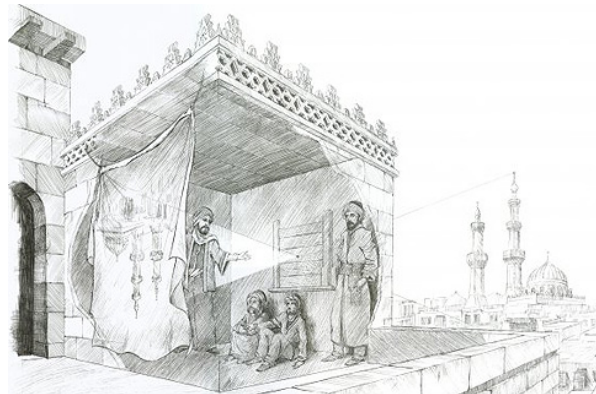


L'optique géométrique et la *camera obscura*

1. Aperçu

Ce module de démonstration dont le contenu est lié à des concepts d'optique géométrique s'intéresse particulièrement à la *camera obscura*¹, ou chambre noire, un appareil qui, à travers l'histoire, a permis de mieux comprendre la lumière, les images et la vision. Le module s'articule autour de six démonstrations surprenantes pouvant illustrer concrètement certains phénomènes lumineux. Il vise principalement le cours de *Mise à niveau pour physique de la 5^e secondaire* (203-001-50), bien que plusieurs des concepts dont il est question se retrouvent également dans le cours *Ondes et physique moderne* (203-NYC-05) du programme *Sciences de la nature*. Ajoutons que ces démonstrations s'ancrent dans des contextes historiques intéressants, qui permettent notamment de présenter des liens entre arts et sciences, entre techniques et sciences. Quelques-uns de ces repères, utiles pour contextualiser les apprentissages, sont présentés dans la section 4 de ce document. Ce module de démonstration a donc comme objectif principal d'outiller des enseignants et enseignantes du collégial avec du matériel concret pour aborder en classe les notions liées à l'optique géométrique.

En guise d'introduction, définissons d'abord ce qui est entendu par *camera obscura* (littéralement : chambre obscure). Il s'agit d'une pièce complètement sombre et fermée, où la lumière n'entre que par un trou minuscule (un sténopé), que l'on peut également remplacer par une lentille convergente². Le sténopé ou la lentille laisse passer les rayons lumineux provenant des objets extérieurs de la *camera obscura* jusqu'au mur opposé couvert d'un écran ou d'un papier blanc. La *camera obscura* permet ainsi de voir au-dedans ce qui se présente au-dehors.



La camera obscura, telle qu'imaginée par Alhazen il y a près de mille ans.

2. Liens avec le programme des cours de mise à niveau en physique

203-001-50 – Mise à niveau pour Physique de la 5^e secondaire

Élément de compétences :

- Résoudre des problèmes à l'aide des principes fondamentaux de l'optique géométrique.
- Vérifier expérimentalement quelques lois ou principes de l'optique géométrique.

Critères de performance :

- Utilisation appropriée des lois de la réflexion et de la réfraction.
- Détermination juste des caractéristiques de l'image (nature, position, taille, orientation) formée par une lentille mince ou un miroir (plan, sphérique).

¹ Ce module de démonstration s'inspire largement d'un travail effectué dans le cadre d'un projet de collaboration université-collège (PCUC) mené en 2013-2015. Les démonstrations et les contenus historiques y sont d'ailleurs présentés de manière plus approfondie. Ce document est disponible en ligne. Arseneau, I. et Bacon, N. (2015). La *camera obscura* et l'évolution des idées « lumineuses » - Modules de démonstration pour l'intégration de repères culturels dans l'enseignement des sciences aux niveaux secondaire et collégial. [<http://www.cdsp.qc.ca/activites/formation-et-soutien-technique/projets-de-collaboration-universite-college/>]

² Notons que la première mention de l'ajout d'une lentille biconvexe (convergente) daterait de 1550.

3. Démonstrations

A) Surprenants sténopés

Objectif de la démonstration

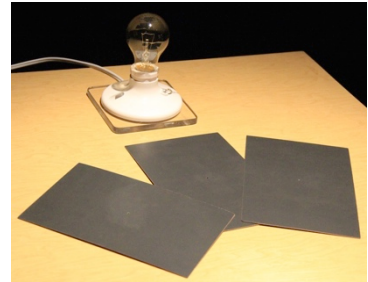
Cette démonstration constitue un excellent déclencheur en faisant appel à un phénomène contre-intuitif qui permet de situer l'hypothèse fondamentale de l'optique géométrique, soit que la lumière voyage en ligne droite. Elle permet également d'illustrer que la lumière provient des objets lumineux et non de l'œil, comme le supposaient certains penseurs de l'Antiquité. Finalement, cette démonstration peut servir à déterminer certaines des caractéristiques d'une image qui est « projetée » lorsque la lumière émise par une source lumineuse passe à travers un sténopé.

Matériel

- Deux cartons perforés d'un trou au centre de chacun : l'un avec un petit trou circulaire et l'autre avec une ouverture triangulaire de quelques millimètres.
- Une source lumineuse produisant de la lumière non diffuse. On peut utiliser par exemple une lampe de poche à DEL ou une ampoule incandescente transparente. Une ampoule incandescente blanche ne fonctionnera pas pour cette démonstration.

Déroulement possible

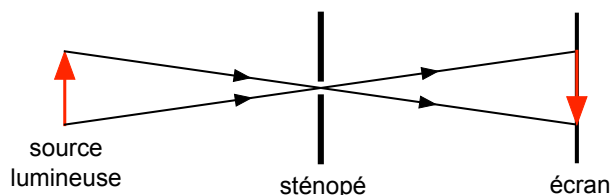
Pour réaliser cette démonstration, il est préférable de se trouver dans un environnement plutôt sombre. La démonstration consiste essentiellement à utiliser un carton troué comme sténopé sur lequel on projette la lumière produite par une source comme une lampe de poche. La lumière traversant le sténopé est projetée sur un écran où l'on observe une image de la source de lumière (les DEL de la lampe de poche utilisée ou le filament de l'ampoule).



On peut utiliser cette démonstration en classe en montrant d'abord aux élèves les cartons qui présentent chacun, en leur centre, un trou de formes différentes. On demande ensuite à la classe de se prononcer sur ce qui pourra être observé sur un écran en plaçant les cartons entre celui-ci et la source de lumière. Intuitivement, plusieurs élèves devraient croire qu'on observera des formes lumineuses correspondant aux formes des trous (petit cercle et petit triangle).

