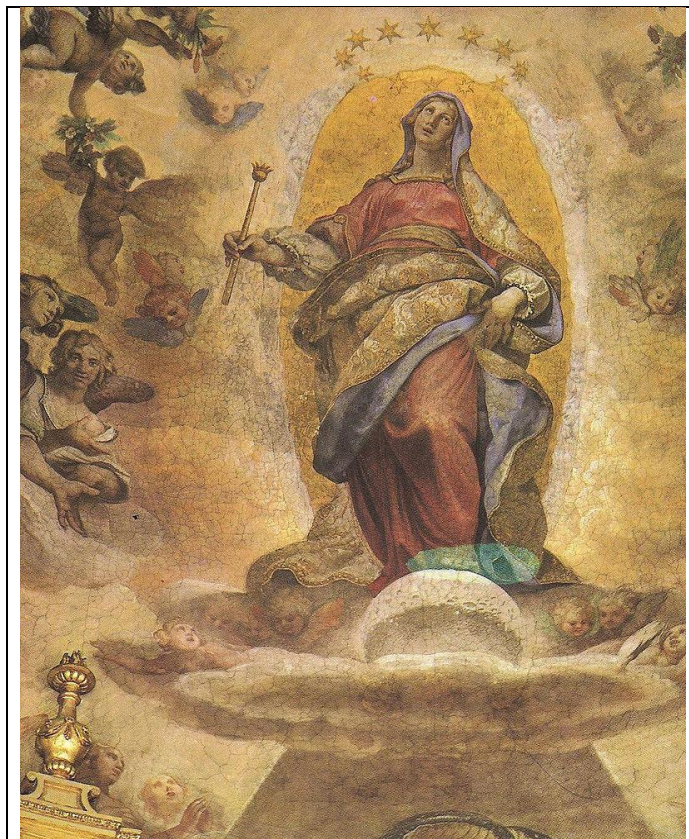
p. 39, à propos des pointes lumineuses dans la partie sombre de la Lune « *Sur Terre également, avant le lever du Soleil, quand l'ombre recouvre encore les plaines, les sommets des plus hautes montagnes ne sont-ils pas illuminés par les rayons du Soleil ?* »

etc.

Fernand Hallyn, dans l'introduction de sa traduction du **Messenger des étoiles**, insiste sur cette « *représentation analogique de la Lune défendue dès l'Antiquité* », supplantée un temps par la théorie d'Averroès, et ressuscitée dès la fin du 16^{ème} siècle par des partisans de Copernic (notamment Michel Maestlin, professeur de Kepler).

Hallyn souligne aussi l'influence probable de la transformation du regard à la Renaissance sur l'interprétation de Galilée : « *Rien en effet, dans l'expérience visuelle de l'époque, ne se rapprochait plus de ce que Galilée percevait à travers sa lunette que certaines illustrations des manuels de perspective à l'usage des peintres* » p.56.

Galilée correspondait avec des peintres, notamment Lodovico Cigoli, qui a collaboré à l'observation des taches solaires, et qui a peint « *en 1612, pour la chapelle papale de Sainte Marie Majeure à Rome, une fresque représentant une Vierge, les pieds posés sur une Lune qui est l'exacte réplique des illustrations du Messenger des Etoiles* » (p.58)



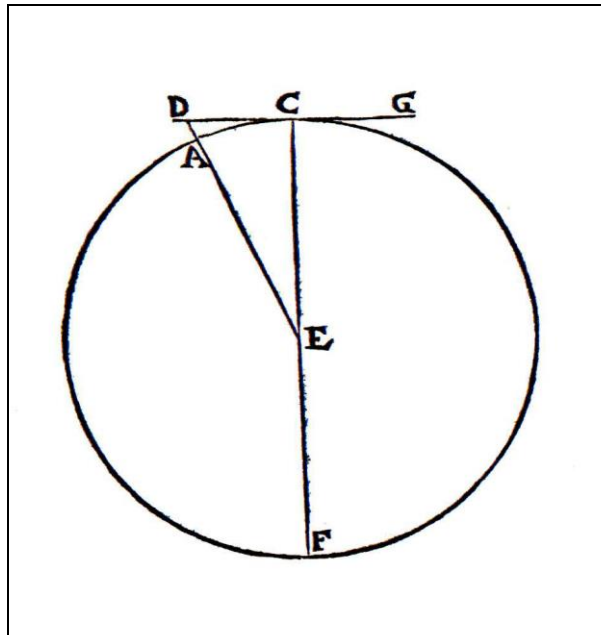
D'autres artistes illustres, tel Rubens, ont représenté d'autres découvertes de Galilée. Ainsi, sur le tableau « Saturne dévorant ses enfants » figure une représentation de la planète Saturne en trois parties, telle que Galilée l'a décrite.

Dans son texte du *Messenger des étoiles*, Galilée indique comment obtenir une évaluation de la hauteur d'une montagne lunaire proche du terminateur dans la partie obscure et éclairée par le Soleil. Cette activité est réalisable avec les élèves à partir d'un dessin de Galilée ou d'une photo de la Lune⁵.

« J'avais très souvent observé, dans les différentes positions de la Lune par rapport au Soleil, que quelques sommets situés dans la partie non éclairée de la Lune, même assez éloignés de la limite ombre-lumière, semblaient illuminés par la lumière solaire (...)

En comparant leur distance par rapport à cette limite au diamètre de la Lune, j'observai que cet intervalle dépassait parfois un vingtième du diamètre (...)

Donc le segment AD, qui correspond sur la Lune à un sommet qui monte jusqu'au rayon solaire GCD et qui est séparé de la limite C par la distance CD, a plus de 4 milles italiennes de hauteur (...)



Galilée interprète la lumière cendrée sur la Lune comme un « clair de Terre », la lumière du Soleil réfléchi par la Terre. « Ne serait-ce pas que la Lune elle-même, comme n'importe quel autre corps opaque et sombre, est inondée de lumière par la Terre ? Quoi d'étonnant ? Dans un échange équitable et reconnaissant, la Terre renvoie à la Lune elle-même un éclairage égal à celui qu'elle reçoit de la Lune (...) » Auparavant ce phénomène avait été observé à l'œil nu et plusieurs explications avaient été proposées : clarté naturelle propre à la Lune, lumière venant de Vénus ou d'une autre étoile, lumière du Soleil qui traverserait la Lune. Galilée conteste toutes ces explications (la Lune conserverait alors en permanence le même éclat). L'interprétation qu'il donne est un nouvel argument pour dire que la Terre et la Lune sont semblables.

