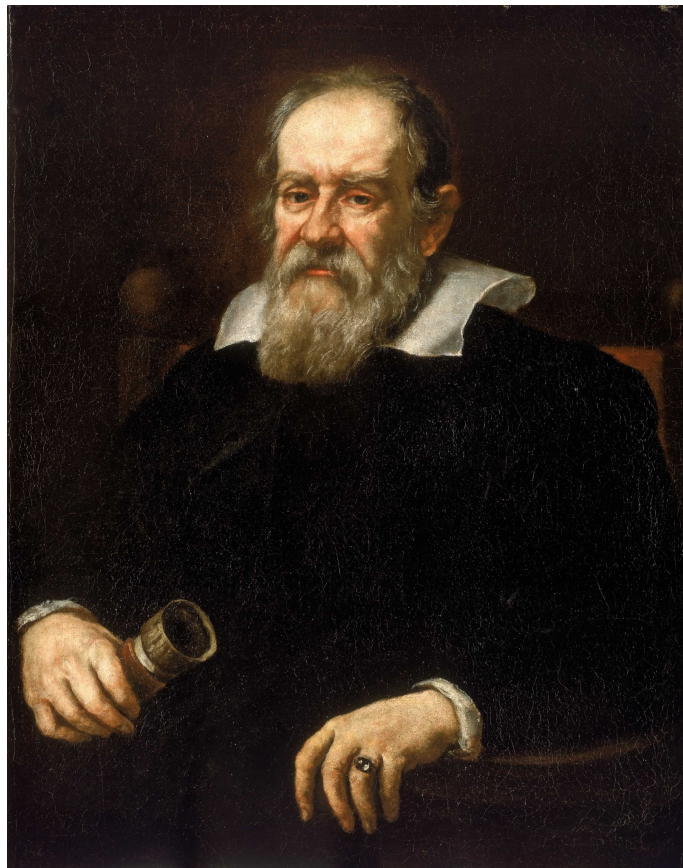


Galilée

**Etudiants :**

Louise BERARD Hippolyte BIDET
Alexis CHAINIER Yazane DELYE
Titouan GOUALOU Augustin GRONIER

Enseignant-responsable du projet :

Dominique LE LEVIER

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 22**

Intitulé du projet : **Galilée**

Type de projet : **Recherche documentaire et historique**

Objectifs du projet :

- *retranscrire la vie de Galilée*
- *comprendre le contexte de ses découvertes*
- *expérimenter ses travaux et recherches*
- *expliquer et analyser son procès*

Mots-clefs du projet : **biographie, histoire, recherches, expérimentations**

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	4
Organisation du travail	5
Travaux réalisés et résultats	6
Galilée sa vie et ses travaux:	6
Le début de sa vie	6
La lunette : le début d'une révolution scientifique	7
L'avant-procès:	9
Le Procès:	10
Galilée et la chute des corps :	11
La lunette Galiléenne	15
Les premières lunettes	15
Les travaux de Galilée sur ses lunettes	16
Fonctionnement théorique de la lunette de Galilée :	16
Fabrication expérimentale d'une lunette de Galilée :	17
Observations révolutionnaires du savant avec la lunette de Galilée :	17
Les lunettes et les télescopes	18
Conclusions et perspectives	19
Bibliographie	20
Galilée sa vie et ses travaux :	20
Galilée et la chute des corps :	20
La lunette galiléenne:	20
Annexes	21
[1] Détail de l'expérience du banc incliné :	21
[2] Justification de l'égalité du grandissement et du grossissement pour la lunette	23
[3] Protocole expérimental : Vérifier la distance focale d'une lentille convergente	24
[4] Protocole expérimental : La lunette de Galilée	25
[5] Précisions sur la lunette de Newton	26
[6] Citation du livre de Galilée concernant l'expérience de pensée sur la chute des pierres	27
Glossaire :	27

INTRODUCTION

L'astronomie est peut-être la plus vieille des sciences. L'humanité fut d'abord fascinée par les étoiles, elle a ensuite tenté de comprendre leur sens et leur nature. Les premiers Hommes, n'ayant aucune notion d'astronomie, ont attribué des significations aux étoiles, donnant naissance à diverses mythologies. Puis, au fil des siècles, de plus en plus de chercheurs se sont tournés vers les étoiles et ont étudié les phénomènes qu'ils observaient. Le XVI^{ème} siècle a été marqué par de nombreuses avancées scientifiques. La plupart de ces révolutions viennent à l'encontre des pensées majoritaires de l'époque. Ces idées proviennent de l'Antiquité, elles sont défendues par l'Église qui prône le géocentrisme et la place centrale de l'espèce humaine dans l'Univers.

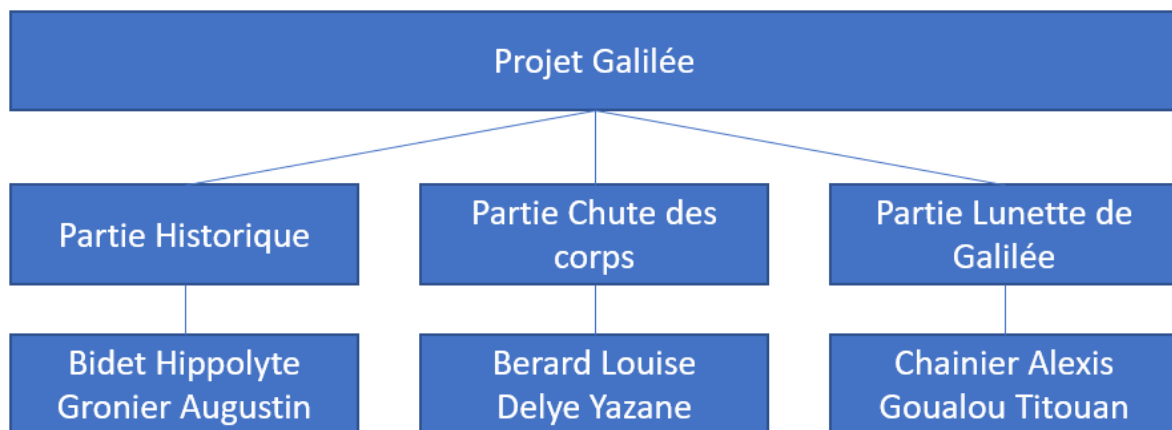
À cette époque ponctuée de révolutions scientifiques, certaines personnes se sont démarquées par leurs travaux et leurs théories qui ont été confirmées à plusieurs reprises dans la suite de l'Histoire.

Sur le plan astronomique, Nicolas Copernic est l'un des premiers à s'attaquer à ce sujet. Mathématicien de renom du XV^{ème} et XVI^{ème} siècle, il parvient à théoriser pour la toute première fois l'héliocentrisme, théorie selon laquelle le soleil est au centre de l'univers et que la Terre tourne autour selon une trajectoire circulaire. Par la suite, une poignée de scientifiques ont défendu cette théorie, Galilée est l'un d'entre eux. Cet homme, considéré comme le père de la physique moderne, est le point de départ de l'astronomie telle qu'on la connaît aujourd'hui. Dans ce rapport, nous passerons en revue les grandes lignes de ses travaux.

ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour mener à bien ce projet, il nous a fallu restreindre le vaste sujet qu'est l'œuvre de Galilée en désignant trois thèmes à traiter : Une partie historique retraçant les événements marquants de sa vie, une partie traitant de ses travaux sur la chute des corps, et une partie traitant de la lunette Galiléenne.

Une fois ces thèmes désignés, nous avons divisé le groupe en trois duos traitant chacun l'un des axes de recherche :



Tâches effectuées par étudiant :

Bidet Hippolyte / Gronier Augustin : Partie historique. Énoncer la vie de Galilée, de son enfance jusqu'à sa mort. Explication de ses travaux et raconter le contexte du déroulement du procès.

Berard Louise / Delye Yazane : Contextualisation des travaux de Galilée sur la chute des corps. Expérience de lâcher d'objets de masse différentes. Expérience sur banc incliné à coussin d'air avec l'objectif de retrouver expérimentalement la relation entre distance et temps.

