

*Olympiades de Physique
XVIII^e édition*



Et l'Homme créa le laser !

Lycée Louis-Le-Grand

*TRAN Jimmy
LADJELATE Nassim*

PRÉCAUTIONS GÉNÉRALES A PRENDRE LORS DE LA MANIPULATION D'UN LASER !!!!!!!



L'utilisation de lasers nécessite une série de précautions de plusieurs natures: précautions électriques, précautions anti-incendie, précaution pour préserver le laser de l'usure, précaution pour ne pas détruire le laser par mauvaise manipulation, précaution pour ne pas nuire à l'opérateur et précautions pour ne pas nuire au patient. Tous ces points font l'objet de procédures de qualité qu'il est bon de poser par écrit et de consigner dans un cahier de procédures consultable par tout le personnel travaillant en milieu médical laser.

Précautions de nature électrique

Les lasers médicaux sont des équipements de puissance. Ils sont le plus souvent alimentés par le secteur 220v sous des ampérages souvent très importants (Lasers YAG par exemple). Il convient donc de prendre les précautions électriques d'usage pour assurer une bonne sécurité. La certification CE électrique garantissant que le matériel est obligatoire sur la matériel vendu en Europe. Tous les matériels lasers doivent être branchés sur une installation aux normes avec prise de terre. Il est bon, également de relier les coques métalliques des machines à la terre pour éviter l'accumulation d'électricité statique susceptible d'entraîner des décharges désagréables et des risques de 'déprogrammation' de certains composants mémoires des machines. Beaucoup de lasers médicaux utilisent des puissances importantes tirées du réseau électrique. Les lasers ND:Yag, par exemple, ont un faible rendement énergétique, ils doivent donc 'pomper' beaucoup sur le réseau pour produire une énergie laser efficace en bout de fibre optique. Dans certains cabinet médicaux, il est parfois nécessaire de refaire une partie du câblage avec des prises de courant adaptées de type prise de 20 A ou plus. Des précautions doivent aussi être prises vis à vis du risque d'électrocution ou de projection de liquide sur les machines. En effet, beaucoup de solutions médicales comportent de l'alcool. De même, le stockage de liquide au-dessus des lasers est à proscrire, ils pourraient couler et occasionner des électrocutions.

Précautions anti-incendie

Les lasers peuvent provoquer des incendies de plusieurs façons. Premièrement, comme il s'agit d'appareils électriques, ils sont susceptibles d'échauffement ou de

court-circuit électrique capable de développer le feu. Les précautions standards habituelles sont donc à prendre: ne pas obturer les fenêtres de ventilation, ne pas utiliser hors des recommandations des fabricants, ne pas utiliser à proximité de substance inflammable, ne pas multiplier les multiprises, ne pas 'bidouiller' les branchements électriques. En second, la nature même des lasers, par production d'une lumière intense monochromatique, est susceptible de déclencher une flamme et un incendie à distance et sur le trajet du rayon. Pour les lasers collimatés, le risque est plus important car le rayon porte plus loin. Un laser peut déclencher un incendie d'un champ opératoire, d'un liquide contenant de l'alcool, ... Il convient donc de supprimer toutes les substances inflammables de la zone opératoire et de privilégier les outils non réfléchissants à proximité de la zone laser pour éviter tout risque de début d'incendie. Il est recommandé, dans tout cabinet laser, comme dans tout cabinet médical de disposer d'extincteurs, vérifiés régulièrement.

Précautions pour faire durer le matériel

Il existe de nombreuses précautions à respecter pour faire durer le matériel laser. Certaines sont liées à l'électronique ou à la mécanique et sont valables pour tous les équipements électroniques, d'autres sont un peu plus spécifiques des lasers.

Les précautions générales pour faire durer

Les règles de bases pour faire durer comportent par exemple les précautions liées à l'électrique ou l'électronique comme: la limitation des microcoupures, des surtensions du réseau d'alimentation qui ont tendance à fatiguer anormalement les machines. Certains lasers sont munis d'un dispositif de double alimentation plus protecteur qu'un simple niveau. Le fait de favoriser le bon fonctionnement des systèmes de ventilation des lasers est aussi un bon moyen de les préserver de surchauffe et donc de l'usure prématurée. Il est recommandé de ménager des espaces vides suffisamment larges autour des machines pour que l'air chaud puisse être évacué de façon favorable. De même, une climatisation des pièces lasers et non seulement agréable aux patients mais surtout prudent pour les machines. Le contrôle du degré d'hygrométrie est aussi un moyen de faire durer les équipements électronique plus longtemps. Il est bien connu qu'en zone tropicale, les cartes informatiques ou électroniques durent moins longtemps. Enfin, la poussière abondante peut aussi réduire la durée de vie des machines en compliquant le travail de la ventilation des équipements.

Les précautions liées à la technologie laser pour faire durer

Les lasers, de par leurs propriétés, provoquent des échauffements assez importants. La plupart des machines médicale laser sont contenues en température par des circuits de refroidissement à air forcé et le plus souvent à eau. Les machines équipées de lampes flash pour le pompage producteur de la lumière laser nécessitent une régulation abondante de la température pour éviter l'endommagement de la tête.

Tout ce qui va permettre de favoriser le refroidissement de la machine va favoriser une durée de vie plus longue de la tête laser coûtant des milliers d'euro à changer. Il est donc recommandé de vérifier régulièrement le liquide de refroidissement pour les équipements qui en sont munis: c'est souvent de l'eau déminéralisée. Il conviendra de bien respecter les recommandations du constructeur et d'éviter l'usage d'eau déminéralisées avec des additifs de type parfum ou colorant qui ne font pas bon ménage avec les lampes flash (encrassement de celle-ci et usure prématurée voir endommagement de la tête laser).

Les lasers médicaux doivent délivrer une fluence (énergie par unité de surface exprimée en joules par centimètres carrés) relativement constante pour garantir une uniformité et une reproductibilité des traitements. Pour y parvenir, les machines contrôlent (calibration) la fluence et corrigent la tension d'alimentation des lampes flash à l'origine de l'effet laser. Si la fluence en sortie du laser n'est pas suffisante, l'électronique augmente la puissance des lampes flash de pompage (et les use plus vite, tout en tirant plus sur l'alimentation). L'opérateur a donc tout intérêt à s'assurer que le minimum d'atténuation est présent entre la sortie de la tête et la pièce à main appliquée sur l'organe humain. Une fibre optique abîmée avec un coefficient de transmission abaissé va occasionner une sur correction par la machine et l'user plus vite. Une fenêtre optique ou une lentille sale va également avoir un effet d'atténuation que le laser va devoir corriger en augmentant sa puissance d'origine et donc son usure des composants. Une lampe flash poussée au maximum s'use plus vite et donc se change plus vite. L'alimentation fatigue aussi plus rapidement. Il est donc primordial d'effectuer la chasse aux impuretés ou dépôts sur les optiques et à maintenir un état de propreté optimal sur tout le trajet du laser.

