

INSPE Académie de Limoges
Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation
Physique-chimie

2019/2020

Application de l'optique au domaine biomédical



Andréa LACOTTE

Stage effectué du 2 septembre 2019 au 4 juillet 2020
Cité scolaire d'Arsonval à Brive-la-Gaillarde (Lycée)

Stage encadré par
Mme Florence BARRET
Professeur de physique-chimie



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier M. François REYNAUD pour son accompagnement au long de ces années de recherche. Ses conseils et ses indications m'ont permis de proposer un travail plus précis et réfléchi.

Je tiens également à remercier Mme Claire MAUMY, Mme Véronique MARCHAND et M. Jérôme FATET pour leur accompagnement tout au long de cette année de stage. Leurs formations et les conseils prodigués au cours de celle-ci m'ont permis d'acquérir les connaissances pédagogiques nécessaires à la partie didactique de ce mémoire.

Enfin, je tiens à remercier ma tutrice école Mme Florence BARRET qui a toujours été à l'écoute et qui a su me conseiller, me soutenir tout au long de l'année.

Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Table des matières

Introduction	8
1. La vision et ses corrections de l'Antiquité à 1959	9
1.1. La première lentille	9
1.2. Les premières lunettes	9
1.3. Instrument optique pour la vision	10
1.4. Les défauts de la vision	11
1.4.1. La myopie	11
1.4.2. L'hypermétropie	12
1.4.3. La presbytie	12
1.4.4. L'astigmatisme	13
2. La vision et ses corrections de 1959 à nos jours	14
2.1. Les dates clés	14
2.2. La fabrication de la lumière laser	14
2.2.1. L'émission stimulée	14
2.2.2. L'inversion de population	15
2.2.3. L'oscillateur laser	16
2.2.4. Les amplificateurs laser	17
2.2.5. Le filtrage spatial	17
2.2.6. Le filtrage spectral	18
2.3. Les propriétés des lasers	18
2.3.1. La couleur d'un laser	18
2.3.2. La puissance d'un laser	19
2.3.3. Le flux d'un laser	20
2.3.4. La cohérence d'un laser	20
2.4. Intérêt de l'application du laser au domaine biomédical	21
2.5. Différents lasers pour différentes chirurgies	21
3. Mise en œuvre didactique en classe	24
3.1. Le contexte d'enseignement	24
3.2. Présentation de la séance pédagogique	24
3.2.1. Progression et programme officiel	24
3.2.2. Prérequis	25
3.2.3. Objectifs disciplinaires et transdisciplinaires	25
3.2.4. Présentation de l'activité	26
3.2.5. Compétences mobilisées	32
3.3. Analyse à priori de la séance	39
3.3.1. Minutage	40
3.3.2. Possibles difficultés et conceptions initiales rencontrées par les élèves	41
3.4. Analyse à posteriori	42
3.4.1. Déroulement de la semaine de travail	42
3.4.2. Bilan après correction des copies d'élèves	43
3.5. Conclusion de l'activité	45
Conclusion	46
Références bibliographiques	47
Annexes	48

Table des illustrations

Figure 1 : Lentille de Nimrud du British Museum	9
Figure 2 : Besicles	10
Figure 3 : Examen à la lampe à fente	10
Figure 4 : Schéma de l'œil et formation d'une image.....	11
Figure 5 : Correction de la myopie.....	12
Figure 6 : Correction de l'hypermétropie.....	12
Figure 7 : Correction de la presbytieFigure 8 : Correction de l'hypermétropie	12
Figure 9 : Correction de la presbytie.....	12
Figure 10 : Correction de l'astigmatisme	13
Figure 11 : Premier laser rubis.....	14
Figure 12 : Schéma simplifié représentant l'émission spontanée.....	14
Figure 13 : Schéma simplifié représentant l'émission stimulée	15
Figure 14 : Schéma du pompage optique pour le laser à rubis	16
Figure 15 : Schéma simplifié de fonctionnement du laser He/Ne.....	16
Figure 16 : Modélisation des émissions dans l'oscillateur laser	16
Figure 17 : Modélisation du fonctionnement d'un laser	17
Figure 18 : Rôle du filtre spatial	18
Figure 19 : Comportement d'un rayon incliné par rapport à l'axe dans une cavité linéaire ...	18
Figure 20 : 1ère page de l'activité.....	27
Figure 21 : 2ème page de l'activité	28
Figure 22 : 1ère page de la correction.....	30
Figure 23 : 2ème page de la correction	31
Figure 24 : Photographie du scan OCT de l'activité	43

Table des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des compétences mobilisées pour chaque question	33
Tableau 2 : Critères d'évaluation de la compétence « analyser »	34
Tableau 3 : Critères d'évaluation de la compétence « réaliser »	35
Tableau 4 : Critères d'évaluation de la compétence « valider »	36
Tableau 5 : Critères d'évaluation de la compétence « approprier » en temps de confinement	37
Tableau 6 : Critères d'évaluation de la compétence « analyser » en temps de confinement	38
Tableau 7 : Critères d'évaluation de la compétence « réaliser » en temps de confinement..	39
Tableau 8 : Minutage prévu lors de la séance d'une heure trente.....	40

Introduction

Si l'on prend la définition stricte du dictionnaire, « *L'optique est la partie de la physique qui traite des lois de la lumière et des phénomènes de la vision.*¹ ».

Du fait du comportement et des propriétés de la lumière, elle est responsable de beaucoup d'avancées technologiques du monde actuel.

Nous retrouvons l'optique dans de nombreux domaines tels que l'astronomie, différents domaines de l'ingénierie, la photographie ou encore la médecine.

C'est ce dernier thème qui va nous intéresser tout au long de ce TER puisque de nombreux enjeux peuvent être pris en charge par l'optique dans le domaine de la médecine.

L'optique dans le domaine médical a tout d'abord apporté un certain confort aux patients, notamment par correction de la vision.

Puis il y a eu un tournant dans le monde de l'optique avec l'invention du laser en 1959, qui révolutionna totalement l'approche de celle-ci et permet à l'heure actuelle de sauver de nombreuses vies.

En tant que professeur stagiaire je suis confrontée au quotidien à de nombreuses questions de la part de mes élèves. Notamment « Mais à quoi ça sert ? », « Comment ça fonctionne ? ».

Ces questions pourtant simples cachent la complexité des réponses.

Je me dois de répondre à toutes leurs interrogations et faire en sorte qu'ils puissent avoir accès à une bonne compréhension des phénomènes étudiés.

J'ai donc soulevé la problématique suivante :

« Expliquer des techniques médicales complexes à l'aide des connaissances en optique d'un élève de lycée. »

Pour pouvoir répondre à cette problématique il me faut tout d'abord étudier l'évolution de l'optique avant 1959, qui sera une première partie de mon TER, et après 1959 qui sera la seconde partie.

¹ Définition tirée de l'Encyclopédie Larousse six volumes.

1. La vision et ses corrections de l'Antiquité à 1959

1.1. La première lentille

Le plus ancien instrument d'optique retrouvé à ce jour est la lentille de Nimrud² (également appelée lentille de Layard). Elle a été découverte par Austen Henry Layard en 1845. Elle aurait été faite entre le I^{er} millénaire av. J.-C. et le VII^{ème} siècle av. J.-C.

Elle pourrait être la plus ancienne lentille optique jamais découverte, mais son usage continue à faire débat.

Lorsqu'il rentra de son expédition Layard confia à David Brewster (physicien écossais) cette lentille pour qu'il l'examine afin de connaître son utilité. C'est une lentille plan-convexe faite en quartz, elle possède une focale d'environ 110 mm, son polissage lui est très irrégulier ce qui est normal pour l'époque.



Figure 1 : Lentille de Nimrud du British Museum

Après l'avoir examinée il en déduit qu'elle était destinée à concentrer les rayons du soleil ou bien à servir de loupe, cependant l'histoire officielle préfère retenir qu'il s'agissait simplement d'incrustations décoratives pour le mobilier ...

Bien que le rôle de cette lentille soit encore discuté nous pouvons penser que déjà à cette époque on avait conscience de l'utilité des lentilles, notamment ici pour sa capacité à grossir une image.

Des lentilles similaires furent fabriquées par les anciens Égyptiens, les Grecs et les Babyloniens, notamment destinées à allumer le feu.

L'usage des lentilles en tant que lunettes pour améliorer la vision ne semble pas avoir été beaucoup pratiqué avant le Moyen Âge. C'est donc à cette période que l'Homme s'est aperçu de l'importance de l'optique pour corriger la vision.

1.2. Les premières lunettes

C'est au Moyen Âge que les premières paires de lunettes se sont développées. Le Moyen Âge est une période historique s'étendant du v^{ème} siècle au xv^{ème} siècle. C'est tout d'abord grâce aux travaux du scientifique arabe Alhazen et notamment son ouvrage « Kitab

² Page du British Museum sur la Lentille de Nimrud : https://www.britishmuseum.org/research/collection_online/collection_object_details.aspx?objectId=369215&partId=1

al-Manazir³ » écrit entre 1015 et 1021 que les premières lunettes furent créées. En effet Alhazen a été le premier à décrire avec précision les différentes parties de l'œil et à donner une explication scientifique au processus de la vision. Son ouvrage est connu pour avoir fourni la plus ancienne preuve historique qu'une loupe grossissante et qu'une lentille convexe formaient une image agrandie. De plus il abordait également la réflexion, la réfraction et le grandissement des lentilles.

« Si un objet est observé à travers un milieu dense sphérique dont la surface courbe est tournée vers l'œil et se situe entre l'œil et le centre de la sphère, l'objet apparaît grossi »

C'est la traduction en latin du Kitab al-Manazir au XII^{ème} siècle qui contribue à l'invention des lunettes de vue au XIII^{ème} siècle en Italie.

Le Moyen Âge voit se développer dans les monastères en particulier, l'utilisation de la pierre de lecture, communément appelée loupe grossissante. Celle-ci était posée sur le texte à copier par les moines copistes afin de combattre l'effet de la presbytie ou d'éviter d'accommoder pour un objet proche.

C'est donc au XIII^{ème} siècle à Florence que la lunetterie et l'ophtalmologie se développent en Italie. Cependant on ne connaît pas l'inventeur exact des lunettes. C'est ainsi que les besicles naissent, ce sont des lunettes sans branches qui se fixent sur le nez. L'épaisseur et la courbure des verres permettent de grossir les objets et les textes. Ce sont 2 lentilles convexes rondes enchâssées dans des cercles en bois, en corne ou en cuir. Les besicles permettent ainsi la vision binoculaire mais n'améliorent que la presbytie.



Figure 2 : Besicles

1.3. Instrument optique pour la vision

A la fin du XIX^{ème} et début XX^{ème} siècle, l'apparition de la lampe à fente a entraîné une avancée dans la compréhension de l'œil. En effet cet appareil a permis de faire l'étude des différents plans de la cornée. Actuellement c'est un instrument de consultation indispensable à l'ophtalmologiste. La lampe à



Figure 3 : Examen à la lampe à fente

³ « Le Kitab al-Manazir », en français « Le Traité d'optique » est un ouvrage en sept volumes, traitant de domaines scientifiques variés, l'optique, la physique, les mathématiques, la médecine, l'anatomie et la psychologie

fente également appelée biomicroscope offre un examen complet de l'œil (cornée, iris, cristallin et rétine). Ce microscope binoculaire possède plusieurs grossissements et également une fente lumineuse qui est à une dimension et une orientation réglable. Il doit être associé à des verres de contact d'examen pour réaliser une biomicroscopie du fond de l'œil. Ainsi cette technique nous permet d'avoir une analyse précise des structures de l'œil à l'arrière du cristallin et en particulier la rétine.

1.4. Les défauts de la vision

Nous avons vu précédemment que l'Homme depuis l'Antiquité a conscience qu'il peut corriger les défauts de la vision grâce à certains matériaux comme le quartz par exemple.

Ainsi les troubles de la réfraction (également appelés amétropie), sont des troubles de la vision dus à un mauvais fonctionnement du système optique de l'Homme qui est formé par la cornée, le cristallin et la rétine.

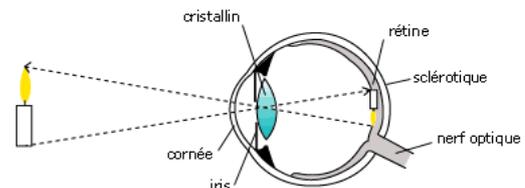


Figure 4 : Schéma de l'œil et formation d'une image

Notons que la courbure de la cornée constitue l'essentiel de la convergence de l'œil.

La cornée permet de transmettre la lumière au cristallin et à la rétine.

Le cristallin permet lui d'obtenir une image d'un objet observé. C'est un système de lentille convergente.

Quant à elle la rétine est le lieu où se forme l'image et où elle est ensuite perçue par l'Homme.

Il existe 4 types de défauts de l'œil commun : la myopie, l'hypermétropie, la presbytie et l'astigmatie.

1.4.1. La myopie

La myopie est le fait d'avoir une mauvaise vision de loin, et une bonne vision de près. Lorsque l'œil myope accommode pour une vision de loin, le point focal se trouve alors à l'intérieur de l'œil devant la rétine, et réduit ainsi l'acuité visuelle en vision de loin. Afin de permettre de voir nettement de loin, la puissance réfractive trop importante doit être corrigée à l'aide d'un « verre négatif » de manière à replacer le point focal du système verre/œil sur la rétine.

Le verre correcteur à utiliser ici est une lentille divergente.

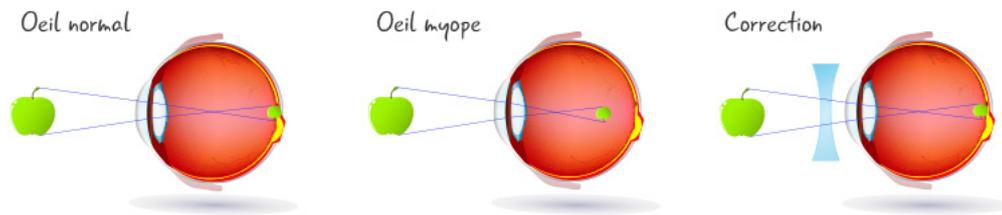


Figure 5 : Correction de la myopie

1.4.2. L'hypermétropie

D'un point de vue optique, l'hypermétropie est l'inverse de la myopie. L'hypermétrope voit mieux de loin que de près. Lorsque l'œil est au repos, il forme l'image d'un objet qui se situe à l'infini en arrière de la rétine. L'hypermétropie fait que l'œil a un système optique pas assez puissant.