On exécute finalement la démonstration en projetant sur un écran le résultat du passage de la lumière à travers chacun des trous. Dans tous les cas une image (projetée) de la source de lumière apparaît. D'un sténopé à l'autre, seule l'intensité lumineuse devrait varier en fonction de la taille du trou (un sténopé plus petit laisse passer moins de lumière).

On peut ensuite expliquer le phénomène observé en représentant la lumière à l'aide de rayons voyageant en ligne droite et émis par la source de lumière. Un schéma semblable à celui présenté ci-dessous peut être utilisé pour appuyer les explications.



B) La chambre noire

Objectif de la démonstration

L'expérience en chambre noire est immersive et permet généralement de susciter chez l'élève une vive émotion. En effet, elle permet d'une certaine manière de revivre ce que Alhazen, Kepler et Newton ont pu eux-mêmes ressentir lorsqu'ils ont vu apparaître une image inversée sur un écran, à l'intérieur d'une chambre complètement obscure. En ce sens, la chambre noire est un montage d'une apparente simplicité qui a pourtant permis des observations majeures en optique et en astronomie, et ce, à travers les siècles.

L'objectif de la démonstration est aussi d'observer et de différencier deux phénomènes qui permettent de générer une image dans la chambre noire : l'image projetée formée par le passage de la lumière dans un sténopé et l'image optique (réelle) formée par le passage de la lumière dans une lentille convergente. L'élève pourra aussi réaliser que l'image observée à l'intérieur de la chambre noire est inversée, ce qui est une conséquence de la propagation rectiligne de la lumière. Plus particulièrement, le dispositif permet de comprendre que :

- le diamètre du sténopé influence la netteté de l'image et son intensité lumineuse;
- la dimension de l'image dépend de la distance objet-sténopé ou sténopé-écran;
- tant pour un objet rapproché que pour une scène lointaine, l'image projetée par un sténopé demeurera bien définie, car il n'y a pas de plan objet (comme c'est le cas avec une lentille). Lorsque l'écran est déplacé, l'image reste nette et change de grandeur. Aussi, plus l'écran est proche du sténopé, plus l'image paraîtra intense.
- l'image (optique) obtenue avec une lentille convergente est réelle et inversée;
- l'image réelle obtenue avec une lentille se forme à un endroit précis, en fonction de la longueur focale de la lentille utilisée et de la distance de l'objet. Si l'écran est déplacé, une image qui était nette devient alors floue.

Matériel³

- Structure de la chambre noire fabriquée avec des tuyaux de PVC.
- Housse en tissu noir.
- Écran blanc.
- Roulette constituée de deux sténopés de tailles différentes et de deux lentilles de longueur focale différentes.



³ Des informations complémentaires utiles à la fabrication d'une chambre noire sont fournies en annexe.

Déroulement possible

Pour cette expérience, il est préférable de choisir une scène très éclairée. Idéalement, l'ouverture de la chambre noire, sur laquelle on installera la roulette de sténopés-lentilles, sera orientée dans la direction d'une fenêtre donnant sur l'extérieur. Une fois la chambre noire en place, mettre une chaise à l'intérieur et demander à un étudiant ou une étudiante de s'y asseoir. Placer la roulette de telle sorte que le plus petit sténopé soit vis-à-vis l'entrée de lumière. Laisser quelques secondes au volontaire afin que ses yeux s'adaptent à l'obscurité. Si la scène est très éclairée, il devrait voir une image se former (elle sera de faible intensité). Demander à l'élève de décrire les objets de la scène afin de lui faire remarquer que l'image est inversée.

En mettant l'accent sur la beauté du phénomène observé, on pourrait ensuite :

- Demander à l'élève de décrire les différences entre ce qu'il distingue sur l'écran lorsque l'on change le diamètre du sténopé (en tournant la roulette) ;
- Demander à l'élève de changer la position de l'écran, qui est installé sur un support mobile, et de décrire l'effet sur l'image ;
- Mettre la première lentille (L_1) en place. Demander à l'élève de décrire l'image et ce qui la distingue de celle formée par une lentille (L_2) de longueur focale différente (en tournant la roulette) ;
- Avec l'une ou l'autre des lentilles en place, demander à l'élève de changer la position de l'écran, qui est installé sur un support mobile, et de décrire l'effet sur les différents éléments de l'image (objets plus ou moins rapprochés)

C) La boîte-objectif

Objectif de la démonstration

Cette démonstration permet aux élèves d'observer l'image réelle produite par une lentille convergente. Ce montage simple peut être mis en relation avec un modèle de l'œil pour parler de la formation d'une image « optique » réelle, comme celle qui se forme sur la rétine de l'œil en passant par une lentille convergente (en référence au cristallin et à la cornée). On peut aussi l'utiliser pour illustrer le fonctionnement d'un appareil photo : l'objectif, l'obturateur, la lentille, l'écran CCD, etc. Les participants pourront prendre conscience de l'effet de la position de l'image et de la distance focale dans la définition de l'image optique obtenue avec une lentille.

Matériel

Deux boîtes de carton rectangulaires à bases carrées (environ 20 cm) assez longues (environ 50 cm) pouvant glisser l'une dans l'autre et dont l'intérieur est peint en noir mat :

- *Boîte extérieure* : une extrémité ouverte, l'autre extrémité fermée, mais avec une ouverture au centre pour y coller une lentille convergente d'une puissance d'environ +6 δ (une lentille de loupe).
- *Boîte intérieure* : une extrémité ouverte, l'autre extrémité recouverte d'un écran semi-transparent (on peut utiliser un morceau de rideau de douche semi-transparent).



Déroulement possible

Insérer les boîtes l'une dans l'autre en les positionnant de telle sorte que les extrémités fermées soient dans la même direction. Cela reproduit en quelque sorte l'objectif d'un appareil photo avec une mise au point manuelle.

Inviter les élèves à faire eux-mêmes l'essai d'ajuster la distance lentille-écran en couissant la boîte intérieure afin d'observer l'image réelle d'une scène formée sur l'écran semi-transparent à l'extrémité de la boîte intérieure. Proposer ensuite aux élèves de masquer une partie de la lentille pour voir l'effet sur l'image. La luminosité de l'image sera plus faible, mais l'image sera tout de même complète. Ceci vient du fait que chaque partie de la lentille redirige des rayons provenant de chaque point-objet vers leur point-image.



D) Le projecteur-à-dessin

Objectif de la démonstration

Ce montage est extrêmement simple et permet de récupérer les anciens rétroprojecteurs, peu utilisés maintenant depuis l'intégration des projecteurs informatiques dans les classes. Cette démonstration permet au participant de vivre « une expérience artistique à la Vermeer » et de réaliser un croquis de l'image réelle qui se forme sur la feuille. En utilisant ce montage, l'élève pourra mieux saisir les caractéristiques d'une image optique réelle.