Nous passerons de façon rapide sur les précautions mécaniques logiques comme la nécessité de ne pas coincer la fibre optique pour ne pas la casser, de ne pas faire rouler un laser de 100 kg sur une fibre optique afin de ne pas l'endommager. De ne pas nettoyer les embouts de fibre avec des dispositifs abrasifs ou des produits d'entretien non adaptés, de ne pas utiliser des consommables à la qualité non contrôlée ou des lentilles non prévues avec des transmissions insuffisantes de l'énergie lumineuse. Il convient aussi de rappeler qu'une fibre optique dispose d'un rayon de courbure maximum qui, même s'il peut être optimisé par des techniques d'engrainage, ne doit pas être dépassé afin de ne pas perdre ses propriétés de transmissions.

Précautions de protection de l'opérateur

Les opérateurs laser et les médecins doivent s'astreindre à une série de vérifications lors de l'utilisation des équipements producteurs de lumière comme les lasers. La répétition des vérifications permet d'en faire de véritables réflexes pour améliorer la sécurité globale du patient et des personnels appelés à travailler en environnement contrôlé

- Protection des yeux de toute personne dans la salle laser
- Mise en place d'un verrou à l'entrée des salles lasers ou dispositif électronique qui bloque les entrées tant qu'un soin est en cours
- Mise en place d'un système de lumière à l'entrée des salles quand les lasers sont en traitement
- Vérification de l'intégrité des fibres optiques avant de débuter un traitement
- Vérification de l'absence de risque inflammable dans le champ d'action ou de traitement (alcool...)
- Vérification de l'absence de substances potentiellement réfléchissantes sur la zone à traiter
- Port de gants la plupart du temps

Précaution de protection du patient

- Démaquillage systématique ou vérification d'absence de maquillage
- Vérification systématique de la longueur du poil en cas d'épilation laser et rasage si nécessaire pour limiter le risque de brûlure superficielle.
- Vérification systématique d'absence de survenue d'une contre-indication (importance d'un avis médical à chaque séance avant chaque acte pour ne pas passer à côté d'un risque. Les contre-indications se recherchent avant chaque séance
- Vérification de l'absence de traitement esthétique ou traumatique récent de la zone à traiter
- Vérification d'absence d'obstacle ou de chromophore concurrent sur la zone à traiter: piercing, tatouage, implant...
- Recherche d'une éruption virale ou d'une infection cutanée en cours qui conduirait à ne pas traiter
- Recherche d'un trouble pigmentaire ou d'une complication du traitement précédent
- Désinfection et nettoyage des dispositifs en contact avec la peau avec des solutions adaptées
- Pose de lunettes pour les traitements hors visage
- Pose de coques oculaires pour les traitements sur le visage
- Pose de coques cornéennes pour les traitements sur les paupières (avec anesthésie locale et après consultation pré-anesthésique)
- Après le soin laser, contrôle visuel médical sur l'état cutané, pose éventuelle d'une crème corticoïdes en épilation laser pour limiter l'œdème et l'inflammation et/ou pose d'une crème apaisante pour réduire l'érythème.
- Rappel des conseils de précautions en post opératoire immédiat.

SOMMAIRE

I) A l'origine il y avait l'Homme.

- 1) *Les différentes découvertes précédant la création du laser.*
- 2) *L'histoire du laser.*

II) Puis l'homme créa l'énergie.

- 1) *Le domaine invisible.*
- 2) *L'infrarouge ?*
- 3) *De l'énergie à l'infrarouge.*

III) Et enfin il créa le laser.

- 1) *Qu'est-ce que le laser ?*
- 2) *Quel trajet effectue la lumière ?*
- 3) *Mais qu'est-ce que le doublage de fréquence ?*

IV) L'expérience !

I) A l'origine il y avait l'Homme.

1) Les différentes découvertes précédant sa création.

En 1953, Charles Hard Townes, James Gordon et Hubert Zeiger réalisent un Maser à l'université de Columbia. Maser qui est l'acronyme de Microwave Amplification by Simulated Emission of Radiation, considéré comme l'ancêtre du laser. Il s'agissait alors d'un maser à ammoniac. Il existe maintenant deux types de maser : à ammoniac et à hydrogène. Ce dispositif a permis d'émettre un faisceau cohérent de micro-ondes. Ces micro-ondes, émises par un maser, sont obtenues en augmentant artificiellement le nombre d'atomes émettant à une fréquence donnée. Cette augmentation s'obtient en excitant un milieu selon un principe analogue à celui du pompage optique utilisé dans le laser. Cependant on l'utilise encore aujourd'hui en interférométrie et en métrologie. Les masers servent aussi à obtenir la fréquence de référence utilisée dans les horloges atomiques.



2) La création du laser

En 1960, le physicien américain Théodore Maiman obtient pour la première fois une émission laser au moyen d'un cristal de rubis.

Mise au point du laser par Théodore Maiman :

C'est en 1960 que Theodore Maiman obtint pour la première fois une émission laser au moyen d'un cristal de rubis. L'impulsion est un rayon de couleur rouge. Ce laser à rubis fonctionne grâce aux ondes électromagnétiques. C'est donc Theodore Maiman, ce physicien de 33 ans qui a été le premier à faire jaillir d'un cristal de rubis un rayonnement laser. Pour ce, autour d'un petit barreau de rubis synthétique de 5mm de diamètre et 4cm de longueur un simple tube flash enroule en hélice. L'énergie du flash stimule les atomes de chrome au cœur du cristal. Les photons sont amplifiés par des réflexions successives sur les deux faces du barreau qui joue le rôle de miroirs internes à cette cavité résonnante. Un phénomène qui explique la raison pour laquelle cette invention a pris le nom de l'acronyme de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation c'est-à-dire le laser. Après cette première émission les chercheurs se précipitent pour tester toutes les sortes de matériaux. Des matériaux cristallins ou gazeux mais aussi des matériaux organiques. Maiman a donc déclenché le début de la création du laser. C'est à partir de là que tout le monde commence à inventer des lasers avec toutes sorte de matières. Même le Pentagone s'excite et cherche de nouvelles armes éventuelles à base du laser. Le laser est très vite devenu utile mais les recherches ne se sont pas arrêtées là. Un an plus tard, Ali Javan met au point un laser au gaz (hélium et néon) puis en 1966, Peter Sorokin construit le premier laser à liquide.