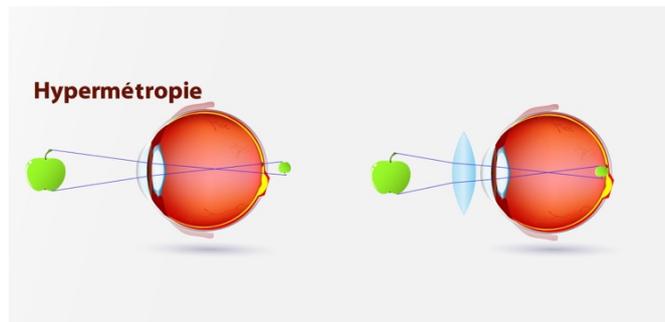


Figure 6 : Correction de l'hypermétropie

Sa vision nette se fait au prix d'une accommodation générant, à la longue, de la fatigue visuelle.

L'hypermétropie peut être corrigée grâce à des lentilles convergentes prescrites par l'ophtalmologue.

1.4.3. La presbytie

Avec l'âge (à partir de la quarantaine), le cristallin perd une partie de son élasticité et de sa capacité d'accommodation. L'œil ne parvient plus à former une image nette. La vision devient alors floue de près. Parfois une myopie peut atténuer la presbytie, mais un œil hypermétrope lui ne pourra pas voir de loin comme de près, l'hypermétropie ne permet pas de compenser la presbytie. Les verres de correction utilisés ici sont principalement des lentilles convergentes pour avoir des lunettes de type loupes ou des verres à double foyer ou progressifs.

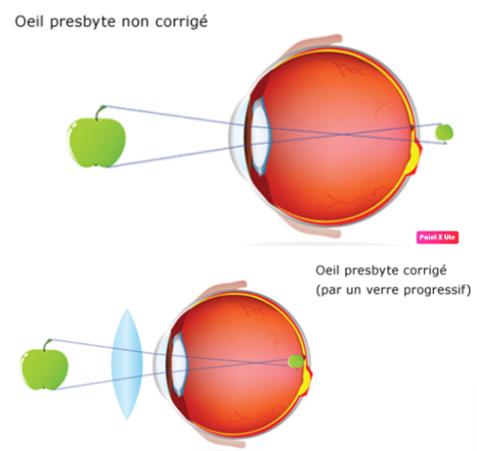


Figure 9 : Correction de la presbytie

1.4.4. L'astigmatisme

Contrairement à une personne myope ou presbyte, un astigmatisme voit généralement plus ou moins bien de loin comme de près. En effet les bords de l'image formée semblent déformés dans certains cas. Cette distorsion implique que la personne peut confondre certaines lettres ou chiffres comme le H avec le M et le 8 avec le 0.

L'astigmatisme peut être associé à une myopie ou une hypermétropie.

Cette distorsion est due à la forme de la cornée de la personne. Celle-ci se révèle être plus ovale que ronde en temps normale. L'image ne se forme alors pas sur la rétine, mais en avant ou après, et donc l'image est déformée.

Pour corriger l'astigmatisme l'ophtalmologiste utilise des verres ayant deux rayons de courbure différent suivant deux axes perpendiculaires qui permettent de compenser la différence de rayon de courbure de la surface cornéenne.

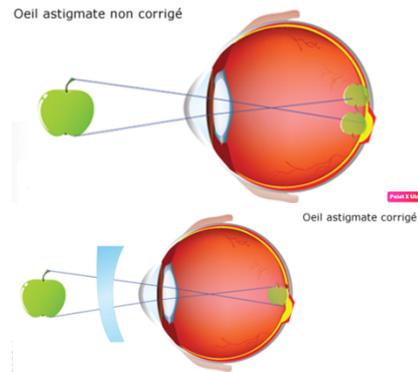


Figure 10 : Correction de l'astigmatisme

Nous venons de voir que l'utilisation de différentes lentilles est essentielle pour corriger de nombreux défauts de la vision. Notons que ces lunettes peuvent être remplacées par des lentilles de contact ou par un geste chirurgical.

Pour le bien de ses patients, la médecine est en constante recherche de nouvelles technologies ou méthodes permettant de soigner les personnes malades. Dans le domaine de la chirurgie oculaire une avancée majeure a vu le jour en 1959 : l'invention du laser.

Cette invention révolutionna entièrement la correction de la vision. Dans une deuxième partie nous allons étudier comment le laser a permis d'améliorer la vie de certains patients.

2. La vision et ses corrections de 1959 à nos jours

2.1. Les dates clés

Le laser⁴ est le descendant du maser. C'est en 1954 que Charles Townes met en œuvre un dispositif expérimental d'amplificateur appelé maser dans le domaine des micro-ondes, d'où le M de Maser.

En 1958, Charles Townes et Arthur Schawlow théorisent le principe du maser à la lumière d'où le L de Laser.

En 1960, Théodore Maiman invente le premier laser à rubis, un an plus tard le premier laser hélium-néon voit le jour.



Figure 11 : Premier laser rubis

De nombreux lasers ont été mis au point chaque année depuis la réalisation du premier laser. Le domaine de la recherche travaille actuellement au développement de lasers avec un milieu solide. Le but étant de réaliser des lasers avec des impulsions de plus en plus courtes et de plus en plus puissants.

2.2. La fabrication de la lumière laser

2.2.1. L'émission stimulée

L'émission stimulée est à la base du fonctionnement du laser.

Un atome, un ion ou une molécule excitée (l'excitation d'un système étant l'augmentation de son énergie) peut libérer son énergie par « émission spontanée » d'un photon. Il s'agit d'un électron se trouvant dans un état excité. Celui-ci ne va pas y rester longtemps. Il va revenir à un état d'énergie plus basse. Cette transition électronique s'accompagne de l'émission d'un photon, par émission spontanée. Ce phénomène est aléatoire, en effet on ne peut pas prévoir quand et comment la transition électronique se déroulera. De plus le photon émis aura une direction aléatoire et une énergie quelconque.

Pour le fonctionnement du laser, l'émission spontanée n'est pas le phénomène recherché, mais il s'agit de l'émission stimulée.

L'émission stimulée prédite en 1917 par Albert Einstein est le phénomène tel que le photon qui a la différence d'énergie $\Delta E = E_2 - E_1$ entre deux

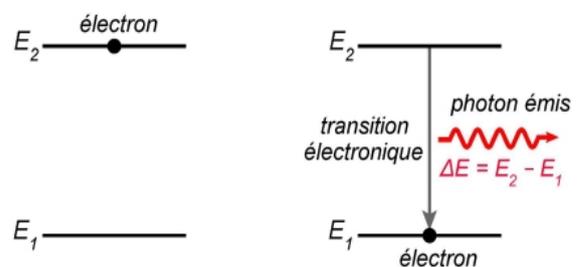


Figure 12 : Schéma simplifié représentant l'émission spontanée

⁴ LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, en français, amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement.

états E_1 et E_2 passe à proximité d'un électron dans l'état E_2 peut faciliter la transition de l'électron vers l'état inférieur. Lors de cette transition il y a alors émission d'un nouveau photon d'énergie ΔE . Le photon émis est alors une réplique du photon incident. Ayant la même énergie, ils ont la même fréquence et la même longueur d'onde. De plus ils ont également la même phase, il n'y a donc pas de décalage temporel. Ce phénomène est l'émission stimulée.

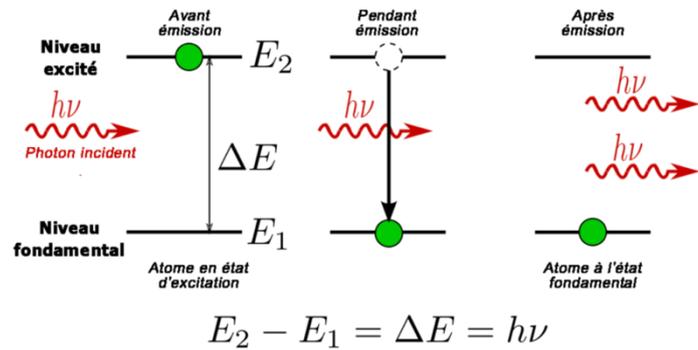


Figure 13 : Schéma simplifié représentant l'émission stimulée

L'émission stimulée agit donc comme une duplication de la lumière. En répétant de nombreuses fois ce phénomène, il est possible de créer une lumière qui est composée de photons tous identiques (même fréquence, émission dans la même direction), c'est la lumière laser.

Toutefois, pour fonctionner, le laser doit respecter certaines contraintes comme l'inversion de population.

2.2.2. L'inversion de population

En effet, dans la matière, les atomes, les ions ou les molécules sont beaucoup plus nombreux dans un état non excité (état fondamentale) que dans un état excité. Un photon incident a ainsi une probabilité plus grande d'être absorbé que d'engendrer un photon par émission stimulée. Le problème est donc qu'il n'y a pas d'émission stimulée en quantité suffisante. Pour produire de la lumière laser, il faut trouver un moyen de renverser la tendance et d'obtenir un milieu contenant plus de particules excitées que de particules au repos. Ce processus est appelé inversion de population. C'est-à-dire qu'il faut amener suffisamment d'électrons dans l'état excité voulu.

Pour cela il existe plusieurs méthodes. Il y a par exemple la méthode de photoluminescence, les décharges électriques, le pompage optique, etc.

En ce qui concerne les décharges électriques, il s'agit d'établir une circulation forcée d'électrons au sein de notre système. Il en résulte des chocs entre ces électrons et ceux du matériau amenant ces derniers dans des états excités.

Le pompage optique lui, a été mis au point par le physicien français Alfred Kastler en 1949. Cette méthode consiste en une décharge de photons (flash par exemple) qui permet de

transférer de l'énergie lumineuse à des atomes, ainsi les électrons vont passer sur des états excités par absorption. C'est le principe du fonctionnement du premier laser.

En effet celui-ci, éclairé par de la lumière blanche (qui a une fréquence plus grande que la fréquence émise) absorbe une partie des couleurs et émet de la lumière rouge de manière stimulée ou non.

Mais l'inversion de population ne permet pas directement aux électrons d'être au niveau E_2 .

En ce qui concerne le laser à rubis, après le pompage optique, les électrons excités vont se désexciter par des transitions non radiatives (vibrations du cristal) pour transiter

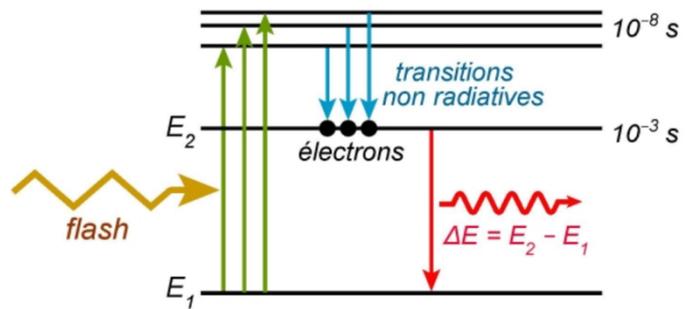


Figure 14 : Schéma du pompage optique pour le laser à rubis

sur l'état E_2 voulu. Ils peuvent y rester un temps plus long ($10^{-3}s$). Le laser à rubis à une structure à trois niveaux, il existe également des laser à quatre niveaux.

Il faut savoir qu'un système à deux niveaux ne permet pas le fonctionnement correct d'un laser.

Notons qu'il est courant que des lasers utilisent deux atomes différents. Prenons pour exemple le laser He/Ne. Celui-ci possède quatre niveaux où He permet l'inversion de population, et une transition de Ne assure l'émission laser.

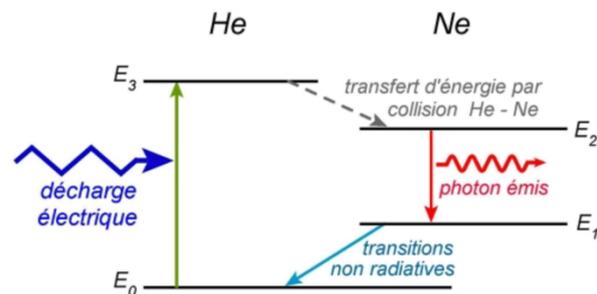


Figure 15 : Schéma simplifié de fonctionnement du laser He/Ne

2.2.3. L'oscillateur laser

Pour fabriquer la lumière laser, il faut une source d'énergie et un oscillateur laser. L'oscillateur est un cylindre allongé avec un miroir à chacune de ses extrémités. Il est rempli du milieu laser, matériau solide, liquide ou gazeux contenant des particules capables d'émettre des photons. Par exemple, le rubis est un milieu laser solide dont les atomes excitables sont ceux du chrome. La fonction première de cet oscillateur est de

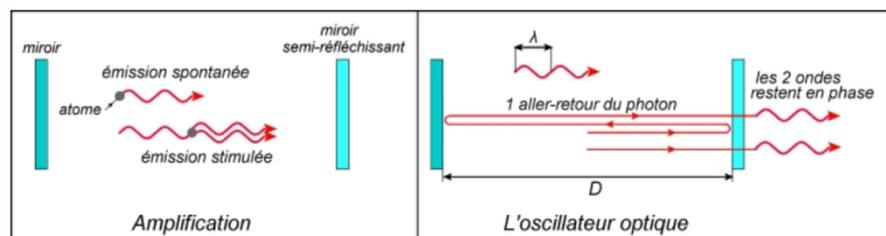


Figure 16 : Modélisation des émissions dans l'oscillateur laser

confiner l'onde à l'intérieur de la cavité et d'augmenter sa longueur de parcours dans le milieu amplificateur afin d'obtenir des niveaux d'amplifications considérables. Pour comprendre le rôle de l'oscillateur laser, il faut imaginer un photon émis de manière spontanée.