Camera obscura portable pour dessin, 1868. [Source image :

<http://www.endlesslines.free.fr/ghost/ghost/pages/ghostchasselon1.htm>]

Matériel

On utilise ici la « tête » optique d'un rétroprojecteur qu'on entoure avec un grand drap noir afin que la lumière ne puisse entrer sous le drap que par la lentille. Autrement dit, seule l'ouverture de la « tête » optique du projecteur doit être libre et permettre l'entrée de lumière. Une feuille blanche placée sur le rétroprojecteur servira d'écran ou de support à dessin (voir image ci-contre).



Déroulement possible

On demande à une personne de s'installer sous le drap, avec un crayon en main. On lui explique qu'elle devra faire une mise au point sur l'objet qu'elle désire dessiner à l'aide du système faisant varier la hauteur de la lentille. Lorsque l'élève aperçoit l'image qui se forme sur la feuille de papier, on lui propose de calquer sur la feuille, l'image qu'il observe. On peut ensuite, présenter le résultat à l'audience. Si le papier utilisé est semi-transparent (un papier calque par exemple), il serait même possible d'utiliser le rétroprojecteur (dans sa fonction d'origine) pour projeter le dessin au reste de la classe.

E) La camera lucida

Objectif de la démonstration

La *camera lucida* (chambre claire) est ici constituée d'un miroir semi-transparent fixé à une tige. Le miroir permet de former une image virtuelle qui crée l'illusion que la scène se trouvant devant nous est reproduite sur une feuille de papier. Contrairement à une projection dans une *camera obscura* qui exploite la formation d'une image réelle, ici seul « l'artiste » placé dans la bonne position peut voir l'image. Cette « expérience artistique historique » (voir image ci-contre) permet ainsi de distinguer certaines différences entre des images virtuelles et réelles.

Matériel

Cette version de *camera lucida* est faite d'une plaque de plexiglas sur laquelle a été appliqué un revêtement semi-réfléchissant. Une tige permet de fixer la plaque de plexiglas à un support universel. On doit ajuster l'angle de la plaque (autour de 45°) afin de viser l'objet ou la personne que l'on cherche à dessiner.

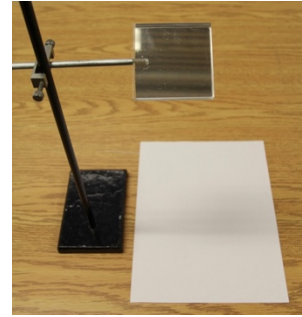
Déroulement possible

On invite une personne à s'asseoir devant la *camera lucida*, puis à tracer sur une feuille l'image virtuelle qu'elle est la seule à voir. Une fois le dessin terminé, on peut montrer le résultat au reste de la classe. Il est intéressant de questionner la personne sur les problèmes qu'elle a rencontrés en dessinant. Il est intéressant de remarquer que dans le cas d'une image virtuelle, contrairement à une image réelle, la position de l'observateur a un effet sur ce qu'il observera. Ce dernier aura l'impression qu'une image est formée sur sa feuille, mais il sera le seul à la voir. S'il se déplace, l'image se déplacera également (par rapport à la feuille à dessin qui reste en place).

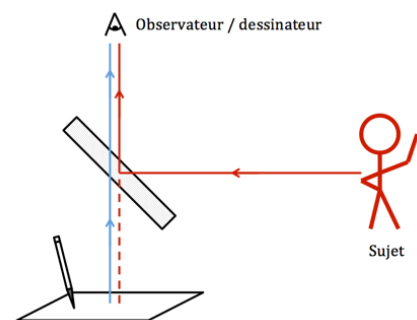
F) Le projecteur à téléphone

Objectif de la démonstration

Le projecteur à téléphone intelligent utilise une seule lentille pour transformer l'écran d'un téléphone ou d'une tablette en un système de projection à faible puissance. La démonstration est utile pour expliquer les bases de l'optique géométrique de façon amusante, concrète et surprenante. Comme le système produit une image réelle, inversée et agrandie ; on peut en profiter pour introduire les caractéristiques des images, la notion de grossissement, de distance focale et le tracé des rayons principaux pour la lentille convergente.



William Hyde Wallaston, Camera lucida, 1806. [Source image : http://www.yfyddin.freemove.co.uk/familyree/newsletters/wollaston_biog.htm]



Matériel

Le projecteur à téléphone est une simple boîte de carton équipée d'un support servant à maintenir le téléphone à la verticale dans l'axe optique, ainsi que d'une lentille convergente qui focalise la lumière de l'écran de telle sorte qu'elle forme une image réelle sur un écran ou un mur blanc.

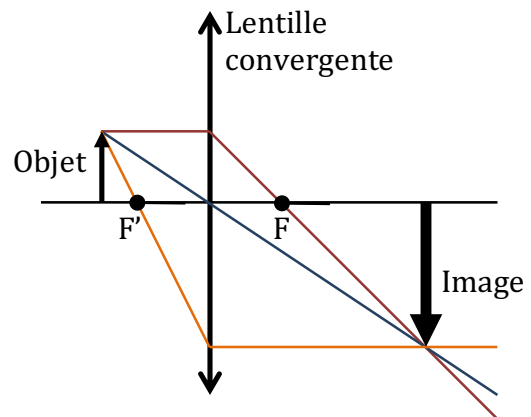
- Boîte de carton avec couvercle
- Lentille convergente +6 ($f \cong 16$ cm)
- Support en carton ou en bois
- Adhésif (gommette bleue) pour maintenir le téléphone sur le support
- Colle chaude pour fixer la lentille sur la boîte

Déroulement possible

La démonstration doit se dérouler dans l'obscurité. La luminosité de l'écran de l'appareil doit être réglée au maximum (il faut désactiver la luminosité adaptative, au besoin) pour obtenir une image assez brillante pour être visible.

Il est tentant, et louable, de vouloir impliquer la classe en utilisant le téléphone d'un étudiant ou d'une étudiante pour projeter une vidéo ou une image de son choix durant la démonstration. Nous voulons mentionner que plusieurs institutions d'enseignement ont des règlements stricts qui interdisent les téléphones intelligents et les tablettes à l'intérieur des salles de classe. De plus, pour éviter des situations gênantes en lien avec le contenu qui sera présenté devant tout le groupe-classe, nous suggérons d'utiliser un appareil que l'enseignant maîtrise et contrôle parfaitement en tout temps.

La démonstration se déroule on ne peut plus simplement. Après avoir installé l'appareil sur le support dans la boîte du projecteur et avoir ajusté la distance entre l'appareil et la lentille de telle sorte que l'image soit nette et précise, il ne reste plus qu'à démarrer la projection d'une vidéo ou d'une image et à observer les caractéristiques de l'image sur l'écran.



