

Document

Principe de base du LASER

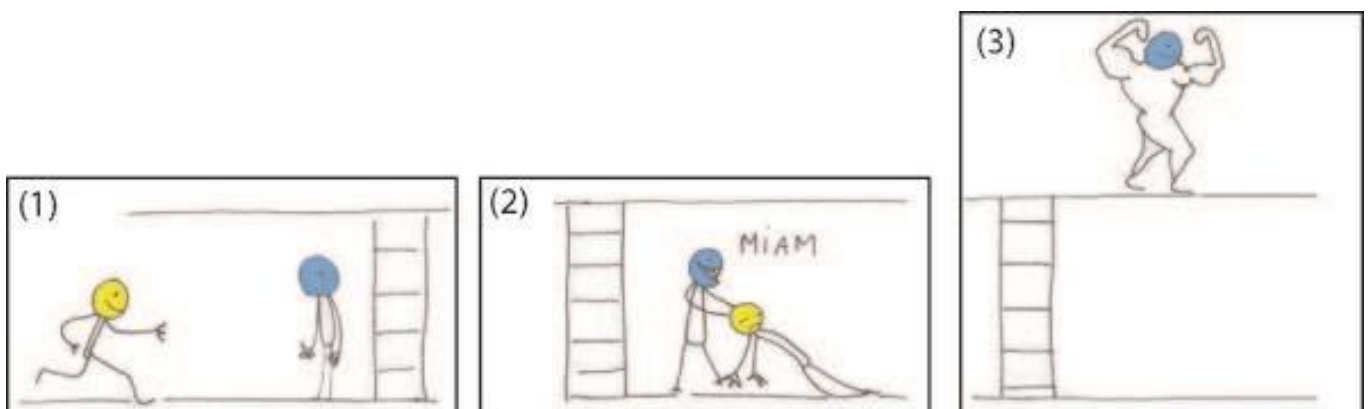
Le principe physique utilisé dans les lasers est l'**émission stimulée** (on parle aussi d'**émission induite**). Ce principe est issu de la physique quantique et a été décrit la première fois par un certain Albert Einstein en 1917 dans un article intitulé "sur la théorie quantique du rayonnement". L'émission 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).

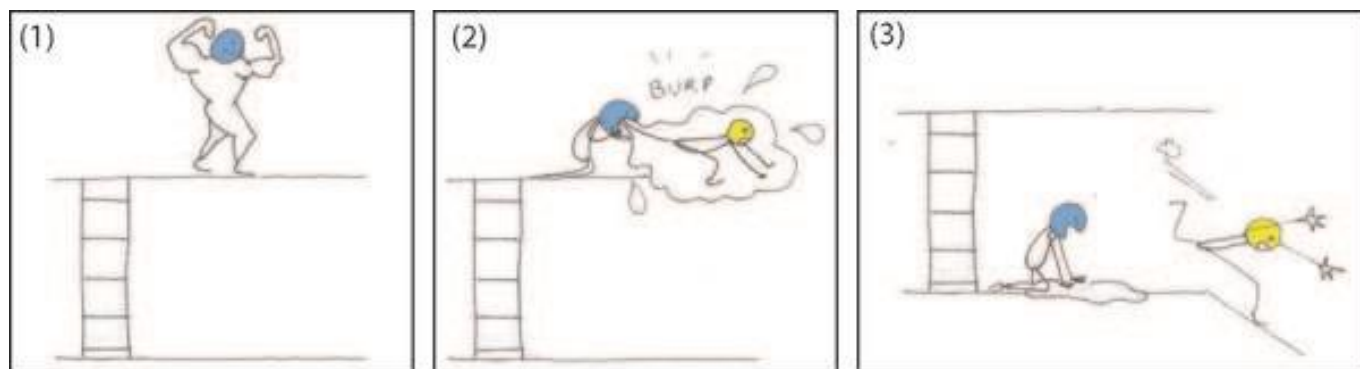
Les électrons se trouvent obligatoirement sur une de ces orbites prédéfinies. Chaque orbite possède une énergie propre qui est quantifiée (on parle alors de niveaux d'énergie). Si on considère 2 niveaux d'énergie (2 orbites) ayant respectivement des énergies E_1 et E_2 avec $E_1 < E_2$ et que l'on apporte une énergie $\Delta E = E_2 - E_1$ 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.