En rencontrant une particule excitée, il va stimuler l'émission d'un deuxième photon. Les deux photons identiques peuvent à leur tour stimuler d'autres émissions de photons et ainsi de suite, jusqu'à ce que le groupe de photons rencontre le miroir. Ces photons seront renvoyés dans le sens inverse de leur trajectoire initiale. Ils continueront ensuite à provoquer des émissions stimulées. A chaque passage dans cette cavité, la lumière laser est amplifiée. Pour que l'amplification soit efficace il faut que les ondes des photons restent en phase après les aller-retours dans la cavité. Ce phénomène donnera la cohérence de la lumière.

Afin que le faisceau puisse sortir de la cavité, le miroir de sortie est partiellement transparent.

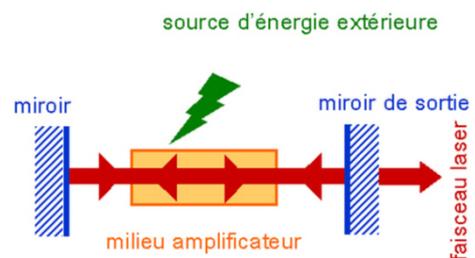


Figure 17 : Modélisation du fonctionnement d'un laser

Pour qu'un oscillateur produise de la lumière laser en continu, il faut que la source d'énergie, de type lumineuse, électrique ou chimique, soit elle-même continue. Après une rapide phase de mise en route, la lumière garde une puissance constante. Il faut savoir qu'il existe des cavités laser capables d'émettre la lumière laser de manière discontinue, par impulsions brèves et intenses. Ces lasers sont dits impulsionsnel.

2.2.4. Les amplificateurs laser

Quelque fois la lumière laser produite par un oscillateur peut être utilisée telle qu'elle. Mais dans de nombreux cas où il est nécessaire d'avoir une plus grande puissance, il faut amplifier la puissance de la lumière laser émise par l'oscillateur par une série d'amplificateur.

Le principe de fonctionnement d'un amplificateur est le même que celui de l'oscillateur.

Afin d'obtenir la puissance recherchée, plusieurs amplificateurs peuvent être placés sur la trajectoire du faisceau laser. La série constituée de l'oscillateur, des amplificateurs et des autres composants optiques constitue une chaîne laser.

2.2.5. Le filtrage spatial

La cavité du laser en elle-même est composée de plusieurs filtres. En effet si la zone de gain est petite, celle-ci occasionne un filtrage dû à cette dimension réduite de la zone de gain. Notamment un filtre spatial. Il est nécessaire qu'il y ait dans le laser en lui-même des filtres

spatiaux. Ils sont conçus pour « nettoyer » le faisceau. En effet notre laser ne produira pas un faisceau avec un profil d'intensité régulière. Le but étant de produire un faisceau monomode limité par la diffraction (allure de type Gaussienne). Pour cela on utilise un filtre spatial qui a pour but de retirer les pics d'énergie d'ordre multiples. Ce filtre laissera passer le maximum central du motif de diffraction en isolant les pics d'énergies d'ordre multiples. Lorsqu'un faisceau laser passe à travers un système (comme de la poussière dans l'air), cela peut créer une diffusion de la lumière. Celle-ci peut laisser des motifs non souhaités dans le profil du faisceau. Ainsi le filtre spatial retire ce bruit spatial additionnel du système.

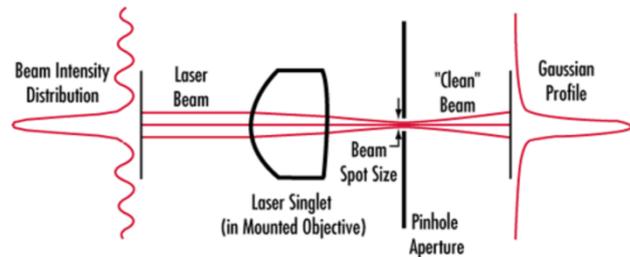


Figure 18 : Rôle du filtre spatial

2.2.6. Le filtrage spectral

La cavité d'un laser se trouve également être un filtre spectral (celle-ci participe également au filtrage spatial). Il sélectionne uniquement les rayons lumineux qui sont très proches de l'axe central de la cavité du laser. Les autres rayons lumineux qui se trouvent être loin de l'axe central sont perdus à cause de l'éloignement progressif de l'axe et de la dimension finie des miroirs.

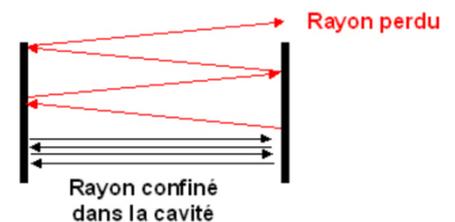


Figure 19 : Comportement d'un rayon incliné par rapport à l'axe dans une cavité linéaire

Pour résumer plus généralement le principe du laser se base sur l'émission stimulée de photons. Une cavité est constituée d'une boucle de rétroaction composée d'un milieu amplificateur et de filtres tels que les filtres spatiaux, spectraux et temporels.

2.3. Les propriétés des lasers

2.3.1. La couleur d'un laser

La couleur du laser est définie par le choix du milieu amplificateur. Il existe des lasers de toutes les couleurs : rouge, bleu, vert, etc. Il existe également des lasers constitués de lumière imperceptible par l'œil humain, il s'agit des ondes infrarouges ou ultraviolettes. Les lasers les plus communs ne peuvent émettre que sur une seule longueur d'onde (en réalité il s'agit d'une plage de longueur d'onde tellement faible que nous l'assimilons à une seule longueur d'onde). Néanmoins l'utilisation de cristaux qui possèdent des propriétés optiques non linéaires permet de convertir la longueur d'onde du laser afin d'obtenir plusieurs faisceaux de longueurs d'onde.

Il existe des lasers accordables, on peut faire varier continument leur longueur d'onde sur une certaine plage. Leur milieu laser a longtemps été un liquide contenant des molécules de colorant qui, une fois excitées, ont la particularité d'émettre sur un grand intervalle de longueurs d'onde.

Grâce à l'émission stimulée, les photons produits par le laser sont identiques. Ils ont donc tous la même fréquence, ce qui fait que la lumière du laser est monochromatique. Rigoureusement, il existe une largeur spectral existante, celle-ci est très fine.

2.3.2. La puissance d'un laser

La puissance se définit comme étant la quantité d'énergie émise par unité de temps. Un laser délivrant un joule pendant une seconde aura une puissance d'un watt. La puissance lumineuse émise est concentrée au niveau du spot laser. Il y a concentration spatiale de l'énergie. Du point de vue sécurité, il convient de manipuler un laser avec précaution car le faisceau peut occasionner des dommages oculaires.

Dans le cas des lasers continus, l'étendue des puissances de sortie va classiquement de 1 mW pour des petites diodes laser, à 50 kW pour les lasers utilisés pour les soudures. Le plus gros laser industriel d'Europe est un laser CO₂ dont la puissance continue est de 45 kW (celui-ci est dédié au domaine de la soudure).

Dans le cas de lasers impulsionnels, ils émettent par « pulses », c'est-à-dire par émissions très brèves de photons. Il convient de distinguer :

- La puissance moyenne délivrée. Celle-ci, tient compte des intervalles de temps entre chaque impulsion,
- la puissance de crête, qui est la puissance atteinte lors d'une l'impulsion.

Un laser d'un watt délivrant sa lumière de façon continue aura une puissance d'un watt. Mais s'il concentre une énergie d'un joule en une seule décharge lumineuse d'une milliseconde, alors sa puissance de crête va être multipliée par mille et atteindra un kilowatt.

C'est ainsi qu'en délivrant leur énergie sur des temps très courts, certains lasers peuvent atteindre des puissances de crête très élevées (jusqu'à 10 petawatts), on a une concentration temporelle de l'énergie.

Quant au laser industriel dédié à la soudure, de puissance moyenne de 1 kW, dispose d'une puissance de crête de 25 kW.

2.3.3. Le flux d'un laser

Le flux, est la puissance par unité de surface, qui s'exprime en nombre de watts par centimètre carré (W/cm^2). Le diamètre des faisceaux de lumière émis par les lasers (plusieurs dizaines de mm pour les lasers industriels) est souvent trop grand et leur flux trop faible pour une utilisation directe efficace. Afin d'augmenter leur intensité il faut focaliser les faisceaux. La focalisation dans certains lasers est obtenue par des systèmes optiques à lentilles. D'autres systèmes utilisent eux des dispositifs composés de miroirs.

Un laser de 20 W focalisé sur quelques micromètres produit un flux de l'ordre du milliard de W/cm^2 . Avec un laser impulsionnel de quelques mJ, on atteint très facilement les centaines de milliards de W/cm^2 . La focalisation est alors obtenue par des systèmes optiques plus ou moins complexes, constitués de lentilles et de miroirs, qui sont adaptés aux longueurs d'onde et aux fortes énergies utilisées. La focalisation est, par exemple, indispensable pour les opérations industrielles de perçage, soudage et découpage. Elle est aussi pour les lasers utilisés en chirurgie, domaine où l'erreur n'est pas permise car elle serait irrémédiable.

2.3.4. La cohérence d'un laser

La cohérence d'un laser provient des propriétés d'uni-directionnalité et de monophasage. C'est-à-dire toutes les ondes ont leurs « bosses » ou leurs « creux » aux mêmes endroits, on dit que les ondes sont en phase. C'est la cohérence qui permet à la lumière laser d'être fortement concentrée, dans le temps et dans l'espace. La cohérence est une propriété très importante du faisceau laser.

Il en découle de cette propriété le transfert et le transport d'informations (la lecture des disques optiques ou les liaisons internet par faisceaux laser dans des fibres optiques). Il y a propagation des ondes lumineuses qui composent la lumière laser. Elle se propagent toutes dans la même direction, de manière parfaitement rectiligne.

Notons qu'un faisceau laser est très peu divergent, ce qui le rend visible sur de grandes distances. C'est pour cette raison que le laser est utilisé lors de travaux publics dans le domaine du BTP (exemple : l'alignement des tracés de routes).

Plus généralement le laser c'est avant tout une source lumineuse concentrée et ordonnée. Il consiste à amplifier et à filtrer la lumière pour atteindre des caractéristiques ultimes de directivité de monochromaticité et de durée. Les supports amplificateurs peuvent être solides, liquides ou gazeux c'est ainsi que des cristaux synthétiques peuvent être créés afin d'obtenir la longueur d'onde voulue.

Le laser a des propriétés tellement spécifiques qu'il permet une très grande concentration spatiale de l'énergie. De ce fait il est utilisé dans de nombreux domaines tel que le nettoyage de surface, la découpe, le soudage, etc. Ses qualités spectrales et temporelles conduisent à des utilisations dans le domaine de la télécommunication, les lecteurs de code barre et CD/DVD Blu-ray, la cryptographie, mesure de vitesse, de débit, de distance, de polluant, la chirurgie oculaire et bien d'autres domaines.

2.4. Intérêt de l'application du laser au domaine biomédical

Avec l'invention du laser le domaine médical a été bouleversé. Grâce aux lasers le dermatologue peut à présent faire disparaître des cicatrices, vergetures, acnés et également brûler des tâches de l'épiderme ou diminuer la pilosité. Cela a permis d'apporter un certain confort aux patients.

Le laser a également permis de traiter certains cancers.

Dans le cadre du TER nous allons nous intéresser à ce qu'a apporté le laser dans le domaine de la vision.

Grâce aux lasers nous pouvons à présent corriger certains problèmes de vision par le biais d'une intervention de chirurgie réfractive par usinage laser. Il permet de corriger les troubles visuels (myopie, presbytie, astigmatisme, hypermétropie) par modification des rayons de courbure de la cornée.

Le changement de rayon de courbure induit un changement de pouvoir dioptrique total de l'œil, et ainsi corrige le trouble visuel.

C'est par photoablation de la cornée que grâce au laser on réalise un aplatissement pour les traitements myopiques et une augmentation de la courbure pour les traitements hypermétropiques.

2.5. Différents lasers pour différentes chirurgies

Les lasers sont utilisés dans le traitement de nombreuses affections oculaires.

Le laser femto-secondes⁵ et excimer (femto-Lasik) sont utilisés en chirurgie réfractive cornéenne. C'est un nouvel outil chirurgical destiné aux coupes et découpes de la cornée. Ils permettent la correction de la quasi-totalité des amétropies. Selon le degré d'amétropie le chirurgien utilisera la méthode appropriée. La caractéristique de cet appareil est de travailler avec des impulsions extrêmement brèves, de l'ordre de la femto-seconde, d'où son nom.

Cette faible durée d'impulsion permet d'éviter les effets thermiques.

Le femto-laser est un laser solide qui fonctionne dans l'infrarouge (environ 1053 nm). Il permet une découpe améliorée du capot cornéen pratiquée dans la technique du lasik. Il y a une forte puissance de crête lorsqu'il y a l'impact, grâce à la faible durée de l'impulsion.

Grâce aux propriétés du laser, il va permettre une découpe très régulière du capot cornéen en réalisant une ligne nette à la profondeur désirée par le chirurgien.

Nous pouvons actuellement réaliser un LASIK sur des cornées greffées afin de faire disparaître une myopie ou un astigmatisme résiduel. Il s'agit d'une technique assez délicate. En effet la découpe du volet cornéen peut se faire au laser femto-seconde, puis une ablation de couches cornéennes sera faite grâce au laser excimer.

L'opération consiste à aplatir la cornée en prélevant quelques microns de son épaisseur sur la partie centrale (myopie) ou sur une couronne extérieure hypermétropie.

Cette technique est utilisable si la personne a une myopie, un astigmatisme ou de l'hypermétropie.

Notons qu'avant toute chirurgie, le chirurgien questionne le patient sur ses motivations et de nombreux tests sont effectués afin de savoir si le patient peut être candidat pour une chirurgie réfractive.

En effet on ne réalise pas cette opération chez les personnes trop jeunes car il faut que la myopie soit stable depuis au moins un an et en ce qui concerne le laser excimer, il s'adresse aux myopies faibles ou moyennes, entre -1 à -6 dioptries. Contrairement au Lasik qui lui s'adresse aux myopies plus fortes entre -4 et -10 dioptries, mais actuellement la limite inférieure diminue, et certains chirurgiens débutent dès -1 dioptrie.