Chainier Alexis : Fonctionnement des lunettes terrestres, des télescopes et des appareils de Tycho Brahe, observations astronomiques effectuées par Galilée. Fabrication d'une lunette de Galilée sur banc optique, vidéo sur la lunette.

Goulou Titouan : Fonctionnement théorique de la lunette de Galilée, observations effectuées par Galilée. Fabrication d'une lunette de Galilée sur banc optique et vérifications du caractère afocal droit, de la formule du grandissement, vidéo sur la lunette.

TRAVAUX RÉALISÉS ET RÉSULTATS

I. Galilée sa vie et ses travaux:

a. Le début de sa vie

Galilée, de son vrai nom Galileo Galilei, est un physicien, astronome et mathématicien italien du XVI^{ème} et XVII^{ème}. Il est né le 15 février 1564 à Pise et mort à 77 ans, le 8 janvier 1642. Fils de musicien, il a grandi dans une atmosphère de recherche. En effet, son père, luthiste reconnu, a théorisé sur le milieu musical et acoustique. À 17 ans, sous l'influence de son paternel, il intègre l'université de Pise pour y étudier la médecine. Très vite, il se désintéresse de ses études et en 1585, il retourne auprès de ses parents à Florence.

Malgré l'abandon de ses études, il est formé aux mathématiques par un proche de sa famille, Ostilio Ricci. Contrairement aux autres mathématiciens, il alliait très souvent la pratique à la théorie, en se basant sur diverses expériences. De retour à Florence, il commence à étudier le centre de gravité des corps ainsi que leur chute. Il tente de recréer la balance hydrostatique d'Archimède qui met en évidence la poussée d'un corps dans l'eau. En la reconstituant, cela lui permet de déterminer la composition d'un alliage.

Lorsque Galilée était professeur à l'université de Padoue, il enseignait la théorie des fortifications et l'astronomie à ses élèves. Cependant, il se distingue de ses autres collègues car il avait pour habitude d'assister à des chantiers navals afin d'observer le fonctionnement des machines abordées dans ses enseignements, ce qui était très étonnant pour l'époque. Tous ses collègues pensaient que le monde des artisans et des marins, n'avait rien à voir avec celui de l'université. L'utilité de ses observations lui permettait de questionner les dires d'Aristote et même de les contredire dans les cas où une expérience le démontrait. Son but était de faire progresser les sciences qui n'avaient guère évolué depuis l'Antiquité, tandis que les techniques industrielles s'étaient grandement développées ces derniers siècles. Or, l'étude des méthodes industrielles pouvait déjà permettre de réfuter certaines pensées très populaires. Malgré tout, il continuait d'enseigner le système de Ptolémé, caractérisé par la théorie du géocentrisme, tel que l'Église l'entendait.

b. La lunette : le début d'une révolution scientifique

Par la suite, apprenant l'existence d'un outil permettant de grossir le ciel venant des Pays-Bas, il décide de s'en procurer un. Il s'agissait alors de l'une des premières lunettes terrestres. Cet objet était considéré, à l'époque, comme inutile astronomiquement parlant, de par le fait qu'elle ne grossissait que 2 ou 3 fois. Les lentilles impliquées dans le système ne s'employaient à l'origine que pour la correction de vue, ce qui n'avait pour conséquence que de flouter grandement l'image perçue. Cependant, Galilée voyait les choses autrement, au départ, il souhaitait en tirer de l'argent pour subvenir aux besoins de sa famille, son salaire étant très faible. Par la suite, afin de nourrir sa curiosité, il décida d'en créer une lui-même. Ainsi naquit la célèbre lunette de Galilée. Depuis quelques années déjà, il s'intéressait aux théories de Copernic, notamment à sa théorie de l'héliocentrisme qui défiait les dires de l'Église, et voulait s'en convaincre lui-même grâce à des preuves.

Grâce à sa lunette, Galilée découvre un nouveau monde. Cependant sa première lunette n'a un grossissement que de 6 fois ce qui ne lui permet pas d'observer le ciel. Il ne se décourage pas, la deuxième version possède un grossissement de 9. Même si ce n'est toujours pas suffisant pour observer les étoiles, cette version est présentée à la République de Venise. Par la suite, un poste à vie lui est attribué et il voit son salaire doublé ce qui lui permet de continuer ses recherches et ses expériences afin d'améliorer sa lunette.

Pour débiter, il commence par tourner sa lunette vers la Lune. Il découvre ainsi que le satellite, comme la Terre, possède des parcelles d'ombres qui témoignent des différents reliefs qui la composent. Il se penche également sur les variations de luminosité sur la face obscure de la Lune. Galilée trouve de nombreuses similarités entre la Terre et la Lune. Il se rend compte, avec les jeux de lumières de la Lune et de la Terre, que ces deux astres s'attirent mutuellement. Cependant, la théorie selon laquelle la Terre tournerait autour du soleil n'étant pas reconnue par l'Église, il était difficile pour lui d'affirmer ces observations qui venaient à l'encontre du système de Ptolémé. En effet, ce système avançait que la Terre était au centre de l'univers et unique. Dans le contexte de l'époque, affirmer que la Terre et la Lune partageait certains points communs pouvait mener à sa condamnation à mort. C'est d'ailleurs ce qu'a subi Bruno Giordano qui fût condamné au bûcher après avoir affirmé

l'infinité de l'univers, soutenu la théorie de l'héliocentrisme copernicienne et présenté que la Terre et la Lune partageaient des points en commun.

Ainsi, Galilée se tût, mais le 7 janvier 1610, il fait la découverte de 4 nouvelles étoiles autour de Jupiter. Ce sont 4 des nombreux satellites naturels de la géante gazeuse. Galilée conclut que, à l'image de la Terre avec la Lune, Jupiter emmène dans sa trajectoire 4 autres astres qui gravitent autour d'elle. Renforçant la théorie de l'héliocentrisme avec cette découverte, il ne parvient toujours pas à la prouver clairement. En effet, cette découverte réfute le système de Ptolémée, mais ne confirme pas celui de Copernic. Galilée ne s'arrête pas là et continue ses recherches astronomiques. En septembre 1610, il s'installe à Florence où il devient mathématicien du grand Duc.

Ainsi, il poursuit ses recherches. Il découvre les différentes phases de Vénus en 1610, c'est-à-dire que, à la manière de la lune, il observe tantôt la planète sous forme de croissant, tantôt pleine. En étudiant en détail ces phases, il arrive à la conclusion que Vénus tourne autour du soleil, argument décisif en faveur du système de Copernic.

En 1611, il est amené à discuter de la flottaison de la glace dans de l'eau avec un scientifique soutenant la théorie aristotélicienne selon laquelle la glace flotte grâce à sa forme plane. C'est en démontrant que même en poussant la masse de glace au fond de l'eau, elle remonte et se remet à flotter que celui-ci prouve que la glace est moins dense que l'eau. Par la suite, il publie son célèbre ouvrage en 1612 *Discours sur les corps flottants*. C'est alors le début d'une révolution scientifique car cet ouvrage vient corriger la parole d'Aristote. En parallèle, de nombreux jeunes veulent apprendre la science de Galilée et laisser tomber celle que l'Église tente de leur enseigner. Cet événement marque le début du combat que Galilée va devoir livrer face à l'Église pour défendre ses découvertes et ses travaux. Ce duel d'inscrit dans une période où le système de Ptolémé était déjà contesté par celui de Copernic.

c. L'avant-procès:

A partir de ce moment-là, Galilée commençait à se faire des ennemis au sein de l'Église. Cette institution qui, pourtant, l'avait soutenu dans ses travaux, n'appréciait pas le chemin que prenait l'idéologie du savant. Ainsi, en 1615, il prit la parole afin de présenter ses recherches et convaincre le plus de monde de croire en ses hypothèses, dont celle de l'héliocentrisme. Malheureusement ce fût en vain, une grande majorité ne partageant pas ses idées.

