

# Comprendre « l'affaire Galilée »

## Introduction

S'il est un fait historique qui est régulièrement brandi à toutes les sauces, sans que personne ou presque n'en connaisse les tenants et les aboutissants, c'est bien le procès qui opposa Galilée et l'Inquisition en 1633.

Dans la nébuleuse sectaire New Age, tout avis contraire entraîne systématiquement l'évocation du nom de Galilée, afin d'identifier à une découverte scientifique une affirmation ésotérique généralement farfelue, et à l'Inquisition celui qui émet le moindre doute scientifique.

Mais d'un point de vue historique, l'église se souciait-elle vraiment de la Terre et du Soleil ? Les vraies raisons des inquisiteurs d'en vouloir à Galilée étaient-elles à chercher du côté des théories astronomiques ? Et d'un point de vue scientifique, est-il exact de considérer le comportement de Galilée comme un modèle de science, et celui de l'église comme un modèle d'institution fermée à tout débat et tout changement ?

Nous allons voir que c'est beaucoup plus compliqué, et politique, que cela.

## Un débat qui remonte à la Grèce Antique

Pour comprendre le contexte scientifique de l'affaire, il faut se replonger dans la pensée des savants grecs de l'Antiquité, dont l'aura commençait à décliner à l'époque de Galilée, tout en restant fort présente, ne serait-ce que par habitude.

Ces savants appartenaient à différentes écoles de pensée, notamment l'école aristotélicienne et l'école platonicienne. Si ces deux écoles ont hérité des pythagoriciens l'importance de l'observation en science, elles ne lui accordaient pas pour autant le même statut.

Chez les aristotéliciens, l'Homme est doué de raison, et porte déjà en lui les lois de la nature, qu'il tend à découvrir et comprendre très facilement grâce à son intelligence supérieure. L'observation débouche donc rapidement sur une interprétation simple et facilement accessible à l'Homme, sans qu'il faille aller la chercher bien loin. Dans l'école aristotélicienne, si les astronomes ont l'impression de voir la Terre au centre quand ils regardent le ciel, et que les hommes réputés sages dans leur majorité ne le contestent pas, alors cela signifie que la Terre est au centre. Pas besoin de tergiverser.

Chez les platoniciens, la science a vocation à établir des réalités qui dépassent la perception humaine. On pourrait y lire l'exacte définition de la science moderne. Il n'en est rien. Dans l'esprit des platoniciens, cette définition de la science signifie que la « raison », domaine d'expertise du philosophe, se place au-dessus de l'observation. L'observation donne un regard sur un aspect de la réalité, mais la réalité peut être plus large et échapper au regard. En revanche, elle n'échappera pas à la raison affûtée du philosophe. Les astronomes depuis la Terre voient la Terre au centre, mais si des astronomes observant le ciel depuis Mars disaient de la même façon qu'ils voient Mars au centre, qui aurait raison ? Pour les départager, il faudrait interroger, non pas l'observation qui conduit à des perceptions contradictoires, mais la raison du philosophe sur la question de savoir comment il est logique et « raisonnable » que les cieux soient réellement faits.

Pour se plonger dans la pensée des savants de l'Antiquité, il faut se souvenir que celle-ci est très différente de la nôtre, mais aussi que la manière dont il faut l'entendre dépend de l'école de pensée à laquelle chacun appartenait. Tout en sachant que les contemporains de Galilée ne maîtrisaient pas forcément ces subtilités de lecture. Cela a une grande importance en astronomie, car les savants comme Ptolémée ou Eudoxe, les piliers des modèles géocentriques, étaient des platoniciens. Cela implique que leurs modèles de l'univers ne prétendaient pas représenter la réalité de l'univers tel qu'il est physiquement. Au contraire, il s'agissait pour leurs auteurs de modèles observationnels et prévisionnels, qui parlent de ce qu'on voit comme on l'a vu depuis la Terre, et de la prévision (approximative) de ce qu'on verra. S'appuyer sur leurs modèles pour dire que la Terre *est* au centre relève donc d'une lecture anachronique de la plupart de ces auteurs.

Il faut signaler aussi qu'à l'époque, si les savants ne séparaient pas catégoriquement la science et les considérations sur les dieux, il n'était en revanche pas d'usage de réfuter un argument scientifique avec un argument religieux. Pour les Grecs, les dieux se fichaient complètement des théories scientifiques des humains, et donc une théorie scientifique même fautive ne risquait nullement d'offenser les dieux. Opposer la religion à la science est un procédé d'argumentation purement judéo-chrétien.

Mais alors, la raison du philosophe, que disait-elle au sujet du ciel ?

C'est l'histoire d'une distinction. Sous la Lune, il y a le monde des hommes. Il est imparfait et corruptible, tout y change tout le temps. Au-dessus de la Lune, Lune comprise, il y a le monde des dieux. Il est parfait, incorruptible, immuable et éternel. Bien sûr cela n'a rien à voir avec la religion, c'est de la science, puisque c'est la raison du philosophe qui le dit. Nous avons donc deux mondes distincts entre le ciel et la Terre, régis par des lois totalement opposées.

Puisque le monde des dieux est parfait et incorruptible, il n'est envisageable de le décrire qu'à partir d'objets intellectuels parfaits. Les seuls objets géométriques « autorisés » sont donc le cercle et la droite, quoiqu'on pourrait penser que le triangle équilatéral ou le carré sont eux aussi parfaits, mais ils collent moins avec les observations. Tout comme la droite... Bien sûr, toutes les tailles et surtout toutes les vitesses sont constantes, puisqu'elles ne peuvent être corrompues. Les changements de distances ne peuvent donc s'expliquer qu'avec le déplacement d'un objet sur un cercle à vitesse constante, par rapport à un point autre que son centre.

## Et donc dans le ciel, que voit-on ?

Se trouver la nuit sous la voûte céleste est une expérience bien différente des représentations du ciel dont nous disposons aujourd'hui.