Les lasers trouvent très tôt des débouchés industriels. La première application fut réalisée en 1965 et consistait à usiner un perçage de 4,7 mm de diamètre et de 2 mm de profondeur dans du diamant avec un laser à rubis. Cette opération était réalisée en 15 min, alors qu'une application classique prenait 24 heures. Le laser devient un moyen de lecture en 1974, avec l'introduction des lecteurs de codes barres. En 1978, les *laserdiscs* sont introduits, mais les disques optiques ne deviennent d'usage courant qu'en 1982 avec le disque compact. Le laser permet alors de lire un grand volume de données. De nos jours, le laser trouve une application dans divers et variés domaines : l'épilation en dermatologie, la découpe en ophtalmologie, la soudure, les découpes, les gravures dans l'industrie, le pointage par laser dans l'armement, ...

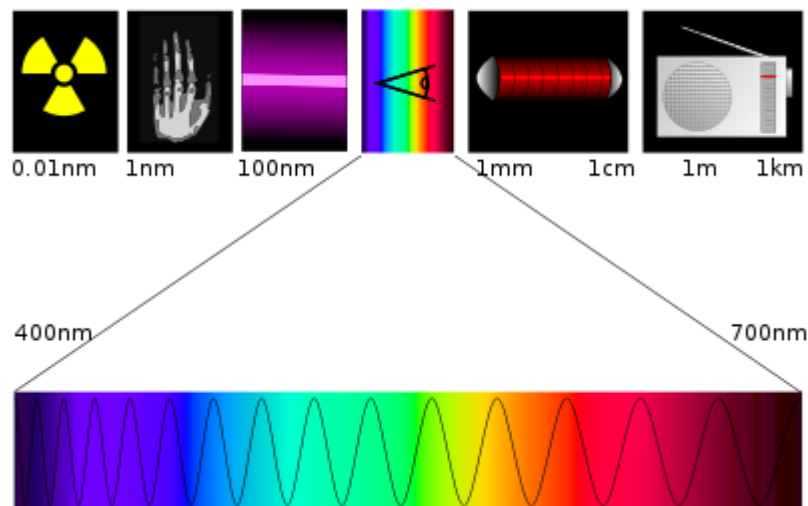
II. Puis l'homme créa l'énergie.

1) Le domaine invisible.



Ce genre de photo véhicule une mauvaise compréhension de la notion de lumière. On voit les rayons ! La lumière serait-elle donc visible ? Il n'en est rien. La lumière est invisible. Ce que l'on voit, ce sont les objets, illuminés par la lumière qui renvoient à leur tour de la lumière dans nos yeux. Ce que nous voyons donc sur cette photo, ce sont les poussières en suspension dans l'air, qui renvoient dans nos yeux, une partie de la lumière qu'elles reçoivent du soleil.

La **lumière visible**, appelée aussi *spectre visible* ou *spectre optique* est la partie du spectre électromagnétique qui est visible pour l'œil humain.



Le domaine visible du spectre électromagnétique

Il n'y a aucune limite exacte au spectre visible: l'œil humain adapté à la lumière possède généralement une sensibilité maximale à la lumière de longueur d'onde d'environ 550 nm, ce qui correspond à une couleur jaune-verte. Généralement, on considère que la réponse de l'œil couvre les longueurs d'ondes de 380 nm à 780 nm bien qu'une gamme de 400 nm à 700 nm soit plus commune. Ces extrêmes correspondent respectivement aux couleurs violet et rouge. Cependant, l'œil peut avoir une certaine réponse visuelle dans des gammes de longueurs d'onde encore plus larges.

Les longueurs d'onde dans la gamme visible pour l'œil occupent la majeure partie de la *fenêtre optique*, une gamme des longueurs d'onde qui sont facilement transmises par l'atmosphère de la Terre.

L'ultraviolet (UV) et l'infrarouge (IR) sont souvent considérés comme "*lumière*" mais ne sont pas visible par les humains; bien que de même nature que la lumière visible (comme la lumière visible, l'ultraviolet et l'infrarouge sont des ondes électromagnétiques)

2) L'infrarouge.

Le nom signifie « en deçà du rouge » (du latin *infra* : « plus bas »), car l'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge (et donc de longueur d'onde supérieure à celle du rouge qui va de 500 à 780 nm). La longueur d'onde de l'infrarouge est comprise entre 780 nm et 1 000 000 nm (ou encore entre 0,78 μm à 1 000 μm).

L'infrarouge est subdivisé en IR proche (PIR : de 0,78 μm à 1,4 μm), IR moyen (MIR : de 1,4 à 3 μm) et IR lointain (de 3 μm à 1 000 μm). Cette classification n'est cependant pas universelle : les frontières varient d'un domaine de compétence à

l'autre sans que l'on ne puisse donner raison à qui que ce soit. Le découpage peut être lié à la longueur d'onde (ou à la fréquence) des émetteurs, des récepteurs (détecteurs), ou encore aux bandes de transmission atmosphérique.

3) Energie et infrarouge.

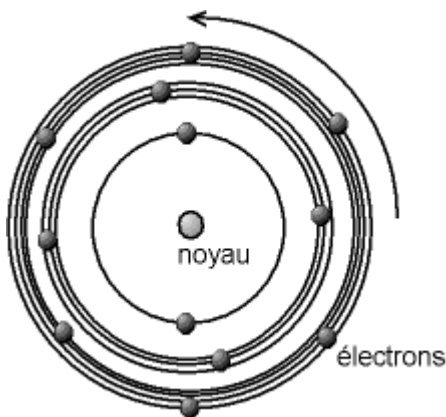
L'infrarouge est associé à la chaleur car, à température ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine infrarouge ; la relation est modélisée par la loi du rayonnement du corps noir dite aussi loi de Planck. La longueur d'onde du maximum d'émission d'un corps noir porté à une température absolue T (en kelvin) est donnée par la relation $2898/T$ connue sous le nom de loi du déplacement de Wien. Cela signifie qu'à température ambiante ordinaire (T aux environs de 300 K), le maximum d'émission se situe aux alentours de 10 μm , la plage concernée étant 8-13 μm . Placé à la surface terrestre, un télescope observant dans cette gamme de longueur d'onde serait donc aveuglé par le fond thermique émis par les objets environnants, c'est pourquoi on envoie les télescopes infrarouges dans l'espace.

Cette association entre l'infrarouge et la chaleur n'est cependant due qu'à la gamme de température observée à la surface de la Terre. Il est parfaitement possible de générer un rayonnement infrarouge qui ne soit pas thermique, c'est-à-dire dont le spectre ne soit pas celui du corps noir ; par exemple, les diodes électroluminescentes utilisées dans les télécommandes « n'émettent pas de chaleur ».