Mais pourquoi le bord de la Lune est-il lisse ? Galilée propose deux explications possibles :

- Superposition du relief (de même qu'on ne voit pas les vagues de la mer à l'horizon)
- Existence d'une atmosphère lunaire, plus épaisse sur les bords

Ce point sera discuté par les contradicteurs de Galilée (cf. infra)

2 – les étoiles et la Voie lactée

Galilée découvre que **certaines étoiles ne sont pas visibles à l'œil nu** :

«leur nombre dépasse de plus de dix fois celui des étoiles anciennement connues »

Galilée distingue les étoiles, fixes ou « errantes », de la Lune, au point de vue du grossissement, et observe « la différence d'aspect entre les planètes et les étoiles fixes ».

⁵ Mathématiques et astronomie, Hors-série nouvelle formule des Cahiers Clairaut n° 10, pp. 26 et sq.

Le nombre des étoiles qui deviennent visibles est augmenté. « *Alors qu'elles échappent à la vision simple, avec la lunette on peut observer des étoiles au-dessous de la sixième grandeur en si grand nombre que c'en est à peine croyable (...)* »

On observe plus de cinq cents étoiles réparties auprès des étoiles déjà connues, dans des intervalles d'un ou deux degrés, Par exemple, à côté des trois étoiles dans la Ceinture et des six situées dans l'Épée qui avaient été notées auparavant, nous en avons observé quatre-vingt autres très proches »

Il observe la Voie lactée « *En troisième lieu nous avons observé la substance, ou matière, de la Voie lactée elle-même à la lunette. Grâce à elle, les observations réalisées feront taire toutes les querelles qui ont torturé les philosophes pendant tant de siècles, et nous nous sommes libérés des discussions verbeuses. Car la Galaxie n'est rien d'autre qu'un groupement innombrable d'étoiles réunies en amas. Quel que soit l'endroit où l'on y dirige la lunette, on observe une immense quantité d'étoiles, dont un bon nombre apparaissent assez grandes et bien visibles, mais dont la multitude des petites est vraiment insondable »*

La nature de la Voie Lactée était l'objet de « querelles ». Les observations de Galilée permettent de trancher.

Galilée observe aussi les six « nébuleuses » décrites par Ptolémée. Il les résout en étoiles : « *Si on les observe avec la lunette elles apparaissent comme des groupements d'étoiles serrées les unes contre les autres (...) Ces amas forment une luminosité que jusqu'ici on croyait correspondre à une zone plus dense du ciel qui renvoyait les rayons des étoiles ou du Soleil. »*

3 – Les satellites de Jupiter

Dans cette partie du texte, Galilée fait la chronique jour après jour de ses observations, depuis le 7 janvier 1610, jour où il les a vus pour la première fois, jusqu'au 2 mars. Il décrit 65 observations successives avec l'indication de l'heure et en dessinant la position des satellites par rapport à Jupiter. Après les interrogations des premiers jours, il écrit : « *je changeai ma perplexité en admiration et je découvris que la permutation apparente des étoiles dépendait non de Jupiter, mais des étoiles elles-mêmes, et je pensai qu'il fallait continuer à les observer, avec encore plus d'attention et de précision »*. Puis le 11 janvier « *Il était donc pour moi établi et tranché sans aucun doute qu'il y avait dans le ciel trois étoiles errant autour de Jupiter, à la façon de Vénus et de Mercure autour du Soleil »* Plus tard, il constate qu'il y a quatre satellites.

Après ces observations, il énonce quelques remarques sur les trajectoires et la comparaison des temps de révolution des quatre satellites « *malgré qu'il ne m'ait pas encore été possible de calculer leurs périodes »*. Il le fera plus tard.

Il conclut : « *A présent nous n'avons pas seulement une planète qui tourne autour d'une autre, tandis que l'une et l'autre parcourent une grande orbite autour du Soleil, mais nous observons quatre étoiles tournant autour de Jupiter comme la Lune autour de la Terre, tandis que toutes ensemble avec Jupiter, elles parcourent leur orbite autour du Soleil, en douze ans »*.

Galilée donne le nom de « planètes Médicées » aux quatre « lunes » de Jupiter, rendant hommage ainsi au Grand-duc de Toscane Cosme II, son ancien élève. Pour quelles raisons fait-il cela ? Il souhaite l'avoir pour protecteur, pour mécène, c'est-à-dire pouvoir faire des recherches et être payé – substantiellement, en tout cas plus qu'à Padoue – sans exercer d'activité d'enseignement ; ceci au prix de la liberté qu'il pouvait avoir à Venise, mais il avait des besoins financiers du fait de sa famille à entretenir. D'autre part, cette dédicace des satellites à une puissante famille régnante était un moyen de faire connaître et de faire avaliser ses découvertes. En même temps qu'un exemplaire de son ouvrage, il envoya une bonne lunette à Cosme de Médicis. En juin, Galilée fut nommé premier mathématicien de l'université de Pise et philosophe du Grand-duc, sans obligation d'enseigner, avec un bon salaire. Les Vénitiens n'ont pas été contents.

Galilée continue ses mesures sur les lunes de Jupiter après la parution du *Sidereus Nuncius* et remarque **les phases de Vénus**, qui confirment la validité de l’hypothèse de Copernic ainsi que l’existence de deux renflements latéraux autour de **Saturne** qu’il interprète comme des compagnons proches et immobiles. Il signale d’abord ses découvertes dans des anagrammes, selon la pratique de l’époque, qu’il adresse à Giuliano de Médicis et à Kepler. L’anagramme concernant Vénus était : *Haec immatura a me jam frustra leguntur o y* (En vain j’ai cueilli ces fruits verts), soit, dans l’ordre : *Cynthiae figuras aemulatur mater amorum* (La mère des amours [Vénus] imite les phases de la lune). Celui concernant Saturne était : *Smaismrmilmepoetaleumibunenugttauiras*, soit *Altissimum planetam tergeminum observavi* (j’ai observé la plus haute planète comme trigéminée).