En premier lieu, le ciel aplati tout. Ce qu'on voit dans le ciel, est-ce situé à une seule et même distance ? A des distances différentes mais du même ordre de grandeur ? A des distances très différentes les unes des autres ?

L'observation n'apporte qu'une (petite) partie des réponses. On peut voir la Lune cacher le Soleil, cacher les planètes, cacher les étoiles. C'est donc l'objet le plus proche. A l'extrême, on pourrait voir à l'oeil nu le transit de Venus devant le Soleil, un phénomène très rare, si on arrivait à atténuer la lumière du Soleil sans trop dégrader l'image. Ceci montrerait que Venus peut être plus près que le Soleil. Mais est-elle parfois plus près, ou tout le temps plus près ? C'est Galilée qui apportera la réponse à cette question, avec sa lunette, car à l'oeil nu on ne peut pas trancher.

Dire qu'une planète ou d'une étoile cache l'autre, à l'oeil nu, relèverait de la gageure, et l'occasion d'une telle observation est rarissime.

Dans le ciel, on observe différents cycles, dont les durées sont très différentes :

Une rotation de l'ensemble du ciel en 23h56 pour les étoiles (24h pour le Soleil).

De petits décalage d'une journée/nuit à l'autre sur :

- Le Soleil, environ 4 minutes, qui donne un cycle de 1 année.
- La Lune, un peu moins d'une heure, qui donne des cycles d'environ 4 semaines.
- Mars, qui donne un cycle de 26 mois.
- Jupiter, qui donne un cycle de près de 12 ans.
- Saturne, qui donne un cycle de près de 30 ans.
- Mercure et Venus, qui sont aussi des planètes, mais ne s'éloignent pas du Soleil.

Les planètes se reconnaissent à un scintillement plus ou moins absent, et à leur lent déplacement par rapport aux étoiles.

Mais surtout, les mouvements ne sont pas tous homogènes. Si le Soleil et la Lune suivent bien un mouvement circulaire à vitesse constante autour de nous, Mars, Jupiter et Saturne ont en revanche un comportement très déroutant pour les anciens : elles ralentissent, puis font une petite boucle en marche arrière, avant de repartir dans le « bon » sens. C'est le fameux « mouvement rétrograde des planètes », et c'est un drôle de caillou dans la chaussure quand il s'agit d'expliquer le ciel dans le cadre de la divine perfection des cieux, dont tout le monde était convaincu dans l'Antiquité comme au XVIIème siècle, chez les scientifiques comme chez les religieux !

On pourra ainsi envisager des explications différentes :

- Pour le cycle d'une journée qui est beaucoup plus court que les autres.
- Pour la Lune et le Soleil parce qu'ils n'ont pas le mouvement rétrograde de Mars, Jupiter et Saturne.
- Pour Venus et Mercure, parce qu'elles ne sont pas visibles en milieu de nuit.

Alors concrètement, que peut-on démontrer avec des moyens simples :

- Que la Terre est ronde, notamment par l'observation des éclipses de Lune.
- Que le ciel est à une distance/hauteur très grande par rapport aux distances qu'on peut parcourir à la surface de la Terre, car la voûte céleste ne fait que tourner, sans modifications, quand on l'observe depuis différents endroits. Ceci confirme aussi que la Terre est ronde.
- Mesurer assez précisément la taille de la Terre, c'est ce qu'a fait notamment Eratosthène pendant l'Antiquité.
- Mesurer la distance Terre-Lune, avec une grosse marge d'erreur.
- Estimer la taille de la Lune, puisqu'on a une approximation de sa distance, la taille de la Terre, et que la taille apparente de la Lune dans le ciel est significative.
- Affirmer que le Soleil est autant de fois plus loin de la Lune qu'il est plus gros que la Lune, par l'observation des éclipses de Soleil (tantôt annulaires ou totales, à peu de choses près), et par les travaux de Thalès en géométrie. Mais autant de fois, c'est combien de fois ??? Les anciens n'auraient jamais cru que la bonne réponse fût 400 plus gros et 400 fois plus loin ! Leurs estimations étaient plutôt de l'ordre de 4 à 12 fois.

De fait, pour tout ce qui est plus loin que la Lune, toutes les tentatives de mesures de distance avec des moyens simples sont vouées à l'échec, même en utilisant le rayon terrestre ou la distance Terre-Lune comme unité de longueur.

## Comment expliquait-on tout ça dans la Grèce Antique ?

Nous avons dit qu'un argument religieux ne pouvait pas être utilisé comme argument scientifique. Il est toutefois intéressant de noter qu'en amont des écoles de pensée ultérieures, les Pythagoriciens considéraient Hestia, déesse du « feu central », comme une référence directe au Soleil. Un héliocentrisme d'essence religieuse a donc existé dans la Grèce Antique, avant que la question ne fasse l'objet de débats scientifiques entre les savants.

Et de fait, les savants se sont rendus compte très vite que les mouvements observables dans le ciel pouvaient s'expliquer assez simplement, en faisant tourner la Terre sur elle-même en une journée, autour du Soleil en une année, puis la Lune autour de la Terre et les planètes autour du Soleil. C'est le système héliocentrique, associé à Aristarque de Samos, au III<sup>ème</sup> siècle avant JC.

Bien que globalement minoritaire parmi les savants, cette idée pouvait être localement majoritaire, comme parmi les savants fréquentant la grande bibliothèque d'Alexandrie. Ainsi la reine Cléopâtre VII, enfant surdouée ayant grandi dans la bibliothèque, savait à l'âge de 10 ans que la Terre tournait autour du Soleil. Et pourtant son nom de famille était... Ptolémée !

Mais alors, si depuis le départ science et religion sont d'accord pour dire que le Soleil est au centre, comment diable en est-on arrivé à un tel pataquès et 2000 ans de controverse ?

C'est une question d'intuition et de conception des lois physiques. Car si l'idée que la Terre tourne apparaît comme une évidence aujourd'hui, il n'était pas du tout évident pour les anciens que la Terre puisse bouger sous nos pieds sans qu'aussitôt nous nous cassions tous la figure par terre.