4. Repères historiques et culturels⁴

Comme mentionné dans l'introduction, la *camera obscura* est un appareil qui a permis de mieux comprendre la lumière, les images et la vision, et ce, à différents moments de l'histoire. Elle a notamment contribué à comprendre la vision (le fonctionnement de l'œil) et la nature de la lumière, à faire des observations astronomiques importantes, ainsi qu'à développer la perspective dans les arts. Voici quelques repères historiques qui nous apparaissent particulièrement intéressants pour situer l'une ou l'autre des expériences proposées. En ce sens, nous présentons quelques idées mises de l'avant par différents personnages célèbres qui ont utilisé la *camera obscura* d'une manière ou d'une autre...

A) Aristote et l'optique dans l'Antiquité grecque

L'attention que porta Aristote (v. 384 à 322 av. J.-C.) pour l'optique n'est pas séparée de sa passion pour l'astronomie. Aristote aurait par exemple affirmé qu'il est possible de regarder le dessin du Soleil et de la Lune saisi à travers n'importe quel orifice (un sténopé). D'ailleurs, il fait une allusion à ce phénomène au milieu de ses trente-huit livres des *Problèmes* : « Tout objet placé en face d'une boîte entièrement fermée et percée d'un trou se reflète, renversé sur le fond de cette boîte. » Aristote décrira ainsi les interstices entre les feuillages qui font apparaître « le reflet » (l'image) du Soleil (image ci-contre). Cela dit, il ne mentionnera pas une pièce, ou d'une chambre noire, pouvant accueillir une présence humaine. Les premières *camera obscura* construites à cette échelle seraient généralement associées aux astronomes arabes. Cela n'empêchera toutefois pas Aristote de noter des faits optiques d'importance, comme la propagation de la lumière en ligne droite, qui sera plus tard démontrée par Alhazen.

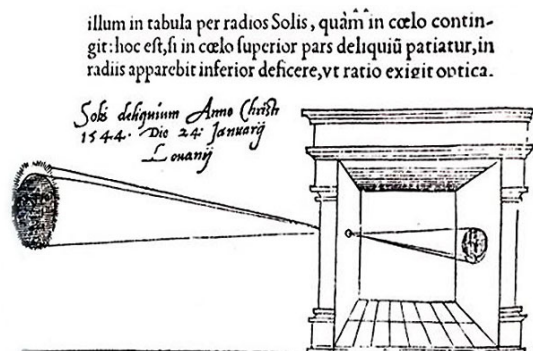


Images du Soleil au travers des arbres, dans Cours de physique de A. Ganot, Paris, 1868.

B) Les théories d'Alhazen et l'optique au Moyen-Âge

Alhazen, ou Ibn al-Haytham (v. 965-1041), est souvent considéré comme le père de l'optique moderne. Avec ses recherches en optique, en mathématiques, en physique, en astronomie et en médecine, il développa une méthode scientifique qui le conduira à faire des expériences sur la propagation de la lumière et sur les couleurs. On devrait à Alhazen le premier usage raisonné de la *camera obscura*. En effet, il serait le premier à avoir fait l'observation d'une éclipse solaire dans une chambre noire munie d'une petite ouverture (voir image ci-contre). La référence la plus explicite dans son œuvre à la *camera obscura* se trouverait dans son Traité consacré à l'éclipse.

Alhazen fera de nombreuses observations pour tenter de comprendre pourquoi le Soleil, vu à travers un sténopé en forme de petit triangle, apparaît



illum in tabula per radios Solis, quam in cælo contingit: hoc est, si in cælo superior pars deliquiū patiat, in radius apparebit inferior deficere, vt ratio exigit optica.

Sols deliquium Anno Christi
1544. Die 24. Januarij
Louanii

Sic nos exactè Anno .1544. Louanii eclipsim Solis
obseruauimus, inuenimusq; deficere paulò plus q̄ dex-
tantem, hoc est. 10. vnctias siue digitos vt nostri loquun-

Éclipse solaire vue à travers une camera
obscura. Tirée de *De radio astronomico et
geometrico* de Gemma Frisius, 1545.

⁴ Notons que la plupart des repères historiques abordés ici ont été tirés de l'ouvrage de Martine Bubb (2010) dont la référence complète est présentée à la fin de cette section.

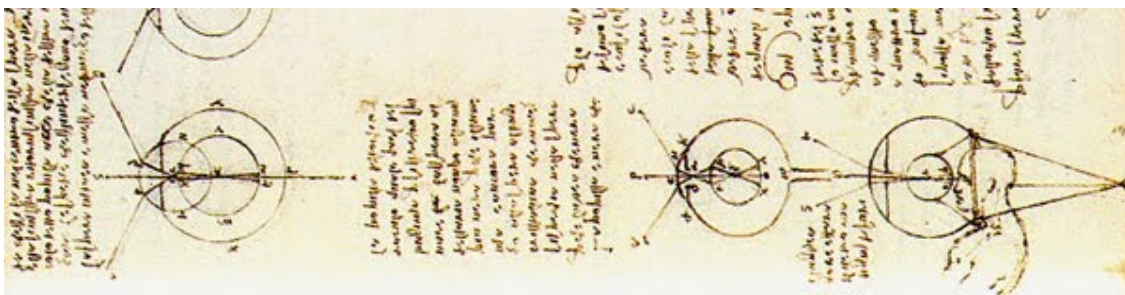
triangulaire si l'écran se trouve près du trou, alors qu'il se révèle rond en éloignant le trou de l'écran. À cette question, il répond en terme de cônes de lumière émanant de façon indépendante de chaque point du corps lumineux. Il nota que le disque solaire qui se forme à une certaine distance de l'ouverture est en fait formé de triangles de lumière superposés (voir la démonstration A : Surprenants sténopés). La théorie d'Alhazen sur la propagation de la lumière est donc celle du point par point, c'est-à-dire que chaque point à la surface d'un objet lumineux serait une source indépendante de rayonnement se propageant aussi loin que la transparence du médium le permet. Il en résulte une sphère de propagation continue dans laquelle chaque rayon correspond à une trajectoire rectiligne, au cours de laquelle la *lumen* est transmise. Selon cette théorie punctiforme, l'œil serait bombardé simultanément de rayons provenant de toutes les directions. Mais cette idée représente un problème en soi : comment l'œil arrive-t-il à tirer un sens cohérent d'impressions visuelles si désordonnées et confuses? Le savant tentera d'apporter une réponse à ce problème en suggérant que le cristallin assumerait un rôle de filtre... Une idée intéressante qui ne résistera toutefois pas aux épreuves du temps.