Il y a les nouveaux lasers argon multi-spots qui eux réduisent les douleurs des photocoagulations panrétiniennes (PPR) ou sectorielles. C'est le traitement spécifique de la rétinopathie diabétique proliférante. Elle consiste en une coagulation étendue de toute la rétine périphérique. La PPR permet d'obtenir la régression de la néovascularisation pré-rétinienne

⁵ La lumière est émise sous forme de flashes toutes les femto-secondes.

dans près de 90% des cas et de réduire considérablement le risque de cécité lié à la rétinopathie diabétique proliférante.

Le laser SLT (sélectif) traite le glaucome chronique. Il consiste à réaliser des impacts dans l'angle entre l'iris et la cornée plus précisément le trabéculum⁶. Il a pour effet d'élargir les mailles du trabéculum lui permettant d'être plus perméable à l'humeur aqueuse et donc de réduire la tension oculaire responsable des glaucomes.

Le laser Yag traite les cataractes secondaires⁷. Il s'agit d'une opacification de l'enveloppe laissée en place lors d'une chirurgie de la cataracte afin d'y positionner l'implant. Cet opacification entraîne à long terme une baisse de la vision. Afin d'y remédier, il faut ouvrir la capsule postérieure du cristallin grâce au laser Yag.

Il existe également dans un autre domaine de chirurgie le laser rouge qui permet la thérapie photo-dynamique ou TDP. Certaines personnes atteintes d'un cancer de la peau autre que le mélanome reçoivent une TDP. Le but étant d'avoir recours à des photo-sensibilisant pour détruire les cellules cancéreuses.

Après avoir réalisé ces recherches documentaires, dans le cadre du travail encadré de recherche, je vais maintenant présenter la mise en œuvre didactique en classe.

⁶ Le trabéculum est une des structures de l'angle irido-cornéen permettant la filtration de l'humeur aqueuse.

⁷ Opacifications capsulaires postérieures

3. Mise en œuvre didactique en classe

3.1. Le contexte d'enseignement

Je suis actuellement professeur stagiaire dans la cité scolaire d'Arsonval à Brive-la-Gaillarde pour l'année scolaire 2019-2020. Elle compte environ 1600 élèves dont 1100 au lycée et 500 au collège.

La cité scolaire propose également deux dispositifs spéciaux : une classe ULIS⁸ et une classe accueil d'EHP⁹.

Les élèves ont la possibilité de continuer leurs études post-baccalauréat à d'Arsonval puisqu'il y a une classe préparatoire aux études supérieures en approfondissement en arts plastiques.

Dans le cadre de mon stage, j'ai pris en charge deux classes de seconde générale et technologique. Ces deux classes sont composées de 35 élèves.

Je vais maintenant vous présenter l'activité qui a été réalisée dans un contexte exceptionnel avec les deux classes de seconde que j'ai sous ma responsabilité.

3.2. Présentation de la séance pédagogique

3.2.1. Progression et programme officiel

Dans le cadre du programme officiel de seconde, les élèves doivent étudier un thème appelé « Vision et image » (voir annexe 1). Ce thème me permet de faire un lien avec mes travaux de recherches. Ainsi la séance que j'ai décidé de créer va se baser sur ce thème.

De plus le but de cette activité est de faire en sorte de regrouper de nombreux thèmes, ainsi les élèves font appel à toutes leurs connaissances et compétences acquises sur une longue période de l'année scolaire. Cela permet de créer un lien entre les différents thèmes abordés en classe et de spiraler l'enseignement. Revoir certaines notions dans un autre contexte est bénéfique pour les élèves et permet de réinvestir leurs capacités.

L'activité que je leur propose fait appel aux thèmes suivants :

- Ondes et signaux (voir annexe 2)
- Signaux et capteurs (voir annexe 3)

⁸ ULIS :Unité localisée pour l'inclusion scolaire

⁹ EHP : Élèves à haut potentiel

- Mesure et incertitudes (voir annexe 4)

3.2.2. Prérequis

Au vu des nombreux thèmes présents dans l'activité il faut de nombreux prérequis aux élèves pour la réaliser.

Celle-ci doit être réalisée en fin d'année pour que les trois thèmes en question aient été vus en classe.

En accord avec les programmes ils doivent avoir les notions suivantes :

Thème « Vision et image » :

- Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air.
- Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.

Thème « Ondes et signaux » :

- Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air.

Thème « Signaux et capteurs » :

- Savoir qu'un voltmètre se branche en dérivation.

Thème « Mesurer et incertitudes » :

- Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
- Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

3.2.3. Objectifs disciplinaires et transdisciplinaires

Les objectifs disciplinaires sont nombreux. Cette activité a été créée de manière à spiraler les connaissances. Celle-ci permet de réunir quatre thèmes du programme de seconde.

L'objectif est de faire en sorte de revoir certaines notions dans un contexte différent. Cela sera bénéfique pour les élèves et permettra de réinvestir leurs différentes compétences.

Il était initialement prévu que l'activité décrite ci-après, soit réalisée durant une séance en demi-classe d'une durée d'une heure trente.

Malheureusement cette séance n'a pas eu lieu car elle était prévue le 23 mars 2020. Or la pandémie qui sévit dans le monde depuis le mois de janvier 2020 a entraîné la fermeture des écoles en France le 16 mars.

Donc l'activité n'a pas pu être menée dans les conditions classiques d'apprentissage.

Néanmoins, nous nous devons d'assurer une continuité pédagogique avec nos élèves et l'activité en question se révèle être plutôt rassurante pour eux.

En effet, celle-ci permet de réinvestir de nombreuses connaissances. Donc cela a eu pour but de réduire l'appréhension des élèves avec ce nouveau type d'enseignement.

De plus, les élèves auront accès à toutes les ressources possibles chez eux pour la réalisation de l'activité (cours, activités et exercices réalisés depuis le début de l'année, manuel scolaire, accès à internet, etc.).

L'activité permettra de rassurer les élèves car aucune notion n'est nouvelle. Ils auront une semaine pour réaliser l'activité, ce qui leur laisse du temps pour s'adapter à la situation, s'organiser pour le mieux, changer de méthode de travail et me contacter s'ils ont des questions, des interrogations et besoin d'aide pour le travail demandé.

Celle-ci me servira également de « test » durant cette période.

Elle me permettra de sonder si les élèves ont la possibilité de travailler facilement (accès internet, accès à un ordinateur, etc.) car j'attends d'eux qu'ils me transmettent leur activité une fois réalisée.

Il s'agit donc de la première activité que j'ai donnée aux élèves pendant la période de confinement.

3.2.4. Présentation de l'activité

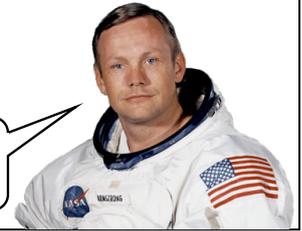
L'activité proposée aux élèves est composée de deux pages.

Ci-après voici l'activité distribuée aux élèves :

Contexte : A l'heure d'aujourd'hui on arrive à mesurer avec énormément de précision de grandes distances comme la distance Terre-Lune. On arrive également à mesurer de très petites distances telles que l'épaisseur de notre rétine. Quelles soient petites ou grandes la précision des mesures de ces distances est très importante.

But : Étudier comment sont mesurées de grandes et petites distances avec un maximum de précision.

Mais alors, comment être aussi précis ?



Document 1 : La distance Terre-Lune

Au cours des missions Apollo en 1969, les astronautes ont déployé un réflecteur laser (un panneau composé de miroirs) sur la mer de Tranquillité (vaste plaine sur la face de la Lune tournée vers la Terre). Des observatoires comme celui de McDonald situé au Texas envoient des faisceaux laser dans leur direction, puis mesurent la durée de l'aller-retour. On en déduit aujourd'hui avec une précision inférieure au millimètre près la distance moyenne Terre-Lune : 384 400 km.

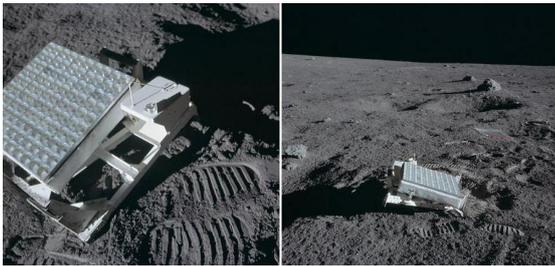


Figure 1 : Réflecteur sur la Lune

Document 2 : L'OCT

L'imagerie des tissus biologiques, en particulier de l'œil humain, a été le travail de beaucoup de groupes de recherche dans le monde. Celle-ci permet la détection de cancer, de glaucome, l'évaluation de la dégénérescence maculaire liée à l'âge, l'imagerie d'artères coronaires, etc.

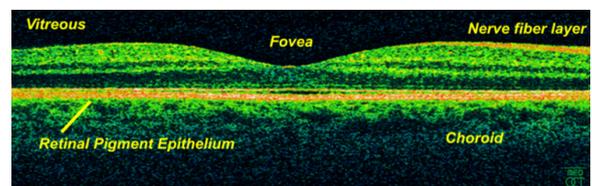


Figure 2 : Machines permettant de réaliser une OCT

La tomographie en cohérence optique (OCT) est une technique permettant d'obtenir des images en profondeur de matériaux opaques ou transparents avec une résolution (en dessous de 10 μ m) bien meilleure que les autres techniques d'imagerie médicale conventionnelles (IRM, échographie...).

L'OCT est à ranger parmi les techniques utilisant le phénomène d'écho (comme l'échographie par ultrasons), c'est l'équivalent d'une « *échographie optique* » ou d'un « *radar optique* » qui image de la lumière réfléchie provenant du matériau.

Plutôt que des sons ou des radiofréquences, l'utilisation d'une source lumineuse permet d'augmenter la résolution des mesures. Les sources lumineuses utilisées sont des lasers avec une faible puissance, ils sont donc sans danger pour l'œil et ne provoquent pas de dégâts sur l'échantillon analysé.



Scan OCT d'une rétine avec une lumière à 800 nm avec une résolution axiale de 3 μ m

Remarque : L'OCT a aussi été utilisé pour de nombreux cas de restauration-conservation d'objets d'arts, où sont analysées différentes couches de peintures sur toile.

Figure 20 : 1ère page de l'activité

A l'aide des documents 1 et 2 et de vos connaissances, répondez aux questions suivantes :

- 1) **Schématiser** l'expérience qui a permis de mesurer la distance Terre-Lune.
- 2) Quelle est la vitesse de la lumière ?
- 3) **Calculer** le temps qu'a mis un faisceau laser à faire l'aller-retour entre la Terre et la Lune.
- 4) Est-ce que la précision de la mesure de la distance Terre-Lune est en accord avec le résultat donné ?
- 5) **Expliquer** le terme « *échographie optique* » ou « *radar optique* » (vous pouvez utiliser l'expérience de la communauté spatiale pour faire l'analogie des deux mesures).
- 6) Quelle est la couleur émise par le laser utilisé pour réaliser l'image de la rétine ? (document 2)
- 7) La couleur du laser a-t-elle une importance lorsqu'on réalise le scan OCT d'une rétine ?
- 8) Qu'apporte l'optique par rapport à l'acoustique et les radiofréquences ?

Partie expérimentale : Reproduction du principe de l'échographie

- 9) **Associer** pour chaque composant de l'OCT son équivalent expérimental.

Une diode laser •	• Un obstacle (plaque en carton)
Un échantillon (rétine) •	• Un récepteur à ultrasons
Une photodiode •	• Un GBF (Générateur de basses fréquences) associé à un émetteur à ultrasons

- 10) A l'aide de la liste de matériel ci-dessous, **schématiser** l'expérience à réaliser afin de mesurer une distance.

Liste de matériel : Un GBF, un émetteur à ultrasons, un récepteur à ultrasons, une plaque en carton, un oscilloscope, des fils de connexion.

Information : L'oscilloscope permet de visualiser l'onde envoyée par l'émetteur à ultrasons et l'onde reçue par le récepteur à ultrasons. Ainsi on observe un décalage des deux ondes puisqu'il y a un temps de propagation. Ce décalage est égal au temps de propagation. L'oscilloscope mesure en réalité une tension, il se branche donc comme un voltmètre.



Appel au professeur n°1

- 11) Comment se branche l'oscilloscope ?
- 12) **Réaliser** le montage que vous avez schématisé.



Appel au professeur n°2

- 13) Grâce au montage réalisé **mesurer** une distance quelconque puis **vérifier** à l'aide d'un décimètre si le résultat est cohérent.
- 14) **Conclure** sur la précision de vos résultats.

Figure 21 : 2ème page de l'activité

L'activité qui est distribuée aux élèves se compose de deux pages et est découpée en trois parties : Le contexte, les documents, et les questions.

Sur la première page se trouvent le contexte et les documents, sur la deuxième page se trouvent toutes les questions.

Le contexte va permettre de faire un lien entre les notions qui vont être abordées et la vie de l'élève. Lier l'activité avec leurs expériences personnelles a pour but de créer une envie de répondre à une question qu'ils peuvent se poser dans la vie quotidienne.

Deux documents sont mis à la disposition des élèves pour qu'ils réalisent l'activité.

Le document 1 parle de la distance Terre-Lune et du dispositif mis en place afin de mesurer cette distance.

Le document 2 donne de nombreuses informations sur la tomographie en cohérence optique (OCT).

Quelques illustrations et photographies ont été ajoutées afin de rendre plus attractif le visuel de l'activité.

Grâce à leurs connaissances et à ces deux documents les élèves ont les informations nécessaires pour répondre aux questions et réaliser l'expérience demandée.

L'activité comporte 14 questions et 2 appels au professeur. Les 2 appels au professeur se trouvent dans la partie expérimentale de l'activité, ils sont nécessaires pour que l'enseignant vérifie si l'élève réalise le bon dispositif expérimental. L'enseignant va pouvoir par la même occasion évaluer certaines compétences.