Alors ces lois physiques, notamment celles qu'on attribue à Aristote, pourquoi s'opposaient-elles à l'idée que la Terre puisse bouger ?

D'abord... le vent ! Car si la Terre tournait, ce serait forcément, à minima, sur elle-même en une durée de 24 heures. Et on connaît la taille de la Terre, donc le périmètre du tour. Or avec une longueur et une durée, on peut calculer une vitesse. On pourrait ainsi déterminer que la Grèce tournerait à une vitesse de près de 1500 km/h. Ceci provoquerait un vent de 1500 km/h, et tout s'envolerait.

Et puis il y a l'expérience du mat. On sait qu'un caillou, s'il lâché, tombe librement en ligne droite vers le centre de la Terre. C'est une loi suivie par chaque caillou car écrite dans chaque caillou, sans que la Terre qui est en-dessous ne joue aucun rôle dans l'histoire. Si on lâche un caillou du haut d'un mat, le mat devrait se déplacer avec la Terre qui tournera pendant que le caillou tombe. Ainsi le caillou devrait atterrir, à la vitesse où tournerait la Terre, à quelques centaines de mètres du pied du mat. Or si on fait l'expérience, le caillou tombe inmanquablement au pied du mat.

De longs débats ont eu lieu pour savoir si un mouvement pouvait être permanent, pour aboutir à la conclusion que non. Pour qu'un mouvement dure indéfiniment, il faut une force pour le pousser indéfiniment, sinon il s'arrête. Ainsi pour que la Terre tourne indéfiniment, il faudrait une force absolument gigantesque qui la pousse en permanence pour éviter qu'elle arrête de tourner. Où trouver une telle force, si ce n'est en faisant une fois de plus appel aux dieux ? Il est plus logique de faire tourner le plus léger autour du plus lourd, c'est à dire le ciel autour de la Terre, car la force à trouver pour l'expliquer sera moins grande. De plus, une force éternelle a plus de chance de trouver sa place au-dessus de la Lune, dans le monde des dieux, que sous la Lune, où rien n'est éternel.

Mais comment savoir si la Terre est l'objet le plus lourd ? Les candidats ne sont pas nombreux. Il y a la Lune, mais on sait qu'elle est environ 3 ou 4 fois plus petite que la Terre, donc certainement beaucoup plus légère. Il y a aussi le Soleil, qui est peut-être, à l'inverse, 3 ou 4 fois plus gros que la Terre. Mais le Soleil est fait de feu alors que la Terre est faite de terre. Or on sait que l'élément terre est beaucoup plus lourd que l'élément feu. Donc même si le Soleil a un volume nettement supérieur à celui de la Terre, il reste beaucoup plus léger qu'elle. Et tout le reste, c'est juste des petits points dans le ciel, forcément beaucoup plus légers que les trois mastodontes que sont la Lune, le Soleil et la Terre.

Pour conclure, la Terre qui tourne sur elle-même et/ou autour du Soleil, ça serait bien commode, mais c'est malheureusement impossible. Comme la Terre ne peut pas bouger, il faut expliquer les mouvements du ciel dans un modèle où la Terre ne bouge pas. Et seulement avec des cercles puisque les cieux sont parfaits par définition. Avec ces deux contraintes, expliquer le mouvement rétrograde des planètes donne lieu à des usines à gaz.

Différentes versions, avec parfois plusieurs dizaines de cercles ou sphères, seront proposées par les savants pour expliquer les mouvements. On peut citer par exemple le modèle d'Eudoxe de Cnide.

On parle ici uniquement de mouvement, puisqu'à l'époque, on n'a aucune idée de comment ça tourne ni pourquoi ça tourne. C'est sans doute le plus difficile à appréhender pour nous, car nous avons dans la tête plein d'images qui découlent de la physique de Newton. De là, nous vient l'intuition que pour que ça tourne, il faut un gros machin au centre du cercle pour que ça puisse tourner autour. C'est ça qu'il faut se sortir de la tête. Avant Newton, au centre du cercle, il y a le point C. Il n'est pas nécessaire d'imaginer que quoi que ce soit se trouve en C pour que ça fonctionne.

Ptolémée intervient assez tard dans l'Histoire de la Grèce. C'est au II<sup>ème</sup> siècle après JC qu'il va tenter de faire la synthèse de toutes les propositions faites par les savants depuis plus de cinq siècles !

Dans le modèle de Ptolémée, la Terre ne bouge pas puisque les lois physiques disent que c'est impossible, et le mouvement rétrograde des planètes s'explique par des épicycloïdes. C'est à dire qu'on « attache » un petit cercle sur un grand cercle.



## Mais est-ce à dire que la Terre *est* le centre ?

L'existence d'éclipses de Soleil annulaires et totales met à mal cette idée, avant même de parler des planètes. Si le Soleil et la Lune tournaient autour de la Terre, sur des cercles concentriques, avec la Terre au centre de ces deux cercles, alors les distances Terre-Lune et Terre-Soleil seraient absolument constantes. Et donc les éclipses de Soleil seraient soit toutes totales, soit toutes annulaires, puisque la taille réelle de la Lune et du Soleil ne peut pas changer non plus. Pour que la taille apparente de la Lune et/ou du Soleil varie, il faut que leur distance à la Terre varie, et donc que la Terre ne se trouve pas au centre d'un des deux cercles... ou des deux.

On aurait donc une Terre fixe située pas très loin des centres des cercles sur lesquels tournent le Soleil et la Lune. Et de même les planètes pourraient avoir le centre de leur déferent situé dans les environs de la Terre, avec un centre différent pour chaque cercle, sans qu'aucun de ces centres ne corresponde nécessairement à la Terre.