Par ailleurs, sa description de la *camera obscura* lui aura permis de balayer la théorie « extramissionniste » prévalant toujours à l'époque, qui accordait un sens tactile à l'œil comme s'il s'agissait d'un bâton aveugle. Le meilleur argument appuyant la théorie « intromissionniste » des philosophes de la nature aurait été pour Alhazen celui-ci : lorsqu'on regarde longuement un point très lumineux comme le Soleil, celui-ci « brûle » les yeux. La lumière ne peut donc que partir de l'objet extérieur et pénétrer dans l'œil pour le blesser. Une expérience simple de « persistance rétinienne » (terme anachronique, puisque le rôle de la rétine n'est pas encore connu) permet de s'en rendre compte. Il suffit de fixer assez longtemps l'image d'un ciel lumineux à travers une lucarne puis de se tourner vers la partie obscure de la pièce : l'image persistera. Cela démontre que nous voyons la lumière, donc que nous ne l'émettons pas. Comme quoi, une simple observation suffit parfois à réfuter des siècles de théories!

Alhazen jettera ainsi les bases physiques de la vision en termes de rayons lumineux colorés, il décrira la structure de l'œil et il soulignera la variabilité des conditions dans lesquelles se forme la vision. La méthode qu'il utilisa sera inductive et très largement empirique : on y trouve peu d'hypothèses et de déductions, sauf celles qui concernent la géométrie de l'œil, un peu idéalisée, puisque selon lui le cristallin serait censé sélectionner les rayons. En somme, la précision et la clairvoyance de ses analyses influenceront aussi bien de Vinci, Della Porta, Huygens que Kepler. Il devint un incontournable pour les scientifiques de la Renaissance qui s'intéresseront à la *camera obscura* et plus largement à l'optique géométrique.

C) Léonard de Vinci, Kepler et l'optique à la Renaissance

De Vinci serait le premier (v. 1490) à avoir construit un œil artificiel en verre et en métal inspiré du modèle de la *camera obscura*. Si l'anatomie de l'œil qu'il proposa est assez primitive, il n'en demeure pas moins que le fait d'assimiler l'œil à une chambre noire représente une innovation



Léonard de Vinci, L'œil est une camera obscura, v. 1492

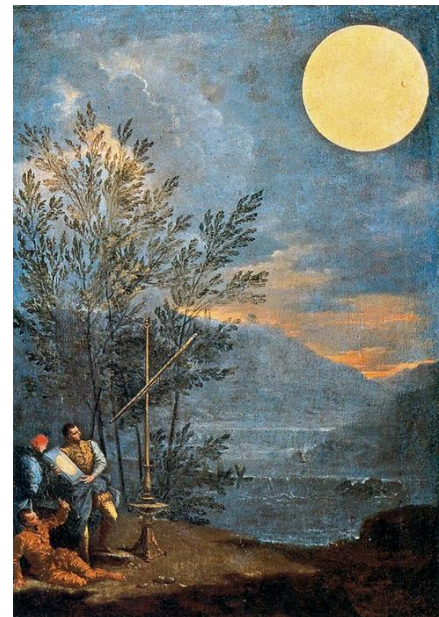
[Source image : <http://dessindrawing.blogspot.ca/2011/08/il-et-camera-obscura.html>]

technique importante. Ses recherches l'amènèrent ainsi à considérer l'œil comme un système optique semblable à la *camera obscura*, afin de déduire certains mystères liés à son fonctionnement.

Toutefois, de Vinci se butera, comme plusieurs autres, au problème du renversement de l'image. Bien qu'il sembla connaître la raison de ce renversement, soit l'intersection des rayons, cette question ne sera pas résolue. Celui-ci refuse l'idée de l'image renversée sur la rétine, car il veut respecter la rectitude de l'image et l'absolutisme des lois physiques. Il n'imagine à aucun moment que le cerveau soit capable de redresser les images, ce qui est surprenant, quand on sait qu'il écrivait « à l'envers », de la droite vers la gauche, sans probablement utiliser de miroir pour se relire! Il faudra attendre jusqu'en 1604 pour que Kepler impose l'idée que l'image se forme renversée sur la rétine et non sur le centre de la sphère cristalline ou encore sur la pupille comme l'imagine de Vinci. On dit d'ailleurs de Kepler (1571-1630) qu'il réinventera l'optique en élaborant notamment la théorie rétinienne largement inspirée de sa pratique de la *camera obscura*. Ses deux ouvrages traitant d'optique, *Astronomia pars optica* (1604) et *Dioptricae* (1611), restructurèrent les connaissances de l'époque.

Pendant ses études en astronomie, Kepler s'initie au système ptoléméen et copernicien avant de devenir l'assistant de Tycho Brahé à la Cour de Prague. Tous deux observent avec fascination les éclipses. Toutes sortes d'appareils sont utilisés dans ce but d'observation, dont la *camera obscura* à laquelle Kepler ajouta des lentilles, ainsi qu'un dispositif similaire qui lui permettait de protéger ses yeux du rayonnement solaire. Ce dispositif apparaît dans un tableau de Donato Creti (ci-contre), où l'on voit Kepler observer les taches solaires en projetant sur une feuille l'image du Soleil capturée au travers d'un long tube dont l'extrémité est percée d'un orifice.

L'éclipse représente pour Kepler une source d'inspiration autant scientifique que littéraire. Il diffusera, par exemple, les idées coperniciennes grâce à un récit fantastique d'un voyage sur la Lune. Malheureusement, les qualités imaginatives de Kepler ont souvent été passées sous silence par les savants « rationalistes » modernes, qui étaient aveuglés par leur scientisme. Grâce à la *camera obscura* et à la lunette astronomique, Kepler fera des découvertes majeures en optique, qui auront des répercussions importantes sur tout un pan de la culture populaire et intellectuelle de l'époque.

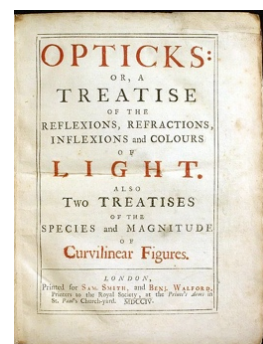


Donato Creti, *Observations astronomiques*, 1711.

D) L'approche expérimentale de Newton

Fortement inspiré des idées de la Renaissance, Newton créera une véritable révolution scientifique, notamment par la publication de son *Opticks* (ci-contre) en 1704. On retrouve dans cet ouvrage majeur l'expérience récurrente de la *camera obscura*. Elle ouvre d'ailleurs son traité, pour dire son importance! « Un trait de lumière solaire entre dans une chambre fort obscure par un trou oblong ».