Par la suite, l'œuvre de Copernic fut placée à l'Index (il s'agit d'une liste qui recensait les livres et ouvrages interdits à la vente pour les catholiques ayant pour but de limiter la propagation de pensées étrangères à celle de l'Église). Galilée est averti par l'Église, et on lui demande de ne plus se prononcer sur ses travaux. Plusieurs années après, en 1618, 3 comètes firent leur apparition dans le ciel. Cet événement est alors sujet à de nombreux débats au sein de la communauté scientifique à cette époque. Galilée avait évidemment son opinion sur le sujet mais n'osait point le partager, craignant les conséquences. Néanmoins, le pape Urbain VIII en 1623, qui connaissait Galilée alors qu'il était cardinal (sous le nom Barberini) l'encourage à partager sa pensée. Cependant, il émet une seule condition pour la publication : Galilée se doit d'être irréprochablement objectif.

Lorsqu'il sort son écrit, en 1632, c'est un grand succès qui fait polémique et qui remet en question les théories scientifiques de l'époque. En effet, dans son ouvrage *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, il met en opposition, dans une scène de débat, trois personnages. Le premier, s'appelant Salviati, représenté comme le porte-parole de Galilée et défendant la théorie copernicienne. Un second personnage, n'ayant aucun a priori sur le sujet mais renseigné, capable d'émettre un avis critique, s'appelle Sagredo. Enfin, un dernier intervenant du nom de Simplicio, défend la théorie aristotélicienne. Évidemment, le débat n'était pas objectif. Simplicio était représenté comme un personnage simplet, caricature du pape lui-même et dépourvu d'esprit critique. Écrit dans un langage vulgaire, cet ouvrage est très vite placé à l'Index de l'Église à cause des idées qu'il diffuse. Par la suite, malgré ses affinités avec le pape, qui fut par ailleurs d'une grande aide dans la reconnaissance de ses découvertes, l'astronome ne fut pas épargné. Il est convoqué au Saint Office dans la perspective d'être jugé dans ce qui deviendra le plus grand procès scientifique du siècle.

d. Le Procès:

Le scandale de son ouvrage fut tel que l'Église se sentit obligée de réagir et tenta de faire tomber Galilée au cours d'un procès. Le 1er Octobre 1632, premier jour du procès, Galilée est convoqué devant le Saint Office afin de répondre aux accusations qui pèsent sur sa liberté. Ce procès reste authentique de part son déroulement et son retentissement national et international. En effet, au cours de ce procès, Galilée dû répondre aux différents reproches de l'Église et prouver, devant les jurés, toutes les théories qu'il présente dans son ouvrage.



Galilée devant le Saint-Office, 1847
Joseph-Nicolas Robert-Fleury

Ces preuves vont de la chute des corps à la preuve du modèle héliocentrique. Il tente de répondre tant bien que mal à ces reproches par des expériences simples (chute d'une plume et d'un objet plus lourd pour démontrer qu'ils atterrissent bien en même temps). Le détail intéressant à noter est que l'Église ne condamne pas Galilée pour avoir parlé de la théorie de Copernic, mais pour avoir présenté le modèle de Copernic (soit l'héliocentrisme) comme une quasi-certitude, ce qu'elle ne peut accepter car cela va à l'encontre des idéologies aristotéliennes qu'elle enseigne.

Cependant, malgré les trois chefs d'accusation qui sont dirigés vers Galilée, la sentence, prononcée en 1633, reste légère. Galilée évite le bûcher (ce qui, à l'époque était un miracle) et est condamné à finir ses jours dans une résidence surveillée à devoir réciter des psaumes. Il continua malgré tout ses travaux tandis que ses observations étaient déjà reprises par d'autres chercheurs.

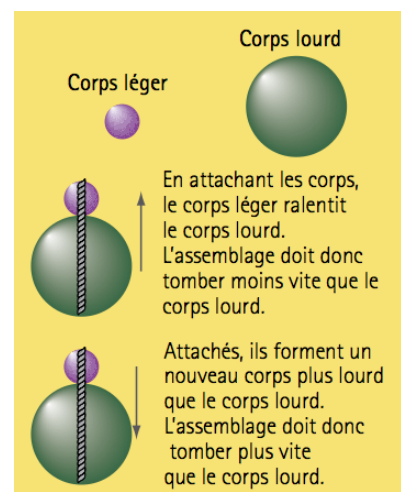
II. Galilée et la chute des corps :

Qui du corps léger ou du corps lourd, lâchés d'une même hauteur, atteint le sol en premier? Derrière cette question qui semble anodine, ou du moins l'a-t-on considérée comme telle pendant 2000 ans, se prépare une révolution scientifique qui sera l'acte fondateur de la physique moderne. Comme souvent, lorsque l'on s'intéresse aux avancées scientifiques des savants de la fin des temps modernes, il nous faut remonter aux philosophes grecs de l'Antiquité pour trouver les premières traces de recherches sur ces sujets.

Dans notre cas, le dernier scientifique s'étant penché sur la question de la chute des corps était Aristote au IV^e siècle avant notre ère. En effet, le disciple de Platon affirmait, après avoir étudié la chute simultanée d'une feuille de chêne et d'un gland, que la vitesse de chute d'un élément dépend de sa masse. Par conséquent pour ce dernier, l'élément le plus lourd arrivera systématiquement au sol avant l'élément le plus léger. L'expérience d'Aristote lui donnait bien sûr raison mais ce dernier a cependant omis une donnée : la résistance de l'air.

Ainsi, dès l'année 1604, Galilée s'inscrit en faux vis à vis de cette théorie et ce quand bien même elle faisait loi dans le monde scientifique depuis des lustres. En effet, le savant pisan ne jure que par les expériences et utilise ce qu'il en déduit afin d'infirmer ou confirmer des théories. Dans notre cas, Galilée commence par réaliser ce qu'il appelle une « expérience de pensée » qui le conduit à mettre en doute la théorie d'Aristote. Cette expérience est expliquée par le personnage de Salviati dans «Discours concernant deux sciences nouvelles» écrit par Galilée et paru en 1638 [6] .

Cette contradiction est illustrée sur le dessin suivant :

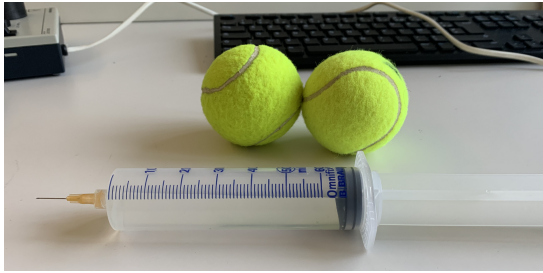


Son expérience de pensée l'invite alors à chercher une hypothèse pouvant éviter cette contradiction. Il ouvre alors la possibilité que tous les corps chutent à la même vitesse quelle que soit leur masse. Mais vient alors un problème : en effet, si l'on lâche deux corps de formes similaires mais de masses différentes depuis assez haut, alors inévitablement le corps le plus lourd touchera le sol avant le plus léger. C'est à ce moment précis que rentre en jeu le facteur qu'a oublié Aristote : les frottements de l'air. La question est alors : pourquoi lorsque l'on lâche deux objets de masses différentes depuis nos bras tendus ces objets atteignent-ils le sol au même moment ? Tout simplement parce que les frottements sont négligeables en dessous d'une certaine hauteur. Galilée a pu déduire tout cela d'expériences telles que le lâché d'objets du haut d'une église à Pise (et non du haut de sa tour comme le dit la légende). Il formule à la fin de celles-ci l'hypothèse que les masses des objets n'influencent pas sur leur durée de chute lorsqu'on est dans le vide (et donc sans frottements).

Cette hypothèse fait bondir les aristotéliens pour qui le vide n'existe tout simplement pas. En effet pour eux la vitesse est proportionnelle à la 'minceur' du milieu. Plus il est mince, plus la vitesse est importante. Or le vide, s'il existe, est infiniment mince donc l'objet se téléporte ce qui est impossible.