Les tout premiers modèles géocentriques étaient bien des modèles dit « homocentriques », c'est à dire des modèles avec un seul centre situé sur la Terre. Mais ces modèles simplistes ont vite été invalidés par l'observation, car en plus des éclipses, les astronomes grecs avaient constaté que les saisons n'étaient pas de durées égales, et que le Soleil ne se déplaçait pas à vitesse constante par rapport aux étoiles. Toutes ces raisons ont amené rapidement à placer la Terre un peu à l'écart du centre du mouvement circulaire du Soleil. En effet, si la précision des observations ne permettait pas d'établir que les mouvements n'étaient pas des cercles, elle était en revanche suffisante pour établir que la Terre n'était pas exactement au centre des mouvements cycliques observés dans le ciel.

De plus, comme les savants grecs géocentristes étaient globalement des platoniciens, ils ne prétendaient décrire le ciel tel qu'il est mais tel qu'on le voit.

Et donc si on regarde d'assez près, on constate que le géocentrisme, auquel adhérait la majorité des savants grecs (mais pas tous !) de l'Antiquité, ne revient pas à dire que la Terre constitue par elle-même le centre commun autour duquel tout tournerait. La Terre est simplement immobile et située pas très loin des centres.

Une dernière remarque sur les modèles géocentriques : leur extrême complexité rend impossible de déterminer la position de tous les centres pour tous les cercles, tous les rayons, toutes les vitesses... Les modèles expliquent les mouvements pour une observation du ciel dans l'à-peu-près. Mais comme ils sont trop complexes pour être étalonnés, ils ne peuvent pas être utilisés, et donc vérifiés, en faisant des calculs précis, des prévisions précises, qui pourraient être mis à l'épreuve par des observations précises. Si on va dans la précision des observations, ça ne marche jamais, mais au fond c'est normal, c'est parce que le modèle ne peut jamais être parfaitement étalonné. On ne peut ainsi pas le vérifier par des observations précises, mais cela ne signifie absolument pas qu'il est faux. C'est juste qu'il n'est pas testable dans la précision. C'est important de comprendre ça pour comprendre l'état de la science à l'époque de Galilée.

## Qu'est-ce qui a changé ou pas, au début des années 1600 ?

Si l'astronomie et l'astrologie sont en instance de divorce, la rupture est loin d'être consommée. A peu près tous les fondateurs de l'astronomie scientifique ont été en même temps astrologues, pour une raison simple : il fallait faire bouillir la marmite. Savoir qui du Soleil ou de la Terre tournait autour de l'autre, ça n'intéressait pas grand monde, donc ça ne nourrissait pas son savant. En revanche, prédire l'avenir de quelques riches personnes était bien plus lucratif.

D'autre part, même en conflit parfois avec l'église, les savants n'en demeurent pas moins croyants, et par voie de conséquence, ils sont ce qu'on appellera plus tard « créationnistes ». En tant qu'astronomes, ils étudient la manière dont Dieu a créé l'Univers. Et donc, il n'est pas question pour eux de remettre en question l'idée de la divine perfection des cieux, héritée des Grecs qui n'avaient pourtant pas les mêmes dieux. Ainsi, dans le ciel, tous les « ronds » sont des cercles parfaits. Personne n'oseraient remettre en question une telle évidence à la fois scientifique et religieuse.

A l'instar des cancreaux, les savants ont aussi des antisèches ! Les écrits des savants de l'Antiquité avaient tous été perdus dans le monde chrétien. Une partie a été retrouvée grâce aux traductions arabes conservées dans les universités islamiques, puis retraduites en latin. Mais les traductions ne se limitent pas aux classiques de l'Antiquité qui retrouvent pignon sur rue. On traduit aussi les ouvrages des savants musulmans du Moyen-Âge, dont le niveau scientifique dépasse largement celui des savants de l'Antiquité. Ces ouvrages circulent de préférence sous le manteau, et on s'en inspire sans forcément citer ses sources. Il peut être difficile de faire la part des choses entre ce qui a été découvert ou redécouvert, et ce qui a été repris sur des sources traduites de l'arabe.

En fait, on n'a pas avancé tant que ça en 2000 ans. On a toujours deux théories à disposition pour expliquer les mouvements apparents du ciel, avec au centre, soit la Terre, soit le Soleil. Des arguments en faveur de l'une ou l'autre peuvent être apportés, sans que l'état de la science ne permette de trancher définitivement cette question.

L'impossibilité de mesurer des distances au-delà de la Lune y est probablement pour quelque chose, puisqu'elle empêche d'accéder à la taille du Soleil entre autre. Mais surtout, le problème, c'est qu'on n'a toujours aucune idée des lois qui régissent les mouvements que l'on observe. Comme dans la Grèce Antique, on en est toujours à essayer de décrire des mouvements sans savoir ni comment ni pourquoi ça tourne.

## Le contexte de l'affaire

Galilée et le pape se connaissent et s'apprécient depuis longtemps. Galilée se sent donc probablement « couvert » par cette amitié avec le pape, puisqu'il est le chef suprême de l'église... vu de l'extérieur. Ce sentiment a pu l'encourager à franchir des limites avec lesquelles on savait qu'il ne fallait pas jouer dans la société de l'époque. Pourtant, des contre-pouvoirs existaient dans les coulisses du Vatican, et Galilée a sans doute surestimé le niveau d'immunité dont il pourrait bénéficier en cas de souci avec l'Inquisition.

L'église ne se souciait pas tellement du Soleil et de la Terre. Ce n'est pas un sujet religieux

au sens où les textes sacrés ne se prononcent pas sur la question. Il y a tout au plus dans l'Ancien Testament un miracle d'arrêt de la course du Soleil, qui laisserait à penser que c'est le Soleil qui tourne autour de la Terre. Mais est-ce à la logique d'expliquer les miracles ? Et c'est dans l'Ancien Testament, même pas dans l'Évangile. L'église est attachée par habitude à la physique d'Aristote et au modèle géocentrique de Ptolémée, mais ils reposent sur des fondements qui n'ont rien de religieux ni de chrétien. Aucun dogme religieux n'affirme qu'ils sont gravés dans le marbre. D'ailleurs, l'idée d'en changer commence à faire son chemin, par exemple pour valider le modèle de Tycho Brahe, qui faisait tourner Mercure et Venus autour du Soleil plutôt qu'autour de la Terre.