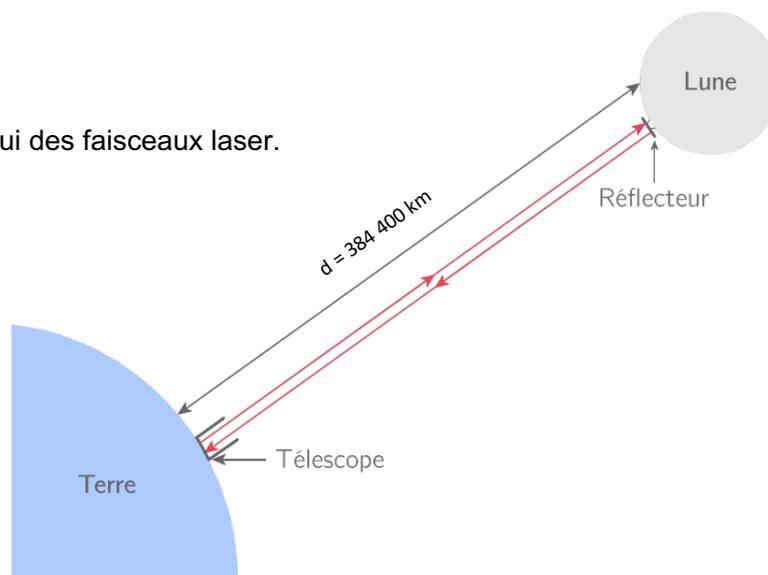
Après la réalisation de l'activité une correction est distribuée. Celle-ci comprend les 11 questions que les élèves peuvent réaliser seuls chez eux. En effet, je n'ai pas eu le temps de tester l'expérience avant cette période de confinement, donc aucune photo du montage n'a été prise et je ne dispose d'aucune mesure pour réaliser une correction de l'activité complète (jusqu'à la question 14).

Ci-après voici la correction qui sera distribuée aux élèves :

Correction de l'activité : La lumière, des mesures ... de la précision ?

1)

Le trajet **en rouge** est celui des faisceaux laser.



2) La vitesse de la lumière est d'environ 300 000 000 m/s soit $3,00 \times 10^8$ m/s.

3) On connaît la relation suivante : $v = \frac{d}{t}$

On cherche le temps qu'a mis un faisceau laser à faire l'aller-retour entre la Terre et la Lune, donc la relation à utiliser est celle-ci : $t = \frac{d}{v}$

Avec $v = 3,00 \times 10^8$ et $d = 384400 \times 10^3$

$$\text{AN.: } t = \frac{384400 \times 10^3}{3,00 \times 10^8} = 1,28 \text{ s}$$

1,28 s est le temps que met un faisceau laser pour faire un aller, donc pour faire un aller-retour Terre/Lune il faut le double de temps. Soit $1,28 \times 2 = 2,56$ s

Il faut **2,56 s** à un faisceau laser pour parcourir un aller-retour Terre-Lune.

4) Le document 1 donne une information importante sur la précision de la mesure de la distance moyenne Terre-Lune.

En effet cette précision serait inférieure au millimètre près.

Or la distance donnée dans le document 1 est de 384 400 km.

Donc le résultat n'est pas donné avec toute la précision que l'on a.

Pour conclure la précision de la mesure de la distance Terre-Lune n'est pas en accord avec le résultat donné.

1

Figure 22 : 1ère page de la correction

5) Le terme échographie optique est utilisé dans le document car il s'agit du phénomène d'écho mais avec l'optique.

Il s'agit d'un faisceau laser qui va se réfléchir au contact de la rétine. Donc il y a un phénomène d'écho car l'onde lumineuse est réfléchi.

6) En dessous du scan OCT dans le document 2 se trouve beaucoup d'informations. Notamment celle de la longueur d'onde du laser utilisé. Celui-ci a une longueur d'onde de 800 nm. Cette longueur d'onde correspond au rouge. La couleur émise par le laser est donc le rouge.

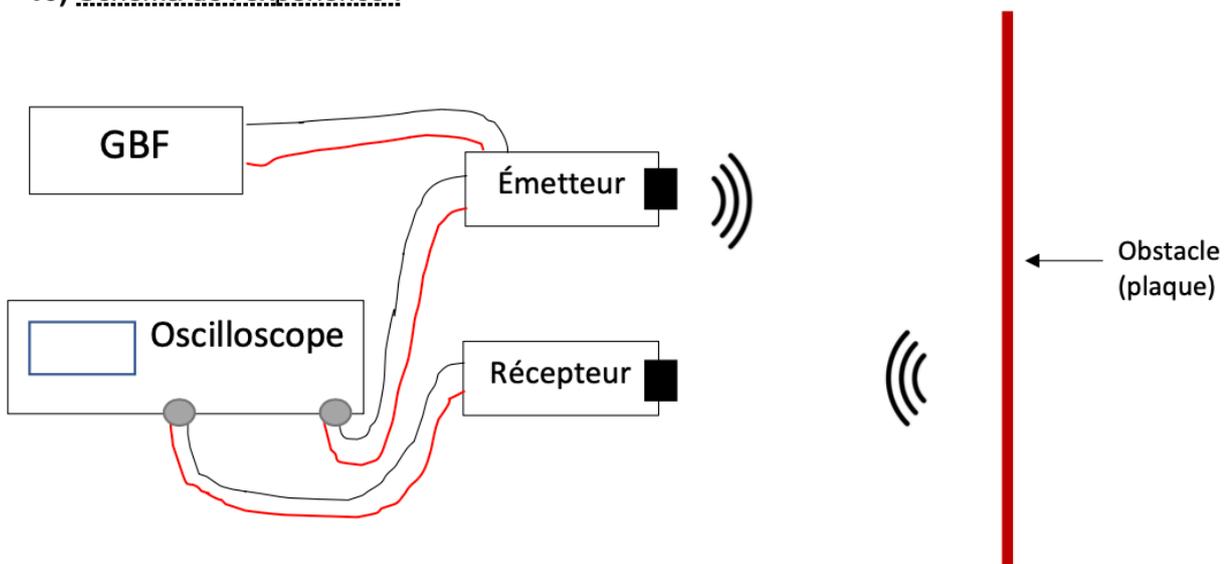
7) La couleur du laser a une importance. Puisque chaque couleur est liée à une longueur d'onde elle-même reliée à une certaine puissance. Or la puissance du laser utilisé a beaucoup d'importance puisqu'il ne faut pas abimer l'échantillon analysé.

8) L'optique par rapport aux radiofréquences permet d'augmenter la résolution des mesures.

9)

Une diode laser	•	Un obstacle (plaque en carton)
Un échantillon (rétine)	•	Un récepteur à ultrasons
Une photodiode	•	Un GBF (Générateur de basses fréquences) associé à un émetteur à ultrasons

10) Schéma de l'expérience :



11) L'oscilloscope se branche de la même manière qu'un voltmètre donc en dérivation.

Figure 23 : 2ème page de la correction

3.2.5. Compétences mobilisées

Afin d'évaluer la progression des élèves, j'ai recours à une évaluation par compétence.

En effet, celle-ci va me permettre de voir le niveau de maîtrise des compétences pour chaque élève. Cela me permet ensuite de proposer des exercices et des activités différenciées pour que les élèves progressent plus facilement.

De plus, le contexte de réalisation de l'activité est grandement favorable à ce type d'évaluation. En effet, pendant la période de confinement, les élèves doivent travailler chez eux. Certains ont la chance d'avoir un parent, un frère ou une sœur plus âgé pour les accompagner dans la réalisation des devoirs. Mais d'autres élèves se retrouvent seuls.

Nous devons continuer d'évaluer nos élèves mais la note basique qui attribue des points pour chaque question n'a pas de sens dans ce contexte, aucune note basique n'a lieu d'être durant cette période de confinement.

C'est pourquoi, l'évaluation par compétence permet de continuer d'observer l'évolution des élèves afin de les accompagner au mieux dans leur progression.

Je vais maintenant vous proposer les compétences évaluées pour chaque question de l'activité.

C'est une activité qui comporte de nombreuses questions, c'est pourquoi beaucoup de compétences sont mobilisées.

Les six compétences de physique-chimie au lycée sont représentées dans cette activité : approprier (**APP**), analyser (**ANA**), réaliser (**REA**), valider (**VAL**), communiquer (**COM**) et restitution de connaissances (**RCO**).

Tableau 1 : Récapitulatif des compétences mobilisées pour chaque question

Activité : La lumière, des mesures ... de la précision ?	
Questions	Compétences mobilisées
1	REA
2	RCO
3	ANA
4	VAL
5	COM
6	APP / RCO
7	ANA
8	APP
9	ANA
10	REA
11	APP / RCO
12	REA
13	VAL
14	VAL

Bien que les six compétences du lycée soient représentées je fais le choix d'en évaluer trois.

En effet, depuis le début de l'année scolaire je réalise des évaluations par compétence avec les élèves. Afin de les évaluer au mieux j'ai décidé de me concentrer sur 3 compétences au maximum par activité.

Concernant la compétence **REA**, certaines questions nécessitent que l'enseignant surveille les gestes des élèves. Comme ici par exemple la question 12 « Réaliser le montage que vous avez schématisé ».

C'est pourquoi, je n'évalue jamais le groupe classe entier, je me concentre sur trois binômes au maximum car je dois surveiller leurs gestes.

Pour cette activité j'ai décidé d'évaluer les compétences suivantes : **ANA**, **REA** et **VAL**.

Pour chaque compétence évaluée les élèves obtiendront un niveau de maîtrise de cette compétence suivant les critères validés.

Voici les différents tableaux d'évaluation des compétences pour une séance réalisée dans des conditions normales d'enseignement (élèves en salle de classe avec l'enseignant et ayant tous le matériel nécessaire à la réalisation de l'activité).

Tableau 2 : Critères d'évaluation de la compétence « analyser »

Analyser (ANA)				
Niveaux de maîtrise	Très bon	Satisfaisant	Fragile	Insuffisant
Critères Question 3	Calcul juste clairement expliqué, a tenu compte de l'aller-retour du faisceau laser, présence d'une unité	Calcul juste mais manque d'explication, a tenu compte de l'aller-retour du laser	Trace d'un calcul, n'a pas pris en compte l'aller-retour du laser.	Aucun calcul effectué
Critères Question 7	Réponse juste avec toutes les justifications	Réponse juste avec quelques justifications	Réponse juste avec une trace de justification	Réponse juste mais sans explications ou réponse fausse
Critères Question 9	Chaque composant est associé à son bon équivalent	Chaque composant est associé à son bon équivalent (après aide de l'enseignant)	Présence d'une inversion	Aucun composant n'est associé à son bon équivalent

Tableau 3 : Critères d'évaluation de la compétence « réaliser »

Réaliser (REA)				
Niveaux de maîtrise	Très bon	Satisfaisant	Fragile	Insuffisant
Critères Question 1	A schématisé et légendé la Terre, la Lune, l'aller-retour du faisceau laser, l'observatoire et le réfracteur laser	A schématisé et légendé la Terre, le Lune, l'aller-retour du faisceau laser	N'a schématisé et légendé que la Terre, la Lune et un simple trait schématisant le faisceau laser	N'a pas su schématiser et légender la situation (Terre, Lune, aller-retour du faisceau laser, observatoire, réfracteur laser)
Critères Question 10	A schématisé et légender l'expérience sans faute	A schématisé et légender l'expérience avec une faute	A schématisé et légender l'expérience avec deux fautes	N'a pas su schématiser et légender l'expérience
Critères Question 12	A réalisé le montage de l'expérience sans faute	A réalisé le montage de l'expérience avec une faute	A réalisé le montage de l'expérience avec deux fautes	N'a pas su réaliser le montage de l'expérience

Tableau 4 : Critères d'évaluation de la compétence « valider »

Valider (VAL)				
Niveaux de maîtrise	Très bon	Satisfaisant	Fragile	Insuffisant
Critères Question 4	Réponse juste avec toutes les justifications	Réponse juste avec quelques justifications	Réponse juste avec une trace de justification	Réponse juste mais sans explications ou réponse fausse
Critères Question 13	A vérifié le résultat obtenu avec les bons nombres de chiffres significatifs et a conclu	A vérifié le résultat obtenu avec une erreur dans les chiffres significatifs et a conclu	A vérifié le résultat mais n'a pas conclu	N'a pas vérifié le résultat obtenu
Critères Question 14	A conclu sur la précision des mesures (comparaison expérimentale/théorique, nombre de chiffres significatifs)	A conclu sur la précision des mesures (manque soit comparaison expérimentale/théorique ou nombre de chiffres significatifs)	A conclu sur la précision des mesures mais manque de justifications	N'a pas su conclure sur la précision des mesures

Compte-tenu de la crise actuelle, l'activité n'a pas pu être réalisée dans les conditions normales d'enseignement.

En effet, les questions 12, 13 et 14 n'ont pas pu être réalisées par les élèves.

Je ne peux donc pas les évaluer sur ces questions. Cela a un impact sur l'évaluation des compétences « réaliser » et « valider ».

Je devais évaluer la question 12 pour la compétence « réaliser », et les questions 13 et 14 pour la compétence « valider ».

Ainsi je ne peux plus évaluer correctement la compétence « valider ».

Afin d'adapter l'évaluation de cette activité au contexte actuel, je vais évaluer la compétence « approprier », en remplacement de la compétence « valider ». Le tableau des critères

d'évaluation de la compétence « analyser » ne changera pas puisqu'aucune des questions n'est impactée, contrairement à celui de la compétence « réaliser » qui sera modifié.

Voici les différents tableaux d'évaluation des compétences pour une séance réalisée à distance en temps de confinement.