À partir de ces points de vue divergents, nous avons donc décidé de réaliser une première expérience. L'objectif était de recréer le chemin de pensée de Galilée afin de montrer que la masse d'un objet n'influe pas sur sa durée de chute dans le vide. Un premier problème s'est alors posé ; il est impossible pour nous de créer du vide à l'INSA. Nous avons donc choisi d'utiliser deux balles de tennis de même dimensions. Toute chose égale par ailleurs, ces balles ne se différencient que par leur masse. En effet, nous avons décidé de remplir une des deux balles, notée B, d'eau afin que sa masse soit supérieure à celle de l'autre, notée A. Ainsi, ces deux balles sont soumises à des forces de frottements identiques.

Pour cela, nous avons besoin de deux balles de tennis identiques, d'une seringue et de deux aiguilles, une pour chasser l'air et une pour faire rentrer l'eau.



Le matériel



Insertion de l'eau dans la balle B

À l'instar du savant pisan, nous avons alors cherché à laisser tomber les deux balles d'une hauteur depuis laquelle la durée de chute est suffisamment importante sans que le vent ou d'autres conditions extérieures n'influent sur leur trajectoire. Le but était alors d'observer que les deux balles touchent le sol en même temps. Dans un premier temps nous avons lâché les balles « à hauteur d'homme » : Après plusieurs essais, les résultats étaient plutôt satisfaisants. En effet, il nous a fallu quelques tentatives et réglages pour lâcher les deux balles en même temps sans vitesse initiale. Dans un second temps nous avons laissé tomber les balles de plus haut : les balles avaient également la même durée de chute.

Cette expérience simple de réalisation nous a permis de marcher dans les pas de Galilée et de démontrer à nouveau que la masse d'un objet ne joue pas un rôle dans sa durée de chute. En effet, qu'importe la hauteur depuis laquelle nous jetons les balles de tennis, ces dernières touchent le sol simultanément (ou l'une avant l'autre mais pas de manière systématique).

Mais après avoir réfuté cette hypothèse d'Aristote, Galilée n'en n'avait pas fini avec la chute des corps. Il a eu envie de « ralentir » la chute libre afin d'étudier plus en profondeur les différentes grandeurs qui entrent en jeu ainsi que la relation entre celles-ci. Toujours au début du 17^{ème} siècle, ce dernier décide donc de réaliser des expériences sur un banc incliné.

Il fait glisser le long du banc, préalablement savonné pour limiter les frottements, une bille. Cela lui permet alors de ralentir la vitesse et de calculer le temps de chute. Mais à cette époque le chronomètre n'existe pas et le savant italien doit alors redoubler d'ingéniosité

pour mettre en place une méthode de mesure du temps. Il positionne alors plusieurs clochettes le long du banc que la bille vient faire tinter lors de son passage.

Après plusieurs essais, Galilée réalise que les clochettes ne sonnent pas à intervalle régulier. Il modifie alors l'espace entre ces dernières afin que le tintement suive un rythme régulier et remarque, en mesurant la distance qui sépare les clochettes, que les intervalles ont une progression particulièrement précise. C'est ainsi que Galilée montre l'existence du mouvement uniformément accéléré et de la loi des distances en fonction du carré du temps. Il affirme que la vitesse de chute des objets est proportionnelle au temps de chute et que la distance parcourue est proportionnelle au carré du temps.

A notre humble niveau, nous avons souhaité reproduire cette expérience dite « du banc incliné », dans le cheminement logique de celle réalisée avec les balles de tennis. Nous avons pour cela eu besoin d'un banc inclinable à coussin d'air, de fourches optiques constituées de diodes émettrices et réceptrices, d'une rosace d'acquisition et du logiciel Synchroni. (Voir annexe [1]).



Le banc incliné



Mesure de l'angle

Finalement, le résultat de notre expérience concorde avec celui de Galilée. En effet, nous avons pu remarquer que la distance est proportionnelle au temps.

Nous ainsi retrouvons la fameuse relation : $d(t) = 0,5 \cdot a \cdot t^2$.

Cette dernière formule se démontre aujourd'hui à l'aide du calcul intégral « inventé » plus tard par un certain Isaac Newton. Le célèbre scientifique britannique doit beaucoup aux travaux de Galilée puisqu'en effet, la fameuse théorie de la gravitation universelle est une généralisation de la théorie de la chute des corps de Galilée.

III. La lunette Galiléenne

a. Les premières lunettes

La lunette d'observation existait déjà avant Galilée. En effet, les militaires utilisaient déjà des lunettes terrestres pour pouvoir observer les positions ennemies. La lunette la plus connue à cette époque est la lunette de Hans Lippershey, un opticien néerlandais. À partir de 1581, un four à verre est installé à Middelbourg, en Zélande, aux Pays Bas permet aux opticiens hollandais de fabriquer des lentilles d'excellente qualité. C'est notamment ce four qui a été utilisé par Hans Lippershey dans ses travaux. Au cours du XVIème siècle. Le fait que deux lentilles ensemble aient un effet grossissant est mis en évidence. C'est ce principe que Lippershey va utiliser pour développer sa lunette d'approche en 1608. Il va placer une lentille convexe et une lentille concave alignées pour obtenir un grossissement particulièrement importante pour l'époque, à savoir un grossissement de sept fois.

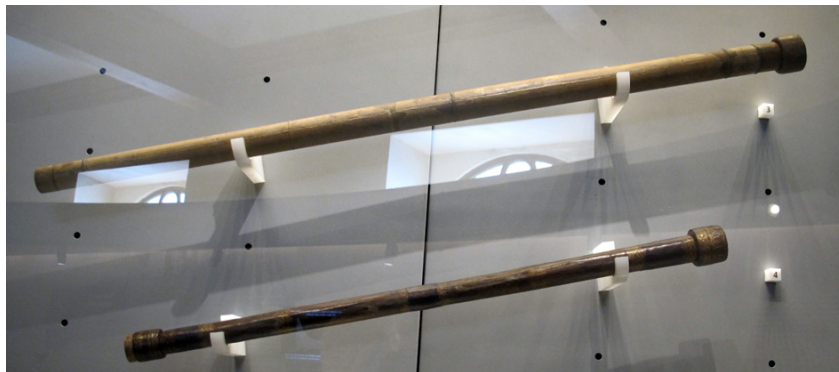
Avant l'invention de la lunette d'approche par Lippershey, il n'était pas possible de faire des observations astronomiques en grossissant sa vision. Il fallait construire des appareils monumentaux pour pouvoir prendre des mesures précises. Parmi les appareils d'observation construits au XVIème siècle, ceux de Tycho Brahe, un astronome danois, sont les plus marquants. Brahe a réalisé des appareils permettant d'être dix fois plus précis qu'à l'œil nu. Dans son observatoire d'Uraniborg, il a construit des instruments de mesure géants qui pouvaient faire plusieurs mètres de haut. Parmi eux, il y a des instruments de localisation (sextants, quadrants), mais aussi des instruments de mesure de la position des étoiles comme des sphères armillaires. Avec ces appareils, Brahe va établir un catalogue de 777 étoiles et va découvrir deux inégalités du mouvement de la Lune, de la variation de l'obliquité de l'écliptique, de l'inclinaison de l'orbite de la Lune sur l'écliptique. Malgré ces formidables observations, Tycho Brahe a toujours refusé d'admettre la théorie de l'héliocentrisme de Copernic et créé un système hybride avec celui de Ptolémée.

b. Les travaux de Galilée sur ses lunettes

Au cours de sa vie, Galilée a pu fabriquer une soixantaine de lunettes. Il s'agit d'une invention capitale dans sa vie, puisque cette dernière lui a permis de réaliser de nombreuses observations du système solaire et d'apporter des arguments de poids en faveur du système de Copernic.