Ainsi, il est possible que ce soit le pape qui a suggéré à Galilée d'écrire un livre pour exposer les deux théories, afin que chacun puisse se faire son opinion. Une telle position de la part du pape montrerait son ouverture d'esprit et sa confiance en Galilée, mais surtout que le sujet n'avait pas de réelle portée religieuse. Sur un vrai sujet religieux, « exposer les deux théories pour que chacun se fasse son opinion » aurait été tout à fait impensable de la part de l'église à cette époque.

Mais surtout, l'église a bien d'autres chats à fouetter.

En effet, la réforme protestante réussit à s'implanter dans une grande partie de l'Europe, et c'est cette menace que l'Inquisition a pour mission de combattre. C'est autrement plus sérieux que la Terre et le Soleil ! Sur le plan théologique, un des points qui divise catholiques et protestants est le principe de la transsubstantiation. C'est à dire que pour les catholiques, l'ostie et le vin subissent lors de la messe une véritable transformation de la matière, par laquelle ils deviennent physiquement le corps et le sang du Christ ; tandis que pour les protestants ils ne font que symboliser le corps du Christ. Ça peut prêter à sourire aujourd'hui, mais à l'époque, l'affaire était très grave.

## Des erreurs d'appréciation en pagaille

La première erreur politique de Galilée, c'est de ne pas avoir mesuré qu'il avait beaucoup plus d'ennemis qu'il ne l'imaginait, et ça n'avait rien à voir avec la Terre et le Soleil. Depuis l'Antiquité, les philosophes s'interrogent sur l'existence des « atomes », c'est à dire d'une quantité de matière élémentaire et minimale en-dessous de laquelle on ne pourrait plus la diviser en deux quantités plus petites. Seule la science moderne pourra y répondre. Galilée a défendu des positions considérées comme « atomistes », sans preuve, mais sans arrière-pensée religieuse non plus. Mais pour les théologiens catholiques, ces positions atomistes sont vues comme contradictoires avec le principe de la transsubstantiation, ce qui les rend parfaitement inadmissibles. Et il y avait donc au sein de l'Inquisition des gens qui pour cette raison voudraient s'en prendre à Galilée depuis longtemps, sans que Galilée, qui ne cherchait pas à intervenir sur une question religieuse, n'ait la juste mesure du phénomène.

La deuxième erreur politique de Galilée, c'est de se croire couvert par un pape nommé à vie et détenteur d'un pouvoir incontestable. En réalité, le pape est politiquement très affaibli, et au bord de la destitution. Une guerre a éclaté en Europe, opposant des catholiques d'un côté, et une alliance entre des catholiques et protestants de l'autre. Pour la ligne dure au sein de l'église, une telle alliance est contre-nature et devrait donc être immédiatement condamnée par le pape. Mais au lieu de ça, le pape choisit de faire un calcul politique plutôt que religieux, et apporte son soutien dans la guerre à l'alliance « mixte » plutôt qu'au belligérant

100% catholique. Pour une grande partie de la curie, c'est une décision insupportable, une véritable trahison, qui justifierait qu'on aille jusqu'à changer de pape... si on trouve comment faire.

La troisième erreur de Galilée, c'est de présenter le géocentrisme et l'héliocentrisme de façon complètement orientée, en tournant au ridicule le défenseur du géocentrisme, comme si sur le plan scientifique la cause était entendue. Pourtant, rien ne permettait à l'époque, d'un point de vue scientifique, de considérer que la question était tranchée, et des arguments scientifiques qui n'ont rien de ridicule étaient à porter au crédit des deux hypothèses. On ne peut donc pas considérer que la certitude et l'ironie dont Galilée fait preuve dans son livre « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde » reposent sur un fondement exclusivement scientifique. De plus, Galilée trahit la confiance son ami pape, censé le couvrir, en ne respectant pas la neutralité dont il était censé faire preuve dans cet ouvrage. Pire, on retrouve dans la bouche du ridicule *Simplicio*, l'avocat du géocentrisme dans le livre, un argument auquel le pape était très attaché. C'est donc du pape que le personnage de *Simplicio* pourrait se moquer, ce qui constituerait une humiliation publique inadmissible pour un pape. Or on a vu que le pape, tout comme Galilée, était attendu au tournant et de pied ferme par ses ennemis. Si le pape veut montrer qu'il a toujours l'autorité nécessaire pour diriger l'église, il doit laisser l'Inquisition brûler Galilée pour laver l'offense. Elle aura au moins eu Galilée. Si le pape vole au secours de son ami, c'est encore mieux, puisque ça démontre qu'il accepte d'être humilié publiquement, donc qu'il n'a plus l'autorité requise pour rester à son poste. CQFD !

Il n'est pourtant pas certain que Galilée ait voulu se moquer du pape dans son livre, puisqu'on lui a reproché aussi d'y avoir exposé des arguments héliocentriques ajoutés sur les conseils du pape, arguments sans réelle signification scientifique, et auxquels Galilée ne devait pas croire lui-même. Mais à ce niveau d'intrigue politique, tous les coups bas sont permis.

La quatrième erreur de Galilée, de plus en plus rigide l'âge avançant, c'est de négliger la valeur scientifique des autres savants de son époque, qui ne partagent pas nécessairement ses avis, pour des raisons qui ne sont pas que religieuses mais aussi scientifiques. Galilée s'attend, lors de son procès, à affronter des résistances au changement motivés par des croyances, et à faire face à des théologiens qui n'auront pas grand chose à dire s'il ne fait pas lui-même l'erreur d'aller argumenter sur leur terrain. Il se prépare à dézinguer Aristote, ce qu'il fera avec brio, comme si Aristote allait être la partie adverse dans son procès. Mais les inquisiteurs ne sont pas idiots, ils savent que Galilée ne se risquera pas à parler de théologie face au gratin des théologiens, et que pour le mettre en échec, il faut convoquer des savants d'une grande valeur scientifique, capables d'opposer à Galilée de vrais arguments scientifiques. Or l'église dispose de tels savants. On peut citer notamment Christophorus Clavius, astronome jésuite concepteur du calendrier grégorien que nous utilisons encore aujourd'hui, qui donnera son nom au plus grand cratère de la face visible de la Lune. Galilée, qui affûte ses arguments en partant du principe qu'il ne fera face qu'à des imbéciles, ne mesure probablement pas la difficulté qui l'attend pour débattre avec de tels adversaires.