Galilée a observé aussi **les taches solaires** avant son départ de Padoue. Elles avaient déjà été observées. Il les montra publiquement en avril 1611. En 1613 il écrira les « Lettres sur les taches solaires » en donnant son interprétation. Elles lui ont permis de démontrer que le Soleil n’était pas parfait et immuable.

En 1611, il établit les périodes de révolution des satellites de Jupiter.

Satellite	1	2	3	4
Période	1 jour 18h 1/2	3 jours 13h 1/3	7 jours 4 h	16 jours 18 h
Vitesse angulaire	8°23’/heure	4°12’/heure	2°05’/heure	0°54’/heure
Rayon orbite	3,5	5,7	8,8	15,3
A^3/T^2	13,6	14,6	13,2	12,7

Paramètres mesurés en avril 1611. Le rayon de l’orbite est en fraction du rayon de Jupiter, la vitesse en degrés par heure. Le rapport de la troisième loi de Kepler a été calculé par Alain Brémond pour illustrer la précision des calculs de Galilée.⁶

On peut faire cette détermination à partir des mesures de Galilée en commençant par déterminer la date et l’heure de chaque observation en temps universel. Les horloges à l’époque de Galilée étaient peu précises et se décalaient au long de la journée. Aussi Galilée indiquait l’heure de ses observations à partir de l’heure du coucher du Soleil⁷.

LA RÉCEPTION ET LE COMBAT

Après 1613, il n’y a plus de découvertes astronomiques, et Galilée s’est engagé dans un combat passionné en faveur de Copernic. Il espère faire adopter par les intellectuels et par l’Eglise la nouvelle vision du monde et de la science. Son combat durera jusqu’à l’échec définitif : le procès de 1633.

« Rallier le Copernicanisme, c’est aussi rallier l’idée que l’astronome, par les ressources dont il dispose, est pleinement qualifié pour intervenir dans les questions traditionnellement réservées aux philosophes »⁸

Quand Galilée est-il devenu copernicien ? pour quelles raisons ?

Plusieurs lettres de Galilée avant 1600, notamment une lettre qu’il a écrite à Kepler le 4 août 1597, après avoir reçu son livre, où il déclare : « depuis plusieurs années déjà, je me suis converti à la doctrine de Copernic, grâce à laquelle j’ai découvert les causes d’un grand nombre d’effets naturels dont il est hors de doute que l’hypothèse commune ne peut rendre compte » semblent attester que dès la période de Padoue Galilée était copernicien, bien qu’il enseigne alors « la Sphère » selon la doctrine traditionnelle. Et les recherches de Padoue en mécanique sont liées à

⁶ Tableau donné par Alain Brémond Cahiers Clairaut n°130

⁷ Galilée et les satellites de Jupiter, in Fiches pédagogiques du CLEA, Hors Série n°5 Gravitation et Lumière

⁸ Maurice Clavelin « Galilée, cosmologie et science du mouvement » CNRS éditions, 2016, p.26

une conviction copernicienne : le concept du mouvement n'est plus celui d'Aristote). Selon Maurice Clavelin : « sans le copernicanisme la conception de la gravité utilisée par Galilée dès la fin des années 1590 – et sur laquelle s'appuie directement la légitimation d'une science géométrisée du mouvement – reste pour une grande part inexpliquée »⁹

Les observations de 1609 – 1610 et la publication du ***Sidereus Nuncius*** conduisent Galilée à une prise de position publique. Son affirmation est de plus en plus assurée dans les mois qui suivent, comme on peut le constater dans ses lettres.

Les découvertes de Galilée se sont répandues dans toute l'Europe et Galilée devint célèbre. Mais avec l'admiration, arrivèrent aussi les contestations. Ce qui paraissait évident à Galilée était de peu de poids face aux doctrines traditionnelles.

Mais Galilée voulait mettre tout en œuvre pour obtenir le soutien de l'Église à la cause de la science et empêcher une rupture entre les deux. Il a cru y parvenir au début, puis a espéré malgré les revers jusqu'à son procès en 1632.

Les différentes objections

Il y eut d'abord les accusations, en partie justifiées, que Galilée n'était pas l'inventeur de la lunette. Mais Galilée a su utiliser cet instrument, l'améliorer et répandre ses observations.

« Galilée ne fut pas le premier à braquer une lunette vers le ciel, mais il fut le premier à s'apercevoir de l'énorme intérêt de ce qu'on découvrait ainsi. Il comprit immédiatement en effet que ses observations concordait parfaitement avec les théories coperniciennes, alors qu'elles étaient nettement en contradiction avec la vieille astronomie »¹⁰

Les objections ont porté sur les points suivants :

- La contestation des observations :
 - o Le rôle de la lunette
 - o Les observations de la Lune
 - o les taches solaires
- objections des théologiens
- objections physiques : Galilée y répondra principalement dans le *Dialogue*

La contestation des observations

- **La lunette**, à ses débuts, n'a rien d'un instrument scientifique. Et la vision à l'œil nu est pensée comme **une norme**, malgré les allusions de Léonard de Vinci, Fracastor, etc. Et les premières lunettes étaient pleines d'aberrations, le champ de la lunette de Galilée est assez réduit. Galilée dans son atelier a fabriqué des lunettes de plus en plus performantes. Il avertit lui-même dans le *Messenger* :

« Il est important ici d'avertir ceux qui voudraient faire de telles observations. Il est en premier nécessaire qu'ils se procurent une bonne lunette qui montre les objets avec tout leur éclat, distinctement, sans aucun obscurcissement, et qui les agrandisse au moins 400 fois : dans ces conditions la lunette les rapprochera 20 fois. Mais si l'instrument n'a pas ces performances, il sera impossible de voir tout ce que nous avons observé dans le ciel »

Même le père Christopher Clavius, du Collège romain, croit d'abord que les découvertes sont une illusion due aux lentilles, mais, après ses propres observations, reconnaît leur valeur, comme ses collègues jésuites mathématiciens du collège romain.

