Est-il possible de fabriquer une lunette astronomique «maison» pour étudier Jupiter?

par les élèves de l'atelier physique du lycée Palissy

Avec LACLAVERIE Jean-Michel
Professeur encadrant
Lycée Bernard Palissy- AGEN
Académie de Bordeaux

Table des matières

INTRODUCTION

PROBLEMATIQUE

PRÉALABLE GALILÉE ET JUPITER

PARTIE 1: FABRICATION D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE .

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE

2. COMMENT FABRIQUER UNE LENTILLE CONVERGENTE, PUIS UNE LUNETTE?

2.1 Fabrication des lentilles

2.2 Assemblage de l'appareil

PARTIE 2: ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE JUPITER

1. **JUPITER ET SES SATELLITES**
2. **LA TROISIEME LOI DE KEPLER**
3. **SIMULATION SUR STELLARIUM**
4. **PESER JUPITER A PARTIR DE NOS PHOTOS**

CONCLUSION, PERSPECTIVES

NOS SOURCES

RÉSUMÉ

A la suite de Galilée, nous voulons étudier Jupiter avec un instrument de notre fabrication. Notre but n'est pas d'assembler deux lentilles de récupération sur un tube, mais de réaliser nous même ces lentilles. Fabriquer une lentille convergente ou divergente est un véritable défi, bien plus difficile que ce que nous avions supposé au début du projet. Après avoir suivi plusieurs pistes de travail, nous avons finalement réussi à obtenir une lentille convergente et divergente à distance focale réglable, puis une lunette astronomique. La mise au point ne se fait pas en modifiant la distance objectif-oculaire, mais en changeant la distance focale de l'objectif avec une seringue! Les observations astronomiques ont été difficiles à cause du mauvais temps (qui nous a amené à annuler la plupart de nos soirées d'observations (entre janvier et mai 2016)) ainsi que de la position de Jupiter en octobre 2016. Mais nous avons pu quand même regarder Jupiter et ses satellites, et déterminer certaines caractéristiques de cette planète.

INTRODUCTION

Jupiter est une cible de choix pour les astronomes amateurs du lycée Bernard Palissy d'Agen. Pendant l'hiver et le printemps 2016, Jupiter a été visible au début de la nuit. Notre petite lunette révèle un disque, alors que les étoiles environnantes restent des points en raison de leur éloignement. De plus, on voit très bien que la planète est striée de bandes, appelées ceintures équatoriales. Mais ce qui frappe avant tout, c'est que Jupiter n'est pas seule, mais accompagnée de petits points lumineux plus ou moins alignés de part et d'autre! Ce sont les principaux satellites de Jupiter, découverts par Galilée il y a 4 siècles avec une lunette rudimentaire. Ces 4 satellites dits galiléens se nomment Io, Europe, Ganymède et Callisto. On ne les voit pas toujours tous les 4, car parfois certains sont cachés derrière la planète, ou passent devant. Ces satellites faisant le tour de Jupiter en quelques jours, il est très intéressant d'observer leur évolution nuit après nuit.

Nous avons voulu marcher sur les pas de Galilée, fabriquer notre lunette astronomique et observer Jupiter et ses satellites. Nos premières observations astronomiques nous ont fait découvrir qu'en astronomie les images étaient inversées. Mais ce n'est pas le cas avec la lunette de Galilée, car elle est la seule à utiliser un oculaire divergent. De nombreux protocoles sur Internet indiquent comment fabriquer une lunette astronomique avec deux lentilles de récupération et des tubes PVC. Mais nous voulons faire plus que cela et fabriquer nos propres lentilles. C'est un défi difficile pour des élèves comme nous qui ne pouvons pas travailler le verre. Alors nous suivi plusieurs pistes pour arriver enfin à une lentille convergente et divergente qui dépasse nos espérances. Elle est réglable, absorbe peu la lumière et est adaptable sur le tube d'une lunette astronomique. Suivant les conditions, elle peut être divergente ou convergente. Galilée était innovant. Nous le sommes aussi, car aucun télescope réfracteur n'existe à notre connaissance avec une lentille à eau de focale réglable. Sa mise au point se fait à la seringue!

Avec notre réalisation et le matériel du lycée, nous avons observé Jupiter. Nous avons fait nos observations astronomiques avec notre lunette et celle du lycée, et déterminé la masse de Jupiter à partir de l'étude de la période de ses satellites et de la 3ème loi de Kepler.

Nous vous présenterons d'abord la lunette de Galilée et son principe de fonctionnement, puis nos tentatives de réalisation de lentilles. Puis nous détaillerons notre méthode de fabrication d'une lentille à liquide et l'étude des différents paramètres. Enfin nous expliquerons le fonctionnement de notre lunette astronomique avec une lentille à distance focale réglable, puis son utilisation pour

l'étude de Jupiter.

PROBLEMATIQUE :

Est-il possible de fabriquer une lunette astronomique «maison» pour étudier Jupiter, avec une lentille à focale réglable construite au lycée?

PRÉALABLE GALILÉE ET JUPITER

Galileo Galilei né à Pise en 1564. Il commence des études de médecine à l'université de Pise qu'il ne termine pas mais rejoint l'université de Florence où il s'intéresse aux mathématiques. En 1589, il retourne à l'université de Pise mais cette fois-ci en tant que professeur de mathématique. Puis, il devient professeur de géométrie et d'astronomie à l'université de Padoue de 1592 à 1610. En 1609, Galilée apprend l'existence de la lunette astronomique et décide d'en fabriquer une copie. Il arrive rapidement à perfectionner cet outil, et obtient une lunette grossissant 30 fois.

Son oculaire est divergent et son objectif est convergent. La lunette est afocale : elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini. L'œil n'a pas d'effort d'accommodation à faire pour observer. Le foyer principal image de l'objectif coïncide avec le foyer principal objet de l'oculaire. L'image observée à travers cet oculaire est virtuelle. Contrairement à la plupart des autres dispositifs d'observation astronomique, la lunette de Galilée fournit directement des images droites. Cet instrument fournit un faible champ et un faible grossissement, mais cependant suffisant pour observer Jupiter et ses satellites. Ces deux caractéristiques sont limitées par la marche divergente des rayons en sortie de l'oculaire.