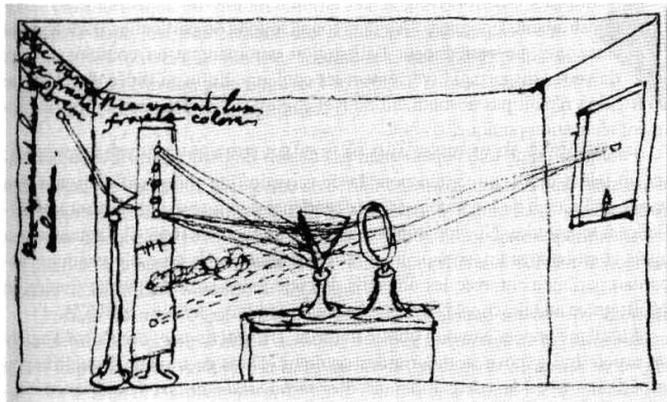
En s'intéressant à l'optique, la lumière et les couleurs, Newton fait de la chambre noire le lieu privilégié de sa méthode inductive. La présentation de son approche scientifique, avec des protocoles rigoureux, nous rappelle les expériences d'Alhazen. Toutefois, les expériences de Newton sont plus sophistiquées qu'au Moyen Âge, car elles font intervenir prisme, télescope,



deux ouvertures ou plus, et prennent en compte la diffraction. Parmi ses expériences fondamentales, mentionnons celle sur la composition de la lumière blanche.

Depuis l'Antiquité, le blanc était associé à la pureté, au Bien, à Dieu, et le noir, aux ténèbres et au mal. Même à la Renaissance, la question de la couleur demeure très intrigante. Il faudra attendre Newton pour que cette conception des couleurs progresse vraiment. Certains avaient déjà remarqué que la lumière qui traverse un prisme se déploie en arc-en-ciel. Pour expliquer ce phénomène, la conception commune de l'époque était que la lumière s'altère, se dégrade et s'affaiblit en traversant un milieu transparent comme le verre. On pensait que plus l'épaisseur du verre traversé était grande, plus la lumière perdait en clarté et en éclat. Le violet, par exemple, est la couleur la plus déviée : on la disait moins éclatante que le rouge. Du moins, c'est ce qu'on croyait jusqu'à ce que Newton fasse ses expériences en chambre noire ; une période de la vie de Newton qui est d'ailleurs assez surprenante.

En 1665, la peste éclate en Europe. L'Université de Cambridge décide alors de renvoyer chez eux les professeurs et les étudiants, dont le jeune Isaac Newton alors âgé de 23 ans. Celui-ci profite donc de ses vacances « forcées » pour s'enfermer dans sa chambre dont il obstrua presque complètement les fenêtres, mais où la lumière pouvait pénétrer que par une petite ouverture pratiquée dans un des volets. Newton va ainsi réaliser dans sa « chambre noire », avec du matériel très simple, une série d'expériences sur la réfraction et la dispersion de la lumière qui bouleverseront les idées de l'époque sur la lumière qui couraient depuis... 1500 ans!



Dessin réalisé par Newton illustrant la manière dont il a convertit sa chambre en camera obscura, où un trou laisse passer un rayon de lumière du soleil.

Parmi ces expériences, Newton décide d'isoler à l'aide d'une fente un rayon bleu issu d'un premier prisme et le dirige vers un second afin de vérifier ce qui arrive à ce faisceau de lumière d'une seule couleur. Selon la théorie aristotélicienne, la couleur bleue aurait dû « s'affaiblir » au cours du passage dans le deuxième prisme, pour se rapprocher du violet ou du noir. À son grand étonnement, ce n'est pas ce qu'il observa : la couleur bleue reste la même. Il y avait forcément quelque chose qui n'allait pas dans la théorie sur la lumière. Il poursuivit donc ses expériences et fit passer à travers un second prisme, inversé par rapport au premier, tous les rayons dispersés. En recombinaison de la lumière prétendument dégradée, il se retrouva avec un faisceau de lumière blanche. Le faisceau avait retrouvé sa pureté initiale. Autrement dit, Newton avait mélangé de l'impur pour obtenir de la pureté...

Ainsi donc, même si ses travaux apportent des éclaircissements majeurs sur le comportement et la composition de la lumière, Newton attendra plus de six ans avant d'en divulguer les résultats dans sa correspondance avec Oldenburg (1672) et il ne publiera ses découvertes qu'en 1704, dans son fameux traité *Opticks*. À 23 ans, Newton n'est pas encore le grand NEWTON, et il était risqué pour lui de contester les théories sur les couleurs ayant cours depuis des siècles...

E) La camera obscura et l'art hollandais au XVII^e siècle

La *perspectiva artificialis*, inventée au XV^e siècle par Brunelleschi et Alberti, va révolutionner la vision du monde, la conception de l'espace, et marquer une rupture radicale avec le Moyen Âge. Perçue comme emblématique de la Renaissance, elle concernera tous les domaines de la pensée, principalement la peinture et l'architecture, mais aussi la géométrie et la philosophie. Si

les Italiens sont les « inventeurs » de la perspective dans leurs peintures, il est intéressant de montrer que, à la suite de Kepler, la *camera obscura* est devenue l'appareil de la peinture hollandaise. La *camera obscura* n'a en effet pas besoin de tout un attirail pour émerveiller : elle le fait pour ainsi dire par elle-même. Elle serait l'expérience type de l'art hollandais à « l'âge de l'observation ». La nouvelle esthétique hollandaise s'appuie sur le principe de la *camera obscura*, qui est différent de la perspective « artificielle ». Elle renvoie à une vision du monde fondée sur la géométrisation de l'espace, mais aussi sur sa pure visibilité. La perspective et la *camera obscura* ont par contre ceci en commun : elles rompent avec la théologie médiévale et ouvrent toutes deux sur un espace, non pas sacré, mais objectivable, physiquement et mathématiquement.

La « peinture » de la *camera obscura* a la particularité d'être beaucoup plus mouvante et souple que celle des « perspectivistes ». Plus on recule, plus on voit de « gros plans » et inversement. On peut donc naviguer et s'arrêter sur des détails, un mode de vision qui semble davantage s'approcher de « la vision naturelle », qui est plus mobile. Au XX^e siècle, avec l'avènement de la photographie, plusieurs ont comparé la peinture de Vermeer (1632-1675) à une image photographique. L'usage de la *camera obscura* chez Vermeer n'est pas totalement prouvé, mais certains effets de sa peinture nous permettent d'émettre de sérieuses hypothèses quant à son utilisation. La majorité des historiens s'accordent d'ailleurs pour dire que Vermeer a bien utilisé une *camera obscura*. La liberté avec laquelle Vermeer modifiait les effets optiques de ses sujets nous porte cependant à croire qu'il ne calquait pas directement l'image de la *camera obscura*. D'autres instruments d'optique, comme la *camera lucida*, seront plus tard utilisés par les artistes désirant de représenter le plus réalistement possible les sujets de leurs œuvres.