## L'état de la science lors du procès

Galilée n'a pas fait que des erreurs, et on ne peut pas nier qu'il apporte des éléments nouveaux à mettre au crédit de l'héliocentrisme.

D'abord, il démontre que les raisons pour lesquelles on pensait dans l'Antiquité qu'il était impossible que la Terre tourne ne sont plus recevables. Avec des expériences simples et intuitives, il balaye les vieux arguments aristotéliens des vents de 1500 km/h et de l'expérience du mat. Il n'y a donc plus rien dans les lois physiques telles qu'on peut les comprendre dans les années 1630 qui s'opposerait à ce que nous tournions avec la Terre. Mais démontrer que ça n'est pas impossible ne prouve pas pour autant que c'est le cas. Galilée a toutefois parfaitement fait tomber Aristote de son piédestal.

Ensuite, il y a ses observations à la lunette des phases de Venus, invisibles à l'oeil nu. Si Venus faisait 2 passages devant le Soleil comme dans le modèle de Ptolémée, son diamètre ne varierait que légèrement, et ses phases seraient toujours celles d'un croissant. Or Galilée observe des variations de taille, donc de distance, du simple au triple, et des phases supérieures à 50%, comme sur une Lune gibbeuse, quand Venus apparaît petite. Ce qui veut dire qu'elle passe une fois devant de Soleil et une fois derrière. A défaut de pouvoir prouver que la Terre tourne autour du Soleil, Galilée a quand même bel et bien démontré par l'observation instrumentale que Venus tournait autour du Soleil, et non autour de la Terre. Donc que Ptolémée, comme Aristote, s'était trompé.

Mais là encore, le problème, c'est qu'on parle de mouvement sans avoir aucune idée des lois qui font que ça tourne. Donc on pourrait très bien avoir Venus qui tourne autour du Soleil, et le Soleil autour de la Terre, comme dans le modèle de Tycho Brahe. Ce n'est que de la géométrie, et rien ne peut être physiquement parlant interdit comme hypothèse. D'ailleurs l'église est prête à prendre en compte les observations de Galilée, et à abandonner le vieux modèle de Ptolémée pour celui de Tycho Brahe qui colle mieux avec les récentes observations (au moins pour ce qui est entre la Terre et le Soleil). C'est Galilée qui ne veut faire aucun compromis : pour lui ce sera Copernic ou rien.

Et puis il y a surtout l'intuition analogique de Galilée, qui fait à la fois toute la force et toute la faiblesse de son raisonnement. Depuis que Galilée a découvert grâce à sa lunette que Jupiter avait 4 lunes, son intime conviction est faite. Si Jupiter est une planète à 4 lunes, la Terre qui n'a qu'une seule Lune est aussi une planète, même pas la plus « importante » du coup, au même titre que toutes les autres planètes, en fait. Et comme parmi ces planètes, il y a Venus dont on est maintenant sûrs qu'elle tourne autour du Soleil, il y a fort à parier que tout ce qui rentre dans la catégorie « planète » obéit à une loi commune aux planètes : tourner autour du Soleil. D'autant que 4 lunes pour Jupiter, en plus de Vénus et certainement Mercure qui tournent autour du Soleil, ça montre bien que plusieurs astres peuvent tourner autour d'autre chose que la Terre, alors pourquoi continuer à la voir au centre ?

Pour Galilée tout est désormais clair, c'est Copernic qui a raison : le Soleil au centre, les planètes autour du Soleil, les lunes autour des planètes. Et forcément, si on ne voit pas que c'est évident, c'est qu'on est aveugle...

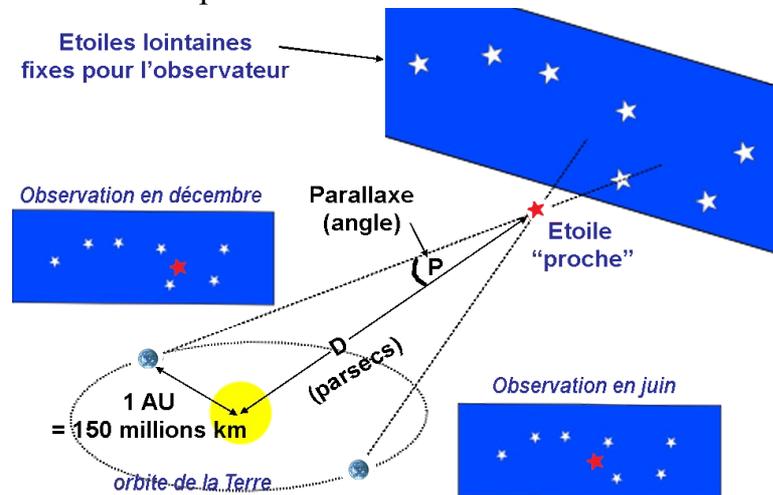
Sauf que... un raisonnement par analogie, aussi esthétique qu'il puisse paraître, peut avoir valeur d'argument, mais n'a pas valeur de preuve scientifique. Galilée fonde donc sa certitude scientifique, et l'arrogance qui va avec, sur un raisonnement qui est certes un bon argument dans un discours, mais pas une preuve. Et c'est là où il offre à ses adversaires, qui eux voient bien que c'est un argument et non une preuve, l'occasion de montrer qu'il n'est pas tout à fait aussi scientifique dans sa posture qu'il le prétend.

Dans sa défense, et celle du modèle héliocentrique de Copernic, Galilée a donc apporté plusieurs bon arguments, dont certains sont de réelles avancées scientifiques. Mais pour

autant, aucun de ces arguments pris individuellement n'apporte une preuve formelle que le modèle de Copernic est entièrement juste.