III) Et enfin il créa le laser.

1) Qu'est-ce que le laser ?

Le principe physique utilisé dans les lasers est l'émission stimulée (on parle aussi d'émission induite). Ce principe est issu de la physique quantique et a été décrit la première fois par un certain Albert Einstein en 1917 dans un article intitulé « sur la théorie quantique du rayonnement ». L'émission stimulée est apparentée à deux autres phénomènes quantiques: l'absorption et l'émission spontanée.

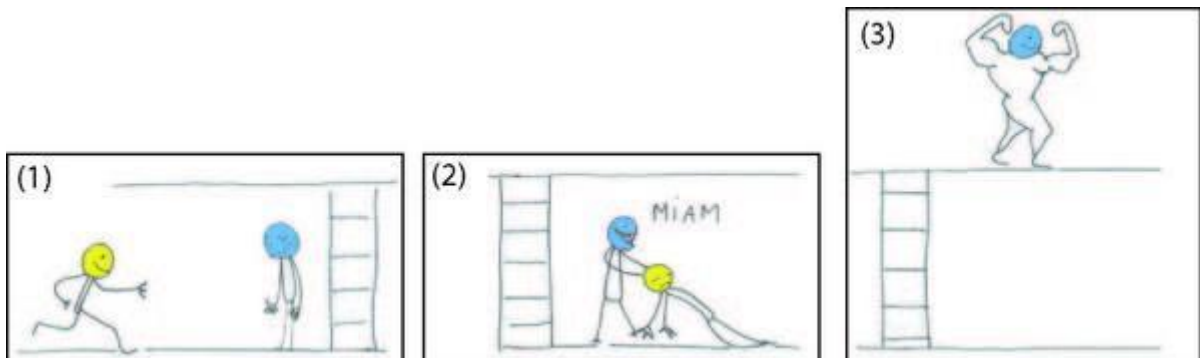


Pour introduire ces concepts, un petit rappel de l'atome est nécessaire: il existe un modèle de l'atome appelé le modèle de Bohr dans lequel l'atome est composé d'un noyau contenant des nucléons (protons+neutrons) et les électrons gravitent autour sur des orbites bien définies (ce n'est qu'un modèle car les électrons ne possèdent pas vraiment de trajectoire dans la théorie quantique).

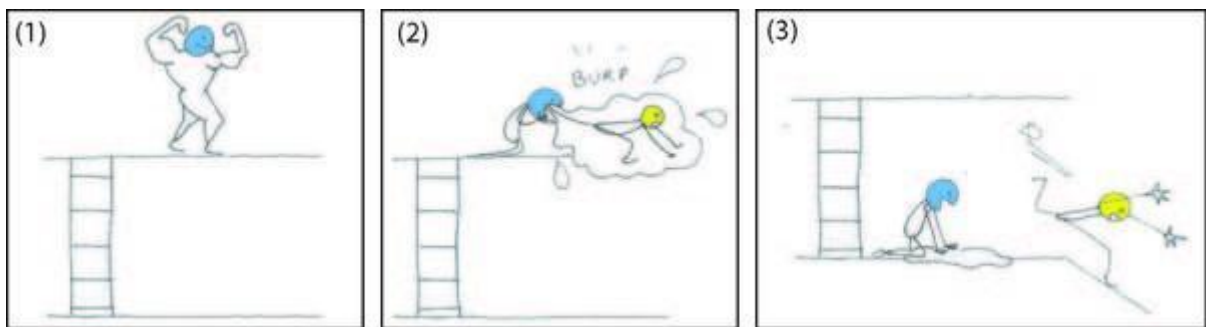
Les électrons se trouvent obligatoirement sur une de ces orbites prédéfinies. Chaque orbite possède une énergie propre qui est quantifiée (on parle alors de niveaux d'énergie). Si on considère 2 niveaux d'énergie (2 orbites) ayant respectivement des énergies E_1 et E_2 avec $E_1 < E_2$ et que l'on apporte une énergie $dE = E_2 - E_1$ à un électron qui se trouve dans le niveau E_1 , il peut « sauter » au niveau E_2 . La réciproque est également vraie.

Voici une brève illustration en BD. Le "bonhomme" jaune est un photon, le "bonhomme" bleu est un électron, et les 2 étages représentent 2 niveaux d'énergie (2 orbites) d'un atome.

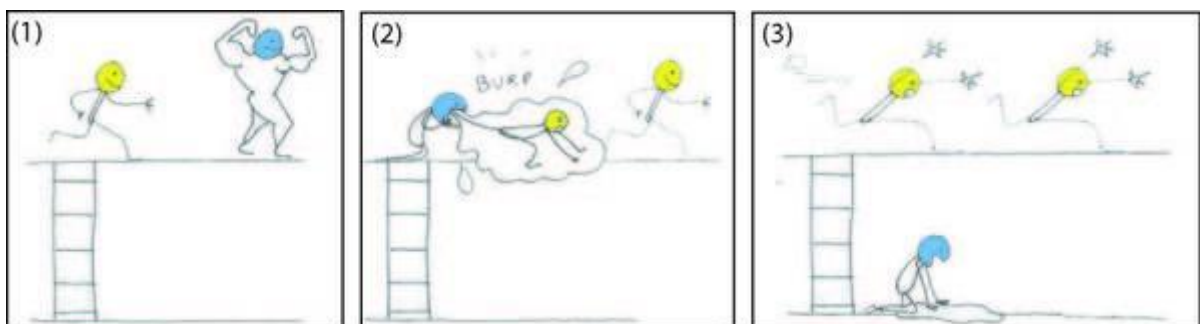
L'absorption (stimulée). Un photon est envoyé sur l'électron d'un atome (1), ce dernier absorbe le photon (2) et emmagasine ainsi son énergie, ce qui lui permet de « sauter » au niveau supérieur. L'électron est alors excité (3).



L'émission spontanée. Un électron excité (1) peut perdre spontanément son état d'excitation en émettant un photon (2) pour retrouver son état d'énergie inférieur (3). Dans ce cas, le photon est émis dans une direction aléatoire.



L'émission stimulée. Un photon est émis vers un électron excité (1). L'électron, « bousculé » par le photon incident, libère un deuxième photon exactement égal au premier (2) et retombe dans son état d'énergie inférieur (3). Le photon émis possède la même fréquence, la même direction, la même phase et la même polarité que le photon incident: on dit qu'ils sont dans le même état.