« Vous devez vous étonner que je n'aie pas encore répondu à votre lettre, datée du 17 septembre ; la raison en est que j'ai attendu de jour en jour votre venue à Rome, et aussi que je voulais d'abord essayer de voir les nouvelles planètes médicéennes : et de fait nous les avons vues ici à Rome plusieurs fois très distinctement. Je mettrai à la fin de la lettre quelques observations, dont on déduit très clairement qu'elles ne sont pas des étoiles fixes, mais errantes, car elles se déplacent les unes vis-à-vis des autres et vis-à-vis de Jupiter. Vous méritez vraiment de grands éloges, étant le premier à avoir observé tout cela. Bien avant nous avons déjà vu de

⁹ Maurice Clavelin, *Galilée copernicien Le premier combat* (1610-1616), p.564

¹⁰ Ludovico Geymonat., *Galilée*, Seuil, Points-Sciences, 1992, p. 56

très nombreuses étoiles dans les Pléiades, le Cancer, Orion et la Voie lactée, qui sans l'instrument sont invisibles. » Clavius à Galilée, le 17 décembre 1610

Mais « Croire à ce que nous montre la lunette, quand on la braque vers le ciel, signifie en effet que l'on croit à l'existence de ce que l'on perçoit grâce à cette lunette même si l'on n'a par principe aucun moyen de vérifier son existence grâce à la vision directe. Comment nier que cette confiance dans la lunette n'impliquât à proprement parler une véritable révolution méthodologique ? »¹¹

Galilée a dû défendre l'usage de la lunette contre quelques autres professeurs qui n'admettaient pas ses découvertes. « étant avéré que, depuis deux ans et demi désormais, j'ai fait de mon instrument, ou plutôt de plusieurs dizaines de mes instruments, des centaines et des milliers d'expériences sur des centaines et des milliers d'objets proches et lointains, grands et petits, lumineux et obscurs, je ne vous pas comment quelqu'un pourrait me croire assez simple pour être resté dupe de mes observations, et penser qu'entre la perspicacité d'un autre et ma propre stupidité, il y eût un tel abîme que cet autre, sans avoir vu mon instrument, y ait découvert des vices dont je ne me serais pas aperçu, moi, après cent mille expériences, et non seulement moi, mais aucun de ceux, et ils sont nombreux, qui l'ont utilisé en même temps que moi » Et la plaidoirie continue : « avec tous ces instruments, partout utilisés, on observe de soir en soir sur ces planètes exactement les mêmes changements et les mêmes dispositions : ceux qui voudront maintenir que de tels phénomènes sont des illusions auront ainsi grand peine à découvrir les raisons pour lesquelles tous les instruments, grands et petits, longs et courts, s'accordent à ce point à créer des apparences trompeuses, et à nous les montrer, parmi les innombrables objets visibles, autour de la seule étoile de Jupiter » Lettre à Piero Dini du 21 mai 1611, in Dialogues et lettres choisies, p. 368

C'est donc l'accord entre les « centaines et les milliers » d'observations faites par lui et par un grand nombre d'autres observateurs, qui légitime l'usage de la lunette comme instrument scientifique.

Galilée va à Rome en avril 1611. C'est la reconnaissance officielle et le triomphe. Les mathématiciens du collège romain confirment ses découvertes (Lettre des mathématiciens du collège romain à Robert Bellarmine 24/04/1611). Galilée entre à l'Accademia dei Lincei.

Mais Galilée n'en a pas fini avec les contestations. Ce n'est même que le début.

- Disputes sur la Lune et les autres observations

Nous avons vu que lorsqu'il examine **la Lune** avec son instrument, Galilée remarque que **la surface de l'astre n'est pas rigoureusement sphérique**. Sa surface est accidentée, et ressemble à la surface de la Terre. **Ce n'est pas un objet céleste parfait. Elle est comme la Terre. Cela contredit l'hétérogénéité physique du ciel et de la Terre.**

Evidemment, ces conclusions ne plaisent pas aux péripatéticiens. Après avoir contesté l'usage de la lunette, ils s'attaquent aux nouveautés célestes elles-mêmes. Les Jésuites sont aussi bien ennuyés. Ils ont reconnu les observations mais voudraient rester en accord avec la cosmologie classique aristotélicienne, selon laquelle la Lune est, comme les planètes qui tournent autour de la Terre, constituée d'un élément inaltérable et parfaitement sphérique.

D'autre part le contour de la Lune paraît circulaire et non dentelé, ce qui peut paraître contredire la présence de montagnes sur la Lune. Galilée s'en explique déjà longuement dans le *Messenger*, il propose deux explications à ce phénomène. « De ce phénomène qui peut induire un sérieux doute, je propose une double explication et, par conséquent, une double résolution du problème (...) Ainsi, parce que sur la surface de la Lune aussi bien que près de sa circonférence il y a une association complexe de protubérances et de dépressions, et parce que l'oeil de l'observateur très éloigné se trouve à peu près sur le même plan que leurs sommets, et puisque les rayons visuels les rasent, on ne doit pas s'étonner de ce qu'elles se présentent suivant une ligne continue, sans anfractuosités.

La seconde explication est la suivante (...) »

¹¹ Ludovico Geymonat., *Galilée*, Seuil, Points-Sciences, 1992, p. 71

Mais ses explications n'empêchent pas les polémiques.

Lodovico delle Colombe, par exemple, écrit un texte de contestation en décembre 1610 contre le mouvement de la Terre et une lettre à Clavius sur la Lune en mai 1611. Delle Colombe suppose que la Lune est enveloppée d'une substance transparente, de surface lisse et polie, que nos sens ne peuvent percevoir. On voit alors des « montagnes », mais cela n'empêche pas la Lune d'être un corps sphérique, donc parfait selon la doctrine aristotélicienne. Galilée répond dans plusieurs lettres : lettre à Gallanzoni du 16 juillet 1611 et surtout lettre à Grienberger du 1 septembre 1611 dans laquelle Galilée répond longuement aux contestations sur le contour de la Lune et la hauteur des montagnes.