Voyons donc maintenant les arguments des savants qui pensaient qu'il était urgent d'attendre avant de pouvoir trancher définitivement la question d'un point de vue scientifique.

Le premier, c'est l'absence de parallaxe des étoiles.



On a beau tenter des mesures aussi précises que possible pour constater cette fameuse parallaxe des étoiles, cette preuve ultime qui mettrait tout le monde d'accord, rien n'y fait. Celles que depuis l'Antiquité on appelle « les fixes » demeurent désespérément fixes. En réalité, elles ont un mouvement propre, inconnu à l'époque, qui constitue lui-même un mouvement plus rapide que le va-et-vient de la parallaxe des étoiles. Avec des moyens beaucoup plus précis, on aurait ainsi pu découvrir que les fixes ne le sont pas, sans pour autant remarquer leur parallaxe annuelle.

Le fait qu'on n'observe pas de parallaxe des étoiles est un frein légitime pour de nombreux savants à franchir le pas de l'héliocentrisme. Certes on imagine pas que le diamètre de l'orbite Terre-Soleil puisse mesurer 300 millions de km, mais on n'imagine pas non plus que les étoiles puissent être à plus de 4 fois 10 puissance 17 km. Galilée prend le pari sur l'avenir que des mesures plus précises permettront un jour de mesurer la parallaxe des étoiles. Mais son argument, qui n'est qu'une spéculation, peine à convaincre. A l'époque on a encore du mal à imaginer que les étoiles puissent être tellement loin qu'aucune parallaxe ne soit mesurable, dans l'hypothèse où la Terre tournerait autour du Soleil.

Sur ce point, on peut donc dire que l'observation qui aurait la valeur de preuve la plus forte manque à l'appel à l'époque de Galilée, et que son absence pèse encore lourd dans l'impossibilité d'obtenir un consensus scientifique en faveur de l'héliocentrisme. Au bout du compte, l'idée fera son chemin sans ce Graal de l'observation. Mais à l'époque de Galilée, l'absence d'observation d'une parallaxe des étoiles est encore considérée comme une preuve du géocentrisme, même si des observations plus précises pourraient en effet inverser brutalement cette preuve. Sauf qu'elles n'arriveront pas avant des siècles, et entre temps, la science aura trouvé d'autres chemins pour avancer.

Le deuxième c'est que Galilée défend le modèle de Copernic sinon rien, et que ce modèle ne fonctionne tout simplement pas ! Ah ben ça alors, Copernic n'avait pas raison de dire que la Terre tourne autour du Soleil ? Si, mais il faut voir plus loin. Nous avons vu que le modèle de Ptolémée ne pouvait être étalonné car trop complexe, et donc qu'il n'était pas testable par

des mesures qui devenaient de plus en plus précises, sans que cela ne prouve pour autant qu'il soit faux. Le modèle de Copernic, avec un centre unique et des cercles concentriques autour, est beaucoup plus simple. Il suffirait pour l'étalonner de connaître la durée de révolution de chaque planète (c'est déjà le cas), et le rayon de chaque cercle en utilisant la distance Terre-Soleil comme unité de mesure, c'est la fameuse « unité astronomique » que nous utilisons encore aujourd'hui. Or une fois les périodes connues, une mesure précise du mouvement rétrograde des planètes permet une bonne estimation des distances en UA. On peut donc mettre à l'épreuve le modèle de Copernic, faire un calcul précis d'une observation précise à faire dans un futur proche, et vérifier par l'observation que les choses se passent exactement comme prévu. Et quand on fait ça, même si on n'est pas très loin de ce qui était prévu, il y a quand même suffisamment d'écart entre le calcul et l'observation pour pouvoir conclure que le modèle de Copernic ne marche pas.

Or ces premiers résultats sont bien embêtants pour Galilée, puisqu'il s'oppose à l'église, une institution détentrice de vérités intemporelles et qui a l'éternité devant elle. Si le consensus scientifique n'est pas encore mûr, pourquoi l'église devrait-elle se précipiter pour remplacer un vieux modèle passé de mode par un autre modèle qui ne marche pas non plus ? Autant attendre que le consensus scientifique soit là pour mettre à jour la position de l'église.

C'est toujours le même problème : on ne sait pas pourquoi ça tourne, et personne n'oserait remettre en question le principe de la divine perfection des cieux. Galilée l'écorne un peu avec ses observations de la Lune, qui n'est plus la sphère parfaite des philosophes et des poètes. Mais envisager que les ronds ne soient pas vraiment des cercles relève encore de l'inconcevable, pour Galilée comme pour ses adversaires.

Finalement, Galilée ne peut pas démontrer au tribunal que le modèle de Copernic est scientifiquement prouvé, et que toute approche scientifique conduirait forcément à l'accepter. Le débat reste ouvert entre les savants, ce qui montre bien que l'église a raison d'attendre, mais surtout que rien ne justifiait l'arrogance dont Galilée a fait preuve sur une question qui ne pouvait même pas être catégoriquement tranchée d'un point de vue scientifique. Et c'est précisément ce que l'Inquisition souhaitait voir sortir du débat scientifique.

## L'issue du procès

Mais au fond, nous avons vu que le problème n'était pas scientifique mais politique. Pourrait-on brûler Galilée sans réaction du pape ? Parviendrait-on à ce que le pape s'humilie en public en volant au secours de Galilée qui avait défié son autorité ?