Galilée se sert de cet instrument pour regarder le ciel et découvre plusieurs choses :

- il comprend que la voie Lactée est composée de nombreuses étoiles.
- il réalise que la Lune présente des irrégularités.
- le 7 janvier 1610, il observe pour la première fois trois petites étoiles à côté de Jupiter. La nuit suivante, en regardant à nouveau Jupiter il se rend compte que les étoiles ont changées de place elles sont passées de l'est de Jupiter à l'ouest de cette planète. Les nuits suivantes les positions des corps changent encore mais ils sont rejoint par un quatrième élément similaire.

La conclusion que fait Galilée est que ces étoiles sont en réalité de petites lunes qui tournent autour de Jupiter. Galilée déclare alors : « Nous tenons un argument excellent et lumineux pour ôter tout scrupule à ceux qui, tout en acceptant tranquillement la révolution des Planètes autour du Soleil dans le Système copernicien, sont tellement perturbés par le tour que fait la seule Lune autour de la Terre –tandis que ces planètes accomplissent toutes deux une révolution annuelle autour du Soleil-, qu'ils jugent que cette organisation du monde doit être rejetée comme une impossibilité. Maintenant, en effet, nous n'avons plus une seule Planète tournant autour d'une autre pendant que deux parcourent un grand orbe autour du Soleil, mais notre perception nous offre quatre étoiles errantes, tandis que toutes poursuivent ensemble avec Jupiter, en l'espace de douze ans, un grand orbe autour du Soleil ».

Galilée décide d'appeler les satellites de Jupiter, « planètes médicéennes » en l'honneur du duc de Médicis qui le nommera son philosophe et mathématicien personnel.

PARTIE 1: FABRICATION D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE .

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE

Définition :

La lunette astronomique est un instrument d'optique utilisé pour observer et grossir des objets éloignés, en général des astres, et pour augmenter la luminosité de ces objets que l'on peut considérer comme étant à l'infini.

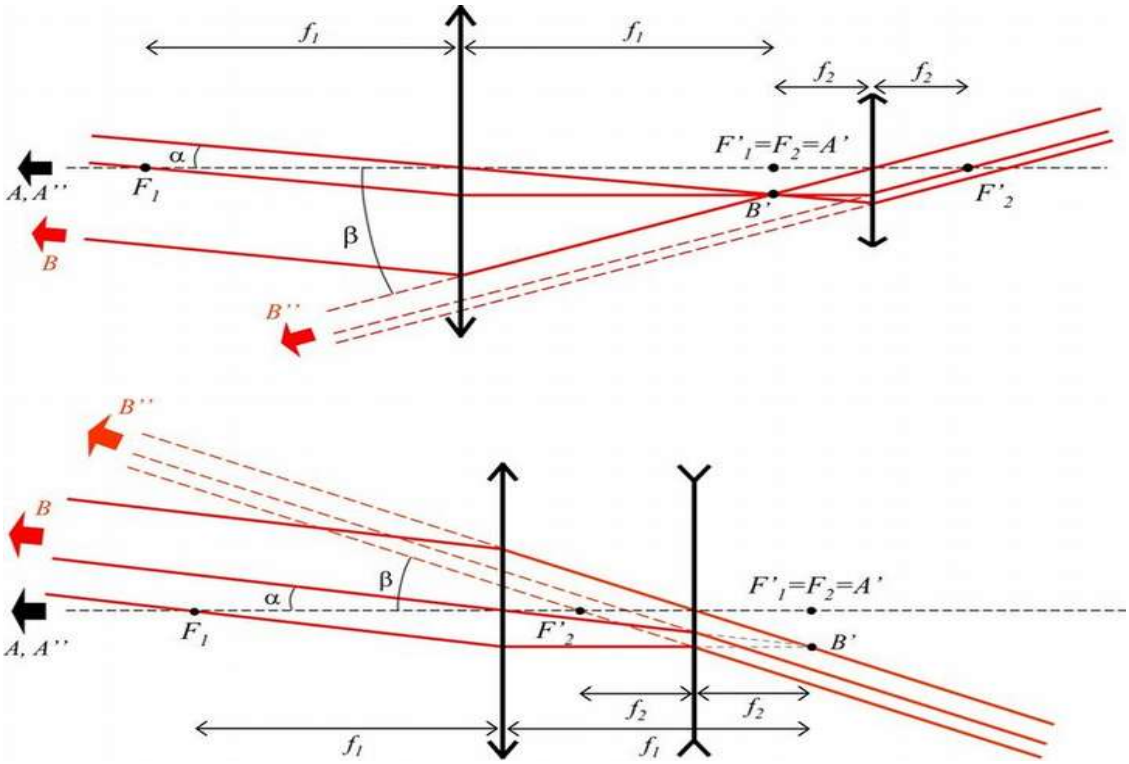
Histoire :

La lunette astronomique a été conçue à la fin du XVIe siècle, en Hollande. Cette invention a été attribuée à l'opticien hollandais Hans Lippershey. Mais c'est en 1609 que l'astronome italien Galilée construit la première lunette astronomique pour ses propres observations et eut l'idée de pointer cet instrument vers le ciel et les objets célestes. Son confrère allemand Johannes Kepler perfectionna le principe par une théorie optique à deux lentilles.

Composition :

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles : un objectif convergent de grande distance focale et un oculaire convergent ou divergent de courte distance focale disposés de part et d'autre d'un tube fermé. L'oculaire se situe du côté de l'œil, et il est de petite dimension. L'objectif se situe de l'autre côté, et est généralement de plus grande dimension que l'oculaire. Si l'oculaire est convergent la lunette donne une image réelle. S'il est divergent comme pour la lunette de Galilée, l'image sera virtuelle.

Fonctionnement :



Les rayons issus d'un objet AB, considéré comme étant à l'infini, passent dans le centre optique de l'objectif et forment l'image A'B' à son foyer image. L'image A'B' de cet objet est sur le foyer objet de l'oculaire et émet de nouveaux rayons passant par le centre optique de l'oculaire puis par la pupille de l'œil qui forme l'image finale sur la rétine . C'est l'image A"B".

Si la position de l'oculaire est telle que son foyer objet est confondu avec le foyer image de l'objectif, l'image finale est située à l'infini.