Tableau 5 : Critères d'évaluation de la compétence « approprier » en temps de confinement

Approprier (APP)				
Niveaux de maîtrise	Très bon	Satisfaisant	Fragile	Insuffisant
Critères Question 6	A su extraire l'information (800 nm) et l'associer à la couleur rouge	A extrait l'information (800 nm) mais n'a pas donner la bonne couleur	A extrait l'information (800 nm) sans la traiter	N'a pas répondu à la question
Critères Question 8	A comparé les deux principes en utilisant l'information (augmentation de la résolution des mesures)	A cité l'information (augmentation de la résolution des mesures) sans comparer les deux principes	A comparé en utilisant une trace de justification	N'a pas répondu à la question
Critères Question 11	A répondu qu'il se branche de la même façon qu'un voltmètre donc en dérivation	A répondu qu'il se branche en dérivation sans justification	A répondu qu'il se branche de la même façon qu'un voltmètre	N'a pas répondu à la question

Tableau 6 : Critères d'évaluation de la compétence « analyser » en temps de confinement

Analyser (ANA)				
Niveaux de maîtrise	Très bon	Satisfaisant	Fragile	Insuffisant
Critères Question 3	Calcul juste clairement expliqué, a tenu compte de l'aller-retour du faisceau laser, présence d'une unité	Calcul juste mais manque d'explication, a tenu compte de l'aller-retour du laser	Trace d'un calcul, n'a pas pris en compte l'aller-retour du laser.	Aucun calcul effectué
Critères Question 7	Réponse juste avec toutes les justifications	Réponse juste avec quelques justifications	Réponse juste avec une trace de justification	Réponse juste mais sans explications ou réponse fausse
Critères Question 9	Chaque composant est associé à son bon équivalent	Chaque composant est associé à son bon équivalent (après aide de l'enseignant)	Présence d'une inversion	Aucun composant n'est associé à son bon équivalent

Tableau 7 : Critères d'évaluation de la compétence « réaliser » en temps de confinement

Réaliser (REA)				
Niveaux de maîtrise	Très bon	Satisfaisant	Fragile	Insuffisant
Critères Question 1	A schématisé et légendé la Terre, la Lune, l'aller-retour du faisceau laser, l'observatoire et le réfracteur laser	A schématisé et légendé la Terre, le Lune, l'aller-retour du faisceau laser	N'a schématisé et légendé que la Terre, la Lune et un simple trait schématisant le faisceau laser	N'a pas su schématiser et légendé la situation (Terre, Lune, aller-retour du faisceau laser, observatoire, réfracteur laser)
Critères Question 10	A schématisé et légendé l'expérience sans faute	A schématisé et légendé l'expérience avec une faute	A schématisé et légendé l'expérience avec deux fautes	N'a pas su schématiser et légendé l'expérience

3.3. Analyse à priori de la séance

Il s'agit d'une activité qui est réalisable en une heure et demie.

Pour cette activité je vais également imposer les binômes. Celle-ci se déroulant en mars les élèves ont l'habitude depuis le début de l'année de travailler avec un binôme imposé. Le but étant de créer des binômes de niveau pour différencier les séances.

J'ai choisi les binômes de TP de manière à réunir les élèves ayant le même niveau d'acquisition de compétences. Je me suis donc basée sur les anciennes activités pour former les binômes.

Le but étant d'avoir plus de temps à consacrer aux élèves en difficulté.

Mais avec la situation actuelle qu'impose la pandémie, l'activité sera réalisée par les élèves chez eux.

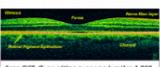
Étant donné qu'il s'agit de la première activité donnée durant la période de confinement je leur ai laissé le choix de réaliser l'activité seul ou en groupe (bien entendu à distance).

J'ai conseillé aux élèves de respecter l'horaire d'une heure de travail au maximum, de manière à ce qu'ils ne se sentent pas submergés de travail et qu'ils gardent un rythme de travail.

3.3.1. Minutage

Vous allez retrouver ci-dessous un tableau récapitulatif du minutage prévu de la séance si celle-ci se déroule en classe en temps normal.

Tableau 8 : Minutage prévu lors de la séance d'une heure trente

Minutage de l'activité : La lumière, des mesures ... de la précision ?				
Rôle des élèves	Rôle du professeur	Temps estimé	Temps réalisé	
Rentrer dans la salle avec son binôme lors de l'appel	Accueillir les élèves devant la salle de cours, appeler les binômes pour rentrer dans la salle	2 min		
Installation dans la salle de cours : s'asseoir avec son binôme sur un poste de travail, sortir ses affaires (manuel de physique-chimie et classeur de cours)	Remplir les absences/retards sur Pronote	2 min		
Un élève volontaire rappelle les notions vues en classe la semaine précédente	Demander à un élève volontaire de rappeler à la classe ce qu'on a fait la semaine précédente + Ecrire les notions clés dites par l'élève au tableau	5 min		
Distribution de l'activité + lecture par un élève volontaire du contexte de l'activité <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Contexte : A l'heure d'aujourd'hui on arrive à mesurer avec énormément de précision de grandes distances comme la distance Terre-Lune. On arrive également à mesurer de très petites distances telles que l'épaisseur de notre rétine. Quelles soient petites ou grandes la précision des mesures de ces distances est très importante.</p> <p>But : Étudier comment sont mesurées de grandes et petites distances avec un maximum de précision.</p> <p>Mais alors, comment être aussi précis ?</p>  </div>	Expliquer le but de la séance d'activité : en binôme, activité qui fait appel à de nombreuses notions depuis le début de l'année, 2 appels au professeur OBLIGATOIRES pour l'évaluation, énoncer les compétences évaluées + projeter l'activité au tableau à l'aide du vidéoprojecteur + demander à un élève volontaire de lire le contexte	5 min		
Un élève volontaire lit le document 1 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Document 1 : La distance Terre-Lune</p> <p>Au cours des missions Apollo en 1969, les astronautes ont déployé un réflecteur laser (un panneau composé de miroirs) sur la mer de Tranquillité (vaste plaine sur la face de la Lune tournée vers la Terre). Des observatoires comme celui de McDonald situé au Texas envoient des faisceaux laser dans leur direction, puis mesurent la durée de l'aller-retour. On en déduit aujourd'hui avec une précision inférieure au millimètre près la distance moyenne Terre-Lune : 384 400 km.</p>  <p>Figure 1 : Réflecteur sur la Lune</p> </div>	Demander à un élève de lire le document 1, faire debrief sur ce document, demander s'il y a des questions, s'il y a des problèmes de vocabulaire	3 min		
Un élève volontaire lit le document 2 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Document 2 : L'OCT</p> <p>L'imagerie des tissus biologiques, en particulier de l'œil humain, a été le travail de beaucoup de groupes de recherche dans le monde. Celle-ci permet la détection de cancer, de glaucome, l'évaluation de la dégénérescence maculaire liée à l'âge, l'imagerie d'artères coronaires, etc.</p> <p>La tomographie en cohérence optique (OCT) est une technique permettant d'obtenir des images en profondeur de matériaux opaques ou transparents avec une résolution (en dessous de 10µm) bien meilleure que les autres techniques d'imagerie médicale conventionnelles (IRM, échographie...).</p> <p>L'OCT est à ranger parmi les techniques utilisant le phénomène d'effet (comme l'échographie par ultrasons), c'est l'équivalent d'une « échographie optique » où d'un « radar optique » qui image de la lumière réfléchie provenant du matériau.</p> <p>Plutôt que des sons ou des radiofréquences, l'utilisation d'une source lumineuse permet d'augmenter la résolution des mesures. Les sources lumineuses utilisées sont des lasers avec une faible puissance, ils sont donc sans danger pour l'œil et ne provoquent pas de dégâts sur l'échantillon analysé.</p> <p>Remarque : L'OCT a aussi été utilisé pour de nombreux cas de restauration-conservation d'objets d'arts, où sont analysées différentes couches de peintures sur toile.</p>  <p>Scan OCT d'une rétine avec une lumière à 800 nm avec une résolution axiale de 3 µm.</p> </div>	Demander à un élève de lire le document 2, faire debrief sur ce document, demander s'il y a des questions, s'il y a des problèmes de vocabulaire + lancer l'activité en rappelant qu'il y a 14 questions dont 2 appels au professeur OBLIGATOIRES pour l'évaluation + dire que c'est aux élèves de gérer leur temps comme ils le veulent mais que je ferai des points régulièrement pour leur donner une indication sur le temps restant et donc les questions qui devraient être finies	5 min		
Réaliser les questions 1 à 4	Passer dans les rangs pour répondre aux questions, aider les binômes à se mettre au travail + faire un point du temps restant	20 min		
Réaliser les questions 5 à 8	Passer dans les rangs pour répondre aux questions + faire un point du temps restant	15 min		
Réaliser les questions 9 à 11	Passer dans les rangs pour répondre aux questions + faire un point avec la classe entière pour présenter le matériel expérimental aux élèves + faire un point du temps restant	15 min		
Réaliser les questions 12 à 14	Passer dans les rangs pour répondre aux questions + répondre aux "appels professeurs" afin d'évaluer les élèves + faire un point du temps restant	15 min		
Rangement du matériel et de leurs affaires + sortir de la classe à la fin de la séance (donner la copie à l'enseignant lors de la sortie de la classe)	Fin de l'activité peu importe l'avancée des binômes (la correction sera fournie lors de la prochaine séance en classe entière afin d'éviter que les différents groupes s'échangent les solutions) + rangement et préparation de l'arrivée du second groupe + récupérer les copies d'élèves	3 min		

À cause des conditions actuelles nous ne pouvons pas remplir la colonne « temps réalisé ». Ainsi, aucune analyse de ce temps ne pourra être menée puisque la séance ne s'est pas déroulée en classe. Afin de savoir si le temps prévu n'est pas surestimé ou sous-estimé, il faudra ultérieurement réaliser en classe cette activité avec les élèves.

3.3.2. Possibles difficultés et conceptions initiales rencontrées par les élèves

Il s'agit de la première activité proposée aux élèves qui regroupe des connaissances issues de 4 thèmes différents. Je m'attends donc à ce que les élèves soient aux premiers abords déstabilisés. En effet, ils vont devoir réinvestir des connaissances qui datent de plusieurs mois pour certaines.

C'est pourquoi, en début d'activité je rassurerai les élèves en leur disant qu'ils ont accès à leur classeur s'ils en ont besoin. Ainsi ils se sentiront rassurés et ils pourront continuer l'activité plus sereinement.

Je m'attends à ce que plusieurs élèves aient des problèmes de vocabulaire. Notamment avec les mots suivants :

- Glaucome
- Dégénérescence maculaire
- Résolution
- Diode laser
- Photodiode

Il ne faut pas que ces mots soit un frein à la compréhension des documents et des phénomènes étudiés.

Ils pourront bien entendu me demander lors de la séance ce que ces mots veulent dire mais ils auront également accès à internet pour en avoir la signification.

Je pense également que les élèves vont avoir du mal à réaliser le schéma électrique expérimental. Lors du chapitre « Signaux électriques » les élèves réalisent des schémas électriques justes en reliant les composants avec 2 fils de connexions, un pour l'alimentation et l'autre pour la masse. Mais en dehors du contexte je pense que de nombreux élèves vont oublier les règles de connexion et utiliser le modèle unifilaire.

Les élèves ont tendance à assimiler un câble à un fil. Donc lorsqu'ils voient le câble de connexion de l'émetteur ils l'assimilent à un seul fil et non à deux car un seul « fil » semble apporter l'électricité, ce qui pose problème dans la compréhension du phénomène.

3.4. Analyse à postériori

3.4.1. Déroulement de la semaine de travail

En cette période exceptionnelle les élèves ont eu une semaine pour réaliser cette activité.

Sur les 70 élèves composant les 2 classes de seconde sous ma responsabilité seulement 8 ne m'ont pas envoyé leur activité.

Celle-ci m'a donc permis de savoir qui avait accès à une connexion internet, qui était en situation de décrochage à cause du confinement ou tout simplement qui était dépassé par les événements et n'arrivait pas à réaliser les devoirs seul.

Il y a donc 5 élèves qui sont en situation de décrochage, 2 élèves qui étaient dépassés par les événements et une élève ne bénéficiant pas d'une bonne connexion internet.

Un suivi régulier a été instauré par l'équipe pédagogique pour les 5 élèves en situation de décrochage. Après discussion avec les deux élèves qui se sentaient dépassés par la situation, je leur ai donné plus de temps pour réaliser l'activité. Je leur ai également donné plusieurs conseils et nous avons organisé ensemble leur méthode de travail pour la période d'enseignement à distance. Quant à l'élève qui ne bénéficie pas d'une bonne connexion internet, un suivi par téléphone a été instauré avec le professeur principal.

J'ai laissé la possibilité aux élèves d'organiser avec eux des séances de « Ma classe à la maison »¹⁰ afin de les aider plus facilement.

Plusieurs élèves m'ont sollicitée afin d'organiser des séances. C'est pourquoi 2 séances ont été réalisées. Celles-ci m'ont permis de répondre aux nombreuses questions concernant l'activité que les élèves avaient à faire.

Il y a eu des questions concernant la question 4 « Est-ce que la précision de la mesure de la distance Terre-Lune est en accord avec le résultat donné ? ». Les élèves connaissaient la réponse mais avaient du mal à la rédiger.

La plupart des interrogations des élèves concernait les questions 9 et 10.

¹⁰ Ma classe à la maison est un outil mis à disposition par le CNED qui nous permet d'organiser des classes virtuelles avec nos élèves.

En effet, la question 9 « Associer pour chaque composant de l'OCT son équivalent expérimental » n'est pas facile à réaliser lorsqu'on n'a pas le matériel sous les yeux. J'ai également pu lors de cette session de classe virtuelle expliquer aux élèves le rôle des différents composants comme la diode laser, la photodiode, le GBF, etc. Grâce à ces précisions les élèves ont réussi à répondre à la question 9.

Les élèves ont également eu beaucoup de mal avec la question 10 « A l'aide de la liste de matériel ci-dessous, schématiser l'expérience à réaliser afin de mesurer une distance ». De même que pour la question 9, sans voir le matériel il est compliqué de schématiser le dispositif expérimental. Lors de la classe virtuelle j'ai donc utilisé des photographies pour illustrer chaque composant.

Il s'agit tout de même de la question qui a posé le plus de problème aux élèves.

Concernant les problèmes de vocabulaire j'ai été surprise par le fait qu'un élève ne sache pas ce qu'est le phénomène d'« écho ». Après avoir utilisé un exemple de la vie quotidienne (exemple : Lorsque l'on crie sous un tunnel ou en montagne il est possible d'entendre le cri se répéter, car l'écho est un phénomène de répétition du son produit par la réflexion des ondes sonores sur une surface.) l'élève s'est souvenu ce qu'était le phénomène d'écho.