Pour Galilée, et contrairement à la cosmologie traditionnelle, la Lune et les planètes sont, comme la Terre, opaques et reflètent la lumière du Soleil, à la différence des étoiles, comme Sirius « *l'étoile du chien* » qui sont lumineuses par elles-mêmes comme le Soleil. La distinction entre corps sublunaires, imparfaits et corps supralunaires parfaits est remplacée par une distinction entre corps lumineux par eux-mêmes et corps réfléchissant la lumière reçue.

Les *Lettres sur les taches solaires*, de 1612, écrites par Galilée en réponse aux lettres du Père Scheiner qui étudiait également ces taches, sont l'occasion de faire apparaître le Soleil comme le siège de phénomènes de « génération et de corruption ». Il y a deux interprétations possibles des taches : elles sont liées au corps solaire, ou bien ce sont des sortes d'astéroïdes tournant à distance, interprétation qui peut rentrer dans la cosmologie traditionnelle et qui est présentée par Scheiner. Galilée répond en trois lettres où il montre que seule la première interprétation s'accorde avec les faits. On trouve une vigoureuse critique de la notion d'essence au début de la troisième lettre.

La démonstration de Galilée montre donc que le Soleil non plus n'est pas hétérogène à la Terre d'un point de vue physique, puisqu'il subit des changements. Et de plus il tourne ! Tout converge pour faire de l'héliocentrisme le seul système physiquement crédible.

Maurice Clavelin insiste sur les différences des argumentations de Copernic et de Galilée. Alors que Copernic s'appuie sur l'accord de l'héliocentrisme avec l'harmonie du cosmos, Galilée abandonne cet argument et s'appuie sur ceux fournis par l'observation, dont l'héliocentrisme paraît la seule traduction possible.¹²

La physique traditionnelle est incapable de fournir des explications. Galilée introduit une nouvelle méthodologie. « *La science c'est la démonstration nécessaire appuyée sur l'observation* » Maurice Clavelin paraphrase ainsi cette formule de Galilée : « *faire œuvre scientifique, au plein sens du terme, c'est formuler des propositions dont on peut montrer qu'elles sont les conséquences nécessairement appelées par les données d'observation disponibles* ». ¹³

A propos des satellites de Jupiter, que beaucoup ont pu observer, les **astrologues** aussi se sont inquiétés. Kepler rassure les tenants de l'astrologie « rationnelle ». Galilée répond aux praticiens de l'astrologie « prophétique » dans la lettre à Piero Dini du 21 mai 1611. Extrait :

« *Je ne veux pas taire à votre seigneurie ce que j'ai répondu ces jours derniers à l'un de ces faiseurs d'horoscopes qui s'imaginent que Dieu, en créant le ciel et les étoiles, n'a pensé à rien de plus qu'à ce à quoi ils pensent eux-mêmes. Il me demandait avec une importune insistance de lui dire les effets de ces planètes médicées, protestant qu'autrement il les refuserait comme oisives et nierait toujours leur existence d'astres superflus. Ces gens-là, conformément à la*

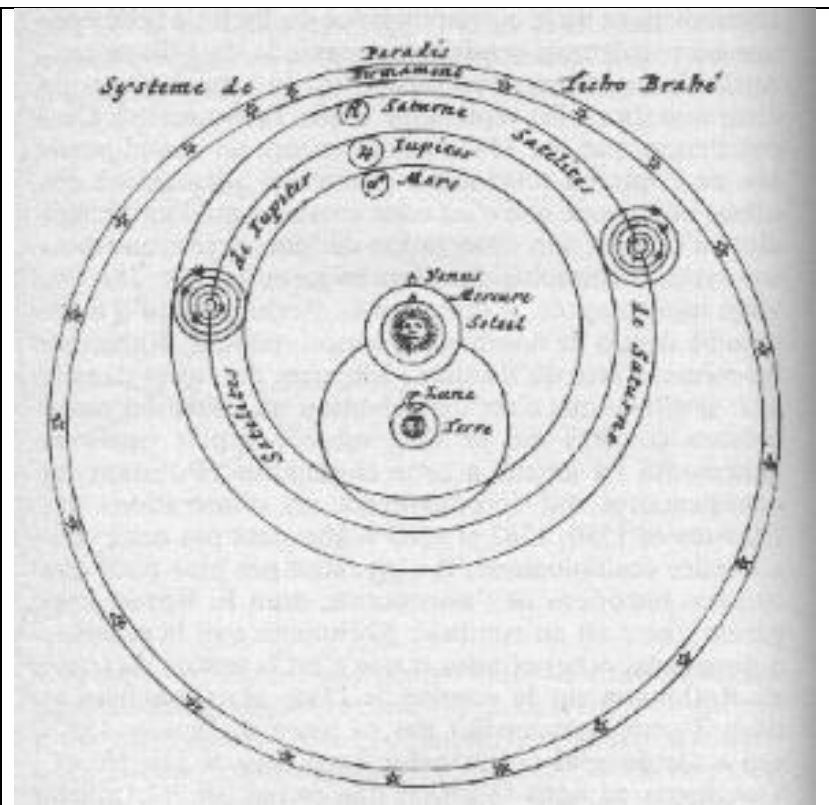
¹² Maurice Clavelin, *Galilée copernicien Le premier combat (1610-1616)*, Albin Michel, 2004, p. 26.

¹³ Maurice Clavelin, *Galilée, cosmologie et science du mouvement*, CNRS éditions, 2016, p.35

doctrine de Sizzi, estiment, je pense, que les astronomes ont reconnu qu'il y avait au monde sept planètes parce qu'ils ont vu, non pas leur corps dans le ciel, mais leurs effets sur la Terre [...] »¹⁴

Mais les traditionnalistes ne sont pas convaincus. Pour eux, les nouveautés célestes sont des **anomalies** pour lesquelles on doit pouvoir trouver **une explication** dans le cadre de la cosmologie traditionnelle.

En 1620, les Jésuites se rallient au système de Tycho Brahé, dans lequel la Terre est immobile, le Soleil tourne autour de la Terre, les planètes autour du Soleil.