Grossissement d'une lunette

G est le grossissement d'un instrument à deux lentilles convergentes:

$$G = F/f$$

avec

F = distance focale de l'objectif

f = distance focale de l'oculaire

Pour la lunette afocale de Galilée G = - F/f, car l'oculaire est divergent et sa distance focale négative.

Exemple : Calculons le grossissement d'une lunette de 900mm de distance focale sur lequel on a monté un oculaire de 20mm de distance focale : G= 900/20 = 45

Avec l'oculaire de 20mm, cet instrument grossit donc 45 fois.

Champ d'une lunette astronomique

Le champ de la lunette est l'ensemble des points de l'espace visibles dans l'instrument. Comme dans le cas de l'appareil photo, cet espace est un cône. Les objets à l'intérieur de celui-ci seront visibles,

ceux à l'extérieur, non. Le champ C d'une lunette astronomique à deux lentilles convergentes est le rapport du champ de l'oculaire Co par le grossissement G: C =Co/G

Le champ est inversement proportionnel au grossissement. Pour une lunette donnée, et donc une focale fixée, le champ diminue avec la focale de l'oculaire. Plus l'oculaire est court, plus le champ est réduit.

Exemple : Calculons le champ qui est visible dans une lunette qui grossit 45 fois avec un oculaire dont le champ est de 48° (c'est à dire proche de celui de l'œil) :

C = 48/45 = 1,07° = 64'

Le champ visible dans l'oculaire de cet instrument vaut donc 1,07°. Pour convertir cette valeur en minutes d'arc, il suffit de la multiplier par 60. On peut donc voir dans cet instrument un champ de 64', c'est à dire 64 minutes d'arc. Remarquons que le soleil et la lune pourront être visibles entièrement dans ce champ car leur diamètre apparent est inférieur, il vaut environ un demi degré, c'est à dire 30 minutes d'arc.

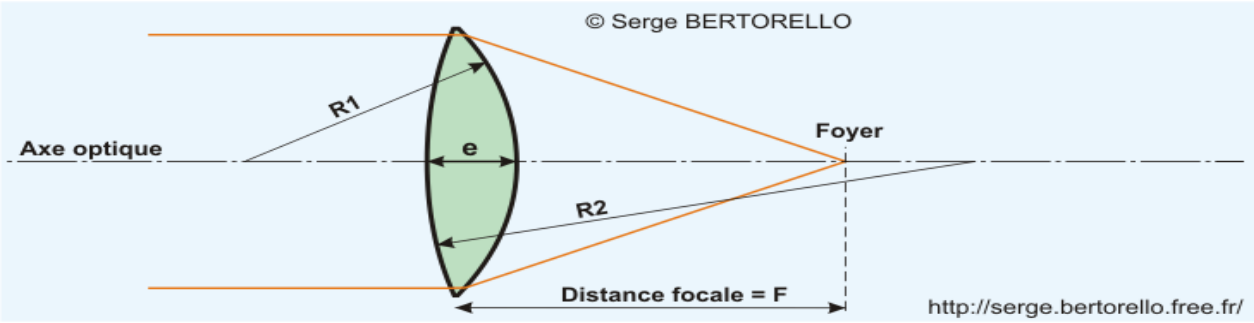
Pour une lunette de Galilée, le calcul est différent. Le champ augmente linéairement avec le diamètre de la pupille de l'œil. Les champs moyens de ces appareils, (selon J Hornière http://www.dino-optic.fr/Galilee5.htm)varient entre 0,1° et 0,43°, soit entre 6' et 26'. Jupiter et ses satellites tiennent dans un angle proche de 15 minutes. L'observation est faite avec une pupille relativement dilatée (5 à 7 mm de diamètre), car le champ est peu éclairé. Le champ de la lunette utilisée par Galilée correspondait à ce qu'il allait découvrir.

2. COMMENT FABRIQUER UNE LENTILLE CONVERGENTE, PUIS UNE LUNETTE?

Avant de fabriquer nos premières lentilles, nous devons connaître le lien entre la géométrie de l'objet et la distance focale.

2.1 Fabrication des lentilles

2.1.1 Calcul de la distance focale d'une lentille



R1 et R2 sont les rayons de courbure des deux faces de la lentille faite en verre d'indice n. Un rayon de courbure est positif si le dioptre est convexe vers la lumière incidente, il est négatif si le dioptre est concave .

Lentille mince :
En négligeant l'épaisseur de la lentille, on obtient la formule suivante :

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2}\right) \quad \text{(Relation 1)}$$

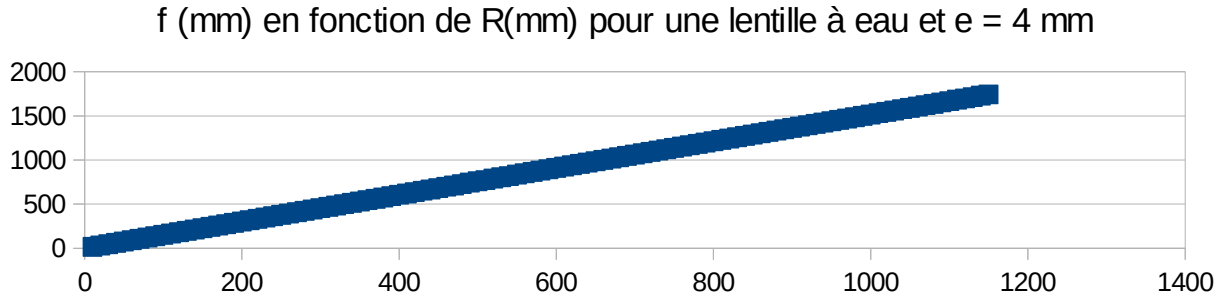
Dans le cas d'une lentille plan-convexe en verre ordinaire d'indice de réfraction n=1,5 :

1/F = (1,5-1) (1/R-0) donc F = 2.R avec R = rayon de courbure de la face convexe

Lentille épaisse :
En considérant l'épaisseur e de la lentille, on obtient la formule suivante :

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2}\right) + \frac{(n-1)^2}{n}\frac{e}{R1 \times R2} \qquad \text{(Relation 2)}$$

Pour e = 4 mm et n = 1,33 (eau), et pour une lentille aux rayons de courbure identiques pour les deux faces, nous calculons f en fonction de $R=R_2 = - R_1$ sur un tableur.