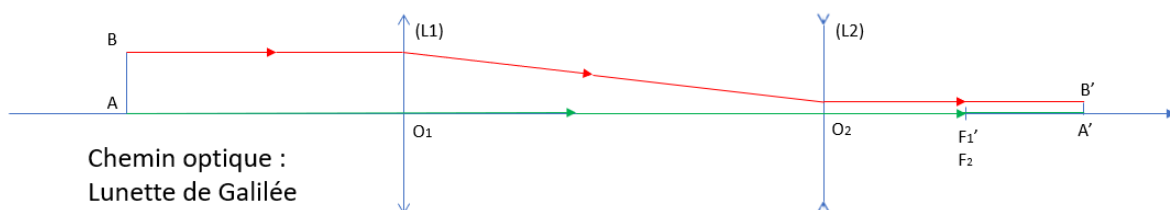
La lunette est en fait composée de deux lentilles, l'oculaire, une lentille convergente et l'objectif, une lentille divergente. On parle ici d'un outil nécessitant une grande précision dans sa fabrication, à tel point que seulement quelques unes de ses lunettes ont pu être réellement utilisables. En effet, les lentilles fabriquées au seizième siècle manquaient cruellement de précision, et pour ses lunettes, il a dû polir lui-même ses lentilles.

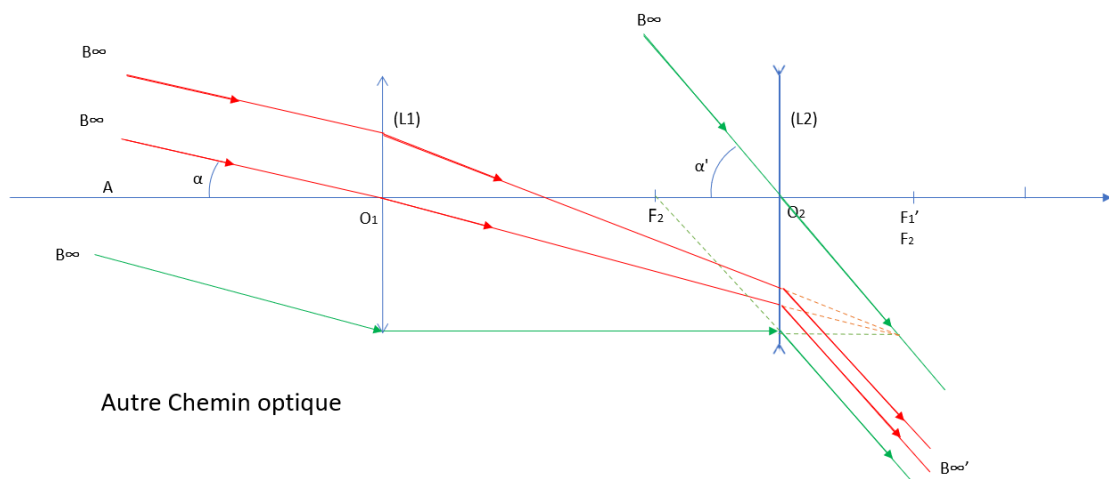
Ses deux créations les plus fonctionnelles pouvaient grossir un objet quatorze fois et vingt-et-une fois.



1. Fonctionnement théorique de la lunette de Galilée :

La lunette de Galilée est composée de deux lentilles minces, une première lentille convergente (L1) et une seconde lentille divergente (L2), de distances focales f_1 et f_2 , disposées de telle sorte que les points F_1' (foyer image de (L1)) et F_2 (foyer objet de (L2)) soient confondus. On trace le chemin optique d'un objet à l'infini des manières suivantes :





On note que cette disposition des lentilles permet à l'utilisateur de la lunette d'observer une image **afocale droite** d'un objet à l'infini. C'est-à-dire que pour n'importe quelle distance entre l'œil de l'utilisateur et l'oculaire, il est possible d'observer une image nette de l'objet.

De plus, on s'aperçoit que pour la lunette de Galilée, le grossissement et le grandissement sont identiques (Voir annexe [2]).

2. Fabrication expérimentale d'une lunette de Galilée :

Cf. Lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=S7Pt7xISjbU>

Nous avons fabriqué sur banc optique une lunette de Galilée. Ainsi, nous avons pu vérifier expérimentalement la formule du grandissement, le caractère afocal de la lunette et le fait que l'image est droite. (Voir annexe [4]).

3. Observations révolutionnaires du savant avec la lunette de Galilée :

Outre ses observations réalisées sur la lune, les satellites de Jupiter et les phases de Vénus (cf. Partie historique), Galilée parvient à réaliser de nombreuses autres observations révolutionnaires pour l'époque, mais qui restent secondaires dans le contexte de dualité entre les systèmes de Ptolémé et de Copernic.

Il parvient par exemple à observer les taches sur le soleil, se rend compte que ce dernier tourne sur lui-même et que les tâches ne sont pas les ombres des planètes projetées sur sa surface, thèse défendue à l'époque par le père Scheiner, défenseur du système de

Ptolémé. Il constate aussi pour la première fois la forme étrange de Saturne. Cependant, ses lunettes manquaient encore de précision pour déceler que la forme non sphérique observée était due à ses anneaux.

c. Les lunettes et les télescopes

Malgré l'amélioration de la lunette d'observation par Galilée, ces dernières ont toujours de gros défauts dus à la technique de fabrication des lentilles qui n'était pas assez précise. Les lunettes étaient parfois inutilisables et avaient la plupart du temps des aberrations chromatiques. C'est pour cela que d'autres physiciens vont chercher de nouveaux outils pour observer le ciel et l'espace. On pourra citer la lunette astronomique, puis une invention révolutionnaire du célèbre Isaac Newton.

En effet, le savant anglais réalise vers le milieu du XVII^{ème} siècle qu'il est possible d'observer le ciel grâce à un assemblage de miroirs concaves bien plus précis que les lentilles. Son premier télescope, fabriqué en 1668 comporte un miroir en bronze poli qui réfléchit la lumière vers un prisme totalement réfléchissant. Ensuite, la lumière est analysée par un oculaire à une lentille. Le grand avantage de ce système est que grâce à la présence d'une seule lentille, il n'y a que très peu d'aberrations chromatiques.

Même si la qualité des lentilles a augmenté, les télescopes ont fini par supplanter les lunettes. Ces dernières sont aujourd'hui davantage utilisées pour des observations terrestres. Le télescope de Newton est quant à lui la base d'une grande majorité des télescopes particuliers.

Ainsi, avec sa lunette dite « afocale », qui permet d'observer une image droite et agrandie, Galilée réalise une grande avancée dans les domaines de l'optique et de l'astronomie. Cette invention lui a permis de faire de nombreuses observations révolutionnaires pour l'époque, et d'avancer des arguments concrets en faveur du système de Copernic. Au travers de ses observations, l'astronome a posé des solides bases qui ont permis à de nombreux successeurs d'apporter leur pierre à l'édifice, comme l'a fait Newton avec son télescope. C'est donc en grande partie grâce à sa lunette si Galilée est aujourd'hui considéré comme l'un de pionniers de la science moderne.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, nous venons de voir qu'en ne traitant qu'une partie des travaux de Galilée, nous avons déjà fort à dire et à expérimenter. Mais au-delà du génie scientifique et surtout visionnaire qu'il était, il est important de noter que ses déboires avec l'Inquisition renvoient à la sempiternelle rivalité entre science et religion. Pourtant, Saint Augustin affirmait que si la science s'opposait à l'interprétation religieuse, c'est que l'interprétation humaine des textes était fautive, pas les textes. Malgré cela, Galilée fut condamné à abjurer. Il faudra attendre 1992 pour que le pape Jean Paul II, au nom de l'Église, ne le réhabilite officiellement. Voilà comment un savant de Pise, au 17^e siècle, a révolutionné le cours de la science moderne grâce au schéma de pensée scientifique par excellence : réfléchir, théoriser et enfin démontrer par l'expérience. Tel est l'héritage de Galilée.

Cet E.C nous a permis à tous de prendre conscience de l'ampleur des travaux de Galilée à une époque où des principes, évidents aujourd'hui, étaient inimaginables. De plus, nous nous sommes répartis les tâches équitablement en n'omettant pas de nous tenir informés de nos avancements respectifs. Chacun d'entre nous a senti que ce travail d'équipe pourrait nous être utile dans le cadre professionnel. Rigueur, communication et esprit d'équipe furent les maîtres mots durant cet E.C qui nous conduisit à faire s'entremêler histoire et expériences, afin de bonifier les deux.

