

Table des matières

Avant-propos	9
Première journée : Retrouvailles et réminiscences	13
Deuxième journée : Un problème bien posé... ..	37
Troisième journée : Des fondements de la science	61
Quatrième journée : Foi et croyances	89
Cinquième journée : OVNI (Omnibus Vita Non Imperat)	123
Lexique	155
Bibliographie	163
Index	167

Remerciements

Je tiens à remercier ceux qui m'ont encouragé dans l'écriture de ce livre : Luc et Isabelle Olekhnovitch, ainsi que mon épouse Agnès qui a aussi relu le manuscrit. Je remercie particulièrement mon fils Nathan pour ses nombreuses remarques et critiques constructives dont j'ai essayé de tenir compte. Ma reconnaissance s'adresse aussi aux professeurs et collègues qui m'ont initié à la pratique de la science ou qui m'accompagnent encore dans cette pratique, et avec qui j'ai eu le privilège d'échanger lors de conversations de cafétéria ou de co-voiturage durant de longues années. Merci enfin à mon fils Thibault pour son aide technique.

Avant-propos

Pour exposer ses arguments en faveur du système héliocentrique, Galilée choisit le mode du dialogue. C'est ainsi qu'il publia son fameux « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde », où interviennent trois personnages : Salviati, qui représente Galilée lui-même et finit par gagner ses interlocuteurs à sa cause ; Sagredo, le gentilhomme éclairé, esprit curieux, ouvert et intelligent qui sert en quelque sorte de faire-valoir à Salviati ; Simplicio enfin, qui joue le rôle ingrat du partisan de la vieille physique d'Aristote et du système géocentrique et qui permet à Salviati, par ses objections, d'élaborer et de préciser son argumentation. L'enjeu du « Dialogue » est le choix du système héliocentrique, où le Soleil est fixe tandis que les planètes, Terre comprise, tournent autour de lui, au détriment du système géocentrique qui suppose la Terre fixe au centre du monde, le Soleil et les autres planètes tournant autour d'elle. Simplicio sort évidemment quelque peu ridiculisé de ces entretiens, et c'est une des raisons qui valurent à Galilée son procès devant l'Inquisition, certaines susceptibilités ayant été heurtées.

Nous ne sommes plus au début du XVII^e siècle et le système héliocentrique est admis par tous depuis longtemps. Par contre, il subsiste depuis l'Antiquité un débat dont on parle de plus en plus et qui est très loin d'être clos : celui de la pluralité des mondes habités, comme on disait autrefois, ou de l'existence de vie intelligente extraterrestre, selon des termes plus modernes. Il y a bien sûr un débat intermédiaire, qui consiste à s'interroger sur l'existence de vie extraterrestre en général, qu'elle soit sous forme de bactéries ou de vertébrés évolués, mais il est moins populaire parce que moins évocateur, et il engendre inévitablement, de toute manière, la question de la vie intelligente. Or cette question apparaît très naturellement, dans le contexte d'une philosophie matérialiste, comme une petite-fille naturelle du principe copernicien, selon lequel la Terre n'occupe pas une place privilégiée dans l'univers. Car si la Terre n'est pas le nombril

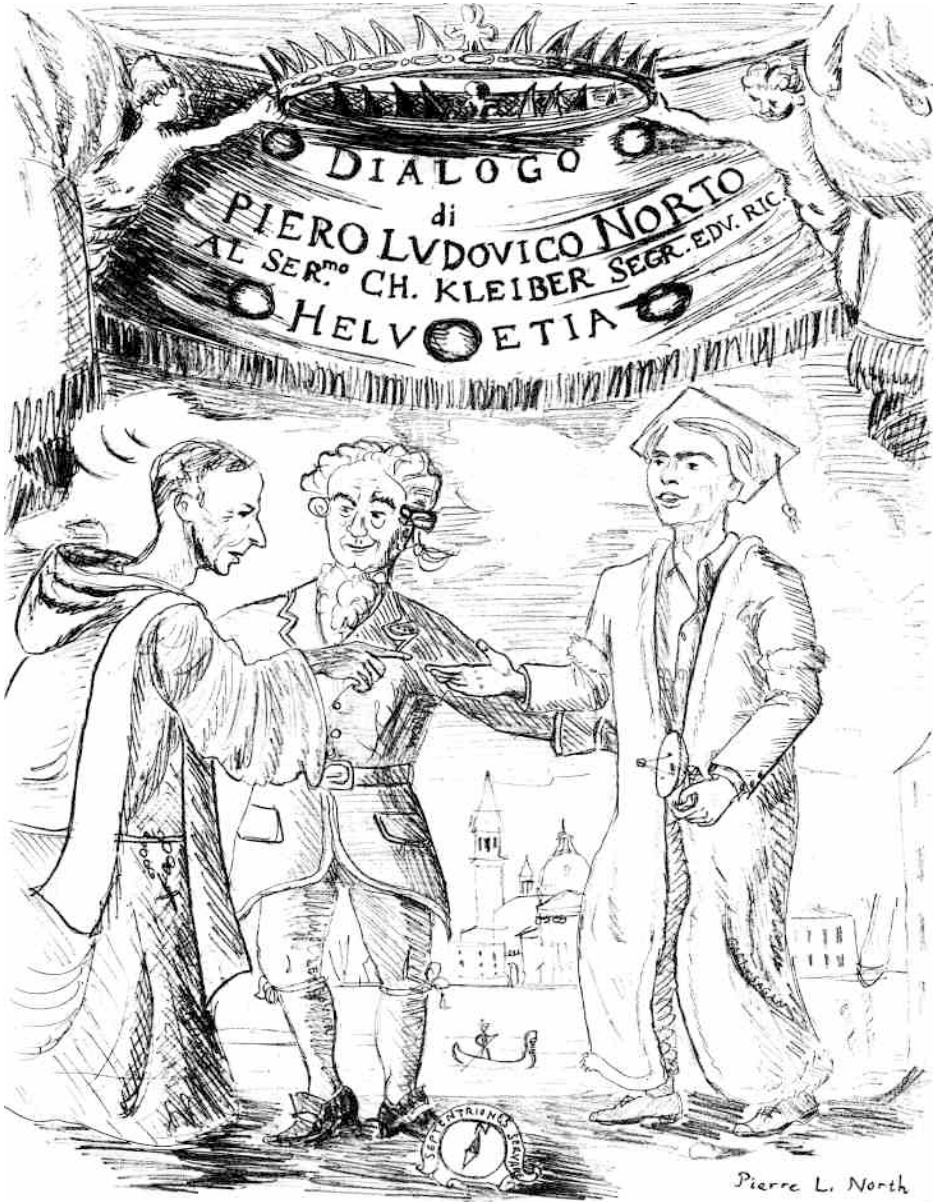
de l'univers, voilà précisément le Sésame qui ouvre tout grand l'accès à ce que l'on nomme parfois le principe de banalité, à savoir l'idée que la Terre n'a aucune raison d'être unique. C'est au fond une conséquence nécessaire du seul principe copernicien, même si l'on se limite au système solaire : la Terre devient une planète parmi d'autres. Des anciens comme Épicure l'avaient déjà suggéré, et à la Renaissance Giordano Bruno l'avait affirmé avec plus de force encore. Aujourd'hui, la récolte abondante de planètes extrasolaires (c'est-à-dire tournant autour d'une autre étoile que notre Soleil) vient sceller à jamais la banalité de notre petite Terre. Ainsi le principe copernicien engendre-t-il le principe de banalité : de là, puisque la Terre est habitée, on infère que l'humanité, elle non plus, n'a aucune raison de jouir de quelque statut privilégié que ce soit. Ainsi, la logique conduit à la conclusion que d'autres humanités devraient peupler l'univers, comme l'avait proposé Épicure, pour la plus grande confusion de l'anthropocentrisme.

A l'époque de Galilée, de fortes présomptions existaient en faveur du système héliocentrique, mais la preuve définitive manquait encore, bien que Salviati crût la trouver dans le phénomène des marées. La faiblesse de l'argument n'avait pas échappé aux prélats érudits et contribua à leur irritation.