Camera obscura portable pour dessin, 1868.

[Source image :

<http://www.endlesslines.free.fr/ghost/ghostpages/ghostchasselon1.htm>]

F) Références historiques de la camera obscura

Bubb, M., (2010). *La camera obscura : philosophie d'un appareil*. Éditions L'Harmattan.

Bessy, M. (1990). *Le mystère de la chambre noire : histoire de la projection animée*. Éditions Pygmalion.

Changeux, J.-P., (2005). *La lumière au Siècle des lumières & aujourd'hui : art et science*. Éditions Odile Jacob.





Crary, J. (1994). *Art de l'observateur : vision et modernité au XIX^e siècle*. Traduit par Frédéric Maurin. Éditions J. Chambon.

De La Souchère, M.-C. (2010). *Quand la vue change de sens*. La Recherche, n° 443, p. 108. Consulté en ligne [<http://www.larecherche.fr/idees/histoire-science/quand-vue-change-sens-01-07-2010-75706>].

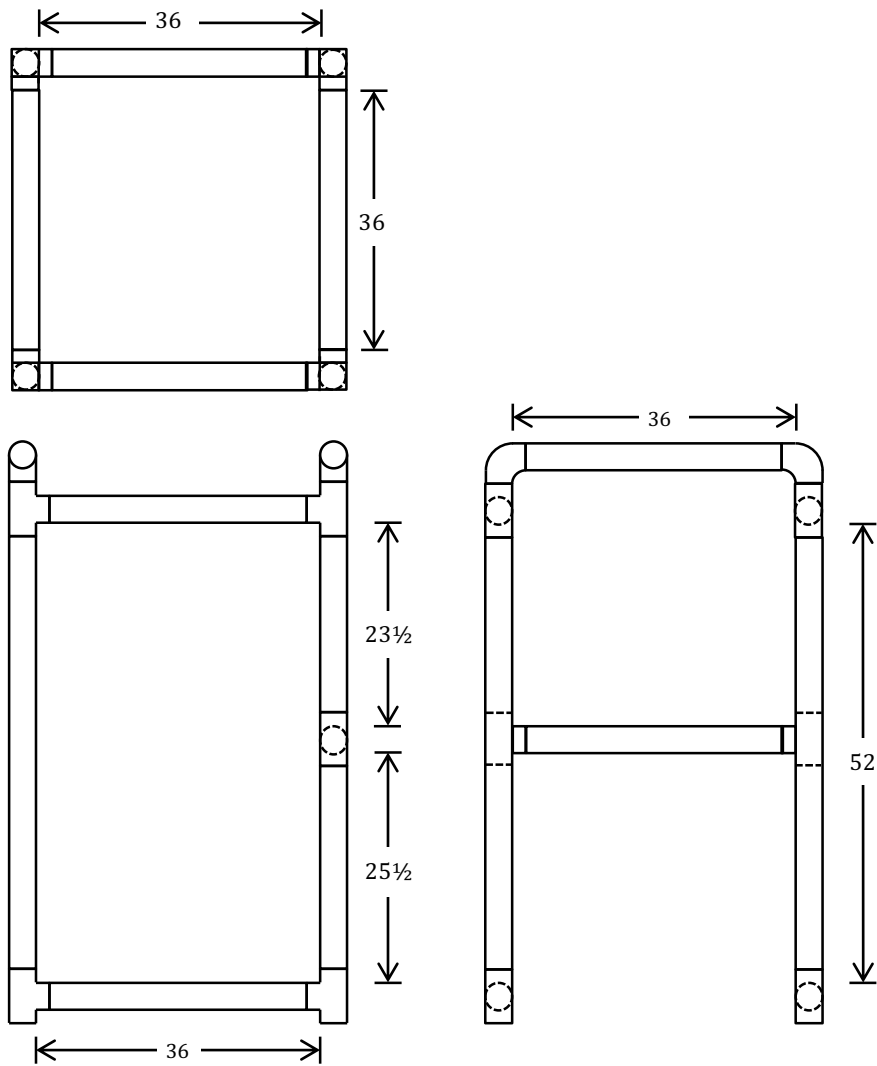
F) Annexe : construction de la chambre noire

La *camera obscura* est essentiellement une tente portable en tissu opaque soutenue par une armature légère en PVC. Un trou dans le tissu permet à la lumière de traverser une sélection de lentilles ou d'orifices. Sa construction est relativement simple et peu coûteuse.