3.4.2. Bilan après correction des copies d'élèves

J'ai été surprise lors de la correction des copies de voir que de nombreux élèves n'ont pas réussi la question 6 de l'activité. Cette question était « Quelle est la couleur émise par le laser utilisé pour réaliser l'image de la rétine ? (document 2) ».

Les élèves attribuent la couleur verte à 800 nm alors qu'il s'agit du rouge. Après avoir regardé le document 2 je ne vois qu'une seule explication à ça. Les élèves ont attribué la couleur de la photo du document (voir ci-dessous) à la couleur du laser.

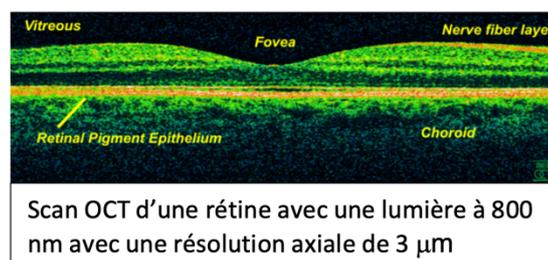


Figure 24 : Photographie du scan OCT de l'activité

Après correction, et confirmant mes remarques lors de la classe virtuelle, la question qui a donné le plus de mal aux élèves a été la question 10. La question était : « A l'aide de la liste de matériel ci-dessous, schématiser l'expérience à réaliser afin de mesurer une distance ».

De nombreux élèves n'ont pas su réaliser le schéma juste, en effet on peut observer des problèmes de branchement et même des problèmes de représentation du phénomène physique.

Vous pouvez retrouver en annexes 5, 6 et 7 trois copies corrigées de mes élèves qui permettent d'illustrer mes remarques.

Ces copies sont très peu annotées du fait de la correction par ordinateur.

Une semaine après le rendu de l'activité les élèves ont dû prendre connaissance de leurs copies annotées et ils ont eu pour consigne d'étudier la correction principalement sur les questions qui leurs ont posé problème.

Ils ont également eu accès à leurs résultats de l'évaluation par compétence. Grâce à celle-ci ils ont connaissance de leurs points forts et de leurs points faibles. Les élèves savent maintenant quelles compétences sont nécessaires d'améliorer.

L'évaluation par compétence est également un outil pour l'enseignant. Je pourrais à présent proposer des exercices et des activités personnalisés pour chaque élève suivant son résultat de l'évaluation par compétence.

En temps normal j'aurais analysé les résultats de l'évaluation afin de déterminer si l'activité est bien adaptée, si elle permet de mobiliser au mieux les différentes compétences.

Mais ici les conditions exceptionnelles de réalisation de l'activité, avec une durée d'une semaine pour la rendre, la possibilité de faire l'activité seul ou en groupe à distance, la possibilité et la non-possibilité de se faire aider chez soi augmentent les inégalités.

Ainsi l'évaluation par compétence sera plus juste pour les personnes ayant réalisé l'activité dans des conditions similaires à la normale. Mais celle-ci ne reflètera pas le niveau de maîtrise de chaque compétence évaluée pour les personnes qui n'ont pas suivi les conditions de réalisation normales.

C'est pourquoi faire l'analyse de l'évaluation par compétence dans ce contexte de réalisation perd son sens.

Néanmoins, il faut garder en mémoire que le but est d'assurer une continuité pédagogique. Il est nécessaire de rester en contact avec les élèves, notamment ceux qui sont le plus en difficulté, il faut que les élèves puissent avoir une idée précise de ce qu'il faut faire afin de continuer d'avoir des repères et une progression. Il est également nécessaire que l'on puisse évaluer les élèves et l'évaluation par compétence semble être le meilleur moyen.

3.5. Conclusion de l'activité

Tout d'abord, cette activité a permis aux élèves de se rendre compte qu'ils ont les compétences et les connaissances pour comprendre des techniques complexes, comme celle évoquée dans l'activité, la tomographie en cohérence optique.

Cela a pour but de contextualiser leurs connaissances et de donner un sens à leur enseignement.

L'activité a également permis de mobiliser des connaissances de nombreux thèmes de la classe de seconde ce qui permet de spiraler l'enseignement.

De plus, il s'agit de la première activité proposée en période de confinement. Celle-ci se révèle être rassurante pour les élèves car ils ont toutes les connaissances pour la réaliser.

Conclusion

Durant ces travaux, nous avons pu mettre en évidence que les techniques médicales dues à l'optique n'ont cessé d'évoluer ces dernières décennies.

L'invention du laser a été une révolution dans le milieu de la correction de la vision. En effet, lorsque le monde scientifique a réussi à maîtriser le laser, de nombreuses inventions ont vu le jour et notamment l'examen de tomographie en cohérence optique.

La curiosité de mes élèves m'a poussé à créer une activité qui leur permet de comprendre une technique médicale complexe à l'aide de leurs connaissances d'élève de seconde.

Celle-ci se révéla être très positive sur plusieurs points. Elle a permis de contextualiser les connaissances des élèves afin de donner un sens à leur enseignement. De plus elle a mobilisé des connaissances issues de nombreux thèmes du programme de seconde, ce qui a permis de spiraler l'enseignement et de rassurer les élèves dans le contexte d'enseignement à distance dû à la pandémie que notre pays a subi.

Références bibliographiques

- Bretenaker, Fabien, et Nicolas Treps. *Le Laser*. Les Ulis: EDP Sciences, 2016. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5057999>.
- Société canadienne du cancer. « Chirurgie au laser », s. d. <https://www.cancer.ca/fr-ca/cancer-information/diagnosis-and-treatment/tests-and-procedures/laser-surgery/?region=mb>.
- Dandliker. *Les Lasers, principe et fonctionnement*. Paris: Lavoisier, 1989.
- Dangoisse, Didier, Daniel Hennequin, et Véronique Zehnlé-Dhaoui. *Les lasers: cours et exercices corrigés*. Paris: Dunod, 2013.
- Éducation nationale. « Programme de physique-chimie de seconde générale et technologique », Le Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, n° 1 (22 janvier 2019). https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/98/9/spe634_annexe_1062989.pdf.
- Da Silva, Anabela. « Méthodes optiques pour le diagnostic et l'imagerie biomédicale ». Aix-Marseille, 2013. https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/1053305/filename/HDR_ADS_FINALssAnnexes.pdf.
- Glanc, Marie, et Marie Blavier. « Les instruments d'imagerie rétinienne existants », 2017. <https://lesia.obspm.fr/Le-projet-OEIL-les-instruments-d.html>.
- Jeanjean, Louise, et Sophie Barais. « La conceptualisation du circuit électrique ». Nantes, 2014. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01241001/document>.
- CNED. « Ma classe à la maison », s. d. <https://www.cned.fr/maclassealamaison/>.
- Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. éducol, s. d. <https://eduscol.education.fr>.
- Mordon, Serge. « Applications médicales du laser », *Reflets de la Physique*, n° 21 (s. d.): 65.
- Mur, Jean-Michel. *Les fibres optiques: Notions fondamentales (Câbles, Connectique, Composants, Protocoles, Réseaux...)*, 2019. http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://www.eni-training.com/cs/uqac/?library_guid=aef609ad-b2a4-4d2f-b766-8a7674f2aa61.
- Treps, Nicolas, Fabien Bretenaker, et Charles H Townes. *Le laser 50 ans de découvertes*. Les Ulis: EDP sciences, 2010.

Annexes

Annexe 1. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Vision et image ».....	49
Annexe 2. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Ondes et signaux »	50
Annexe 3. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Signaux et capteurs ».....	51
Annexe 4. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Mesure et incertitudes »	52
Annexe 5. Première copie d'élève.....	53
Annexe 6. Deuxième copie d'élève	55
Annexe 7. Troisième copie d'élève	56

Annexe 1. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Vision et image »

2. Vision et image	
<p>La partie « Optique » vise à consolider le modèle du rayon lumineux, à introduire la notion de spectre et à montrer que les phénomènes de réflexion et de réfraction sont bien décrits par des relations mathématiques. Le programme propose également une première approche de la notion d'image d'un objet et de sa formation.</p> <p>De nombreux domaines d'application sont concernés : vision humaine, photographie, astrophysique, imagerie scientifique, arts graphiques et du spectacle. Cette partie du programme est source de nombreuses expérimentations démonstratives et quantitatives.</p> <p>Notions abordées au collège (cycle 4) Lumière : sources, propagation, vitesse de propagation. Modèle du rayon lumineux.</p>	
Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
<p>Propagation rectiligne de la lumière.</p> <p>Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.</p> <p>Lumière blanche, lumière colorée. Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.</p> <p>Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.</p> <p>Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.</p> <p>Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.</p> <p>Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale.</p> <p>Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente.</p> <p>Grandissement.</p> <p>L'œil, modèle de l'œil réduit.</p>	<p>Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.</p> <p>Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud.</p> <p>Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.</p> <p>Exploiter un spectre de raies.</p> <p>Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction.</p> <p><i>Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i></p> <p>Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme.</p> <p><i>Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.</i></p> <p>Caractériser les foyers d'une lentille mince convergente à l'aide du modèle du rayon lumineux.</p> <p>Utiliser le modèle du rayon lumineux pour déterminer graphiquement la position, la taille et le sens de l'image réelle d'un objet plan réel donnée par une lentille mince convergente.</p> <p>Définir et déterminer géométriquement un grandissement.</p> <p>Modéliser l'œil.</p> <p><i>Produire et caractériser l'image réelle d'un objet plan réel formée par une lentille mince convergente.</i></p> <p>Capacité mathématique : utiliser le théorème de Thalès.</p>

Annexe 2. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Ondes et signaux »

Ondes et signaux

1. Émission et perception d'un son

La partie « Acoustique » vise à consolider les connaissances de collège : des schémas explicatifs de l'émission, de la propagation et de la réception sont maintenant proposés. L'étude de la perception d'un son est l'occasion d'initier les élèves à la lecture d'une échelle non linéaire et de les sensibiliser aux dangers liés à l'exposition sonore.

Les domaines d'application sont multiples : musique, médecine, sonar, audiométrie, design sonore, etc. Les outils d'investigation tels que capteurs (éventuellement ceux d'un smartphone), microcontrôleurs, logiciels d'analyse ou de simulation d'un signal sonore, sont également très variés et permettent d'illustrer le caractère opérationnel de la physique-chimie.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Vitesse de propagation. Notion de fréquence : sons audibles, infrasons et ultrasons.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Émission et propagation d'un signal sonore.	Décrire le principe de l'émission d'un signal sonore par la mise en vibration d'un objet et l'intérêt de la présence d'une caisse de résonance.
Vitesse de propagation d'un signal sonore.	Expliquer le rôle joué par le milieu matériel dans le phénomène de propagation d'un signal sonore.
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	<i>Mesurer la vitesse d'un signal sonore.</i>
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	<i>Utiliser une chaîne de mesure pour obtenir des informations sur les vibrations d'un objet émettant un signal sonore.</i>
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	<i>Mesurer la période d'un signal sonore périodique.</i>
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	<i>Utiliser un dispositif comportant un microcontrôleur pour produire un signal sonore.</i>
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	Capacités mathématiques : identifier une fonction périodique et déterminer sa période.
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Échelle de niveaux d'intensité sonore.	Citer les domaines de fréquences des sons audibles, des infrasons et des ultrasons.
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Échelle de niveaux d'intensité sonore.	Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible.
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Échelle de niveaux d'intensité sonore.	Relier qualitativement intensité sonore et niveau d'intensité sonore.
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Échelle de niveaux d'intensité sonore.	Exploiter une échelle de niveau d'intensité sonore et citer les dangers inhérents à l'exposition sonore.
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Échelle de niveaux d'intensité sonore.	<i>Enregistrer et caractériser un son (hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore, etc.) à l'aide d'un dispositif expérimental dédié, d'un smartphone, etc.</i>

Annexe 3. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Signaux et capteurs »

3. Signaux et capteurs	
<p>Les signaux électriques sont très présents dans la vie quotidienne. L'électricité est un domaine riche tant sur le plan conceptuel qu'expérimental, mais délicat à appréhender par les élèves car les grandeurs électriques ne sont pas directement "perceptibles". Aussi doit-on particulièrement veiller à préciser leur signification physique et à leur donner du sens, dans la continuité des enseignements du collège. Outre les principales lois, le programme met l'accent sur l'utilisation et le comportement de dipôles couramment utilisés comme capteurs.</p> <p>Les champs d'application peuvent relever des transports, de l'environnement, de la météorologie, de la santé, de la bioélectricité, etc., où de nombreux capteurs associés à des circuits électriques sont mis en œuvre pour mesurer des grandeurs physiques et chimiques. Le volet expérimental de cet enseignement fournira l'occasion de sensibiliser les élèves aux règles de sécurité et de les amener à utiliser des multimètres, des microcontrôleurs associés à des capteurs, des oscilloscopes, etc.</p> <p>Notions abordées au collège (cycle 4)</p> <p>Circuits électriques, dipôles en série, dipôles en dérivation, boucle, unicité de l'intensité dans un circuit série, loi d'additivité des tensions, loi d'additivité des intensités, loi d'Ohm, règles de sécurité, énergie et puissance électriques.</p>	
Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
<p>Loi des nœuds. Loi des mailles.</p> <p>Caractéristique tension-courant d'un dipôle.</p> <p>Résistance et systèmes à comportement de type ohmique.</p> <p>Loi d'Ohm.</p> <p>Capteurs électriques.</p>	<p>Exploiter la loi des mailles et la loi des nœuds dans un circuit électrique comportant au plus deux mailles. <i>Mesurer une tension et une intensité.</i></p> <p>Exploiter la caractéristique d'un dipôle électrique : point de fonctionnement, modélisation par une relation $U = f(I)$ ou $I = g(U)$. Utiliser la loi d'Ohm. <i>Représenter et exploiter la caractéristique d'un dipôle.</i> Capacités numériques : représenter un nuage de points associé à la caractéristique d'un dipôle et modéliser la caractéristique de ce dipôle à l'aide d'un langage de programmation. Capacité mathématique : identifier une situation de proportionnalité.</p> <p>Citer des exemples de capteurs présents dans les objets de la vie quotidienne. <i>Mesurer une grandeur physique à l'aide d'un capteur électrique résistif. Produire et utiliser une courbe d'étalonnage reliant la résistance d'un système avec une grandeur d'intérêt (température, pression, intensité lumineuse, etc.).</i> <i>Utiliser un dispositif avec microcontrôleur et capteur.</i></p>

Annexe 4. Extrait du programme officiel de la classe de seconde, thème « Mesure et incertitudes »

Mesure et incertitudes

En classe de seconde, l'objectif principal est de sensibiliser l'élève, à partir d'exemples simples et démonstratifs, à la variabilité des valeurs obtenues dans le cadre d'une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique. L'incertitude-type fournit alors une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur physique.