Une suite logique pour ce projet serait évidemment de suivre dans l'ordre chronologique les découvertes réalisées par d'autres génies des sciences inspirés par les travaux de Galilée.

BIBLIOGRAPHIE

Galilée sa vie et ses travaux :

- [1] Jean-Pierre Maury, "Le messager des étoiles", Découvertes Gallimard, 1986
- [2] Page wikipédia sur Galilée : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Galil%C3%A9e_\(savant\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Galil%C3%A9e_(savant)) (02/06/2022)
- [3] Page wikipédia sur le procès de Galilée : https://fr.wikipedia.org/wiki/Proc%C3%A8s_de_Galil%C3%A9e (02/06/2022)
- [4] Page wikipédia sur le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Dialogue_sur_les_deux_grands_syst%C3%A8mes_du_monde?tableofcontents=0 (02/06/2022)
- [5] L'internaute sur Galilée :
<https://www.linternaute.fr/science/biographie/1777978-galilee-biographie-courte-dates-citations/> (02/06/2022)
- [6] Techno-sciences sur la vie de Galilée : <https://www.techno-science.net/definition/8981.html> (12/05/2022)
- [7] Page Universalis de Galilée (02/06/2022)
<http://www.universalis-edu.com.ezproxy.normandie-univ.fr/encyclopedie/galilee-1564-1642/>
- [8] Film : Galilée ou l'amour de de Dieu par Jean-Daniel Verhaeghe

Galilée et la chute des corps :

- [9] Encyclopédie Larousse : [loi de la chute des corps - LAROUSSE](#)
- [10] Article sur la chute des corps selon Galilée : [Chute des corps et expériences de pensée – Jean-François Consigli \(wordpress.com\)](#)
- [11] Article sur la chute des corps selon Galilée : [Les expériences de Galilée - La physique au temps de Newton • Tutoriels • Zeste de Savoir](#) (30/07/2014)
- [12] Énoncé de TP STPI 1 Insa Rouen : [TP_Banc_coussin_air_2021-2022.pdf \(insa-rouen.fr\)](#)
- [13] Page wikipédia sur la chute libre : [Chute libre \(physique\) — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)

La lunette galiléenne:

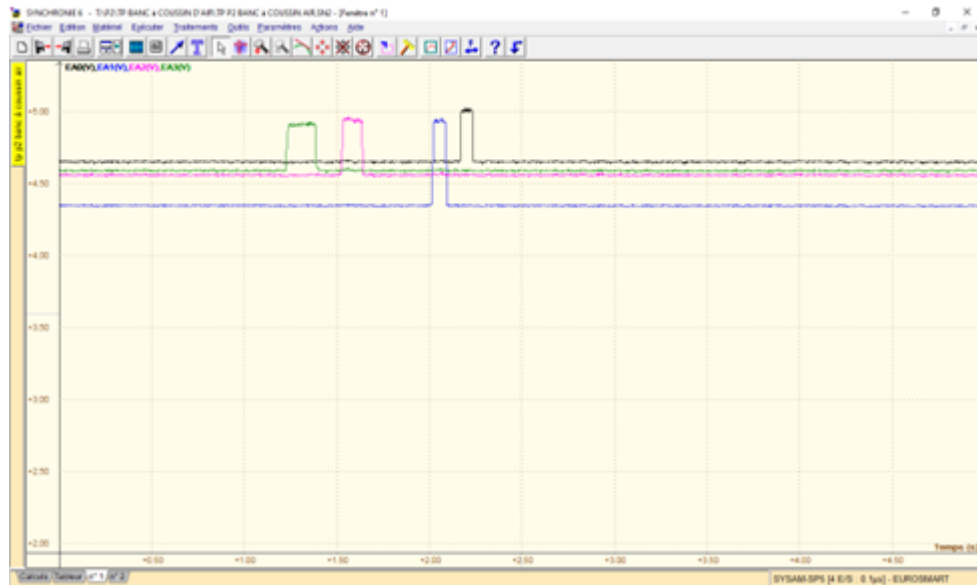
- [14] Quelle est la principale utilisation de la lunette de Galilée, cours sur la lunette de Galilée.
<https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/exercice-ps-4/cpge-1-pcsi-ps-4/outil-lunettes-galilee-science.html> (06/06/22)
- [15] Lunette de Galilée, exercice traitant des propriétés de la lunette. <http://www.dino-optic.fr/ExosOGE07.htm> (06/06/22)
- [16] Image formée par une lunette astronomique, Cours sur la lunette astronomique
<https://www.maxicours.com/se/cours/images-formees-par-une-lunette-astronomique/> (06/06/22)
- [17] Notions d'optique, différence entre grandissement et grossissement.
<http://serge.bertorello.free.fr/optique/dispoagr/dispoagr.html> (06/06/22)
- [18] TP Lunette de Galilée,
http://www.daniel-huilier.fr/Enseignement/IUFM/Documents_Pedagogiques/Optique/TPlunGali.pdf (06/06/22)
- [19] Lunette de Galilée, cours de l'université de Lyon.
https://cral-perso.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/cdrom2009/cd_kgn/docu_stage/lunette_gal.pdf (06/06/22)
- [20] TP Optique n°2 : Lunette astronomique et lunette de Galilée.
<https://studylibfr.com/doc/1701653/iii.-étude-de-la-lunette-de-galilée---pcsi> (06/06/22)
- [21] Cours de P4.1 de Diane Duval : EC Optique Géométrique. (06/06/22)
- [22] Comment déterminer la distance focale f' d'une lentille convergente.
<http://promosciences.discipline.ac-lille.fr/la-voie-professionnelle/plateformes-de-pret-materiel-doptique/documents-pour-la-classe/distance-focale-d-une-lentille-convergente> (06/06/22)

ANNEXES

[1] Détail de l'expérience du banc incliné :

Nous avons premièrement incliné le banc de telle sorte qu'il forme un angle de 6° avec le sol.

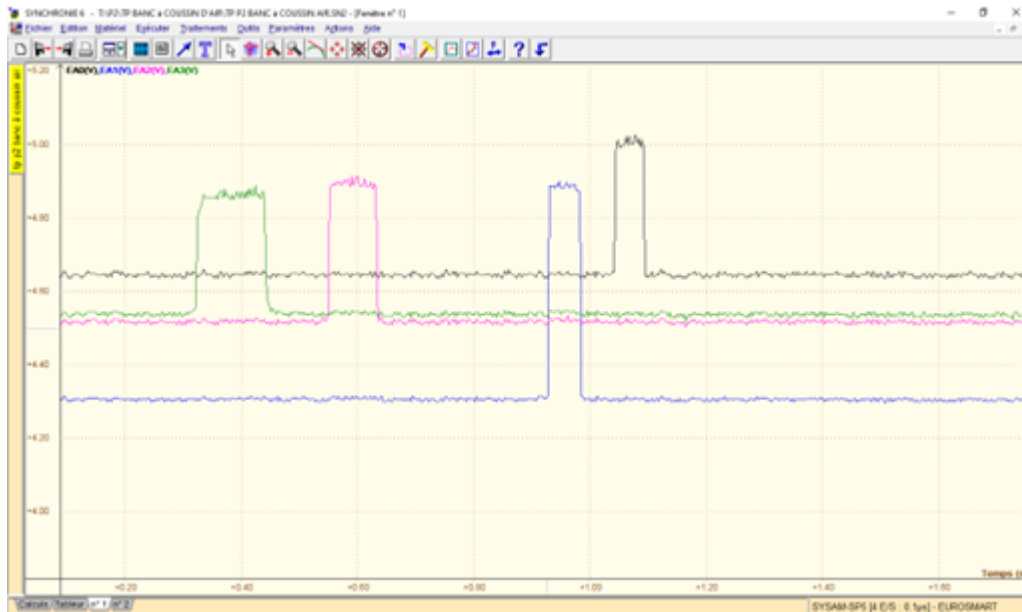
Nous avons alors obtenu les courbes suivantes :



Nous avons pu alors lire le temps mis par le mobile, lancé sans vitesse initiale, pour parcourir les distances entre les diodes que nous avons mesurées préalablement. Après avoir rentré toutes ces informations dans un tableur, nous nous apercevons qu'il existe bien une relation de proportionnalité entre la vitesse et le temps.