La distance focale d'une lentille épaisse de 4 mm est une fonction affine du rayon de courbure de ses faces. La modélisation donne: f = 1,52 R + 0,76. Il nous faut donc un grand rayon de courbure pour obtenir une grande distance focale. Nos lentilles devront donc être peu courbées.

2.1.2 Comment fabriquer une lentille?

Voici la photo d'une bouteille d'eau posée sur une table après un match de rugby. Elle se comporte comme une lentille convergente. Nous allons donc essayer de fabriquer une lentille à liquide. Mais comment ?

Nous abordons maintenant la partie de notre projet qui nous a demandé le plus d'efforts et de persévérance. Nous avons essayé pendant plus de 6 mois avant d'arriver à fabriquer une lentille utilisable. Nous avons réalisé des moules, coulé plusieurs types de matériau, mais obtenu des résultats décevants. Puis la réalisation d'une lentille suffisamment transparente et à distance focale réglable est devenue possible grâce à des surfaces déformables.

Notre premier essai a été une lentille à eau avec un support en polycarbonate. On utilise une plaque de plastique polycarbonate transparent que l'on chauffe doucement au décapeur thermique. Le

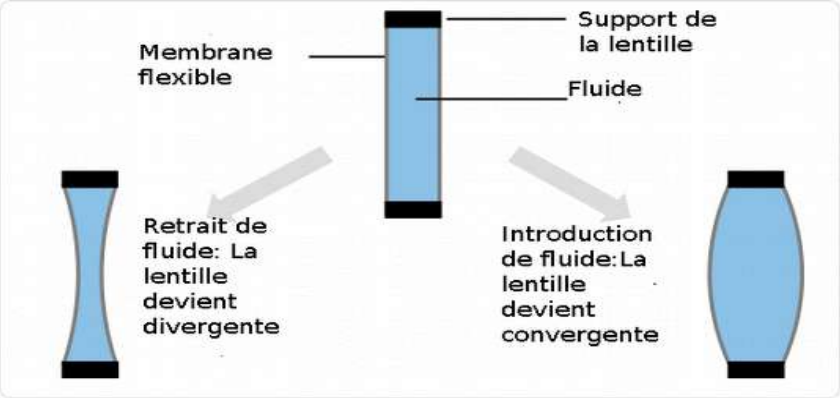
plastique devient mou et en appuyant au centre avec un chiffon on peut lui donner la forme d'une lentille. Après refroidissement on colle un cylindre PVC que l'on remplit d'eau. On ferme le tout avec une autre plaque de polycarbonate non déformée. On met de l'eau dans le système et on obtient une lentille convergente. Cependant la forme de la lentille est difficile à choisir précisément et la plaque à tendance à se déformer. L'étanchéité de la lentille est difficile à obtenir, et la transparence est insuffisante.

Nous avons ensuite essayé des lentilles en paraffine. La paraffine est un dérivé des pétroles, constituée d'alcanes et de température de fusion proche de 55°C. Elle peut être facilement fondue dans une casserole puis coulée dans un moule. Nous avons utilisé de la paraffine pour bougie vendue pour être transparente dans un magasin de bricolage. Nouvel échec car la lentille obtenue absorbe trop la lumière et n'est pas homogène. Des bulles d'air restent emprisonnées malgré plusieurs essais.

Nous avons ensuite choisi de fabriquer des lentilles en résine polyester pour inclusion type GTS, vendue pour être aussi parfaitement transparente. L'utilisation d'un moule en caoutchouc aux silicones est nécessaire. Le résultat est décevant.

Après une longue période de doute, une nouvelle idée est venue. Nous avons utilisé un support de lentille en plastique sur lequel nous avons collé deux feuilles plastiques transparents pour photocopieuse. Un trou et un tuyau souple permettent le remplissage en eau, et une seringue, connectée au tuyau permet d'augmenter ou de diminuer la quantité de liquide, donc la courbure des deux faces. Avant l'action de la seringue les faces sont parallèles, et le système ne dévie pas la lumière. La distance focale de notre lentille change pendant l'expérience, grâce à l'action sur la seringue. Elle peut devenir convergente ou divergente. Cette idée est exploitée par des organisations humanitaires pour fabriquer des lunettes low cost pour les pays pauvres.

Fabriquer une telle lentille n'est pas aussi simple qu'il y paraît car coller le polypropylène ou le polyéthylène est une chose délicate. Tout d'abord nos feuilles transparentes ne se collaient pas bien sur leur support plastique. Il a fallu une colle spéciale, avec activateur pour y arriver. De plus les vapeurs de colle se déposent sur le plastique et le rendent blanc. Il faut donc après collage remplir rapidement la lentille avec de l'eau pour éviter qu'elle ne blanchisse.



D'après http://www.cvdw.org/ourwork/#lenstech

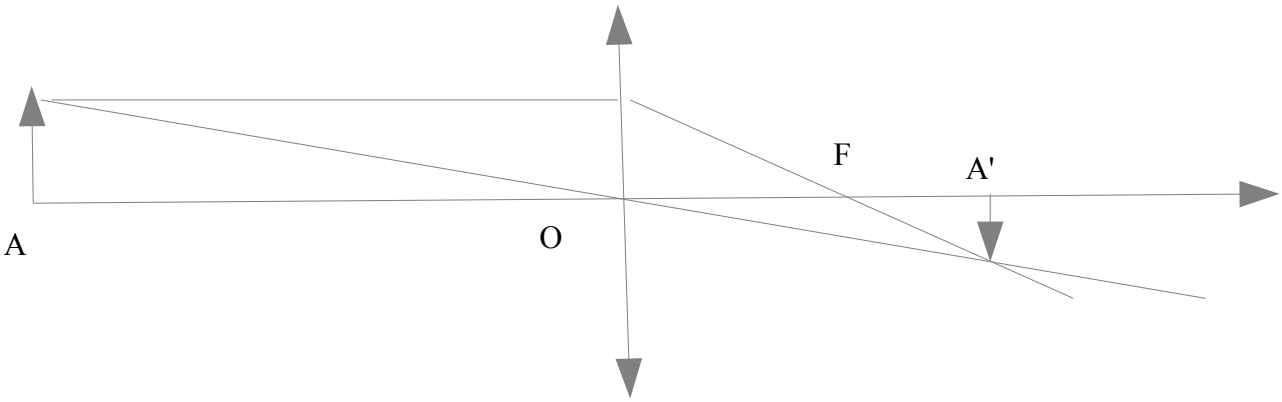
Pour mettre en évidence les effets possibles de notre lentille, nous photographions à travers notre lentille le mot physique, situé à 50 cm de la lentille. L'appareil photographique est positionné à 25 cm de la lentille. Cette distance ne change pas pendant l'expérience. En poussant le piston de la seringue, la lentille devient convergente et l'image grossit. En retirant du liquide, la lentille devient divergente et l'image plus petite et floue. Dans les deux cas l'image est déformée car la totalité de la lentille est utilisée pour fabriquer l'image.