Aujourd'hui, nous sommes un peu dans une situation semblable quant à la question de la pluralité des mondes habités, bien que celle-ci soit beaucoup plus loin d'être tranchée que ne l'était celle de l'héliocentrisme au début du XVII^e siècle. La chose est cependant à la mode, spécialement depuis que des radioastronomes ont commencé à rechercher des signaux émis par d'hypothétiques civilisations extraterrestres. Les biologistes tendent à être beaucoup moins optimistes que les astronomes quant à la pluralité des formes de vie intelligente, mais le sujet revêt une telle importance philosophique que les chercheurs de signaux extraterrestres persévèrent encore, cinquante ans après la toute première tentative.

L'existence des civilisations extraterrestres étant déduite du principe copernicien, pourquoi ne pas « ranimer » les trois personnages qui contribuèrent à asseoir ce principe afin de les faire méditer, cette fois-ci, sur ce sujet brûlant ? On admettra que Salviati, Sagredo et Simplicio sont restés vivants et attentifs aux progrès des sciences durant les quelque quatre siècles écoulés depuis leur premier dialogue, et qu'ils sont donc parfaitement bien

placés et compétents pour discourir de notre sujet, en un dialogue sur les deux grands systèmes des mondes. Les mondes en question sont évidemment les planètes extrasolaires dont on sait maintenant qu'elles existent. Les deux grands systèmes sont celui qui admet notre humanité comme unique dans l'univers entier, d'une part, et celui qui suppose au contraire la multiplicité des formes de vie intelligente et donc des civilisations extraterrestres, d'autre part. Lequel des deux est-il vrai ? L'humanité sera-t-elle amenée à s'ouvrir à une sorte de communauté des nations cosmiques, comme l'implique avec insistance la sagesse populaire contemporaine, ou devrait-elle, au contraire, résister encore et toujours à l'envahissante banalité ? Un quelconque anthropocentrisme doit-il encore subsister après la déroute du géocentrisme, ou ne peut-il que s'avérer un grotesque anachronisme ? C'est à cette question fondamentale et millénaire que nos trois amis ont l'ambition, sinon de répondre, du moins de réfléchir.



Première journée : Retrouvailles et réminiscences

Salviati : Voilà déjà plus de 360 ans que nous nous étions rencontrés pour échanger sur une question cruciale à l'époque, à savoir les deux grands systèmes du monde, celui de Ptolémée d'Alexandrie¹, hérité de l'Antiquité, et celui de Copernic² alors nouveau et même, pour beaucoup, révolutionnaire. Tandis que le système de Ptolémée supposait la Terre fixe au milieu du monde, avec la Lune, le Soleil, les planètes et même les étoiles tournant autour d'elle, celui de Copernic supposait au contraire le Soleil fixe avec les planètes, Terre comprise, tournant autour de lui, les étoiles restant fixes très loin de notre système solaire.

Nous avons alors conclu à la supériorité du système de Copernic et le temps, qui a bien fait son œuvre, nous a donné raison, sans parler de quantité d'autres questions relatives à la physique d'Aristote³ et à sa prétendue perfection du ciel.

Sagredo : Ce fut une période palpitante et remplie d'angoisses, mais les siècles qui l'ont suivie nous ont éblouis de mille feux plus passionnants encore. A la nouvelle physique que vous fondâtes, Signor Salviati, bien des années après notre rencontre, s'ajoutèrent les Principes de la philosophie mathématique du grand Isaac Newton⁴ et tant d'autres choses d'une si grande richesse que j'en ai le souffle coupé rien que d'y songer.

Salviati : Oui mes amis, nous avons été témoins d'innombrables merveilles scientifiques ces derniers siècles, au point que l'on pourrait se demander s'il

¹ Env. 90 – env. 168. Claude Ptolémée a écrit en particulier l'*Almageste*, contenant les connaissances astronomiques de son temps, et une *Géographie*.

² Nicolas Copernic, 1473-1543, publia son système sous le titre *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*.

³ 384-322 av. J.-C.

⁴ 1642-1727.

reste encore des questions à résoudre, des mystères à éclaircir, ou si au contraire, les hommes de science ayant tout accompli devraient désormais prendre une retraite dorée. Peut-être devraient-ils maintenant s'esbaudir en s'en allant cultiver leur jardin, ou alors se consacrer à la philosophie – non mathématique⁵ – qui est précisément, comme on le sait, l'apanage des chercheurs à la retraite et une faiblesse innocente que leurs jeunes collègues leur concèdent avec une générosité amusée.

Or, si des chercheurs méritaient une retraite dorée, ce serait bien nous, mes amis, car même si nous sommes restés quelque peu passifs ces derniers temps, au sens où nous n'avons pas produit d'œuvre scientifique, cela n'aura pas été une mince affaire que de nous tenir au courant des progrès de la science, et en particulier des sciences physique et astronomique, auxquelles il a fallu encore ajouter la biologie. De mon temps, si j'ose dire, les sciences n'avaient point encore une si large variété, et un individu pouvait naviguer avec une certaine aisance sur la mer des connaissances humaines et en connaître tous les ports.

Il y a cependant encore de grandes questions à résoudre, et c'est pour discuter de l'une d'elle que je vous ai invités à mon tour⁶, mes amis, car je sais avec quelle attention vous avez suivi l'actualité des sciences et avec quelle vivacité d'esprit vous menâtes vos réflexions et les exposâtes parfois au grand public. Cette question est bien à notre mesure pour deux raisons : d'une part elle touche à la philosophie (non mathématique), à la physique et à la théologie, ce qui est bien adapté à notre humble condition de chercheurs en semi-retraite ou même en retraite pleine et entière. D'autre part, elle s'inscrit comme nous allons le voir dans les conséquences directes du triomphe posthume du Signor Copernic, et vous savez combien je fus et demeure attaché à cette doctrine que les travaux scientifiques n'ont cessé de confirmer encore et toujours.

Cette question, dis-je, est celle de la pluralité des mondes habités : la Terre est-elle la seule planète de tout l'univers, qui abrite une vie douée de raison et d'intelligence, ou bien y a-t-il quelque part dans notre Galaxie – ou encore dans d'autres galaxies – des êtres qui, comme nous, lèvent les yeux vers le

⁵ C'est-à-dire la philosophie tout court, par opposition à la *philosophie mathématique* qui incluait la physique et la mécanique céleste (voir par exemple le titre de l'œuvre de Newton cité quelques lignes plus haut) et qui de nos jours inclurait les sciences dites *dures*.

⁶ Dans le « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde » de Galilée, c'est Sagredo qui invitait.

ciel et s'interrogent non seulement sur la nature des étoiles, mais aussi sur leur propre condition, solitaire ou solidaire d'autres habitants de l'immensité céleste ? Voilà la question, voilà ce qui nous réunit à présent. Tâchons d'explorer tous les aspects de ce problème : non seulement les aspects techniques, que beaucoup d'autres ont fort doctement abordés, mais aussi les aspects philosophiques auxquels notre statut de retraités permet d'accéder tout en satisfaisant au principe sacré de la conservation de la bienséance.

Sagredo : Vous me voyez ravi, Signor Salviati, d'une si heureuse initiative, à laquelle je souscris avec enthousiasme et avidité. Comme vous le savez, j'eus dans ma jeunesse de nombreux et passionnants entretiens précisément sur ce sujet, avec une charmante marquise de mes connaissances dont la grâce et l'esprit pétillant avaient stimulé ma réflexion. Bien que j'eus plus tard l'occasion de deviser avec elle d'autres problèmes, je serai ravi de solliciter à nouveau sa compagnie pour lui faire part de nos derniers progrès philosophiques. Ma seule réserve est que je ne suis pas aussi sûr que vous de la raison et de l'intelligence de nous autres humains, mais bah ! foin de ces subtiles nuances pour l'instant, je vois bien ce que vous entendez par là. Que les mânes des péripatéticiens⁷, des atomistes et de tous les précurseurs de la philosophie et de la science soient avec nous dans cette entreprise, et que les lumières de la raison nous guident !