Objections des théologiens

Le géocentrisme s'appuie sur plusieurs textes des Écritures : Josué 10, 12-13 ; Psaume 18, 5-7 ; Psaume 104 (103), 5 ; Ecclésiaste 1, 5 ; et parfois Job 9, 6-7 et Job 26, 7

« C'est alors que Josué s'adressa à Yahvé, en ce jour où Yahvé livra les Amorites aux Israélites. Josué dit en présence d'Israël : « Soleil, arrête-toi sur Gabaôn, et toi, Lune, sur la vallée d'Ayyalôn ! ». Et le Soleil s'arrêta, et la lune se tint immobile jusqu'à ce que le peuple se fut vengé de ses ennemis.

Cela n'est-il pas écrit dans le livre du Juste ? Le soleil se tint immobile au milieu du ciel et près d'un jour entier retarda son coucher. » Josué 10, 12-13

Ainsi les théologiens sont convaincus que le mouvement de la Terre est incompatible avec l'Écriture sainte et débattent des possibilités de mettre en difficulté Galilée.

Le cardinal Bellarmin, dans une lettre du 12 avril 1615 au carme Foscarini qui lui avait demandé son avis, fait connaître la position officielle de l'Église et conseille à Galilée de présenter sa théorie comme une hypothèse, et non comme la réalité du monde : « Je dis qu'à mon avis, vous et Monsieur Galilée agiriez prudemment en vous contentant de présenter les choses d'une façon hypothétique et non catégorique »

Galilée s'est préoccupé dès 1611 de répondre aux objections des théologiens. Il écrit plusieurs lettres ou textes dans lesquels il expose sa position.

¹⁴ GALILÉE : *Dialogues et lettres choisies*, Hermann, 1966, p. 374.

Dans l'Écriture, il ne faut pas s'en tenir au sens littéral des mots, car dans certains cas il en résulterait l'apparition « de contradictions, mais aussi de graves hérésies et de blasphèmes ; car ne faudrait-il pas attribuer à Dieu des pieds, des mains et des yeux (...) ».

L'Écriture et la nature sont deux expressions de la volonté divine :

« Etant donné, donc, que l'Écriture en de nombreux passages non seulement appelle des interprétations s'écartant de la signification apparente des mots mais en a besoin absolument, je pense que dans les discussions sur la nature elle ne devrait intervenir qu'en tout dernier lieu. Écriture sainte et nature procèdent toutes deux en effet du Verbe divin, la première en tant que dictée de l'Esprit saint, la seconde en tant qu'exécutrice très fidèle des ordres de Dieu » La nature ne peut montrer des choses qui contredisent la volonté de Dieu et donc « ceux des effets naturels que l'expérience sensible place devant nos yeux ou qui sont prouvés par des démonstrations nécessaires, ne doivent d'aucune façon être mis en doute au nom de passages de l'Écriture dont les mots paraissent avoir un autre sens, puisque chacun de ces mots est loin d'être soumis à des obligations aussi sévères que ne l'est chacun des effets de la nature. » (lettre à Don Benedetto Castelli, 21 décembre 1613)

Dans les textes suivants (notamment la lettre à la Grande-Duchesse Christine de Lorraine), Galilée reprend et enrichit sa position, en réponse aux arguments de théologiens selon lesquels :

- La théologie reine de toutes les sciences serait habilitée à les contrôler
- Ce sur quoi s'accordent unanimement textes bibliques et Pères de l'Église doit être accepté sans glose ni interprétation

La première réponse de Galilée à ce deuxième argument s'appuie sur saint Augustin qui dit que « nous ne devons pas être moins attentifs à faire s'accorder un passage de l'Écriture avec une proposition naturelle démontrée qu'avec un autre passage de l'Écriture qui semblerait avoir un sens contraire »

Sa deuxième réponse : les théologiens qui contredisent Galilée négligent des faits essentiels. Le fait déjà souligné que pour être mieux comprise, l'Écriture s'adapte aux capacités, et que ce soit de la même manière chaque fois qu'elle aborde le même sujet n'est pas un argument supplémentaire ; et l'absence chez les saints pères de toute discussion méthodique et raisonnée du mouvement de la Terre et de l'immobilité du Soleil. On ne peut donc affirmer qu'ils ont condamné la doctrine. Enfin les décrets des Conciles n'interdisent que de détourner les passages relevant de la foi ou des mœurs.

Galilée recommande aux théologiens de réfuter les arguments des coperniciens au lieu de recourir à l'accusation d'hérésie.

Galilée reprend aussi le texte de Josué et montre qu'il n'est pas plus difficile à interpréter dans un sens copernicien.

Mais les arguments de Galilée ne suffisent pas. Le Saint Office convoque le dominicain, Tommaso Caccini, qui avait attaqué Galilée en décembre 1614 dans un prêche. Galilée va à Rome et mène campagne. Il rédige le *Discours sur le flux et le reflux de la mer* (explication des marées par le double mouvement de la Terre, qui pour lui, en constitue une preuve).

En février 1616, deux propositions sont censurées (Le Soleil est au centre et la Terre est en mouvement). Le *De Revolutionibus* est suspendu « *donec corriegetur* »¹⁵. Galilée ne doit plus enseigner l'héliocentrisme mais, cependant, il est reçu chaleureusement et reçoit une attestation du cardinal Bellarmine qu'il n'a été contraint à aucune abjuration.

A partir de 1616, la tendance la plus répandue chez les Jésuites sera l'adhésion au système astronomique de Tycho Brahé qui leur paraît conciliable avec la métaphysique d'Aristote. Mais dans ce système, le cinquième élément, dépourvu de gravité, est toujours nécessaire. Ce système est incompatible avec les découvertes, mais difficile à contester sans se heurter aux théologiens et risquer de se faire accuser d'hérésie.

¹⁵ Jusqu'à ce qu'il soit corrigé

Après 1616, Galilée reste quelques années dans l'attente de nouvelles possibilités. Mais il met au point une méthode pour déterminer la longitude à partir des éclipses des satellites de Jupiter.

L'apparition de trois comètes, fin 1618, fournit à Galilée l'occasion d'écrire un *Discours sur les comètes*, puis *le Saggiatore* et d'autres textes ultérieurement, attaques contre le système et les raisonnements de Tycho Brahé.