Les indices de réfraction des liquides dont nous disposons au lycée sont:

Glycérol 1,47; eau 1,33; verre: 1,5; éthanol 1,36; huile de silicone: 1,52.

Nous voulons une distance focale importante, proche de 1000 mm, pour l'objectif de notre lunette astronomique. Nous supposons que les rayons de courbure sont identiques pour les deux faces de la lentille. Si l'épaisseur d'eau vaut 4 mm au centre de la lentille alors avec le glycérol, il faut un rayon de courbure de 940 mm, avec l'eau, 660 mm, avec l'éthanol, 720 mm, avec l'huile de silicone, 1040 mm. Dans tous les cas, les rayons de courbure sont grands, ce qui correspond à une faible déformation de la membrane plastique. Il est possible de réaliser une telle lentille. Pour maintenir la pression à une valeur fixée dans la lentille, nous remplaçons notre seringue, par une seringue avec un pas de vis, habituellement utilisée pour étudier la loi des gaz parfaits.

Nous cherchons à mesurer la distance focale de notre lentille pour différentes pressions et différents liquides. Nous pouvons utiliser la méthode d'autocollimation ou l'application de la relation de conjugaison pour la formation d'une image sur un écran. C'est cette méthode que nous avons choisi car elle nous a semblé plus précise. Nous avons fait une seule mesure pour chaque configuration de la lentille (et pas 10 comme en TP de physique de 1S) car nous n'avons pas besoin d'une grande précision pour la valeur de la distance focale f.



Pour la lentille à eau, nos résultats du 22 septembre 2016

xA (cm)	xO (cm)	xA' (cm)	$\overline{OA}$ (cm)	$\overline{OA'}$ (cm)	f (cm)
13,0	70.5	197.5	-57.5	127	39.6
13.0	52.1	197.5	-39.1	145.4	30.8
13.0	131.1	197.5	-118.1	66.4	42.5
13.0	170	1170	-157	1000	135.7

La distance focale de la lentille à eau peut varier de f=+39,6 cm pour une pression de 1040 mbar à f=+135,7 cm pour une pression de 995 mbar. Pour une distance focale plus grande, l'image est de trop mauvaise qualité et reste floue. Le maximum de qualité pour l'image est obtenue pour f = + 42,5 cm. L'image est lumineuse est nette. Pour des pressions inférieures à 994 mbar, la lentille devient divergente. La plus grande valeur absolue de distance focale est obtenue pour une pression de 975 mbar.

Nous testons d'autres liquides transparents pour essayer d'obtenir une image de meilleure qualité pour une distance focale de l'ordre du mètre. Pour la lentille à glycérine, à l'huile de paraffine ou à éthanol, nous ne constatons aucune amélioration de la qualité de l'image par rapport à la lentille à eau pour des distances focales de l'ordre du mètre. Nous utiliserons donc des lentilles à eau, sauf si le support est en métal et rouille. Nous l'avons dans ce cas rempli de glycérine après avoir vu l'eau se colorer.

L'image formée par la lentille utilisée comme loupe est d'assez bonne qualité et lumineuse. Elle est de moins bonne qualité sur un écran, lors d'une projection inversée.

Conclusion: Pour la lentille rendue convergente, nous pouvons obtenir une distance focale comprise entre 30 cm et 135 cm. Si nous rajoutons trop d'eau pour courber la surface de la lentille, il y a des fuites. Pour la lentille divergente, seules les grandes distances focales sont possibles.

Nous pouvons donc fabriquer l'objectif, mais pas un oculaire efficace de courte focale. Mais cela n'a pas d'importance car pour prendre des photos avec une lunette astronomique, l'appareil photo sans objectif remplace l'oculaire. Nous utiliserons seulement des lentilles du lycée comme oculaire pour mettre au point notre appareil.

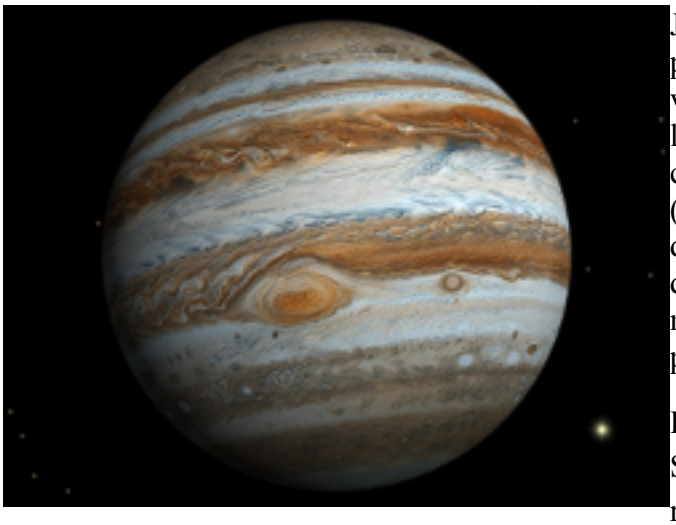
2.2 Assemblage de l'appareil

Nos prototypes de lunette sont faits en tubes PVC de différents diamètre. Voici une première version de notre lunette, en tube de 5 cm de diamètre, un oculaire de 5 cm de distance focale et un objectif convergent réglable. Il a été réglé à 75 cm, pour un écart entre les lentilles de 85 cm. Le diamètre utile de la lentille réglable est de 4 cm. G = 75/5 = 15.