Simplicio : J'ose à peine prononcer une parole, au vu du succès si éclatant de la doctrine copernicienne et à celui non moins éclatant de votre physique, Signor Salviati... et surtout au vu de la débâcle si lamentable et si définitive de la physique d'Aristote qui fut mon maître. Cependant, on sait que la réfutation est à la science ce que le solfège est à la musique : on ne peut exercer l'une sans travailler aussi l'autre, ainsi est faite la vie. Quant à votre idée, Signor Salviati, c'est avec joie que j'y participe, car bien des questions se bousculent dans ma tête au sujet des hypothétiques habitants qui peupleraient le cosmos. Puisque nul ne sait s'ils existent, personne ne détient en cette matière l'avantage que pourrait lui prodiguer de meilleurs instruments ou une ruse mathématique qui le rendrait capable de résoudre des équations à nul autre solubles. Tous, du plus savant et du plus avisé au plus démuné et au plus naïf, sont égaux devant l'énigme, que seules des

⁷ Aristote et ses disciples, qui devaient en se promenant dans le Lycée.

sortes d'« expériences de la pensée » sont susceptibles d'éclairer. Ainsi donc, si naïf j'étais, naïf je resterai, et c'est peut-être par ma persévérance dans la naïveté que j'aurai l'heur d'amener quelque bribe de brique utile à notre édifice commun.

Salviati : C'est précisément le caractère extrêmement hypothétique et spéculatif de notre problème qui m'a inspiré le titre que nous pourrions donner à notre entretien : il s'agit bien de deux grandes manières de voir non plus seulement le monde, qui évoque maintenant notre modeste globe terrestre, mais bien les mondes, extrasolaires comme on dit, et qui assurément se comptent par myriades – des mondes peuplés à l'infini, grouillant de vie, bourdonnant d'activité, ou au contraire une humanité solitaire, en quelque sorte fille unique de la Nature. Ce sont bien là deux grands systèmes, qui se réduisent plutôt, faudrait-il dire, à deux hypothèses, deux inspirations, deux perceptions de l'univers et de la place de l'humanité dans celui-ci. Nous tâcherons de préciser autant que faire se peut chacune des deux doctrines. Néanmoins, je crains que malgré nos patients efforts, ces deux systèmes restent encore d'irréductibles concurrents pour longtemps... mais qui sait ?

Sagredo : Avant d'aborder votre question de front, il me paraît utile de la replacer dans son contexte historique et d'expliquer les raisons de sa persistance. Après tout, rien n'est plus didactique que l'histoire elle-même, et même le plus brillant représentant des sciences « dures », lorsqu'il expose une théorie, ne fait rien d'autre en somme que de conter une histoire d'une élégance toute particulière. Et si son histoire est trop abstraite, il l'agrément de illustrations et de paraboles qui sont autant de contes, qui valent bien ceux des mille et une nuits par le merveilleux, et infiniment plus par l'harmonie, la cohérence, la rigueur et la beauté. Voulez-vous donc bien, Signor Salviati, nous rafraîchir la mémoire ?

Salviati : Bien volontiers, Signor Sagredo. En premier lieu, contemplons la très grande antiquité de la question de la pluralité des mondes. Déjà le célèbre atomiste grec Épicure⁸ avait affirmé la pluralité des mondes. Dans une lettre à l'historien Hérodote, il avait écrit ceci :

⁸ 342-270 av. J.-C.

« Mais un nombre infini de mondes existent, certains semblables à celui-ci, tandis que d'autres sont différents ».

Il croyait déjà, avec d'autres atomistes comme Leucippe⁹ et Démocrite¹⁰ que l'univers était infini et éternel, sans commencement ni fin. Les êtres et les événements étaient le fruit de la nécessité et du hasard, dans un monde à la fois déterministe et contingent. Le vulgarisateur latin des atomistes grecs, Lucrèce¹¹, a lui aussi évoqué la notion de pluralité des mondes habités dans son œuvre « De natura rerum » :

« Il est des plus improbable que cette Terre et ce ciel soient les seuls à avoir été créés... Rien dans l'univers n'est seul de son espèce, unique et solitaire dans sa naissance et sa croissance... Tu es donc forcé de reconnaître que dans d'autres régions il y a d'autres Terres et diverses tribus d'hommes et diverses espèces d'animaux. »

Mais tous les philosophes grecs, naturellement, n'étaient pas d'accord entre eux, et Aristote était opposé à l'atomisme. Pour lui, contrairement à ce que professaient les atomistes, la Terre n'était pas un monde parmi d'autres, mais bien un monde unique, à part, de nature différente des astres. Ceux-ci étaient à ses yeux parfaits et éternels, exempts des corruptions et des changements qui affectent le monde sublunaire. Nous en avons longuement débattu lors de notre dialogue sur les deux grands systèmes du monde, si bien que nous n'entrerons pas dans plus de détails. Toujours est-il que l'idée de pluralité des mondes ne peut tout simplement pas trouver place dans le système d'Aristote, comme une pièce d'un puzzle ne peut s'harmoniser avec celles d'un autre puzzle que celui auquel elle appartient. Or ce fut Aristote et son système qui furent adoptés en quelque sorte par l'Europe médiévale, si bien que là tout au moins, la pluralité des mondes fut oubliée pour bien des siècles.

Sagredo : Jusqu'au XVI^e siècle, où Copernic s'avisa qu'il était plus simple de faire tourner toutes les planètes autour du Soleil, y compris notre Terre, plutôt que de maintenir le système compliqué de Ptolémée avec ses cercles déferents et épicycles destinés à maintenir à tout prix le dogme des mouvements circulaires.

⁹ 5^e siècle av. J.-C.

¹⁰ 460-370 av. J.-C.

¹¹ 95 ?-55 av. J.-C.

Simplicio : Après tout, Ptolémée a fait de son mieux pour bâtir une théorie susceptible de reproduire les observations. Il fallait bien qu'il partît de quelque chose que je n'appellerais pas dogme – puisqu'un tel mot, contre lequel je n'ai personnellement rien, souffre actuellement d'une connotation désastreuse et évoque l'arbitraire dans toute son horreur – mais plutôt principe, c'est-à-dire justement une sorte de point de départ admis jusqu'à preuve du contraire et indispensable pour commencer à construire. On pratique encore de même aujourd'hui : le principe cosmologique suppose l'univers homogène et isotrope¹² à grande échelle, et il est admis par tous pour la bonne raison qu'il est bien difficile de s'en passer, d'une part, et que d'autre part l'isotropie de l'univers est bien vérifiée, même si son homogénéité est mise en question par certains qui lui trouvent plutôt une structure fractale. Mais je m'éloigne de notre propos...

Salviati : Il est vrai que le système de Ptolémée était non seulement fort ingénieux, mais permettait aussi de prédire les positions des planètes avec une précision tout à fait convenable pour l'époque, si bien qu'on ne ressentait alors guère le besoin de changer de système du monde. Pour comprendre cela, examinons un instant la figure 1, qui présente la situation d'une planète externe (c'est-à-dire plus éloignée du Soleil que la Terre, dans le système héliocentrique ; le cas des planètes internes est encore différent). Nous y voyons deux cercles, le plus grand étant le « déférent » et le plus petit l'épicycle. Le centre du cercle épicycle tourne sur le cercle déférent avec une période qui est égale à celle de rotation de la planète autour du Soleil, dans le système héliocentrique. Par contre, la planète fait un tour du cercle épicycle en une année terrestre. Mais remarquez la position particulière de la Terre : au lieu de se trouver au centre du cercle déférent, elle se trouve décentrée. De plus, le centre M du cercle épicycle ne tourne pas à vitesse constante autour du centre du cercle déférent, mais il semble tourner de manière uniforme si on l'observe du Punctus Equans, situé à l'opposé de la Terre par rapport au centre du cercle déférent. Autrement dit, la vitesse angulaire de M par rapport au Punctus Equans est constante ; par contre, vu de la Terre, le point M se déplace plus vite lorsqu'il est au plus près de la Terre (périgée) que lorsqu'il est au plus loin (apogée). Cela ne vous rappelle-t-il rien ?

¹² C'est-à-dire qu'il présente le même aspect, dans quelque direction qu'on l'observe.

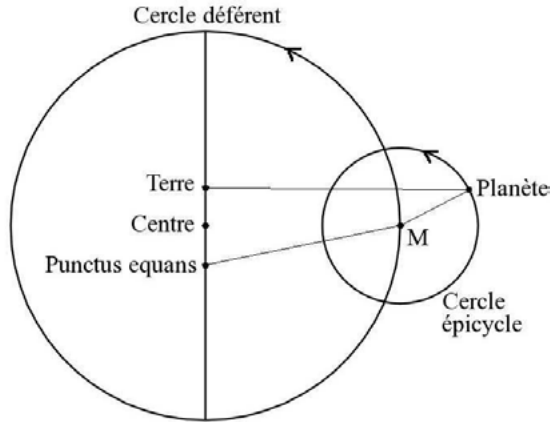


Figure 1. Combinaison des cercles déférent et épicycle permettant de reproduire, dans le système géocentrique de Ptolémée, le mouvement apparent d'une planète extérieure. Le cercle épicycle reflète l'orbite de la Terre (telle qu'elle est définie dans le système héliocentrique), tandis que le cercle déférent reflète l'orbite de la planète. Remarquez la situation décentrée de la Terre et le décentrement symétrique du Punctus Equans. Ce dernier définit le mouvement du point M sur le cercle déférent par la condition que la vitesse angulaire du point M par rapport au Punctus Equans est constante.