C'est sans compter que le pape peut lui aussi marcher sur un fil. Les juges ne sont pas plus souples que Galilée, leur verdict est écrit avant l'ouverture du procès : ce sera le bûcher, ou rien. Pour autant le pape ne fait pas l'erreur de s'exposer publiquement pour blanchir Galilée. Il refuse que les juges condamnent Galilée au bûcher, tout en validant le principe d'une sanction pour le motif minimaliste de « désobéissance », puisque Galilée a outrepassé une ancienne interdiction de ne plus aborder le sujet, ce qui est beaucoup moins grave que « hérésie » ou « humilier la personne du pape ». A la place d'une condamnation au bûcher, un verdict acceptable par le pape est rédigé au nom des juges. Mais les juges refusent de signer en-dessous de leur nom un acte de condamnation qui n'est pas le leur. Ils veulent brûler

Galilée, et non signer la condamnation à minima qu'on leur a dictée. Mais le pape ne cède pas. Le verdict ne sera jamais signé par les juges. Tant pis. Le pape ne s'est pas exposé publiquement comme le sauveur de Galilée, il n'est pas tombé dans le piège tendu par ses ennemis. La sentence prononcée est celle que le pape a imposée aux juges. Galilée est condamné, mais pas à mort, et il pourra passer les dernières années de sa vie en toute discrétion, assigné à résidence dans une prison dorée. Tandis que Galilée et l'Inquisition s'en sortent avec un compromis qui ne satisfait personne, le pape Urbain VIII est le véritable vainqueur de cette séquence politique à haut risque. Il a évité l'humiliation publique sans avoir sacrifié Galilée au bûcher, et montré qu'il avait encore l'autorité pour remporter un bras de fer interne. Il ne sera jamais destitué jusqu'à sa mort 11 ans plus tard, malgré des pratiques honteuses pour enrichir sa famille.

## Epilogue

Par sa radicalité et son affrontement direct avec l'église, Galilée a plutôt desservi la cause qu'il défendait. Sa condamnation a incité d'autres savants comme René Descartes à la prudence, et refermé provisoirement le débat au moment où le consensus scientifique s'apprêtait à basculer.

C'est à d'autres que reviendra la vraie révolution copernicienne. Tycho Brahe va jouer un rôle clé, non pas en raison de son modèle qui plaisait à l'église, mais parce qu'il avait compris que la solution ne viendrait pas de l'intime conviction des personnes, mais de mesures plus précises que celles dont on avait disposé jusque-là. De fait, les relevés de positions des astres de Tycho Brahe sont les plus précis et les plus complets dont on n'avait jamais disposé. Pour les faire parler, encore fallait-il avoir un génie du calcul à disposition, et Tycho Brahe a su en trouver un : Johannes Kepler.

Kepler faisait de l'astronomie pour démontrer la perfection de la création divine. Il a mis beaucoup de temps à admettre ce que la mesure et le calcul rendaient inéluctable : les orbites sont des ronds pas tout à fait ronds. Pour lui comme pour les autres, c'était impensable, mais pas moyen de faire coller les observations au calcul avec des orbites circulaires. Avec le modèle copernicien, il y avait toujours un écart plus important entre les calculs et les observations que la marge d'erreur des mesures de Tycho Brahe. Il fallait donc repartir de rien, après la chute d'une certitude philosophique vieille comme l'astronomie. Si les planètes ne tournent pas sur un cercle, comment peuvent-elles bien tourner ? Kepler essaiera un peu tout, déclenchant la risée de ses contemporains, avant de trouver au bout de 6 ans de calcul que les planètes décrivent des ellipses dont le Soleil est un des foyers. Pas rancunier, il en conclura que la création divine était encore plus géniale qu'il n'aurait pu l'imaginer.

En allant au-delà, Kepler écrit ses fameuses lois, qui constituent un bon avant d'au moins un millénaire dans l'Histoire des sciences. Depuis plus de 2000 ans, on a débattu du sujet en échangeant des arguments accessibles à un élève de CM2. Avec Kepler, on passe du niveau CM2 au niveau bac +5 du jour au lendemain. Le débat philosophique n'a plus sa place : c'est cela qu'on voit. Les lois de Kepler écrasent le débat en résolvant entièrement et d'un seul coup une question à laquelle les éléments de réponse étaient encore balbutiants malgré 2000 ans de discussion.

Surtout, les lois de Kepler sont tellement précises qu'elles vont permettre de partir à la

recherche de la réponse manquante à LA question mise de côté depuis les débuts des l'astronomie : pourquoi ça tourne ? Ca ne peut quand même pas répondre à des lois mathématiques aussi précises par hasard. Ces lois du mouvement des astres sont forcément la simple conséquence visible de lois encore plus générales qui régissent l'Univers.

C'est Isaac Newton qui transformera l'essai, en faisant sortir des lois de Kepler la loi de la gravitation universelle. Elle marque une rupture considérable dans l'Histoire des sciences, car pour la première fois, la pomme qui tombe de l'arbre et la Lune qui tourne autour de la Terre obéissent à une seule et même loi. L'antique distinction entre le monde des hommes et le monde des dieux est abolie, et tout l'Univers à toutes les échelles répondra aux lois de la physique newtonienne, jusqu'à ce que Einstein et Bore inventent la relativité générale et la physique quantique, provoquant un nouveau divorce entre deux mondes aux échelles différentes.

Quant à Galilée, c'est davantage sur la plan observationnel qu'il a marqué l'Histoire des sciences. Au-delà des controverses, il reste le premier homme, toutes civilisations confondues, à avoir observé scientifiquement et méthodiquement le ciel avec un instrument optique plus puissant que l'oeil humain, et à avoir vu ce qu'on ne peut pas voir à l'oeil nu : les cratères de la Lune, les satellites de Jupiter, les phases de Vénus, la nature stellaire de la Voie Lactée, les « oreilles » de Saturne, en attendant que des instruments plus puissants puissent les définir comme un anneau... Galilée était un observateur tellement fin et méthodique qu'il est passé à deux doigts d'un exploit incommensurable : découvrir Neptune dès 1613, alors qu'Uranus n'a été découverte qu'en 1781 et Neptune en 1846 ! Galilée a vu Neptune, il a constaté qu'elle avait un peu bougé par rapport aux étoiles, mais ranger ce petit point à la limite de détection de sa lunette dans la même catégorie que Jupiter et Saturne était sans doute un saut conceptuel encore trop important pour l'époque.

*Olivier BATTEUX*