L'effet laser

Imaginez maintenant qu'on se serve des 2 photons identiques issus de l'émission stimulée pour exciter 2 autres atomes, on obtiendra alors 4 photons dans le même état et ainsi de suite par effet cascade: c'est l'effet laser. Les photons émis constituent une onde électromagnétique ayant une fréquence propre. On peut donc

obtenir un rayon laser lumineux (dans le spectre visible) mais également des rayons micro-ondes, infra-rouges, ultraviolets ou X. Voir un précédent billet intitulé « la nature de la lumière ou l'électromagnétisme » pour plus de détails sur la lumière, les ondes et les photons. On comprend aisément que dans l'effet laser, il y a eu amplification de l'intensité lumineuse et tous les photons sont dans le même état, on parle alors de lumière cohérente. La caractéristique même du laser est cette cohérence de la lumière où tous les photons sont dans le même état (direction, fréquence, polarisation, phase). Comme la fréquence de l'onde lumineuse correspond à une couleur (dans le spectre visible), on obtient un rayon très directionnel d'une couleur unique très pure. La couleur en question dépend de l'atome de base que l'on a utilisé car la fréquence de la lumière émise est fonction de la distance entre les 2 niveaux d'énergie entre lesquels les électrons « sautent ».

Le fonctionnement d'un laser

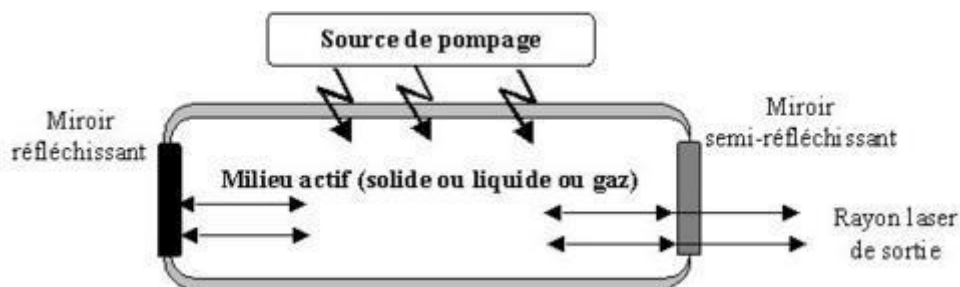
Un laser est composé de 4 organes principaux :

1 - Le milieu actif du laser : il est composé des atomes que l'on va venir exciter (ou pomper). Ce milieu peut être solide, liquide ou gazeux.

2 - Une source de pompage : elle permet d'exciter les atomes du milieu actif en injectant de l'énergie. Cette source peut être d'origine électrique ou lumineuse (un autre laser par ex).

3 - Un miroir qui réfléchit tous les photons incidents.

4 - Un miroir semi-réfléchissant qui laisse passer entre 1% et 10% des photons incidents et réfléchit le reste du rayonnement.



Le principe de fonctionnement du laser est le suivant (voir illustration ci-dessous) :

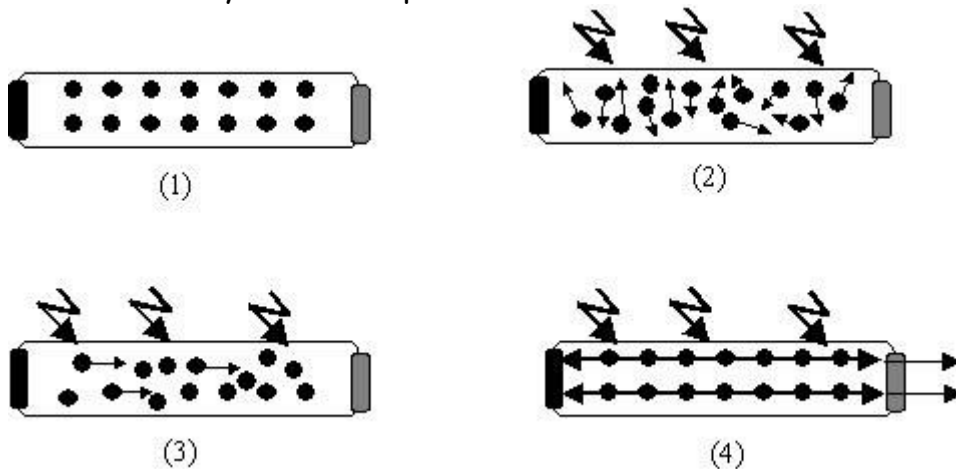
1 - Le milieu actif est au repos.

2 - Le milieu actif est excité par une source de pompage externe. Pour obtenir une amplification, on doit faire en sorte que le maximum d'atomes soient excités pour qu'ils puissent provoquer le maximum d'émissions stimulées car les atomes non-

excités sont susceptibles de faire une absorption de photons qui va à l'encontre de l'amplification. On dit qu'il doit y avoir une inversion de population (il doit y avoir plus d'atomes excités qu'au repos).

3 - Une partie des atomes excités se désexcite provoquant un faible rayonnement de photons cohérents.

4 - Grâce aux miroirs, le rayonnement est réfléchi et est amplifié par effet cascade, le rayonnement oscille dans le milieu actif qui constitue alors une cavité. Une faible partie du rayonnement est émise vers l'extérieur par le miroir semi-réfléchissant sous forme de rayon laser exploitable.



Les types de lasers :

On peut séparer les lasers selon leur mode de fonctionnement et le type de milieu actif qu'ils utilisent (solide, liquide, gaz, semi-conducteur, ...).

Il existe deux modes de fonctionnement distincts :

- Soit la source de pompage donne de l'énergie au milieu actif en permanence pour réexciter les atomes désexcités par émission stimulée. On obtient alors un rayon laser continu à la sortie.

- Soit la source de pompage fonctionne de manière pulsée. Pendant un pulse, un rayon laser très bref est produit, la durée peut aller de quelques femtosecondes (millionième de milliardième de secondes) à quelques millisecondes. Ce mode de fonctionnement permet la création de rayons laser très brefs et plus puissants.

Les lasers solides (dit cristallins) peuvent fournir des puissances de l'ordre du kW en régime continu et des pics de puissance avoisinant le GW en régime pulsé.

Voici les 2 types de lasers les plus courants :

- Les lasers Nd-YaG. Le milieu actif est un solide, plus précisément un cristal de grenat d'yttrium aluminium dopé au néodyme (neodymium-doped yttrium aluminium garnet). La source de pompage est en général une lampe flash (un stroboscope) fournissant des flashes lumineux puissants au milieu actif pour exciter les atomes. Le rayon obtenu se situe à 1065 nanomètres (infra-rouge), il n'est donc pas visible à l'œil nu (spectre visible entre 400 et 700 nanomètres). La puissance maximale est d'environ 5kW en régime continu et 25kW en régime pulsé. Le gros avantage de ce laser est que le rayon laser produit peut être très facilement transportable dans des fibres optiques à cause de sa longueur d'onde. Ils sont utilisés en ophtalmologie, en médecine esthétique, en gravure, découpe, soudure et perçage. La fréquence de l'onde lumineuse peut également être doublée pour fournir un rayon laser dans le spectre visible de couleur verte (532 nanomètres).