Simplicio : Voilà qui ressemble étrangement, ma foi, à la fameuse loi des aires de Kepler !

Salviati : En effet, car dans le système héliocentrique, la Terre serait remplacée par le Soleil, le cercle déférent par l'orbite de la planète et le cercle épicycle verrait son centre M déplacé sur le Soleil. Or on peut montrer que pour une excentricité modeste, l'ellipse ne s'éloigne guère d'un cercle, et la construction de Ptolémée se trouve être la meilleure approximation possible de l'ellipse keplérienne et de la loi des aires si l'on persiste à approximer l'ellipse par un cercle. Le détail de cette démonstration a été donné par Gaston Fischer¹³. On voit ainsi qu'hormis le choix héliocentrique, certes crucial, Ptolémée avait approché davantage la réalité physique que Copernic, car ce dernier ne conserva point l'idée du

¹³ 2000, revue *Orion* vol. 298, p. 17.

Punctus Equans. Ce qui est tout à fait remarquable, c'est que le système de Copernic s'accordait en réalité moins bien aux observations que celui de Ptolémée, même si à l'égard de la position du Soleil, il était bel et bien plus « vrai ». Cette particularité déprimante fut soulignée par Arthur Koestler¹⁴; elle est liée au fait que Copernic était encore tributaire du dogme – ou du principe, selon la préférence du Signor Simplicio – du mouvement circulaire et uniforme, car la forme elliptique des orbites planétaires ne fut découverte que par Kepler.

Sagredo : Il est curieux, tout de même, qu'il ait fallu attendre tant de siècles pour qu'une idée déjà connue – puisqu'Aristarque de Samos l'avait déjà proposée – fasse à nouveau surface et finisse enfin par s'imposer. Même la pensée humaine n'échappe pas au *principe de moindre action* : si aucune impérieuse nécessité ne l'aiguillonne, elle se contente des acquis supposés de la tradition, aussi étrange et baroque soit-elle.

Salviati : Oui, et à quelle inertie de la pensée ne me heurtai-je pas, lorsque je combattis la physique d'Aristote en même temps que le système de Ptolémée ! Et plus cette inertie devenait sensible, plus elle me pesait, et plus mon ardeur s'enflammait à la vaincre. Ma conviction que le système de Copernic était juste fut si puissante et si impérieuse que, emporté par la passion, j'eus quelques propos un peu trop vifs au goût de mes puissants contradicteurs. Privée de diplomatie, la vérité tarde à triompher.

Sagredo : Pourtant nous-mêmes n'y étions pour rien; au contraire, vos arguments nous avaient conquis si parfaitement que nous avons fini par être entièrement acquis à votre cause et à celle de Copernic, même le Signor Simplicio qui tenait pourtant à la subtile physique d'Aristote comme à la prunelle de ses yeux et se satisfaisait fort bien du système de Ptolémée.

Simplicio : Certes, car il est de bonne guerre de n'admettre une nouveauté que contraint et forcé par l'évidence, autrement toute existence ne serait que branloire pérenne. Or l'esprit – en tout cas le mien – a bien besoin de stabilité pour philosopher à son aise. Cela dit, sans vouloir vous offenser, Signor Salviati, j'avais à l'époque d'excellentes raisons de préférer le

¹⁴ 1960, « Les somnambules », Calmann-Lévy (traduction de l'ouvrage original : « The sleepwalkers ») ; en particulier sur le *punctus equans*, voir pp. 303-305.

système de Ptolémée à celui de Copernic (sinon la physique d'Aristote à la vôtre) puisque, comme vous l'évoquiez vous-même, il sauvait en réalité mieux les apparences ! Néanmoins les faits vous ont donné raison et je reconnais humblement la justesse de vos intuitions aussi bien que l'obscurité de mon esprit.

Salviati : Pourtant, mes idées ne furent point si lumineuses que certains hagiographes les présentèrent par la suite, dans le souci louable mais quelque peu partisan de peindre l'éternel combat de la Vérité contre l'obscurantisme : on m'éleva presque à la dignité d'un Saint-Michel terrassant, ô paradoxe, une église catholique romaine réduite au rôle de dragon ténébreux. A long terme, du moins, et avec l'aide du Jugement de l'Histoire ou ce que l'on a présenté comme tel, car à court terme ce fut plutôt moi qui fus terrassé. En effet, si j'avais d'excellentes raisons de penser que le système de Copernic fût vrai, si de puissants indices le favorisaient à mes yeux, comme les lunes de Jupiter et les phases de Vénus, il me manquait par contre cet argument ultime et définitif qui ferme la bouche des opposants et couronne l'argumentation d'une auréole permanente. Je crus le tenir, cet argument, dans le phénomène du flux et du reflux de la mer. Hélas il s'avéra fallacieux, puisque même en invoquant la physique de Newton il existerait encore des marées, si quelque démiurge s'avisait d'épingler la Terre pour la rendre immobile tout en forçant la Lune et le Soleil à tourner autour d'elle. Mes détracteurs s'emparèrent de l'argument pour le retourner contre moi, ce qui aboutit au procès que m'intenta la Sainte Inquisition. On a tant écrit sur cette lamentable affaire qu'il serait bien superflu d'y ajouter ici.

Sagredo : Hélas, l'histoire des idées montre que la précocité est bien mal récompensée : malheur à qui discerne la vérité trop tôt ! Bien avant vous, Signor Salviati, Aristarque¹⁵ de Samos fut accusé d'impiété pour avoir osé mettre le Soleil au centre du monde en lieu et place de la Terre...

Salviati : La preuve ultime de l'héliocentrisme, donc, je ne l'ai jamais trouvée. Je n'avais ni les moyens techniques ni les notions nécessaires pour cela. Il fallut attendre d'abord que l'astronome danois Oläus Römer¹⁶

¹⁵ 310-230 av. J.-C.

¹⁶ 1644-1710.

estime la vitesse de la lumière en utilisant une ingénieuse méthode basée sur l'observation des éclipses des lunes de Jupiter. Cela suppose déjà que l'on prît conscience que la vitesse de la lumière n'est pas infinie, notion point si naturelle à l'esprit qu'il n'y paraît pour nous. Il fallut attendre ensuite les exactes et patientes mesures de l'anglais James Bradley¹⁷, troisième astronome royal, qui poursuivait le programme de détermination de positions très précises des étoiles initié par John Flamsteed¹⁸, le premier astronome royal. L'espoir caressé par James Bradley, comme par bien d'autres, était de découvrir et de mesurer l'effet de parallaxe lié au mouvement de la Terre autour du Soleil.

Simplicio : Avant d'en venir à la preuve découverte par Bradley, permettez-moi d'ouvrir une parenthèse d'importance, qui explique mon scepticisme d'alors. En évoquant tout à l'heure la paresse de la pensée, Signor Sagredo, pour expliquer le retard du triomphe de la doctrine de Copernic, vous n'aviez qu'à moitié raison. Les choses ne sont pas si simples, car une observation très évidente et très manifeste semblait contredire la mobilité de la Terre. C'était l'immuabilité des cieux, ou plus précisément le fait que les constellations gardent leur forme tout au long de l'année. Si la Terre tournait autour du Soleil, raisonnaient des Anciens comme Hipparque¹⁹ – un excellent et illustre observateur qui n'adopta pas le système héliocentrique – alors nous verrions les constellations sous des angles différents selon les mois de l'année. Les étoiles qui les forment étant situées à des distances variées, les plus proches d'entre elles au moins devraient sembler se balancer, osciller par rapport aux plus lointaines au gré du mouvement de l'observateur et donc de la Terre. En d'autres termes, la forme des constellations devrait changer au cours de l'année, pour redevenir semblable à leur premier aspect tous les douze mois...