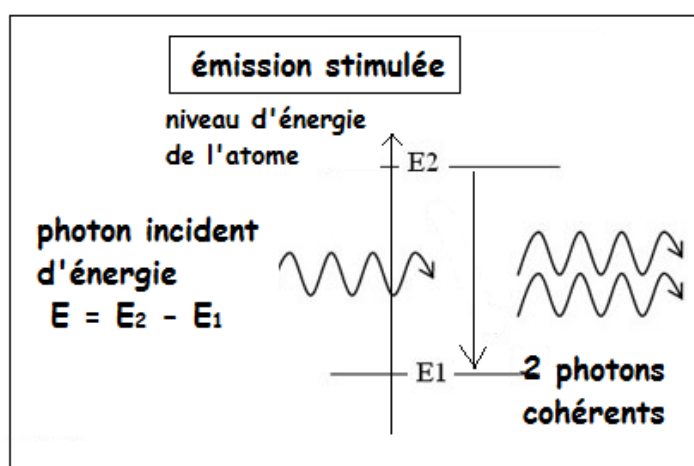
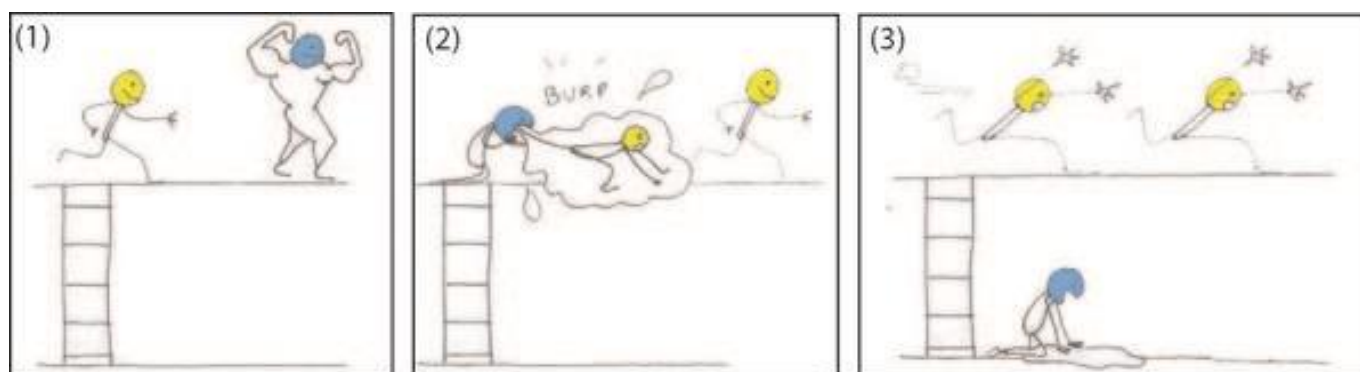
L'absorption (stimulée): Un photon est envoyé sur l'électron d'un atome (1), ce dernier absorbe le photon (2) et emmagasine ainsi son énergie, ce qui lui permet de "sauter" au niveau supérieur. L'électron est alors excité (3).



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.