1	Positions fourches (m)	Temps (s)	Vitesse (m/s)		
2		0,27	0,5984	0,451203208556150	
3		0,475	0,8549	0,55562054	Angle : 6°
4		1,025	1,317	0,778283979	
5		1,219	1,463	0,833219412	
6					
7					
8					
9					

Puis nous avons fait de même pour un angle de 10° :



Pour ensuite arriver au tableau suivant :

Positions fourches (m)	Temps (s)	Vitesse (m/s)	
	0,27	0,445	0,606741573
	0,475	0,6373	0,745331869
	1,025	0,9849	1,040714793
	1,219	1,096	1,112226277

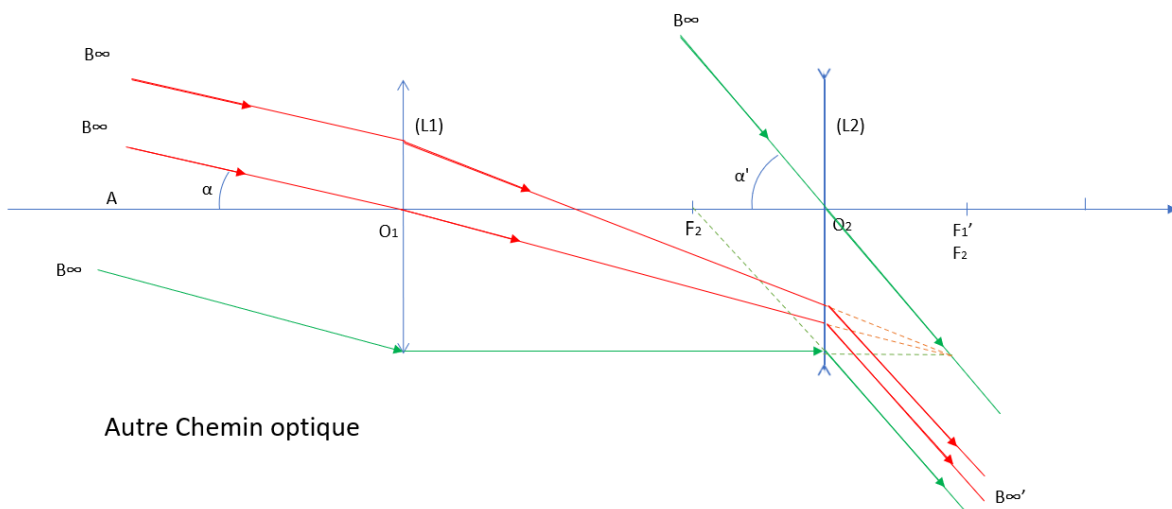
Ce dernier nous confirme cette relation de proportionnalité. Cependant, le plus intéressant est la conséquence de cette relation. En effet, on observe que le mobile met le même temps pour parcourir la première unité de distance que les trois unités suivantes (ici 0,445 sec pour la première et 0,45 sec pour les trois suivantes). Elle parcourt ensuite (bien que nous n'ayons pas un banc suffisamment long pour le vérifier) les cinq unités suivantes pendant la même durée. Galilée, ayant observé la même relation grâce à son dispositif constitué de clochettes, remarque donc cette « loi des nombres impairs ». Cela fut la clé de la relation que nous connaissons tous. En effet, en une unité de temps, la bille parcourt une unité de distance, en deux unités de temps, la bille parcourt quatre unités de distance (1 +3) et neuf pour trois unités de temps (1+3+5).

[2] Justification de l'égalité du grandissement et du grossissement pour la lunette

On s'intéresse maintenant au grandissement de la lunette et au grossissement :

$$\text{Grandissement : } \gamma = \frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = -\frac{f_1'}{f_2} \quad \text{Grossissement : } G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Avec α et α' respectivement l'angle entre l'axe optique et l'angle entre le rayon sortant et l'axe optique.



Comme l'objet est situé à l'infini, on considérera les angles α et α' quasiment nuls. Par conséquent, par développement limité on peut considérer que :

$$\sin(\alpha) \simeq \alpha \text{ et } \sin(\alpha') \simeq \alpha'$$

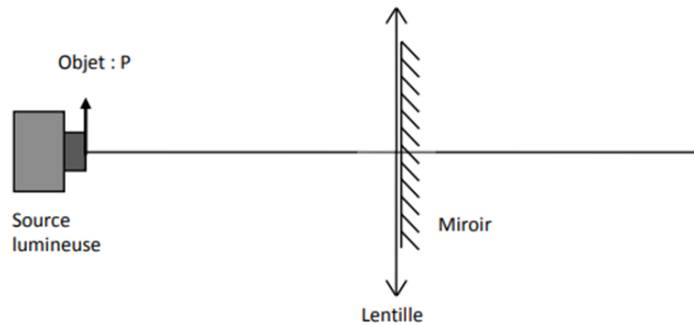
Néanmoins, pour ce système optique on a :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \simeq \frac{\sin(\alpha')}{\sin(\alpha)} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{A_1B_1}} = -\frac{f_1'}{f_2}$$

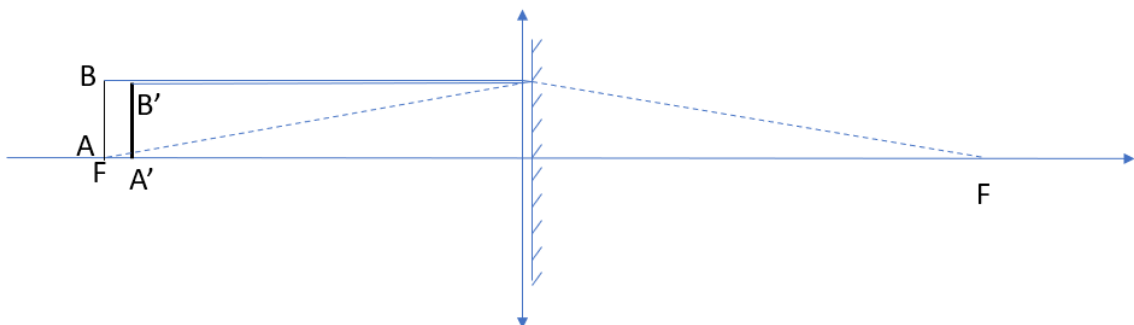
Par conséquent, pour ce montage on peut affirmer que le grossissement et le grandissement sont similaires.

[3] Protocole expérimental : Vérifier la distance focale d'une lentille convergente

Pour vérifier la distance focale d'une lentille convergente, il suffit de réaliser le montage suivant :



On déplace le miroir et la lentille de droite à gauche jusqu'à obtenir une image nette au niveau de l'objet P. Quand on a une image nette on a le montage suivant :

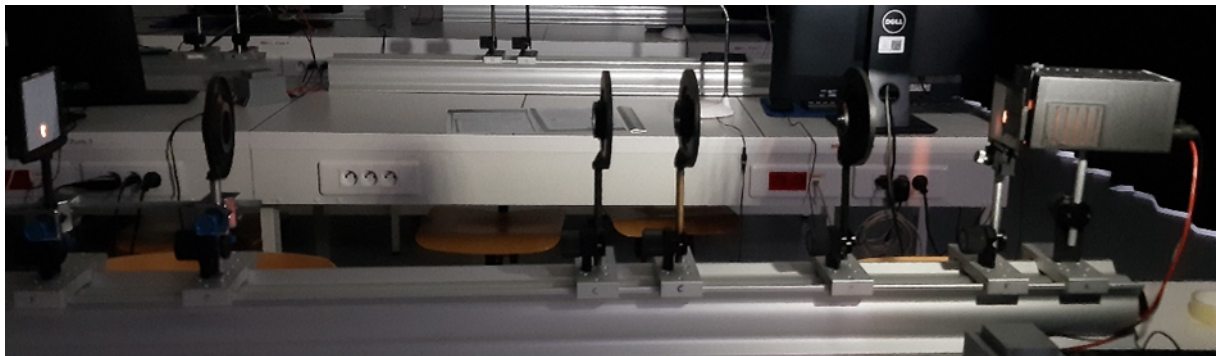


On s'aperçoit que l'objet est en fait situé au foyer objet de la lentille convergente. Par conséquent, la distance entre l'objet et la lentille correspond à sa distance focale. On a utilisé cette technique pour réaliser la manipulation suivante.