Salviati : Mais ce que l'observation montrait, au contraire, c'est une parfaite constance de la position des astres au cours de l'année, du moins dans les limites de la précision des mesures alors accessibles, à savoir quelques minutes d'arc tout au plus. Or, même les mesures extrêmement

¹⁷ 1693-1762.

¹⁸ 1646-1719.

¹⁹ II^e siècle av. J.-C.

soignées du grand Tycho Brahé²⁰, les plus précises de toutes celles qui se firent à l'œil nu dans l'histoire de l'astronomie, ne montrèrent aucun effet de parallaxe annuelle, confortant ainsi la position des anti-coperniciens. Le seul moyen de sauver cette apparence-là était de supposer que les étoiles étaient prodigieusement éloignées, tant et si bien que les dimensions de l'orbite de la Terre seraient absolument dérisoires en comparaison de la distance des étoiles même les plus proches. Ce postulat avait la fâcheuse apparence d'un argument « ad hoc » forgé tout exprès dans le but de contrer une objection fatale.

Néanmoins, si l'on admettait avec Giordano Bruno²¹ que les étoiles sont autant d'autres soleils, alors il fallait aussi admettre leur considérable distance, dont Christiaan Huygens²² et Loys de Cheseaux²³ estimèrent assez convenablement l'ordre de grandeur à partir de leur éclat apparent, en supposant leur éclat intrinsèque égal à celui du Soleil.

Sagredo : Rendons hommage ici au Signor Giordano Bruno, dont l'intuition de la pluralité des mondes revêtait déjà un caractère très moderne. Lui avait parfaitement compris ce qui paraît tout naturel aux astronomes d'aujourd'hui, si ce n'est au vulgaire qui peine encore, parfois, à discerner entre étoile et planète, système solaire et galaxie.

Salviati : Revenons maintenant à Bradley et à ses mesures de positions stellaires. Il cherchait, nous l'avons dit, l'effet de parallaxe lié au mouvement annuel de la Terre autour du Soleil. Pour cela, il fit des relevés extrêmement précis de positions stellaires, avec une longue lunette verticale qu'il pouvait orienter avec grande précision au voisinage du zénith. Mais, comme il arrive parfois en sciences, il trouva un phénomène qu'il ne cherchait point. Il trouva que la position d'une étoile variait effectivement au cours de l'année, mais pas dans la direction attendue ! L'écart de position pointait en direction du mouvement de la Terre sur son orbite (je parle ici dans le contexte héliocentrique, naturellement), alors que dans le cas de l'effet parallactique il eût pointé dans une direction perpendiculaire, vers le Soleil. De plus, l'amplitude de l'écart observé

²⁰ 1546-1601.

²¹ 1548-1600.

²² 1629-1695.

²³ 1718-1751.

s'avérait complètement identique d'une étoile à l'autre, alors que l'effet de parallaxe doit évidemment dépendre de la distance de l'astre : plus celui-ci est lointain, moindre est l'effet. Bradley observa aussi qu'une étoile située au pôle de l'écliptique (donc dans une direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre) semblait décrire sur le ciel, au cours d'une année, un cercle de 20,6 secondes d'arc de rayon, tandis qu'une étoile située à une latitude écliptique intermédiaire décrivait une ellipse d'autant plus aplatie que la latitude est basse, pour se confondre en un segment de 41,2 secondes d'arc (le double du rayon du cercle) dans le cas des étoiles situées sur l'écliptique. Ce mouvement apparent, que Bradley nomma « aberration », était donc bien lié au mouvement réel de la Terre, il était causé par lui.

Sagredo : Mais comment expliquer ce prodige? Ah! Ranimez notre mémoire, car voici justement le sceau que devait apposer Uranie sur la doctrine héliocentrique.

Salviati : La réponse réside dans la vitesse finie de la lumière, vitesse qu'Oläus Römer avait justement déterminée au siècle précédent. Pour la comprendre, imaginons que nous définissions la direction du rayon lumineux issu de l'étoile en le faisant passer par deux trous successifs. Un trou figure l'objectif de la lunette, tourné vers le ciel, tandis que l'autre figure l'oculaire, proche de l'observateur (figure 2). Imaginons maintenant la lumière se propageant tranquillement dans l'espace avec sa vitesse d'une constance olympienne : elle traverse d'abord le premier trou et, en un temps très court mais non instantanément, la voilà qui traverse le second trou, placé très exactement de manière à être aligné avec l'étoile, de sorte que le passage se fait sans obstacle. Tant que les deux trous restent immobiles, tout va bien, l'œil de l'observateur reçoit la lumière et peut alors mesurer la direction exacte de l'étoile. Mais voilà que la Terre se déplace : si la lunette gardait l'orientation qui correspond à la direction réelle de l'étoile, la lumière, ayant traversé le premier trou, tomberait ensuite sur un obstacle, car le second trou se serait déplacé très légèrement mais de manière quand même sensible, pendant le temps que la lumière met à parcourir la longueur de l'instrument. Le seul recours qu'à l'observateur de maintenir l'astre dans l'axe de sa lunette est alors d'incliner celle-ci de l'angle nécessaire à « rattraper » la lumière qui autrement se perdrait sur la paroi du tube.

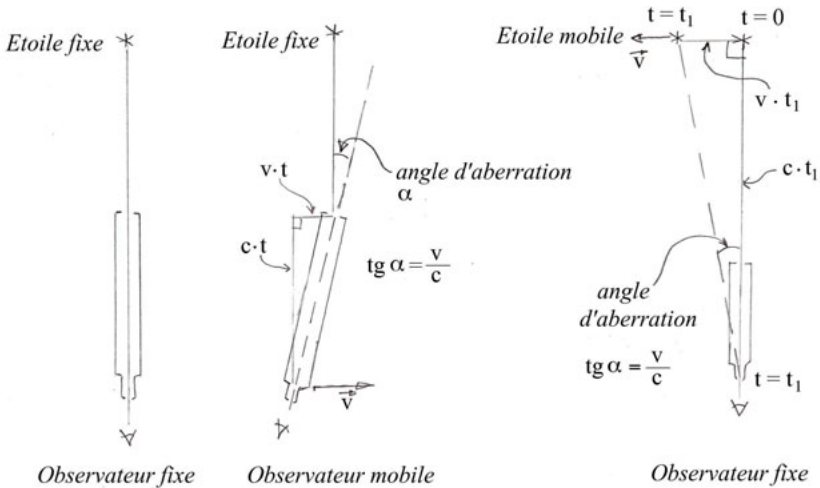


Figure 2. Phénomène de l'aberration de la lumière. Si l'étoile et l'observateur sont tous deux au repos (ou partagent le même mouvement rectiligne et uniforme), la direction apparente de l'étoile se confond avec la direction vraie. Si l'observateur se meut à une vitesse perpendiculaire à la direction vraie de l'étoile, la vitesse finie de la lumière lui impose d'incliner légèrement sa lunette dans la direction du mouvement d'un angle α ; c'est typiquement la situation de la Terre qui se meut autour du Soleil à sa vitesse orbitale de 30 km/s. Si l'on considère l'observateur comme fixe et l'étoile comme mobile, on interprète l'angle d'aberration comme celui qui sépare la direction de l'étoile à l'instant $t = 0$ où elle a émis la lumière observée au temps $t = t_1$, de la direction réelle de l'étoile au temps $t = t_1$, c'est-à-dire après le temps de propagation de la lumière jusqu'à l'observateur. Cette interprétation n'a de sens que si étoile et observateur sont chacun liés à un référentiel d'inertie, c'est-à-dire se déplaçant à vitesse rectiligne et uniforme.

Simplicio : Donc, si je vous suis bien, l'observateur devra incliner d'autant plus sa lunette qu'il se déplacera rapidement ?

Salviati : Voilà qui est exact : l'angle d'aberration est manifestement une fonction très simple, pour une étoile située au pôle de l'écliptique, de la vitesse de la Terre et de la vitesse de la lumière : on voit que la tangente de cet angle est le rapport de ces vitesses respectives. Or la vitesse de la Terre peut être obtenue de manière indépendante pour autant que l'on connaisse l'échelle absolue du système solaire, c'est-à-dire la dimension exacte de l'orbite terrestre. C'est là une connaissance qui ne fut acquise qu'à partir de la seconde moitié du XVII^e siècle par l'observation de la parallaxe de la

planète Mars et du XVIII^e siècle par l'observation des transits de Vénus devant le Soleil, mais c'est encore une autre histoire. L'observation de l'angle d'aberration permet ainsi une estimation de la vitesse de la lumière indépendante de celle donnée par Römer.