Objections physiques

Les objections physiques au mouvement de la Terre sont très anciennes. Pour leur répondre, il faudra changer complètement la conception du monde d'Aristote, sa conception du mouvement et sa cosmologie.

- Si la Terre tournait, une pierre projetée en l'air verticalement ne retomberait pas à son point de départ, mais à l'ouest, car la Terre se serait déplacée vers l'est pendant qu'elle est en l'air. De même une pierre qu'on laisse tomber du haut d'une tour ne tomberait pas, comme elle le fait, au pied de la tour.
- Si la Terre tournait, les objets à sa surface seraient projetés dans l'espace
- Si la Terre tournait autour du Soleil, les étoiles fixes auraient une parallaxe. Or, à l'époque de Galilée, aucune parallaxe n'est mesurable (C'est la raison pour laquelle Tycho Brahé refuse l'héliocentrisme)

Les objections physiques au mouvement de la Terre avaient été énoncées depuis que celui-ci était envisagé, mais elles ne sont pas mises en avant publiquement entre 1610 et 1616. En 1616 Ingoli écrit un texte utilisant ces arguments. Galilée y répond en 1624 (Lettre à Ingoli). Il est encouragé par l'élection comme pape de Maffeo Barberini, qui lui était favorable. On trouve dans cette lettre beaucoup de points que l'on retrouve dans le *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du Monde*, que le pape l'autorise à écrire, à condition qu'il présente les deux systèmes de manière équilibrée et qu'il ne mette pas la théorie des marées dans le titre.

En 1632: paraît en italien à Florence le *Dialogue de Galileo Galilei, de l'Académie des Lincei, où, en quatre journées, il est discourt des deux plus grands systèmes du monde, le ptolémaïque et le copernicien* ».

En fait le projet du Dialogue est de provoquer la conversion rationnelle à l'héliocentrisme¹⁶. Il est divisé en quatre journées et c'est une conversation entre trois interlocuteurs : Interlocuteurs des Dialogues de Galilée

- Simplicio présente les objections traditionnelles
- Sagredo joue le rôle de l'honnête homme cultivé, prêt à admettre les idées nouvelles
- Salviati tient la place de Galilée, dont il se réclame : « *notre ami* » ou « *l'Académicien* »

La première journée du Dialogue vise à rétablir l'égalité de droit de l'héliocentrisme et du géocentrisme comme représentations possibles du monde (égalité refusée par le décret de 1616).

La deuxième journée s'intéresse au mouvement diurne (rotation de la Terre sur elle-même)

La troisième journée au mouvement annuel (rotation de la Terre autour du Soleil)

La quatrième journée à la théorie des marées, dont Galilée pensait qu'elle justifiait la mobilité de la Terre.

Maurice Clavelin¹⁷ résume ainsi la doctrine aristotélicienne :

¹⁶ Maurice Clavelin, *Galilée copernicien Le premier combat* (1610-1616), p.528

¹⁷ Maurice Clavelin, *Galilée copernicien Le premier combat* (1610-1616), p.535

Prémises cosmologiques générales

- Le monde est un corps parfait
 - Il a un haut et un bas
- Il existe trois types de mouvements naturels



Théorie des éléments

- Principe : éléments et mouvements se correspondent chacun à chacun
- Aux deux mouvements rectilignes naturels correspondent feu et terre
- Au mouvement circulaire naturel correspond un 5^{ème} élément



1^{ère} conséquence nécessaire

L'immobilité de la terre
au centre du monde

2^{ème} conséquence nécessaire

L'hétérogénéité physique du
ciel et de la terre

Dans la première journée du Dialogue, Galilée utilise cette deuxième conséquence, dont ses observations ont montré qu'elle est fautive, pour contester l'ensemble du système. Héliocentrisme et géocentrisme sont ensuite à égalité dans la discussion sur la structure de l'univers compte tenu des observations.

Les objections physiques portent sur le mouvement et la manière dont il est perçu. Elles sont rappelées au cours de la deuxième journée (p.152 de l'Édition Nationale, tome VII). Le Copernicanisme implique la modification profonde du concept de mouvement.

Pour Aristote (384 – 322 AC), et ses successeurs, le mouvement est un processus et non un état. L'objet qui le subit est modifié. Le mouvement a nécessairement une cause. Le mouvement est « naturel » ou « violent ». On s'intéresse au début et à la fin du mouvement, mais pas à ce qui se passe entre les deux.

Galilée a la conviction que les lois de la nature ont le même statut en tout lieu sur la Terre comme au ciel. Cela justifie l'étude des mouvements terrestres comme source de renseignements sur les mouvements planétaires. Le travail de Galilée en mécanique est complètement en lien avec sa conception du monde, en opposition avec celle d'Aristote.

Pour Galilée, le mouvement n'est pas un changement, une transformation du corps, mais une modification du rapport entre les choses.

L'idée de la Terre en mouvement impose que ce mouvement soit « comme nul » pour les objets liés à la Terre, puisque nous ne le percevons pas.

La deuxième journée du Dialogue expose des discussions sur de nombreux exemples terrestres qui visent à établir la proposition suivante : « *Le mouvement est mouvement et agit comme mouvement en tant qu'il est en relation avec les choses qui en sont privées ; mais pour ce qui est des choses qui y participent toutes également, il n'agit nullement et il est comme s'il n'était pas.* »

A propos de l'exemple d'une pierre qui tombe verticalement d'une tour en la rasant et de celle qui tombe depuis le mât d'un navire en mouvement :

Salviati : signor Simplicio, êtes-vous intimement certain que l'expérience du navire cadre bien avec notre propos ? Est-il raisonnable de croire que ce qu'on y constate se produira aussi avec le globe terrestre ?

Simplicio : Jusqu'à présent, j'ai pensé que oui ; vous avez certes mentionné quelques petites différences, elles ne me paraissent pas assez décisives pour me faire changer d'avis.