- Les lasers CO2. Le milieu actif est en général un mélange de différents gaz (dioxyde de carbone, azote, hydrogène et hélium). Ces lasers peuvent fournir de grosses puissances (plusieurs centaines de kW et jusqu'à 1GW avec des systèmes amplificateurs) et sont très utilisés dans les techniques de marquage et gravure mais également en découpe, en soudure et en chirurgie plastique. Les lasers CO2 fournissent un rayon ayant une longueur d'onde de 10,6 micromètres (milieu infra-rouge): le rayon n'est donc pas visible à l'œil nu.

Les différentes applications

Les applications du laser sont très nombreuses. Le laser a permis de remplacer bon nombre de procédés en améliorant la précision et l'efficacité tout en étant moins invasif. Voici une énumération non exhaustive :

Médecine

- Ophtalmologie : découpes
- Dermatologie : épilation
- Dentisterie : nombreuses applications, remplacement de la « fraise »
- Chirurgie plastique : découpe, resurfaçage,...

Industrie

- Soudure
- Découpe
- Perçage
- Décapage
- Marquage
- Gravure

Armement

- Anti-missile (au sol ou aérien)
- Désignateur laser : source laser permettant de guider un projectile (missile) ou de faciliter la visée à l'aide d'un pointage laser sur les armes légères.

Technologies de l'information

- Télécommunication par fibres optiques
- Lecture/enregistrement sur support optique (CD, DVD, ...)
- Télémétrie : Mesure de longueurs ou de vitesses à distance

Matériaux

- Spectroscopie : analyse des spectres lumineux
- Ellipsométrie : analyse de surface de matériaux

Physique quantique

- Refroidissement par pompage laser : permet de refroidir des atomes à des températures très proches du zéro absolu.
- Manipulation de photons pour leur étude et la réalisation d'expériences

2) Quel trajet effectue la lumière ?

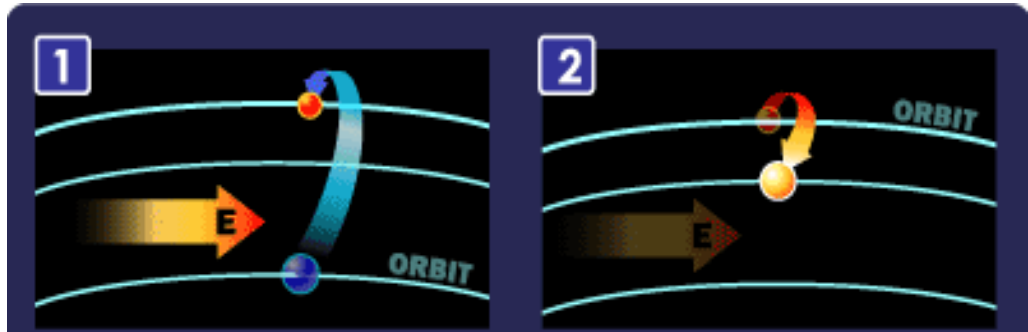
Comme il est expliqué précédemment le laser est à la base un faisceau lumineux dont la longueur d'onde appartient au domaine invisible. Mais dès le départ cette longueur d'onde est trop faible c'est pourquoi il faut amplifier le faisceau lumineux

Mais quel est le trajet de la lumière dans un pointeur laser ?

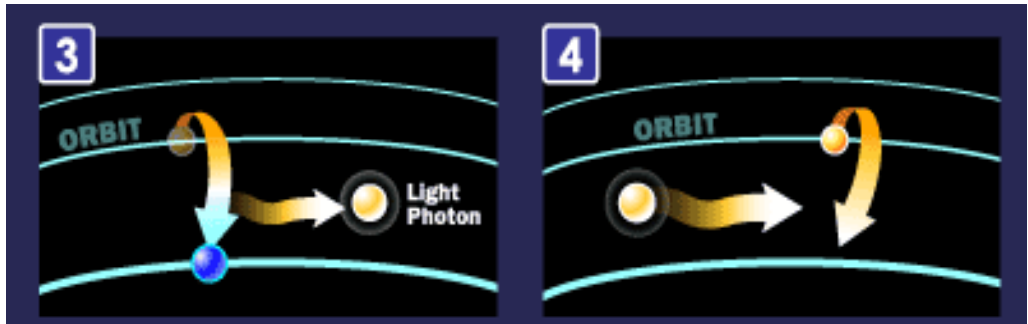
A l'origine un faisceau invisible est produit. On a donc alors un faisceau lumineux visible de faible intensité qui va alors passer par un milieu amplificateur constitué d'un miroir totalement réfléchissant, d'un miroir semi-réfléchissant, d'un milieu excitable et enfin d'une énergie de pompage : on utilise couramment le flash.

On éclaircira quelques notions par des schémas :