Voilà donc la preuve du mouvement de la Terre qui me manquait. Quelqu'un aurait pu l'imaginer et la prédire, mais je n'eus pas cette inspiration, ni personne d'autre à ma connaissance. Cette fois, il fallait bien se rendre à l'évidence.

Simplicio : ...ou bien maintenir que l'univers entier oscillât autour de notre globe avec la période d'une année sidérale, pourquoi non? En effet, l'aberration n'est-elle point un phénomène symétrique, puisqu'elle dépend de la vitesse relative? Il m'est bien désagréable d'apprendre que nous ne voyons pas les étoiles à la place qu'elles occupent réellement. Heureusement, l'aberration est trop petite pour être vue à l'œil nu, mais le principe même a quelque chose de profondément gênant. Ne pouvons-nous donc nous fier entièrement à nos sens? Même si cette idée d'une oscillation universelle paraît quelque peu facétieuse, au fait, qu'en savez-vous? si moi j'estimais vraisemblable qu'en effet tout l'univers oscillât de la sorte, afin de sauver les apparences tout en gardant la Terre fixe, sauriez-vous vraiment me convaincre du contraire?

Sagredo : Allons donc, Signor Simplicio, trêve de divagations! Ce n'est pas le moment de soulever de si naïves questions, alors que nous célébrons et savourons le triomphe de notre ami qui le mérite bien, après tant de frayeurs et de tribulations.

Salviati : Il n'est point de question qu'une raison dûment éclairée ne puisse considérer, Signor Sagredo. Comme il est dit dans certains ouvrages de vulgarisation d'astronomie du milieu du XX^e siècle, cette science est une école de patience et de persévérance. Si de telles qualités sont requises pour construire des instruments et observer, elles le sont aussi pour argumenter. Mais votre question, Signor Simplicio, me servira de tremplin pour ajouter preuve sur preuve, et consolider ainsi la doctrine copernicienne qu'elle tentait d'affaiblir.

Tout d'abord, pour répondre à votre question sur la fidélité de nos sens, il est vrai que ceux-ci ne peuvent être fidèles à la perfection pour la bonne

raison qu'ils sont nécessairement limités par les lois de la nature : songez à l'éclair que vous voyez zébrer le ciel un instant, alors que le tonnerre qu'il provoque n'atteint vos oreilles que plus tard, avec un délai qui peut bien atteindre plusieurs secondes. Cela est lié à la vitesse limitée du son, beaucoup plus lent que la lumière, et votre oreille n'y peut mais. Il en va de même pour la vue, qui est trompée, dans le phénomène d'aberration, par la vitesse non infinie de la lumière.

Simplicio : Je reconnais bien là les limites de nos sens comme celles de l'humaine condition.

Salviati : Venons-en à votre intuition d'univers oscillant. S'il est vrai qu'une réflexion superficielle pourrait laisser croire que l'aberration de la lumière est parfaitement symétrique puisqu'elle est toujours présentée comme ne dépendant que de la vitesse relative de l'astre et de l'observateur, il ne faut pas oublier qu'on suppose toujours que l'observateur, aussi bien que l'étoile, est lié à un référentiel d'inertie et qu'il se déplace donc à vitesse uniforme. Négliger ce détail d'importance conduirait à d'étranges conséquences. Songez par exemple à une étoile double suffisamment éloignée pour que, même avec un puissant télescope, on ne puisse en distinguer les deux composantes et que seul un point lumineux soit donc visible. C'est ce qu'on appelle une étoile binaire spectroscopique, car seul un examen attentif des raies spectrales permet d'en découvrir la nature binaire, grâce à l'effet Doppler-Fizeau²⁴. Or, si les deux composantes ont une masse comparable et une orbite circulaire, ce qui arrive souvent, elles auront à chaque instant des vitesses orbitales de même valeur mais de sens opposé, car chacune tourne autour du centre de gravité du système. Ainsi, aux yeux de l'observateur, une composante devrait donner lieu à un angle d'aberration dans un sens, tandis que l'autre

²⁴ Effet selon lequel la fréquence du rayonnement perçu par l'observateur dépend de la vitesse de la source projetée le long de la ligne de visée (on parle de vitesse radiale pour cette composante de la vitesse) : si la source s'éloigne, la fréquence observée est plus basse que la fréquence d'émission, tandis que si elle s'approche, la fréquence est plus élevée. Pour les vitesses stellaires typiques (quelques dizaines de km/s), cela se traduit par un très léger décalage des raies spectrales, respectivement vers le rouge et vers le bleu. Mais la vitesse radiale d'oscillation des étoiles entourées de planètes, qui permet justement la détection de celles-ci, est minuscule car elle se compte au plus en dizaines de mètres par seconde, et souvent en mètres par seconde.

donnerait lieu à un angle d'aberration de même valeur mais dans le sens opposé ! Et comme la vitesse orbitale peut fort bien atteindre 100 km/s ou plus, on verrait une étoile double avec une séparation de deux minutes d'arc au moins, ce qui serait totalement incohérent avec les résultats spectroscopiques !

Simplicio : Voilà qui serait bien le comble des tromperies de nos sens. Et pourtant, nous ne voyons point de situation aussi baroque. Comment cela se fait-il ?

Salviati : Veuillez contempler la figure 2. Sur le panneau de gauche est montrée la situation triviale où astre et observateur sont fixes, ou partagent le même mouvement, ce qui revient au même. Dans ce cas la direction apparente de l'étoile se confond avec la direction vraie. Sur le panneau du milieu est montrée la situation d'un astre fixe et d'un observateur mobile, en supposant un instant que cela ait un sens, ce qui n'est toutefois pas tout à fait vrai en relativité restreinte, cadre dans lequel on traite généralement ce problème. C'est la situation habituellement montrée dans les livres et que j'expliquai précédemment. Sur le panneau de droite figure le cas d'une étoile mobile et d'un observateur fixe : ici, l'interprétation intuitive de l'angle d'aberration est un peu différente. En effet, l'onde lumineuse quitte l'étoile à l'instant $t = 0$ et se propage vers l'observateur, gardant la mémoire de la position de l'étoile à cet instant. Mais durant le temps de propagation t_1 , l'étoile se sera déplacée d'une distance $x = v \cdot t_1$, où v est la vitesse de l'étoile. On retrouve alors l'angle d'aberration comme étant le rapport x/d , où $d = c \cdot t_1$ est la distance entre l'étoile et l'observateur, si l'on exprime cet angle en radians et le supposons suffisamment petit pour que l'angle et sa tangente puissent être considérés comme confondus. Ainsi l'angle d'aberration est-il toujours défini de manière générale comme celui qui sépare la direction « apparente » de la direction « réelle » de l'étoile, mais ici la direction « apparente » est simplement celle de l'étoile lorsqu'elle a émis la lumière qui arrive présentement à l'observateur, tandis que la direction « réelle » est celle de l'étoile à l'instant présent.

Simplicio : Si je comprends bien, on trouve une situation analogue quand, levant les yeux vers le ciel afin d'éclaircir l'origine d'un vrombissement subit, nous nous irritons contre notre regard bredouille et sommes

contraints de diriger ce dernier en avant du bruit, pour enfin découvrir à l'horizon le vélocé aéroplane de chasse qui menace notre ouïe. La lumière se propageant à une vitesse infiniment plus rapide que le son, nos yeux perçoivent pratiquement la position présente et vraie de l'avion, tandis que nos oreilles nous signalent la position de l'appareil telle qu'elle était lorsque le son l'a quitté, il y a de cela une seconde ou deux. Et si notre aéroplane décrit des cercles, notre ouïe percevra des cercles de même que notre vue, si ce n'est qu'elle situera l'avion sur ceux-ci à la place qu'il y occupa un instant avant, c'est-à-dire avec un retard correspondant au temps de propagation du son ; la lumière est en effet si vélocé que son temps de propagation s'avère ici négligeable devant celui du son.

Salviati : Voilà qui est absolument exact. Dans la réalité, les deux situations – celle de l'observateur mobile et celle de la source mobile – sont entremêlées, mais l'effet global peut néanmoins être décomposé pour y voir plus clair.