Puis nous avons fabriqué une lunette de diamètre 10 cm pour permettre la formation d'une image plus lumineuse en collectant plus de lumière. Il est possible d'observer un objet éloigné avec notre lunette astronomique. Cependant l'image n'est pas très lumineuse et est déformée. Nous avons essayé diverses longueurs de tube. Un tube principal de 70 cm dans lequel coulisse un plus petit portant l'oculaire est un bon compromis. L'oculaire est une lentille du lycée de 5 cm de distance focale. Le réglage se fait avec la seringue, modifiant la courbure de la lentille.

PARTIE 2: ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE JUPITER

1. **JUPITER ET SES SATELLITES**



Jupiter est une planète géante gazeuse. C'est la plus grosse planète du Système solaire, plus volumineuse et 2.5 fois plus massive que toutes les autres planètes réunies. C'est aussi la cinquième planète par sa distance au Soleil (après Mercure, Vénus, la Terre et Mars). La distance moyenne entre Jupiter et le Soleil est de 778 300 000km (environ 5,2 fois la distance moyenne entre la Terre et le Soleil) et la planète fait le tour du Soleil en 11,86 ans.

La rotation de Jupiter est la plus rapide du Système solaire: la planète effectue une rotation sur son axe en un peu moins de 10 heures. La planète est composée d'environ 71% d'hydrogène, de 24% d'hélium et de 5% d'autres éléments.

L'atmosphère jovienne (de Jupiter) comporte trois couches de nuages distinctes :

- la plus externe serait formée de nuages de glace d'ammoniac ;
- la suivante, de nuages d'hydrogénosulfure d'ammonium (NH_4 HS) ;
- la dernière de nuages d'eau et de glace.

Ses satellites:

La planète Jupiter possède 67 satellites naturels confirmés. Les premières lunes de Jupiter furent découvertes en 1610, par Galilée. Il observa les 4 grands satellites du système jovien: Io, Europe,

Ganymède et Callisto. Ces satellites furent les premiers à avoir été observés en dehors de la Lune et ont été nommés satellites Galiléens en son honneur. Il est possible cependant qu'une observation antérieure ait été réalisée en 362 av. J.-C. par l'astronome chinois Gan De.Puis, au cours des quatre siècles suivants, 8 autres satellites furent découverts : Amalthée (1892), Himalia (1904), Élara (1905), Pasiphaé (1908), Sinopé (1914), Lysithéa et Carmé (1938), Ananké (1951), Léda(1974) et Thémisto (1975). En 1979, des sondes spatiales permirent la découverte de trois autres satellites Puis, faute de progrès suffisants dans le domaine des détecteurs, aucun nouveaux satellites de Jupiter ne purent être observé jusqu'en 1999. Et, à partir de 1999, 50 nouveaux satellites purent être observés. Ainsi, en 2012, on connaissait 67 lunes à Jupiter, et il est possible que d'autres satellites plus petits (moins d'un kilomètre de diamètre) restent à découvrir.

Données astronomiques

Distance moyenne Terre - Lune	384 000 km
Distance moyenne Jupiter - Io	422 000 km
Distance moyenne Jupiter - Europe	671 000 km
Distance moyenne Jupiter - Ganymède	1 070 000 km
Distance moyenne Jupiter - Callisto	1 883 000 km

Période de la Lune	27,32 jours
Période d'Io	1,77 jours
Période d'Europe	3,55 jours
Période de Ganymède	7,15 jours
Période de Callisto	16,69 jours

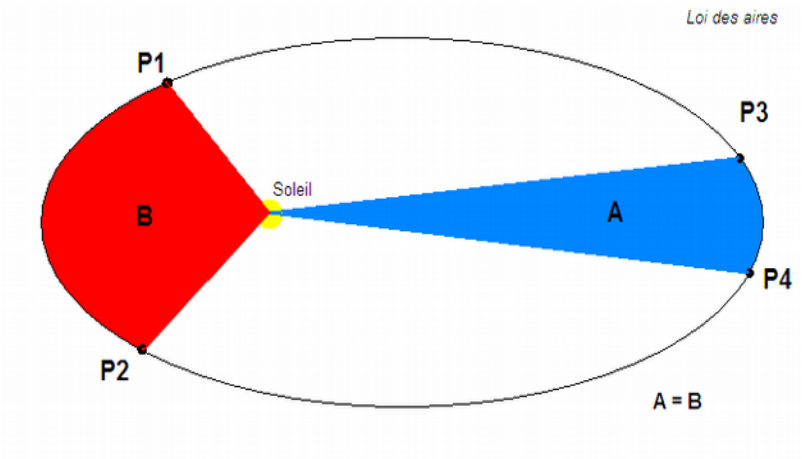
Masse de Jupiter	$1{,}900\ 10^{27}$ kg
Masse de la Terre	$5{,}972\ 10^{24}$ kg
Masse du Soleil	$1{,}989\ 10^{30}$ kg

2. LA TROISIEME LOI DE KEPLER

Nous allons présenter ici la troisième loi de Kepler, indispensable pour comprendre comment déterminer la masse de Jupiter. Les trois lois de Kepler décrivent le mouvement de tous les objets du système solaire. Elles ont plus tard servi à Newton pour sa théorie de la gravitation. La troisième loi de Kepler sera la plus utile pour connaître la masse de Jupiter, mas elle ne peut pas être présenté sans parler des deux premières lois.

Loi 1: Les planètes ont une orbite elliptique avec le soleil comme un des deux foyers.

Loi 2 ou loi des aires: Les aires "balayées" par le segment reliant l'astre central au satellite pendant des durées égales sont égales.



Loi 3 ou loi harmonique: La période T au carré est proportionnelle au cube de la distance moyenne a au Soleil. Plus elles sont éloignées du soleil plus la période de révolution est longue.

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Avec G = 6,67 . 10^{-11} $m^3kg^{-1}s^{-2}$, la constante universelle de gravitation

M La masse du Soleil: 1,988. 10^{30} kg.

Si l'on prend l'année comme unité de temps et l'Unité Astronomique comme mesure de distance la formule de proportionnalité se simplifie en $T^2 = R^3$.