POMPAGE

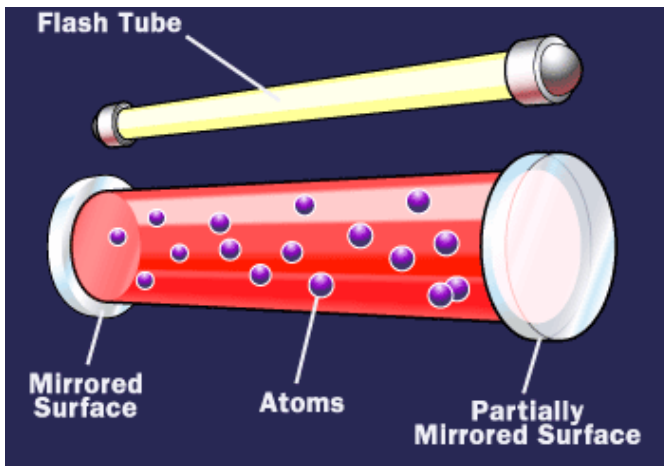


EMISSION
STIMULEE

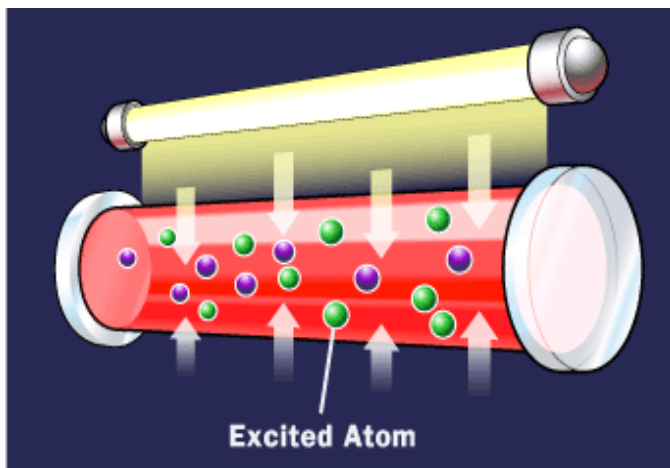


CAVITE

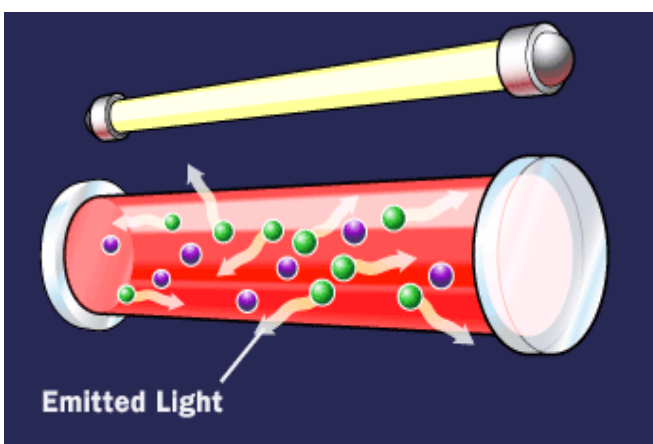




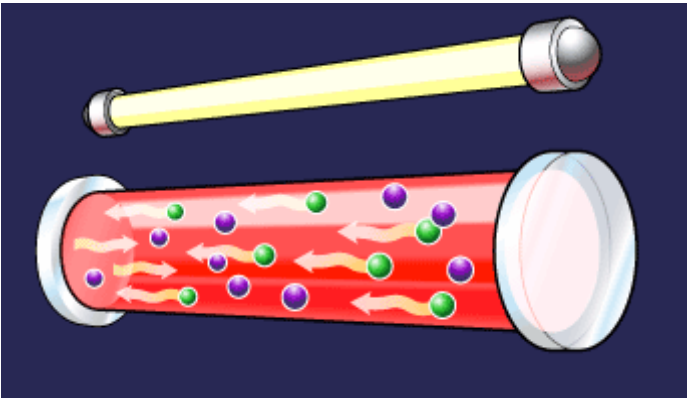
Atomes dans le niveau fondamental



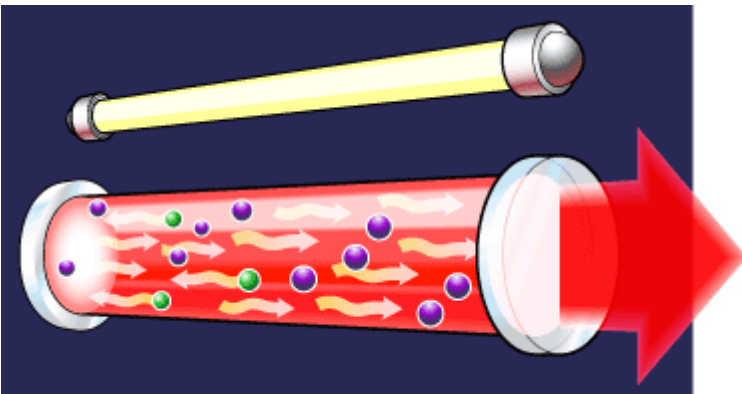
Pompage (ici par flash)
Atomes portés en majorité dans le niveau excité



Emission spontanée/stimulée



Effet "cascade" dû à la cavité



Emission à travers un des miroirs

Puis ce faisceau lumineux va traverser un cristal doubleur de fréquence qui va nous permettre d'apercevoir un rayon lumineux appartenant donc au domaine visible qui va être focalisé par un ensemble de lentille permettant de distinguer un point et non un cercle.

3) Mais qu'est-ce que le doublage de fréquence ?

Considérons un milieu éclairé par une onde lumineuse. Sous l'effet du champ électrique de cette onde, les électrons du matériau oscillent par rapport à leur position d'équilibre. Il apparaît alors un moment électrique par unité de volume encore appelé polarisation P .

·Si l'intensité de l'onde est faible, c'est à dire si le champ électrique de l'onde est petit devant le champ interne E_i entre électrons et noyaux ($\equiv 1V/\text{Å} = 10^{10} \text{ V/m}$) et si la fréquence de l'onde est loin d'une fréquence de résonance des transitions du milieu, la polarisation varie linéairement avec le champ électrique de l'onde et s'écrit, dans le cas d'un milieu isotrope : $P = \epsilon_0 X E$ où X est la susceptibilité linéaire électrique. Remarquons que si le milieu est anisotrope, X est un tenseur et P n'est plus parallèle à E .

· Si l'intensité de l'onde est forte ($E \equiv E_i$) ou si le champ est résonant avec une transition, le déplacement des électrons n'est plus linéaire avec le champ : la description rigoureuse de la polarisation sort du cadre de ce rappel. Supposons que P soit parallèle à E et que les champs soient suffisamment faibles pour pouvoir faire un développement limité de P . On obtient alors :

$$P = \epsilon_0 (c^{(1)}E + c^{(2)}E^2 + c^{(3)}E^3 + \dots)$$

Où $X^{(n)}$ est la susceptibilité d'ordre n .

Considérons une onde plane monochromatique $E = E_0 \cos \omega t$ se propageant dans un milieu possédant une susceptibilité d'ordre deux. La polarisation induite dans le milieu s'écrit :

$$P = \omega_0 X^{(1)} E_0 \cos \omega t + \omega_0 X^{(2)} E_0^2 \cos^2 \omega t + \dots$$

Soit encore :

$$P = \omega_0 X^{(1)} E_0 \cos \omega t + \omega_0 X^{(2)} (E_0^2 / 2) + \omega_0 X^{(2)} (E_0^2 / 2) \cos 2\omega t + \dots$$

Il apparaît dans la polarisation un terme qui oscille à la pulsation 2ω . Le milieu va donc générer une onde à la pulsation 2ω . Il y a alors doublage de fréquence ou génération de seconde harmonique.

