

Heig-vd

Classe MI 2009

Bersier Romain
Clauss David

Prof. resp. : M. Zago

Le 8 février 2009

Travail de recherche

Balise laser

Table des matières	Page
1 Introduction	3
2 Description du sujet retenu pour l'application pratique.....	3
3 Présentation des divers principes.....	5
3.1 Ultrason.....	5
3.2 Infrarouge.....	6
3.3 Laser	6
3.4 Caméra	7
3.5 Télémètre laser	7
3.6 Barrière réflexe.....	7
4 Principe retenu	8
5 Technologie et théorie des lasers	10
5.1 Définition et terminologie.....	10
5.2 Principe de fonctionnement.....	10
5.2.1 <i>Phénomène physique</i>	10
5.2.2 <i>Fonctionnement</i>	12
5.3 Les différents types	13
5.3.1 <i>À solide ou cristallin</i>	13
5.3.2 <i>À liquide ou à colorant</i>	13
5.3.3 <i>À gaz</i>	13
5.3.4 <i>À semi-conducteurs ou diode laser</i>	13
5.3.5 <i>À électrons libres</i>	14
5.3.6 <i>À fibre</i>	14
5.4 Classe des lasers.....	15
6 Conclusions.....	16
7 Référence	16

1 Introduction

Il s'agit de présenter et analyser une application optique, qui par ailleurs est généralement aussi intégrée avec d'autres aspects relevant de l'électronique et de la mécanique.

Nous nous sommes intéressés au laser, autant aux différents principes de fonctionnement de ceux-ci, autant à leurs applications dans l'industrie. Le but étant de comprendre et de pouvoir expliquer plus en détail ce qu'est un laser.

La première partie est un exemple d'application dans le cadre de la coupe suisse de robotique. La deuxième partie traite de l'aspect théorique du laser, son fonctionnement ainsi que les différents principes physiques pour l'obtenir.

2 Description du sujet retenu pour l'application pratique

Nous avons choisi de baser notre travail de recherche sur un système de positionnement qui repose sur la technologie laser.

Ce système de positionnement est utilisé dans le cadre d'Eurobot. Créé en 1998, Eurobot est un concours de robotique amateur international qui se déroule en Europe, mais accueille également les pays des autres continents. Le règlement du concours change chaque année. Cependant, quelques points restent identiques : les matchs durent environ 1 minute 30, les robots doivent avoir une circonférence d'environ 1 mètre 20, deux robots s'affrontent en même temps lors d'un match, le vainqueur est celui qui aura marqué le plus de points et l'aire de jeu est définie par une table de 2 m sur 3 m avec une topologie plus ou moins complexe selon l'année.



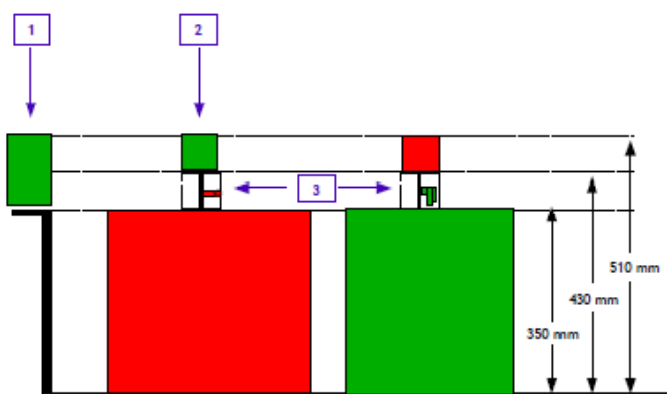
Figure 1, La table de jeux de 2009

Le règlement complet et en français est disponible sur le site Suisse de Eurobot à l'adresse suivante :

http://www.swisseurobot.ch/2009/Rules/E2009_rules_and_drawings-FR-ch-final-v1.pdf

Dans le cadre d'Eurobot chaque équipe a la possibilité de placer des balises, pour se positionner sur le terrain, sur le robot adverse, de manière à le localiser, et sur les 3 supports de balises sur les bords de la table de jeu. Le règlement impose plusieurs contraintes techniques au sujet des balises :

- Les balises doivent être autonomes concernant leur alimentation.
- Les balises fixes doivent tenir sur une base carrée de 80mm de côté et peuvent avoir une hauteur de 160mm au maximum.
- La balise embarquée doit tenir dans un cube de 80mm d'arrêt.
- Les balises fixes peuvent être connectées par une liaison filaire.
- Les lasers supérieur à la classe 1 ne sont pas autorisés.



Légende :

- 1 : balise fixe (dimensions maximales Lxlxh: 80x80x160 mm)
- 2 : balise embarquée (dimensions maximales Lxlxh: 80x80x80 mm)
- 3 : Mât du support (pouvant accueillir des capteurs et éléments associés uniquement, à condition de rester à l'intérieur de la projection verticale du support de balise)