3. SIMULATION SUR STELLARIUM

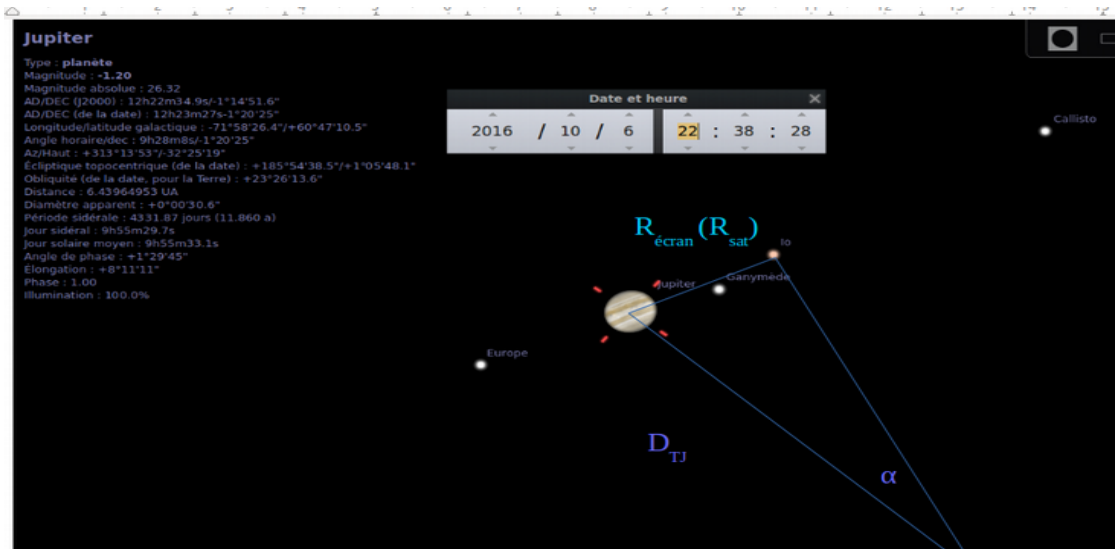
Avec ce travail, nous allons essayer de répondre à la question : « comment fait-on pour peser une planète ? ». Nous allons étudier les mouvements des quatre satellites galiléens de Jupiter et déterminer la masse de Jupiter

1- Simulation sur Stellarium

Nous déterminons sur Stellarium deux dates successives d'occultation des 4 principaux satellites de Jupiter par la planète. Nous avons réalisé le TP en atelier, le Jeudi 6 octobre 2016, à un moment où Jupiter était très proche du Soleil.

Satellite	**Date t_1 d'occultation**	**Date t_2 d'occultation**	**Période (s)**	**Rayon de l'orbite $R_{écran}$ (en cm)**	**R sat en m**	$\frac{T^2}{R^3}$
Io	7/10/2016 08:10	9/10/2016 02:38	$1{,}51\ 10^5$	13	$4{,}20\ 10^8$	$3{,}08\ 10^{-16}$
Europe	9/10/2016 00:49	12/10/2016 14:13	$3{,}07\ 10^5$	21	$6{,}79\ 10^8$	$3{,}01\ 10^{-16}$
Ganymède	14/10/2016 06:43	21/10/2016 10:41	$6{,}19\ 10^5$	33	$10{,}7\ 10^8$	$3{,}12\ 10^{-16}$
Callisto	13/10/2016 11:29	30/10/2016 06:30	$14{,}5\ 10^5$	59	$19{,}1\ 10^8$	$3{,}02\ 10^{-16}$

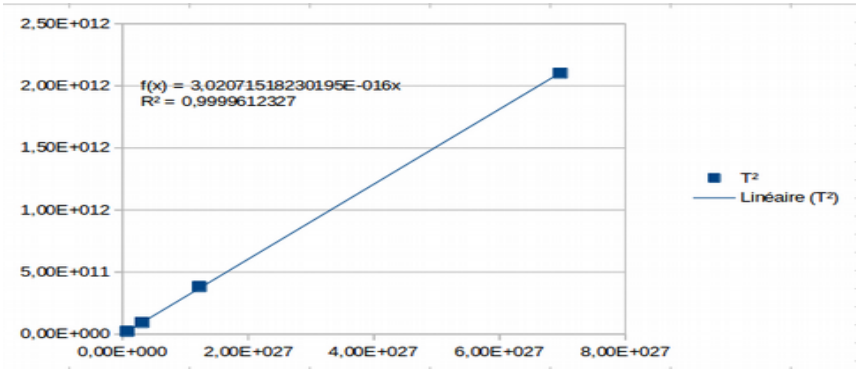
Le champ de vision (Field Of Vision) FOV = 0.209°= $3{,}65\ 10^{-3}$ rad. La distance Terre Jupiter vaut 6,44 ua. Les rayons ont été mesurés sur le tableau numérique de la classe.La largeur du tableau H = 109 cm.



$$\alpha = \frac{Rsat}{DTJ}$$

$$\frac{\alpha}{\theta} = \frac{Récran}{Hécran} \quad \text{donc} \quad \alpha = \frac{\theta\, Récran}{Hécran} \quad \text{et} \quad \frac{Rsat}{DTJ} = \frac{\theta\, Récran}{Hécran} \quad \text{puis} \quad Rsat = \frac{\theta\, Récran\, DTJ}{Hécran}$$

D_{TJ} α



La modélisation donne un rapport $\frac{T^2}{R^3} = 3{,}02\ 10^{-16}$

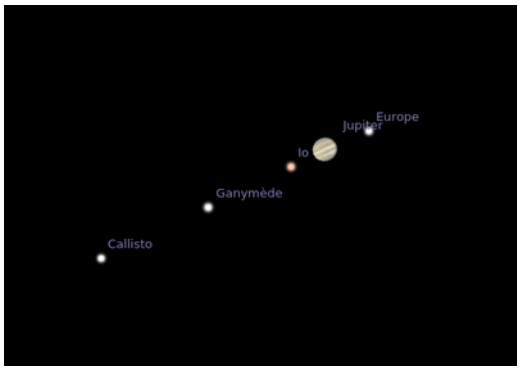
On trouve une masse de Jupiter de 1,96 10^{27} kg soit par rapport à la masse théorique 1,898 10^{27} kg, un écart de 3,2 %. La principale source d'erreur est la mesure des distances sur le tableau numérique avec la «grande règle jaune» du professeur.