Salviati : J'aimerais au contraire que vous perséveriez, en soutenant fermement que ce qui se passe sur la Terre doit correspondre à ce qui se passe sur le navire ; et, même si cela se révélait contraire à vos desseins, n'allez pas changer d'avis. Vous dites : quand le navire est à l'arrêt, la pierre tombe au pied du mât, et, quand le navire est en mouvement, elle tombe loin du pied ; inversement

donc, quand la pierre tombe au pied du mât, on en conclut que le navire est à l'arrêt, et, quand elle tombe loin du mât, on en conclut que le navire est en mouvement ; comme ce qui arrive sur le navire doit également arriver sur la Terre, dès lors que la pierre tombe au pied de la tour, on en conclut nécessairement que le globe terrestre est immobile. C'est bien là votre raisonnement, n'est-ce pas ?

Simplicio : C'est précisément cela, et votre résumé en facilite beaucoup la compréhension.

Salviati : Dites-moi maintenant : si la pierre abandonnée au sommet du mât quand le navire avance à grande vitesse tombait précisément au même endroit du navire que lorsqu'il est à l'arrêt, comment ces chutes vous serviraient-elles à décider si le vaisseau est à l'arrêt ou en mouvement ? (p. 170)

Après plusieurs échanges d'arguments dans lesquels Simplicio met en avant la théorie du mouvement et Salviati les démonstrations tirées de l'expérience,

Salviati : (...) *Signor Simplicio*, avez-vous autre chose à répondre sur ce point ?

Simplicio : Plus rien, sauf que je ne vois pas qu'on ait jusqu'à présent apporté la preuve de la mobilité de la Terre

Salviati : Je n'ai pas prétendu la prouver, j'ai seulement voulu montrer qu'on ne peut rien tirer de l'expérience présentée comme argument pour l'immobilité de la Terre, pas plus que des autres expériences. (p. 180)

Le texte de « l'expérience qui suffit à montrer l'invalidité de toutes celles qu'on met en avant contre le mouvement de la Terre » (p. 213), description minutieuse de l'intérieur d'un navire et de tous ses occupants, peut être étudié avec les élèves de différents niveaux, et éclaire le raisonnement de Galilée.

Dans le 3^{ème} jour du Dialogue, le mouvement annuel est débattu.

Après une longue discussion accompagnée de calculs utilisant les mesures de 12 astronomes à propos de l'étoile nouvelle de 1572, La conclusion est que celle-ci se trouve probablement à la hauteur des étoiles fixes.

Après la discussion de l'arrangement d'ensemble des astres, on demande à Simplicio de faire le dessin, en tenant compte de toutes les observations rappelées avant. On suppose que les étoiles sont très éloignées pour expliquer l'absence de parallaxe (c'est la bonne explication, les instruments à l'époque de Galilée ne pouvant mesurer le très petit angle de parallaxe). Il peut être intéressant de faire le même travail avec les élèves en suivant le texte.

Dans le 4^{ème} jour du Dialogue, Galilée explique les marées par la combinaison des mouvements diurne et annuel. Les marées étaient pour lui une preuve du mouvement de la Terre. Cette 4^{ème} journée reprend le *Discorso sopra il flusso e reflusso del mare* que Galilée avait écrit en 1616 pour tenter de surmonter l'opposition de l'Eglise à la théorie copernicienne

L'ouvrage est bien accueilli par les personnes cultivées à qui il est destiné. Mais le pape change brutalement d'attitude à l'égard de Galilée et le procès intenté à Galilée par le Saint-Office aboutit à sa condamnation le 22 juin 1633.

Il est relégué près du couvent où réside sa fille. Son œuvre est largement diffusée en Europe. Il rédige ses travaux de mécanique.

En 1638 est publié à Leyde son ouvrage *Discours sur deux sciences nouvelles*, qui révolutionne la mécanique.

Il meurt le 8 janvier 1642.

Bibliographie

Nicolas COPERNIC, *Des Révolutions des Orbes Célestes*, traduction avec introduction et notes par A. Koyré, 1934

Galileo Galilei, *Le messager des étoiles*, traduit par Fernand Hallyn, Seuil, coll. « Sources du savoir », 1992.

Galilée 1609-2009 *Observations astronomiques* avec Les textes originaux du *Sidereus nuncius* et autres, avec traduction et compléments, sous la direction d'Alain Brémond, en vente sur le site du CLEA. On peut le trouver en plusieurs PDF sur le site

https://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/ama09/sidereus/sidereus_p160-192.pdf

ou en indiquant sur un moteur de recherche : sidereus université lyon 1

Galileo Galilei, *Dialogues sur les deux grands systèmes du Monde*, traduit de l'italien par René Fréreau avec le concours de François De Gandt, Seuil, coll. « Sources du savoir », 1992.

GALILEE : *Dialogues et lettres choisies*, Introduction de Giorgio Di Santillana, Traduction de Paul-Henri Michel, Hermann, 1966.

Enrico Bellone, *Galilée*, Les Génies de la Science, Pour la Science, novembre 1999

Geymonat L., *Galilée*, Seuil, Points-Sciences, 1992 (traduction française de l'édition de 1969).

Jean-Pierre Maury, *Galilée, Le messager des étoiles*, Découvertes Gallimard, 1986

Maurice Clavelin, *Galilée copernicien Le premier combat (1610-1616)*, Albin Michel, 2004. (Cet ouvrage contient un très grand nombre de traductions de la correspondance et des textes de Galilée dans cette période)

Maurice Clavelin, *Galilée, cosmologie et science du mouvement*, CNRS éditions, 2016

Cahiers Clairaut <http://www.ac-nice.fr/clea/CleaCahiers.html>

Exemple : n° 130 (été 2010) sur Jupiter, n° 124 (hiver 2008) sur Galilée

Mathématiques et astronomie, Hors-série nouvelle formule des Cahiers Clairaut n° 10, avec un DVD

Le Soleil du cycle 3 au lycée, Hors-série nouvelle formule des Cahiers Clairaut n°14

Gravitation et Lumière, Hors-Série n°5

Les Hors-Série peuvent être achetés sur le site <https://ventes.clea-astro.eu/6-hors-serie>

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu puis, histoire de l'astronomie

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/histoire-forme-Terre.xml>

www.mathouriste.eu/ puis Copernic

<https://brunelleschi.imss.fi.it/>

<https://www.obspm.fr>