[4] Protocole expérimental : La lunette de Galilée

But de l'expérience : Vérifier la formule du grandissement, le caractère afocal de la lunette et le fait que l'image est droite

Montage : On réalise le montage de la lunette de Galilée sur banc optique. On peut subdiviser le montage en trois parties. La première partie a pour but de simuler une source lumineuse située à l'infini. Pour cela, on place une source lumineuse au niveau du foyer objet d'une lentille convergente. La seconde partie est en fait la lunette de Galilée. Elle est évidemment constituée d'une lentille convergente suivie d'une lentille divergente. On note qu'on les dispose de telle sorte que le foyer image de la lentille convergente et le foyer objet de la lentille divergente sont confondus. Enfin, la dernière partie a pour but de simuler l'œil de l'utilisateur, constitué d'une lunette convergente suivie d'un écran situé à la distance focale de la lentille. (Voir Annexe [3])



Protocole : Pour vérifier le caractère afocal de la lunette de Galilée, on déplace de gauche à droite la troisième partie simulant l'œil de l'utilisateur. Si l'image projetée sur l'écran a les mêmes dimensions quelque soit la distance entre la partie 2 et la partie 3, alors on aura vérifié le caractère afocal de la lunette.

Pour vérifier la formule du grandissement, on mesure les dimensions de l'objet et de l'image projetée. On peut alors vérifier si le rapport entre les distances focales et les dimensions de l'image et de l'objet est correct ($\gamma = \frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = -\frac{f_1'}{f_2}$).

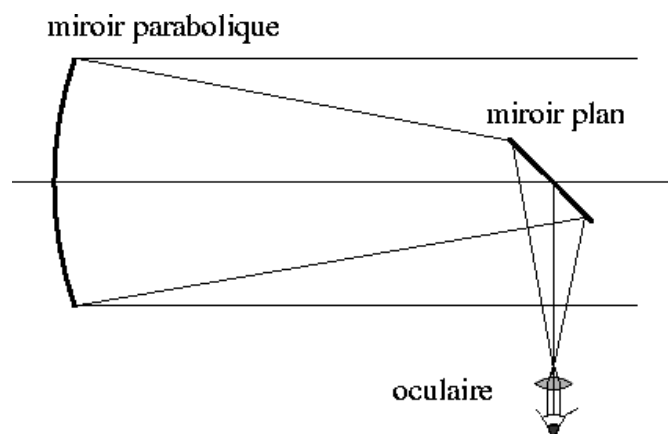
Avec les lentilles utilisées ($f_1' = 200$ mm; $f_2 = -100$ mm), on mesure un grandissement de $\gamma = 1.85$. Le grandissement théorique étant de 2, on constate un écart relatif de grandissement de 7.5%. Cet écart peut être expliqué par le fait que les distances focales

indiquées sur les lentilles de la salle de TP ne correspondaient pas réellement à la distance focale exacte. Par conséquent, la valeur théorique du grossissement ci-dessus ne correspond pas réellement au montage optique réalisé.

Néanmoins, pour s'assurer du fonctionnement de la formule du grossissement sur la lunette de Galilée, il faudrait refaire le montage avec d'autres lentilles de focales différentes. Malheureusement, nous n'avons pas eu suffisamment de temps pour cela.

Enfin, pour vérifier que l'image est bien droite, on met un cache devant la source lumineuse n'ayant pas d'axe de symétrie. On vérifie ensuite que l'image est bien dans le même sens que le cache.

[5] Précisions sur la lunette de Newton



Le fonctionnement de ce miroir est simple. La lumière venant de l'infini entre par l'ouverture à l'avant et est réfléchié par un miroir primaire. La courbure de celui-ci est parabolique et il possède un diamètre et une distance focale donnée. Les rayons réfléchis par ce miroir convergent vers un miroir secondaire situé au niveau du foyer. Celui-ci est un miroir plan dont le diamètre est calculé en fonction du miroir primaire. Il est chargé de renvoyer la lumière vers un oculaire qui en fonction de ses caractéristiques va déterminer le grossissement final et le champ de vision.

Dans ce type de télescope, il est nécessaire d'aligner parfaitement tous les éléments pour ne pas avoir de défauts dans l'image.

Certains télescopes reprennent aujourd'hui un principe proche. Par exemple, le Very large Telescope de European Southern Observatory utilise quatre grands télescopes de 8.2m de

diamètre qui peuvent être suppléés par quatre petits télescopes de 1.8m. En couplant les quatre télescopes principaux, il est possible d'en simuler un de 100m mais celà est rarement fait. Même si le principe des télescopes comme le VLT réutilise l'idée d'utiliser des miroirs, ils sont en fait très éloignés du télescope de Newton. En effet, ils disposent d'une optique active capable de faire varier la distance focale ou la forme des miroirs pour corriger les interférences de l'atmosphère comme celles dues aux changements de température.

[6] Citation du livre de Galilée concernant l'expérience de pensée sur la chute des pierres

“Mais s’il en est ainsi, et s’il est vrai encore qu’une grande pierre se meut, par exemple, avec huit degrés de vitesse et une plus petite avec quatre degrés, il s’ensuivra, si on les attache, que l’ensemble se mouvra avec une vitesse inférieure à huit degrés ; or les deux pierres, réunies, forment une pierre plus grande que celle qui se mouvait avec huit degrés de vitesses, et la plus grande se meut par conséquent moins vite que la plus petite, ce qui va contre votre supposition. Vous voyez donc comment, si vous supposez qu’un mobile plus grave se meut plus vite qu’un mobile moins grave, j’en conclus, de mon côté, qu’un mobile plus grave se meut moins vite.”

(Discours concernant deux sciences nouvelles, 1638)

Glossaire :

Aberration chromatique: Aberration optique qui produit des mises au point différentes en fonction des longueurs d'onde. Elle est issue de la décomposition de la lumière blanche en des bandes de couleurs.

Quadrant: Ancien instrument de mesure permettant de mesurer la hauteur d'un objet visé.

Sextant: Instrument de navigation permettant de mesurer la distance angulaire entre deux points verticalement ou horizontalement.

Système de Ptolémée: Aussi appelé système géocentrique. Modèle physique ancien où la Terre est un objet fixe placé au centre de l'univers. Les planètes ont un mouvement parfait autour de la Terre, c'est-à-dire un mouvement parfaitement circulaire.

Système de Copernic: Aussi appelé héliocentrisme. Modèle physique selon lequel le Soleil est placé au centre de l'univers. Les planètes ont un mouvement parfait autour de celui-ci.

Propositions de sujets de projets :

Au cours de nos recherches nous avons pu voir que le travail de Newton sur les télescopes était vraiment intéressant. L'histoire du développement de ce système et son fonctionnement est très profond. De plus, l'utilisation moderne des télescopes optiques souvent dérivés de la technologie de Newton peut être un sujet passionnant pour un projet de recherche documentaire.

De plus, sans aller aussi loin que les travaux de Newton, il peut être intéressant de se plonger sur l'évolution des techniques de fabrication des lentilles au XVIIe siècle qui a été véritablement l'élément qui a ralenti le développement des lunettes de Galilée, puis des lunettes astronomiques au fil de l'histoire.