L'étude de la propagation des ondes aux pulsations ω et 2ω , supposées colinéaires, montre que l'intensité $I(2\omega, L)$ de l'onde à 2ω à la sortie d'un matériau non linéaire de longueur L est de la forme :

$$I(2\omega, L) \frac{1}{4} \approx (I(\omega, 0) X^{(2)} L)^2 [\sin(\Delta k L / 2) / (\Delta k L / 2)]^2$$

où $I(\omega, 0)$ est l'intensité de l'onde à ω à l'entrée du matériau et où $\Delta k = k_3 - 2k_1$,

les nombres d'onde étant tels que :

$$k_1 = 2\pi/\lambda_1 = (\omega/c)n(\omega) \quad \text{et} \quad k_3 = 2\pi/\lambda_3 = (2\omega/c)n(2\omega)$$

L'efficacité est maximale si l'accord de phase est réalisé, c'est à dire si le désaccord de phase est nul ($\Delta k = 0$). Le désaccord de phase peut encore s'écrire :

$$\Delta k = k_3 - 2k_1 = (2\omega/c)[n(2\omega) - n(\omega)]$$

L'accord de phase est donc réalisé si $n(2\omega) = n(\omega)$: il faut compenser la dispersion du matériau (en anglais : phase-matching). On utilise pour cela des matériaux anisotropes comme par exemple un cristal de KDP (KH_2PO_4). Ce cristal est un uniaxe négatif ($n_e < n_o$). Sur la figure ci-après nous avons représenté une section méridienne des surfaces des indices ordinaires et extraordinaires aux pulsations ω et 2ω .

D'après la figure 5, nous voyons que si les ondes se propagent dans le cristal suivant une direction faisant un angle θ_0 avec l'axe optique, l'indice $n_o(\omega)$ de l'onde ordinaire fondamentale est égal à l'indice $n_e(2\omega)$ de la seconde harmonique.

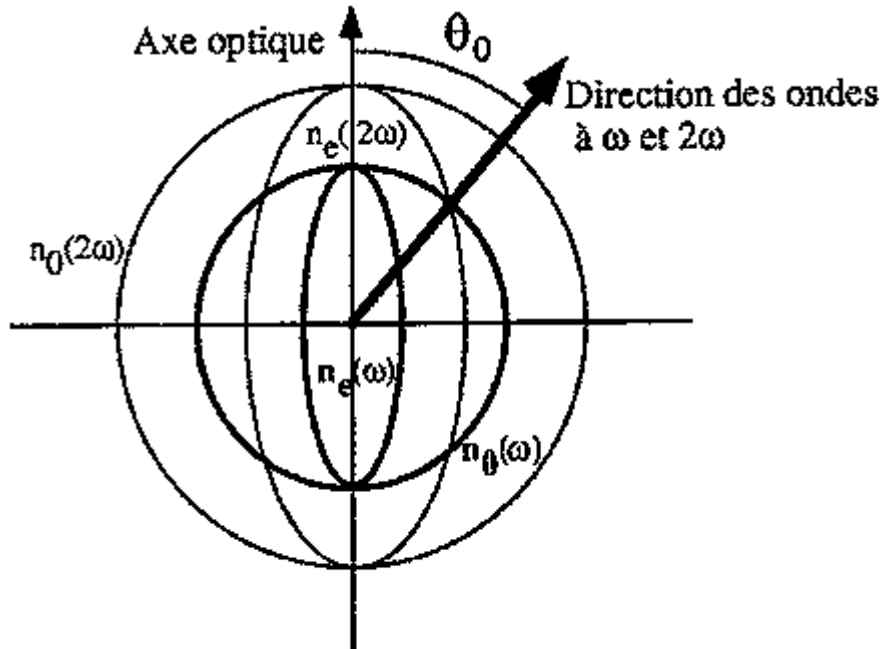


Figure 5 : ellipsoïde des indices pour un cristal uniaxe négatif.

En pratique le cristal est taillé de telle façon qu'il suffise de placer la face d'entrée du cristal perpendiculairement au faisceau d'entrée.

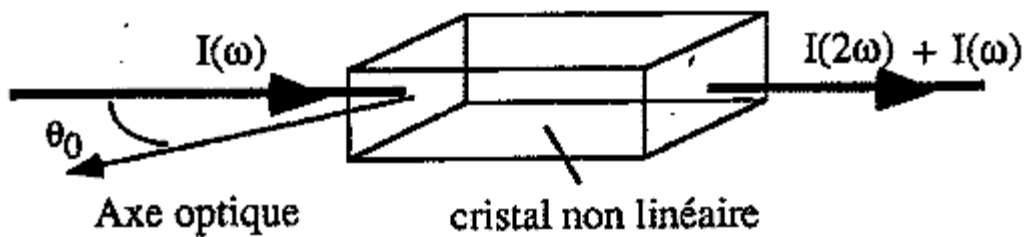


Figure 6.

IV) L'expérience !

Après toutes ces explications, présentons l'expérience.

Nous allons pour notre part démonter un simple pointeur laser vert :



Une fois démonté nous pourrions observer différents composants que nous alignerons avec un laser à l'extérieur de l'armature en acier. Une fois les différents composants alignés, nous fournirons de l'énergie à l'aide d'une pile qui nous permettra de révéler le changement de couleur du rayon laser !

Remerciements :

A Monsieur FAYE (professeur de sciences physiques et de chimie au Lycée Louis-Le-Grand) qui a su nous guider habilement vers un sujet intéressant.

A Ulrich EISMANN (Etudiant, thésard, chercheur à l'ENS Paris) qui nous a montré son expérience impressionnante qui nous a orienté vers le sujet final.

A Bilal LADJELATE (Etudiant à l'ENS Paris) qui nous a présenté à Ulrich Eismann sans qui nous n'aurions surement pas rédigé tout ce dossier.

Bibliographie :

fr.wikipedia.org/wiki/Laser

fr.wikipedia.org/wiki/Physique_quantique

www-reynal.ensea.fr/teaching/quantum/documents/.../nh3.pdf

eurserveur.insa-lyon.fr/.../Laser/index.htm

didier.hottois.pagesperso-orange.fr/laser/intro.htm

<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/4752.htm>

www.science.gouv.fr/.../le-laser-histoire-d-un-rayon/

culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/.../LOM_CSP_conference-PP2010-histoire-laser-Cagnac.xml

<http://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-laser--presentation-et-applications--2096.htm>

www.ast74.fr/prevention/id-17-lasers

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/enseignement/TPOpto/annexes/secur.htm>

www.snof.org/maladies/dangers.html

www.cnam.fr/elau/publi/.../diodes_laser_bases_ELE107.pdf

<http://www.edumedia-sciences.com/fr/a392-laser>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Maser>

<http://blog.narcissique.fr/post/2007/11/12/Principe-de-fonctionnement-du-Laser>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Infrarouge>

http://irfu cea.fr/Sap/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_sstechnique.php?id_ast=1093

<http://www.flir.com/thermography/eurasia/fr/content/?id=11468>