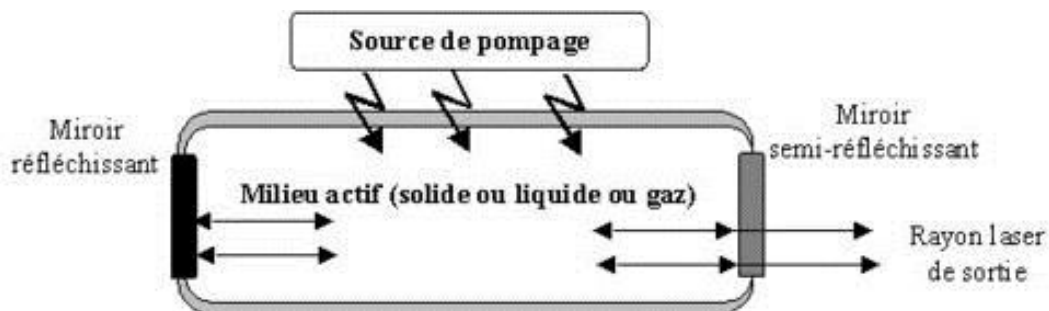
L'effet laser: Imaginez maintenant qu'on se serve des 2 photons identiques issus de l'émission stimulée pour exciter 2 autres atomes, on obtiendra alors 4 photons dans le même état et ainsi de suite par effet cascade: c'est l'effet laser. Les photons émis constituent une **onde électromagnétique** ayant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

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:

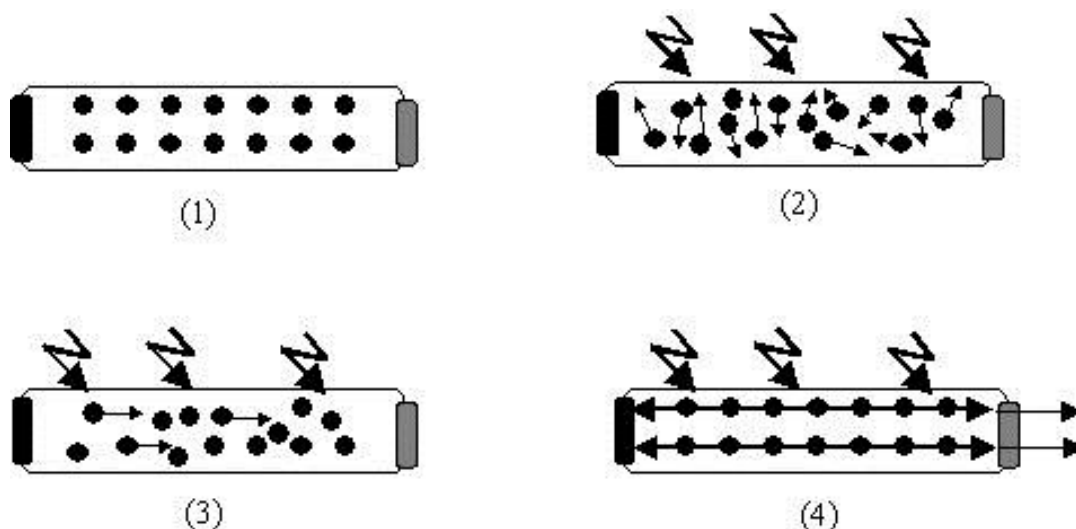
- Le **milieu actif** du laser est composé des atomes que l'on va venir exciter (ou pomper). Ce milieu peut être solide, liquide ou gazeux.
- Une **source de pompage** qui permet d'exciter les atomes du milieu actif en injectant de l'énergie. Cette source peut être d'origine électrique ou lumineuse (un autre laser par ex).
- Un **miroir** qui réfléchit tous les photons incidents.
- 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):

- Le milieu actif est au repos.
- 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).
- Une partie des atomes excités se désexcite provoquant un faible rayonnement de photons cohérents.
- 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 émis 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.

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.

Type de laser	Milieu laser	Couleur du faisceau
Laser hélium-néon	Gaz hélium-néon	Rouge
Diode laser	Solide semi-conducteur arséniure de gallium	Rouge, infrarouge
Laser à colorant	Colorant dans un solvant	Différentes couleurs
Laser Nd-YAG	Solide grenat d'aluminium et d'yttrium dopé au néodyme	Infrarouge

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.