Revenons alors à notre étoile binaire. Tout d'abord, son centre de gravité est animé d'une vitesse que je suppose uniforme relativement au Soleil, cet objet circulant dans la Galaxie tout comme notre astre du jour. Cela donne lieu à un angle d'aberration constant, que nous ignorons donc ; là, nul besoin de connaître si l'on est dans la situation montrée sur le panneau central de la figure 2 ou sur le panneau de droite et l'on peut s'affranchir de toute notion d'espace absolu, de sorte que seule compte la vitesse relative. Ensuite, chacune des composantes de l'étoile double se déplace sur son orbite respective : pour un observateur qui serait situé sur le Soleil, on est dans le cas où la position observée de chaque composante correspond à l'instant où la lumière a été émise. Mais comme le mouvement n'est pas rectiligne, l'aberration se réduit simplement à ce retard temporel, sans affecter par ailleurs la position relative des deux composantes, si ce n'est qu'elles se trouvent à une autre position sur leur orbite qu'à l'instant de l'observation. Cela est donc sans importance : si on détermine l'orbite à partir des observations, on obtient simplement les paramètres orbitaux tels qu'ils étaient au moment de l'émission de la lumière.

Sagredo : Reste le mouvement de l'observateur, qui est celui de la Terre : on est dans le cas du panneau central de la figure 2, et les deux composantes de l'étoile binaire sont affectées du même angle d'aberration.

Salviati : Parfaitement. Et voilà pourquoi le phénomène de l'aberration de la lumière ne peut être qualifié de symétrique en toute circonstance ! Il l'est à coup sûr tant que l'étoile et l'observateur appartiennent chacun à un système d'inertie. Mais la symétrie est levée sitôt que l'un ou l'autre se trouve dans un système *accélééré* : l'étoile appartenant à un système double est accélérée, puisque la direction de sa vitesse change. Chacun se rend bien compte qu'au cours d'un voyage en voiture, il peut fort bien oublier qu'il bouge tant que la route est parfaitement droite, surtout s'il ferme les yeux ; mais dès qu'un virage est négocié, la force centrifuge rappelle à notre somnolant la réalité de son mouvement, même si le compteur affiche une vitesse imperturbablement constante. Si donc l'étoile est accélérée, seul un retard temporel distingue ce qu'en voit l'observateur de ce qu'elle est *présentement*, c'est-à-dire de ce que verrait l'observateur si la lumière se propageait à vitesse infinie. Inversement, si l'étoile est attachée à un système inertiel mais l'observateur à un système accéléré, comme notre Terre qui tourne autour du Soleil, alors on se trouve dans le cas du panneau central de la figure 2, et l'observateur voit l'étoile décrire au long de l'année une petite ellipse autour de sa position moyenne, qui est une sorte de reflet de l'orbite terrestre.

Simplicio : Qu'advient-il alors de mon idée, pourtant fort subtile, d'un univers oscillant ?

Salviati : Eh bien ! Imaginons à présent l'étrange univers qui à première vue, eût pu sauver les apparences : une Terre fixe, et tout le reste de l'univers tournant, comme un corps solide, autour d'elle, chaque astre décrivant un cercle de rayon égal à celui de l'orbite terrestre²⁵. Comme on est, pour chaque étoile, dans un cas semblable à celui de l'étoile binaire que je viens d'exposer (si ce n'est qu'il n'y a qu'une composante), le modèle ne marche pas : on verra les étoiles les plus proches décrire de petites ellipses de moins d'une seconde d'arc, et surtout, les étoiles les plus lointaines ne montreront aucune oscillation sensible. Pour sauver les apparences, il faudrait que l'univers n'oscille pas comme un bloc, mais que chaque astre oscille sur un cercle de rayon non seulement bien plus grand, mais aussi proportionnel à sa distance, afin de présenter toujours à l'observateur

²⁵ En admettant que l'orbite terrestre soit circulaire, pour simplifier l'explication.

terrestre l'amplitude angulaire de 20 secondes d'arc qui est observée en réalité. Et à cause du temps de propagation de la lumière, il faudrait de plus que la *phase* de l'oscillation²⁶ soit ajustée correctement à chaque distance, afin que les étoiles angulairement voisines sur la voûte céleste, mais proches ou éloignées, paraissent osciller de concert. Cela fait beaucoup de contraintes et l'on aboutit à un modèle encore plus compliqué et moins élégant que celui de Ptolémée.

Sagredo : Et ce n'est pas tout, car une contrainte supplémentaire, encore inconnue de Bradley, rend une telle construction absolument intenable.

Simplicio : Hélas ! Alors que déjà mon bel édifice chancelle sous les coups de vos arguments, à quel hallali dois-je encore me préparer ?

Salviati : Après Bradley et sa découverte de l'aberration, vint en effet Friedrich Bessel²⁷ et la découverte de la parallaxe. L'aberration seule aurait suffi à asseoir la doctrine de Copernic pour jamais, pourtant il manquait encore une réponse quantitative et finale à l'objection basée sur l'immutabilité des constellations, autrement dit sur l'absence de tout effet sensible de parallaxe. Il fallut attendre le XIX^e siècle pour la trouver, en 1838, sur l'étoile 61 du Cygne. Pour cette étoile, l'angle de parallaxe n'était qu'un peu moins d'une moitié de seconde d'arc ! cet angle est celui sous-tendu par le rayon de l'orbite terrestre vu de l'étoile en question, qui est distante d'environ 11 années-lumière. L'année d'après, de l'observatoire du Cap, Thomas Henderson fit le même genre de mesure pour alpha Centauri et trouva un peu moins d'une seconde d'arc : cette étoile brillante serait la plus proche connue de nous, n'était une toute petite étoile voisine et probablement liée physiquement à la première, et que l'on appela Proxima Centauri pour souligner sa prééminence – d'ailleurs marginale – en matière de proximité. Il était donc manifeste, désormais, que plus aucune objection ne pouvait tenir à l'encontre du système copernicien et que c'est bien le Soleil et non la Terre qui est central.

De plus, et j'allais l'oublier, le pendule du Signor Léon Foucault²⁸ prouva, au milieu du XIX^e siècle, de façon définitive et absolue la rotation de la

²⁶ C'est-à-dire, ici, la position de l'étoile sur son parcours circulaire en un instant donné.

²⁷ 1784-1846.

²⁸ 1819-1868.

Terre, et cela d'une manière si tangible que le plus illettré du vulgaire pût en être entièrement convaincu.

Sagredo : Voilà qui paraît imparable. Mais prenez garde, Signor Salviati, que par excès de complaisance et de foi en la raison humaine, vous ne perdiez trop de temps à vouloir répondre aux arguties des partisans de l'obscurantisme ! Il n'est que trop évident que l'idée saugrenue d'un univers qui oscillerait autour d'une Terre fixe, en plus de son incapacité géométrique à sauver vraiment les apparences, nécessiterait de bouleverser toute la dynamique établie par vous-même et par le Signor Newton, et réduirait à néant la science tout entière ! Cela me rappelle une anecdote citée par le Signor Hawking dans son livre « Une brève histoire du temps »²⁹ : alors qu'à l'occasion d'une conférence destinée au grand public, un savant avait décrit le système solaire ainsi que la Galaxie dans laquelle il se meut, une dame intervint en disant que tout son exposé était faux car en réalité, disait-elle, le monde est plat et posé sur le dos d'une tortue géante. Il devient difficile, en de telles conditions, de dialoguer sérieusement.

Salviati : Soit. Relevons votre allusion à la Galaxie, car nous voilà déjà en train de dépasser Copernic : l'audacieuse théorie de Newton s'est révélée parfaitement générale, puisqu'elle a pu s'appliquer non seulement à notre système solaire, mais aussi aux étoiles doubles qui, comme le montra William Herschel³⁰, tournent l'une autour de l'autre sur des orbites elliptiques. Ainsi, c'est une chose que d'avoir prouvé le système héliocentrique, mais les astronomes n'en sont pas restés là. De la place centrale qu'elle occupait jadis aux yeux de ses habitants, la Terre a d'abord été reléguée au statut de simple planète parmi d'autres, dont certaines beaucoup plus grosses qu'elle. Puis le Soleil lui-même, qui fut adoré comme un dieu par maintes civilisations, même jusqu'à la Renaissance par les Incas et les Aztèques, s'est vu détrôné et réduit au statut d'un membre insignifiant de notre Galaxie, parmi cent ou deux cent milliards d'autres membres qui soit lui ressemblent, soit lui sont supérieurs ou inférieurs en taille et en masse. De même que les planètes ne sont que des satellites du

²⁹ En livre de poche : J'ai lu, 2000.