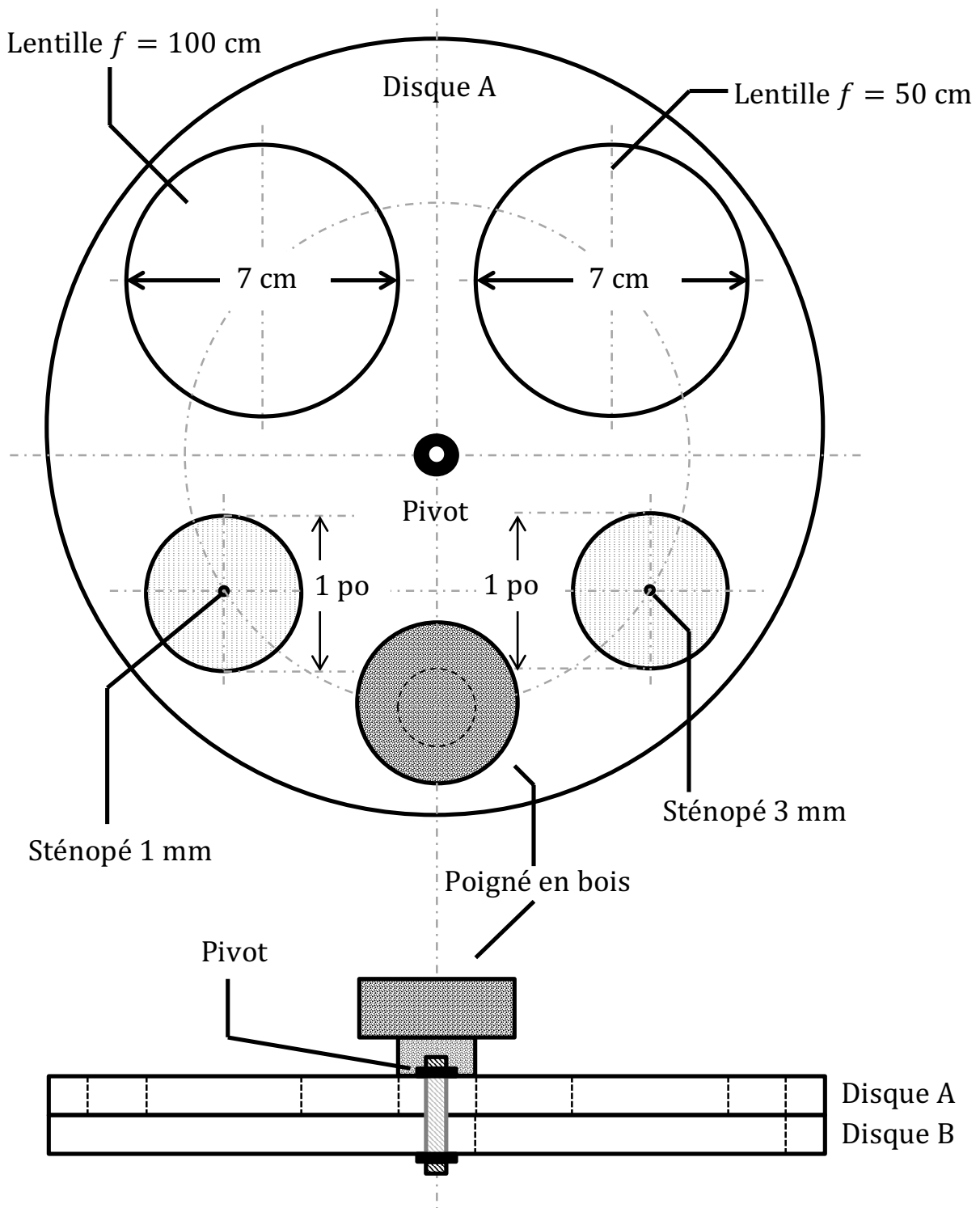
Matériel

- Tuyaux de PVC diamètre 1½ po pour la structure
 - 2 × tuyaux PVC 52 po
 - 7 × tuyaux PVC 36 po
 - 2 × tuyaux PVC 23½ po
 - 2 × tuyaux PVC 25½ po
 - 4 × coudes PVC 90° 
 - 10 × jonctions « T » PVC 90° 
 - 
 - 
- Tissu noir « Black out » double épaisseur pour la tente
 - 1,5m × 195po pour le contour et la porte
 - 1,5m × 49po pour le toit
- Tissu blanc opaque de 1 m² pour l'écran
- 2 × règles en bois de 1 m
- Lentille $f = 100$ cm
- Lentille $f = 50$ cm
- Écran circulaire avec un trou de 1mm
- Écran circulaire avec un trou de 3mm
- Poigné en bois
- Deux disques en bois de diamètre 12po
- Un écrou et deux boulons pour le pivot

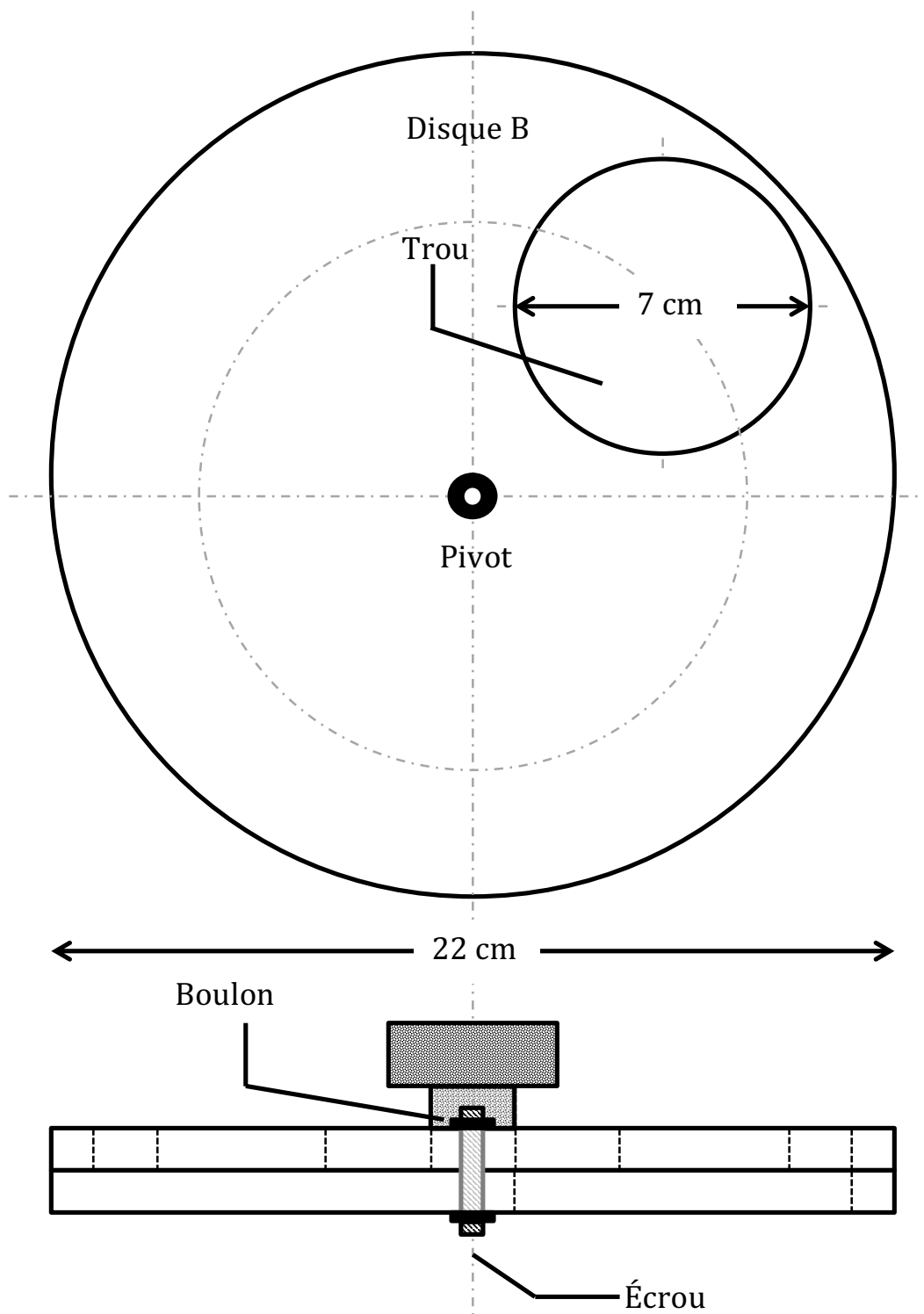
Structure de la chambre noire en tuyaux de PVC



Sélecteur d'ouverture – Face A



Sélecteur d'ouverture – Face B



Écran coulissant