Les activités expérimentales proposées visent aussi à sensibiliser l'élève à l'influence de l'instrument de mesure et du protocole choisi sur la valeur de l'incertitude-type.

Lorsque cela est pertinent, la valeur mesurée sera comparée avec une valeur de référence afin de conclure qualitativement à la compatibilité ou à la non-compatibilité entre ces deux valeurs.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes.
Incertitude-type.	Capacité numérique : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur. Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

Annexe 5. Première copie d'élève

Activité : La lumière, des mesures... de la précision ?

2) La vitesse de la lumière est de $3,00 \cdot 10^8$ m/s. **Bien**

* = multiplié ^8 = puissance 8

3) temps = distance : vitesse

$$384400\text{km} = 3844000000\text{m}$$

$$\text{Temps} = 384400000 : 3,00 \cdot 10^8$$

$$\text{Temps} = 1,28$$

$$1,28 \cdot 2 = 2,56$$

Pour faire l'aller-retour entre la Terre et la Lune le faisceau laser a mis environ 2,56 secondes.

4) Pour savoir si notre résultat est en accord avec la distance on fait :

$$\text{Distance} = \text{vitesse} \cdot \text{temps} = 3,00 \cdot 10^8 \cdot 1,28 = 384000000$$

Notre résultat n'est pas en accord. **Mauvaise justification**

5) Une échographie optique est une technique d'imagerie employant des ultrasons. **il faut expliquer le principe d'écho**

6) Le rayon est de couleur verte pour réaliser l'image de la rétine. **rouge**

7) La couleur du laser est importante car pour avoir une autre couleur il faudra utiliser un rayon plus puissant ce qui provoquera des dégâts pour l'œil. **Bien**

8) L'optique permet d'avoir une meilleure vision du problème et de mieux le détecter et le situer par rapport aux radiofréquences et à l'acoustique **Bien**

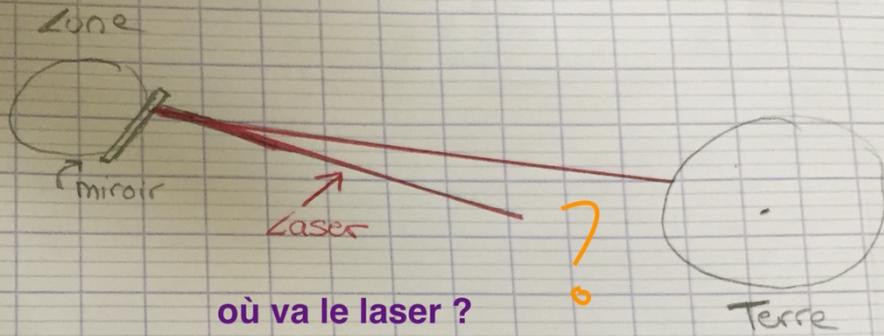
9) une diode laser = un GBF

Un échantillon = un récepteur à ultrason

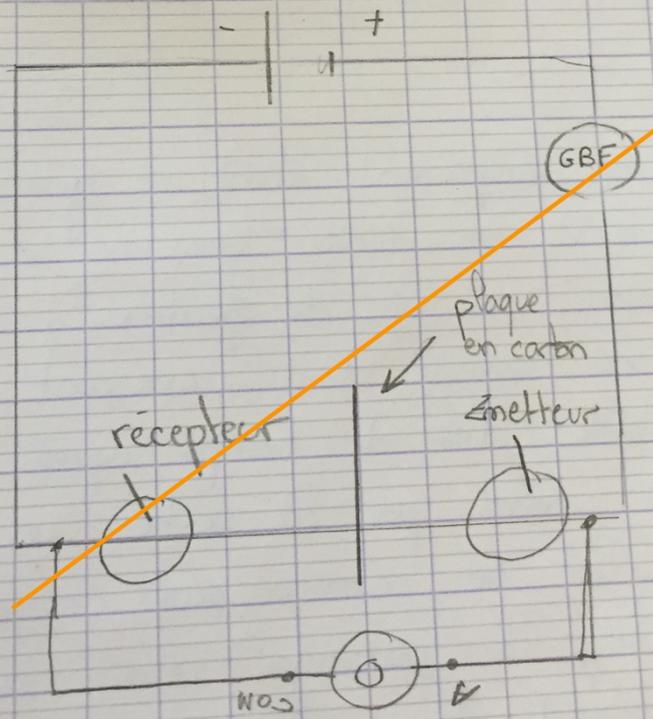
Une photodiode = un obstacle

11) l'oscilloscope se branche en dérivation

1)



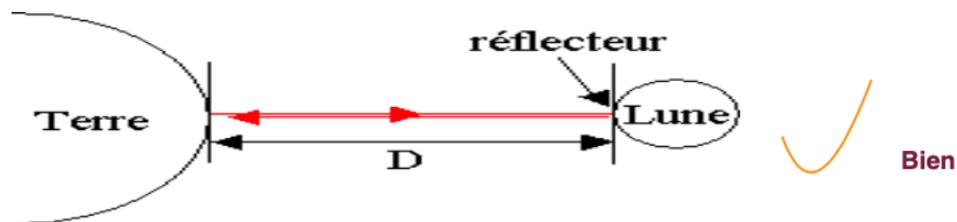
10)



Voir correction

Annexe 6. Deuxième copie d'élève

Exercice 1 :



Exercice 2 : La vitesse de la lumière est de 299 792 458 m/s soit à peu près 300 000 km/s **oui**

Exercice 3 : La distance entre la Terre et la Lune est de 384 400 km et la vitesse de la lumière de 300 000 km/s . La distance d'un aller-retour entre la Terre et la Lune serai de 768 800 km ; donc le temps pour que le faisceau laser parcoure cette distance serais de : $1 * 768 800 / 300 000 = 2.56$ s **Bien**

Le faisceau Laser mettra 2.56 seconde pour faire l'aller-retour de la Terre à la Lune .

Exercice 4 :

Exercice 5 : Une échographie optique ou radar optique est une différence de chemin optique entre deux faisceaux issus de la même source ,elle mesure donc une forme de retard optique entre deux ondes. **Bien**

Exercice 6 : La couleur émise par le laser utilisé pour réaliser l'image de la rétine est ~~verte~~ , c'est une lumière a 800 nm. **rouge**

Exercice 7 : La couleur du laser n'a pas d'importance lorsqu'on réalise le scan OCT, tant que le laser est de faible puissance pour ne pas blesser la rétine .

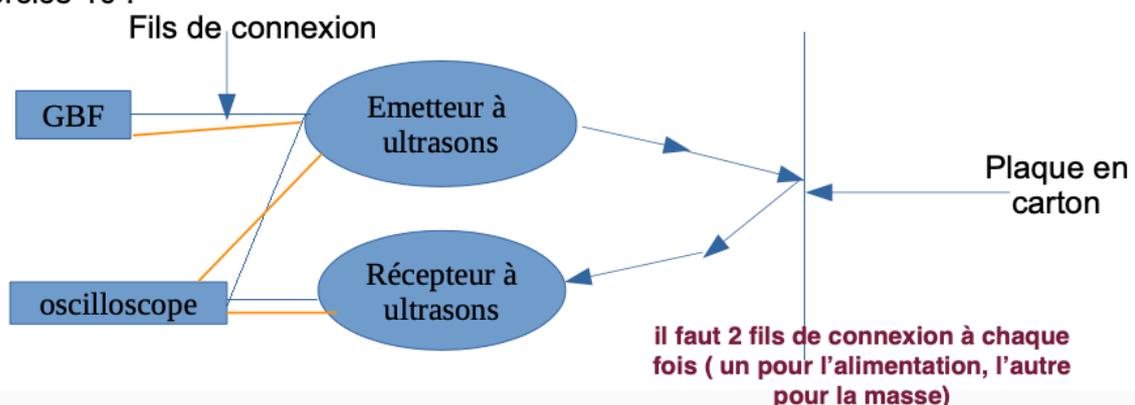
Exercice 8 : L'optique plutôt qu'apporter des sons ou des radiofréquences , elle permet d'augmenter la résolution des mesures mais aussi d'obtenir des images en profondeur de matériaux opaques ou transparents avec une résolution bien meilleurs que les autres techniques d'imagerie médicale.

Exercice 9 : Une diode laser - Un GBF

Un échantillon (rétine) - Un obstacle (plaque en carton)

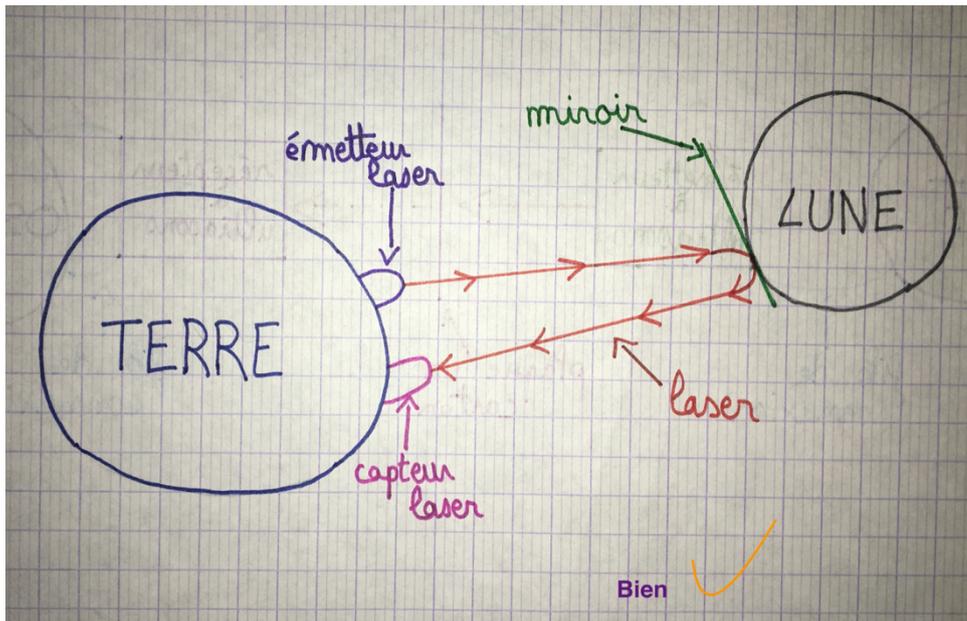
Une photodiode – Un récepteur à ultrasons **bien**

Exercice 10 :



où est la question 11 ?

Annexe 7. Troisième copie d'élève



2) La vitesse de la lumière est de 299 792 458 m/s. ✓
oui

3) formule de calcul du temps: $T = \frac{d}{v}$ ✓

AN: $T = \frac{384\ 400}{300\ 000} \rightarrow$ en km (d. terre-lune) ✓

300 000 \rightarrow en km/s (valeur approchée de propa? de la lum.)

T = environ 1.3 km/s en aller simple ✓

donc $1.3 \times 2 = 2.6$; un faisceau met 2.6 seconde pour faire l'aller-retour terre-lune. ✓

Très bien

4) La précision de la mesure de la distance terre-lune est bien accord avec le résultat avec une marge d'incertitude de plusieurs centimètres. ✓

Pas en accord

5)

L'OCT ou échographie optique consiste en une sonde au contact de la peau d'un patient émet des ultrasons, qui sont ensuite plus ou moins absorbés ou réfléchis selon la densité des tissus biologiques rencontrés. ✓

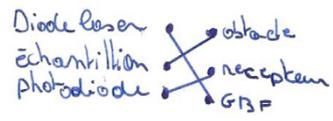
très bien

6) La couleur émise par le laser est rouge ✓

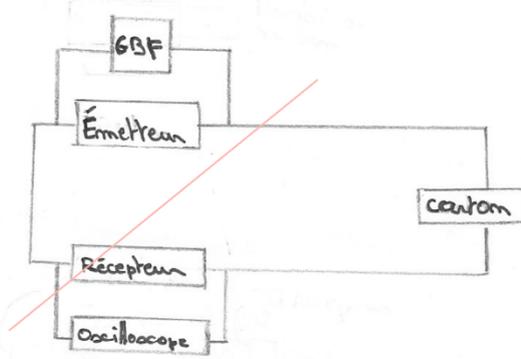
7) La couleur du laser a une importance, effectivement selon la lumière du laser choisit sa résolution sera différente. ✓

8) L'optique contrairement à l'acoustique ou aux radiofréquences offre plus de précision en dessous de 10 μm ✓

9)



10)



11) L'oscilloscope se branche en dérivation.



Application de l'optique au domaine biomédical

En tant qu'enseignant nous nous devons de répondre aux questions quotidiennes des élèves : « À quoi ça sert ? », « Comment ça fonctionne ? ». Les élèves veulent comprendre les techniques et phénomènes complexes qui composent notre monde. Ce mémoire porte sur l'optique et ses applications au domaine biomédical. De nombreuses recherches ont été effectuées notamment sur le laser et sur la tomographie en cohérence optique (OCT). Afin de contextualiser l'enseignement de nos élèves, et pour répondre à leur soif de savoir, je fais le pari qu'avec une activité et des connaissances de lycéen ils comprendront le principe de l'OCT.

Mots-clés : optique, laser, biomédical, tomographie en cohérence optique, pédagogie, activité

Application of optical to the biomedical field

As a teacher we have to answer to the students' daily questions : « What's it for? », « How does it work? ». Students want to understand technique and phenomenon that are part of our world. This essay is focused on optical and biomedical applications. A lot of research have been done, especially on the laser and the optical coherence tomography (OCT). To contextualize the teaching of our students and to answer to their thirst for knowledge, I bet that with such an activity and knowledge of high school students they will understand the principle of the OCT.

Keywords: optical, laser, biomedical, optical coherence tomography, teaching method, activity