³⁰ 1738-1822. Il découvrit la planète Uranus en 1781 et mesura des étoiles doubles. Son fils John en mesura davantage encore.

Soleil, de même notre Soleil n'est qu'un satellite, si l'on peut dire, du bulbe de notre Galaxie, lui même constitué de milliards d'étoiles.

Sagredo : Et comme pour ajouter à notre humiliation, le cortège de planètes qui accompagne notre Soleil n'a rien d'exceptionnel, contrairement à ce que croyait le Signor James Jeans³¹ au début du XX^e siècle : les systèmes planétaires ne sont pas le résultat d'exceptionnelles et rarissimes rencontres stellaires, où une étoile arracherait en passant, par l'effet de sa force de gravité, un peu de matière à l'autre étoile et lui engendrerait ainsi un cortège de planètes. Ces systèmes sont formés de concert avec l'étoile, ils lui sont consubstantiels, et on en trouve depuis 1995³² autour de plusieurs pourcents des étoiles qui ressemblent à notre Soleil. Si la plupart de ces systèmes extrasolaires ne semblent, jusqu'à présent, constitués que d'une grosse planète unique, c'est que nos instruments n'ont pas encore la sensibilité requise pour détecter des planètes aussi petites que la Terre.

Salviati : Il est vrai. Nombreux sont les systèmes planétaires présents dans notre seule Galaxie, qui doit en abriter plusieurs milliards, au bas mot.

Simplicio : En êtes-vous bien sûr ? Après tout, rarissimes sont les planètes extrasolaires dont on prétend avoir obtenu une image directe, au prix de pénibles acrobaties instrumentales, et encore suppose-t-on qu'elles auraient chacune plusieurs fois la masse de Jupiter. De pareils obèses sont disqualifiés quant à une quelconque possibilité d'abriter la vie, et me font davantage penser à de petites étoiles qu'à de grosses planètes. Et personne n'a jamais vu ces exoplanètes de taille décente – ces autres Jupiter, Saturne, Neptune ou même « super-Terre » – autour desquelles tant d'excitation bourgeoise ! N'a-t-on pas objecté que les oscillations des raies spectrales de l'étoile, censées trahir la présence d'une planète, eussent pu être causées par des mouvements dans l'atmosphère de l'étoile elle-même, plutôt que par la présence d'un corps obscur tournant autour d'elle ?³³

³¹ 1877-1946.

³² M. Mayor & D. Queloz, 1995, *Nature* Vol. 378, p. 355 (découverte de la première planète extrasolaire).

³³ D. F. Gray, 1997, *Nature* Vol. 385, p. 795.

Salviati : Certes, mais ces objections, au demeurant fort mal étayées, furent bien vite balayées par l'observation d'un événement providentiel mais prévisible : dans certains de ces systèmes, le plan de l'orbite contient la ligne de vue, c'est-à-dire que pour l'observateur, la planète passe tantôt devant, tantôt derrière son étoile. On ne peut voir la planète directement parce que son éclat est des milliards de fois plus faible que celle de l'étoile (dans les ondes visibles), et elle est angulairement si proche de son soleil que le plus gros télescope ne pourrait l'en distinguer, même si elle était beaucoup plus brillante. Par contre, l'éclat de l'étoile semble diminuer légèrement lorsque la planète passe devant elle : pendant une heure ou deux, l'éclat baisse d'un pour cent ou deux, puis reprend sa valeur précédente aussitôt que cesse cette sorte d'éclipse partielle. La périodicité de ce phénomène est la même que celle de l'oscillation des raies spectrales de l'étoile, oscillations liées au mouvement de celle-ci autour du centre de gravité du système et à l'effet Doppler-Fizeau.

Simplicio : Une si faible baisse d'intensité ne m'émeut guère : ne pourrait-elle être causée par quelque tache sombre apparaissant sur l'hémisphère visible de l'étoile, au gré de la rotation de celle-ci ? Et du coup, l'effet Doppler observé ne pourrait-il être attribué, lui aussi, à la présence et au mouvement de la dite tache intruse ?

Salviati : Certes non, car certains de ces systèmes où la planète passe périodiquement devant son étoile ont pu être observés dans l'infrarouge lointain grâce au satellite américain Spitzer : à la longueur d'onde de seize micromètres, l'étoile est beaucoup moins brillante qu'aux longueurs d'onde visibles, alors que la planète géante, dont la température dépasse mille degrés, émet un rayonnement relativement faible mais détectable. Ainsi ce télescope spatial est-il capable de détecter la petite chute d'éclat du système non seulement quand la planète passe devant l'étoile, mais aussi lorsqu'elle s'éclipse derrière!³⁴ On ne peut que s'incliner devant si merveilleux résultat, et y reconnaître la preuve définitive et sans équivoque de l'existence de corps planétaires orbitant autour d'autres étoiles que le Soleil. Sans aucun doute, les quelque quatre cents planètes extrasolaires découvertes jusqu'ici ne sont donc pas des fantômes mais bel et bien des planètes, dont la

³⁴ D. Deming *et al.*, 2006, *Astrophysical Journal* Vol. 644, p. 560.

plupart doivent ressembler un peu à Jupiter ou à Saturne bien qu'elles soient souvent beaucoup plus chaudes. Quant aux autres, elles s'avèrent aussi petites que Neptune, la moins grosse des planètes géantes de notre système solaire, ou font même partie de la catégorie des planètes rocheuses, ayant la masse de deux à cinq fois celle de la Terre seulement. Et nous sommes sur le point de dénicher des planètes pas plus grosses que notre Terre, grâce aux transits que détecteront les satellites Corot et Kepler.

Sagredo : Juste retour des choses ! C'est précisément Jupiter et ses satellites, que vous découvrites, qui fortifièrent votre foi en l'héliocentrisme car ils ressemblaient au système solaire, les satellites étant à Jupiter ce que les planètes sont au Soleil. Ce sont maintenant d'autres Jupiters, bien plus lointains, qui confirment la banalité de notre système solaire, étant eux-mêmes satellites de leurs étoiles respectives.

Salviati : Mais l'histoire ne s'arrête pas là ! Considérez notre Galaxie, cet « univers-île » comme disait déjà le Signor Kant³⁵ : cet ensemble de plus d'une centaine de milliards d'étoiles n'est pas unique, loin de là ! Même à l'œil nu, nous autres terriens sommes capables de voir trois autres galaxies : les deux Nuages de Magellan, qui sont beaucoup plus petits que notre Galaxie, et même la grande galaxie spirale d'Andromède, qui y ressemble bien davantage. C'est seulement au cours des années 1920 que le Signor Edwin Hubble a pu résoudre cette galaxie en étoiles à l'aide du télescope le plus puissant de l'époque (un instrument de 2,50 m de diamètre) et prouver de manière définitive qu'il s'agit bien d'un objet très lointain, extérieur à notre Galaxie et de taille comparable.

Or actuellement, les galaxies se comptent par milliards d'après les clichés pris jusqu'ici. Et chacune contient de nombreux milliards de soleils...

Simplicio : Voilà qui montre et célèbre la grandeur du Créateur, qui seul peut être l'auteur d'une si grandiose magnificence !

³⁵ 1724-1804. Emmanuel Kant avait déjà compris que certaines « nébuleuses » pouvaient être en réalité des galaxies semblables à notre Voie Lactée.

Sagredo : Ou qui montre simplement l'infinie richesse de la Nature, qui est assez grande pour s'organiser toute seule selon des principes immuables, éternels et tout-puissants.

Salviati : Quoi qu'il en soit, mes amis, la fantastique immensité de l'univers tel qu'il s'offre aujourd'hui à nos yeux eût réjoui Copernic lui-même, ses disciples et surtout ses prédécesseurs, comme Aristarque de Samos. Mais dites-moi, cette immensité même rend plus brûlante encore une interrogation millénaire, celle-là même que nous évoquions au début de cette journée : n'y a-t-il pas quelque part une autre humanité, ou plutôt d'autres humanités qui comme nous, s'interrogent sur la pluralité des mondes habités ?