4. PESER JUPITER A PARTIR DE NOS PHOTOS

La méthode de travail précédente doit être adaptée à de vraies observations astronomiques. Ce projet a débuté en octobre 2015 et une seule photo de Jupiter a pu être prise, avec le télescope prêté par Sciences à l'école. Pendant tout l'hiver et le printemps 2016, le ciel a été nuageux, caché par le brouillard et 8 soirées d'observations ont été annulées. Ces lignes sont écrites en octobre 2016 et maintenant le soleil est trop proche de Jupiter pour que nous puissions l'observer. Alors, pour nous approprier la méthode de travail, nous la mettons en œuvre avec des copies d'écran de Stellarium, en attendant un ciel favorable.

Nous ne pouvons pas faire une observation en continu des satellites de Jupiter, mais seulement quelques photos séparées de quelques heures. Grâce au logiciel d'astronomie gratuit IRIS, nous déterminons le nombre de pixel séparant le centre de chaque satellite du centre de Jupiter. Nous traçons la courbe de l'évolution de la position des 4 satellites en fonction du temps. Sur Latispro, nous déterminons par modélisation la période de chacun.

Notre photo



Copie d'écran de Stellarium

Dij	Dej	Dgj	Dcj	Date (h)
-30	56	-130	-252	0
-35	52,5	-134	-258	0,5
-40	49	-138	-264	1
-45,5	45	-140,5	-266	1,5
-51	41	-143	-268	2
-55,5	37	-146	-269,5	2,5
-59	33	-149	-271	3
55	-121	-200	-325	24
60	-123,5	-212,5	-329,5	24,5
65	-126	-225	-334	25
68,5	-127,5	-216	-334,5	25,5
72	-129	-207	-335	26
74,5	-129	-206	-336,5	26,5
77	-129	-205	-338	27

La date zéro correspond au 30 octobre 2015 à 3h34.

Voici notre tableau de mesure des distances en pixels et les tentatives de modélisation sur Latispro. Sur la

copie d'écran de Latispro on peut voir que la modélisation a été possible pour Io et Europe, mais pas pour Callisto et Ganymède, car leur période est trop grande et il y a trop peu de points de mesure.

Les modélisations sont:
Deurope-jupiter=-12,908-119,479*sin(2*pi*11,722E-3*Date+2,187)
donc la période vaut $Teurope = \frac{1}{F} = \frac{1}{11{,}722E\text{-}3} = 85{,}310\,heures$ La valeur de référence est 85,224 h, soit un écart relatif de:

$$\frac{85{,}310 - 85{,}224}{85{,}224} \times 100 = 0{,}1\%$$

Dio-jupiter=V0+Vm*sin(2*pi*23,006E-3*Date+Phi)

$Tio = \frac{1}{F} = \frac{1}{23{,}006E\text{-}3} = 43{,}467\,heures$ La valeur de référence est 42,456h soit un écart relatif de

$$\frac{43{,}467 - 42{,}456}{42{,}456} \times 100 = 2{,}38\%$$

Remarque: La courbe précédente permet aussi d'accéder à la valeur du rayon de la trajectoire des satellites en pixel, ici 83 pixels pour Io et 130 pour Europe.
En novembre, Jupiter commencera à être visible le matin. Il sera alors peut être possible de faire de nouvelles photos pour refaire ces calculs à partir de nos propres images.

CONCLUSION, PERSPECTIVES

Nous avons réussi à fabriquer une lunette astronomique avec une lentille convergente à liquide de notre fabrication. Cet appareil est unique car sa mise au point se fait à la seringue. Nous avons constaté que la lentille à eau donne des distorsions sur l'image. Avec la glycérine ou l'huile de silicone, l'image n'est pas de meilleure qualité.

L'image à travers notre lunette (lentille réglable de focale 50cm + oculaire 5cm) d'une source de lumière blanche située à 10 m montre une tâche lumineuse associée à un phénomène de diffraction. Il nous faut améliorer l'état de surface de nos lentilles pour faire disparaître la diffraction.

Nous n'avons pas pu encore observer directement Jupiter et ses satellites avec notre appareil à cause des conditions astronomiques et météorologiques défavorables. Mais nous espérons que cela sera possible bientôt (et peut être avant le concours). Cependant, grâce à Stellarium, nous avons simulé ces observations et calculé la masse de Jupiter.

Les lentilles liquides à distance focale réglable sont un outil fantastique utilisés dans d'autres domaines que l'astronomie. Environ 153 millions de personnes dans le monde auraient besoin de lunettes mais n'y ont pas accès, selon l'Organisation mondiale de la santé. Face à cette carence, le physicien britannique Joshua Silver de l'université d'Oxford a imaginé des lunettes dont le réglage est effectué par leur porteur et permet de corriger la myopie, l'hypermétropie et la presbytie. Nous espérons pouvoir améliorer la qualité de nos lentilles, pour permettre la formation d'une image de meilleure qualité, avec moins d'absorption de la lumière et moins de distorsion. Pour cela nous travaillons sur des lentilles plus fines.

NOS SOURCES

Sources Galilée:

http://www.futurasciences.com/magazines/espace/infos/personnalites/d/astronomie-galilee-220/#bio

http://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_moyen-age-17e/ha-observations-galilee1.html

http://www.icem-pedagogie-freinet.org/node/31215

Sources lunette astronomique:

http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/lunettes.html

https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0CEIQFjAIahUKEwjR6uSklZfIAhUGfxoKHRGqDAA&url=http%3A%2F%2Fetud.insa-toulouse.fr%2F~brulard%2FCours_et_annales%2FCours%25201ere%2520ann%25C3%25A9e%2FAPP%2FLa_lunette_astronomique.doc&usg=AFQjCNFQ-lfyEvgmNOg6-e-

W9fQscagXIg&bvm=bv.103388427,d.d24

http://tpe-conquetespatiale.e-monsite.com/pages/la-conquete-par-l-observation/

Sources Jupiter et ses satellites:

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Jupiter_%28plan%C3%A8te%29
- http://www.astronomes.com/le-systeme-solaire-externe/les-satellites-de-jupiter/
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellites_naturels_de_Jupiter

Sources lentilles :

http://serge.bertorello.free.fr/math/formulaire/formoptique.html#focale

Sources Méthode de travail pour la masse de Jupiter:

http://physique.paris.iufm.fr/stellarium

http://www.ac-nice.fr/physique/articles.php?lng=fr&pg=422