Figure 2, hauteur des balises

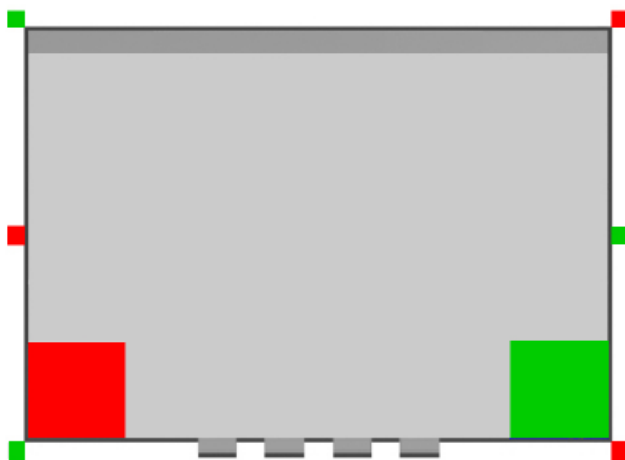


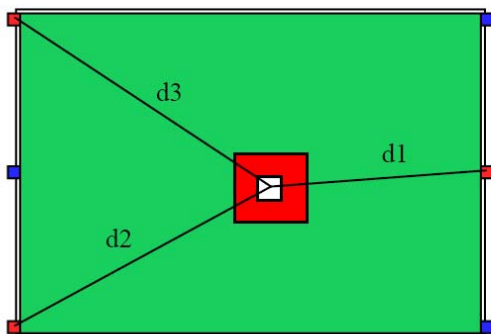
Figure 3, schéma d'emplacement des balises fixes

3 Présentation des divers principes

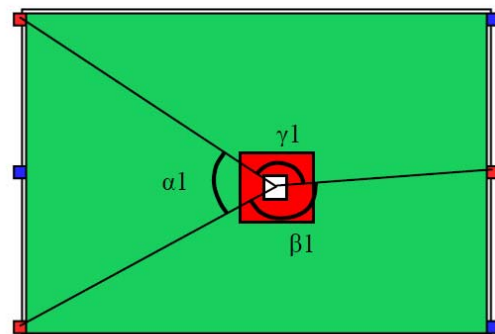
Vous trouverez ci-dessous une brève présentation des diverses solutions et technologie qui permettent de calculer la position des robots sur le terrain. En tenant compte des contraintes ci-dessus.

Pour connaître la position du robot sur la table de jeu, il existe 2 principes de base.

Mesure de distance



Mesure d'angle



3.1 Ultrason

Les balises ultrasons mesure un temps de parcours, et exploitent la vitesse du son dans l'aire pour connaître ensuite la distance séparant les robots de chaque une des trois balises.

Un émetteur ultrason est monté sur chaque un des deux robots, lors de l'émission, un top de synchronisation HF est émis. Le signal est alors reçu par les balises fixes, le calcul de la position du robot est effectué. Et enfin, cette position est transmise au robot principal par HF.

Avantage :

- Bon marché
- Composants courants

Désavantage :

- Facilement perturbable
- Peu précise
- Ne donne pas l'angle du robot

3.2 Infrarouge

Les balises infrarouges exploitent le principe de la mesure d'angle. Les balises fixes émettent des infrarouges dans toutes les directions qui sont ensuite captés par la balise mobile sur le robot. Il existe deux principes de réception légèrement différant. Le premier, des photodiodes sont disposées uniformément autour de la balise. Le deuxième, un récepteur qui tourne en permanence détecte les balises fixes à chaque fois qu'elle passe en face de l'une d'elles. Ces deux principes permettent de déterminer les angles et ensuite la position du robot. La position du deuxième robot (robot ennemi) et ensuite envoyée par HF au robot principale.

Avantage :

- Bon marché
- Balise fixe passive

Désavantage :

- Très imprécis
- Facilement perturbable

3.3 Laser

Les balises lasers exploitent le principe de la mesure d'angle. Un faisceau laser tourne à vitesse constante, monté sur chaque un des deux robots, vient ensuite frapper chaque une des balises fixes. La vitesse de rotation du laser étant connue, il est alors possible d'en déduire les angles et la position du robot. L'information est alors renvoyée par HF au robot principal.

Avantage :

- Très grande précision
- Donne aussi l'angle du robot

Désavantage :

- Plus difficile à mettre en place

3.4 *Caméra*

Les balises à caméra exploitent le principe de la mesure d'angle. Une caméra qui regarde contre le haut, et montée sur le robot. Un miroir conique placé en dessus de la caméra permet d'avoir une image à 360° de la table. Les balises fixes émettent de la lumière, ce qui permet de les repérer et ainsi de calculer l'angle et la position du robot. La position du deuxième robot (robot ennemi) et ensuite envoyée par HF au robot principale.

Avantage :

- Balise fixe passive

Désavantage :

- Facilement perturbable
- Assez gros
- Très imprécis

3.5 *Télémètre laser*

La balise à télémètre laser exploite le principe de mesure de la distance. On fait tourner un télémètre laser, ce qui permet de faire détecter les balises fixes et alors de connaître les distances et la position du robot. La position du deuxième robot (robot ennemi) et ensuite envoyée par HF au robot principale.

Avantage :

- Précis

Désavantage :

- Très cher
- Trop gros
- Ne donne pas l'angle du robot

3.6 *Barrière réflexe*

Balise exploitant la mesure de l'angle. On fait tourner de manière constante une barrière réflexe industrielle, les balises fixes sont constituées de catadioptré. La barrière réflexe s'active quand elle passe devant un catadioptré. Ce qui permet d'avoir les angles et ensuite de calculer la position du robot. La position du deuxième robot (robot ennemi) et ensuite envoyée par HF au robot principale.

Avantage :

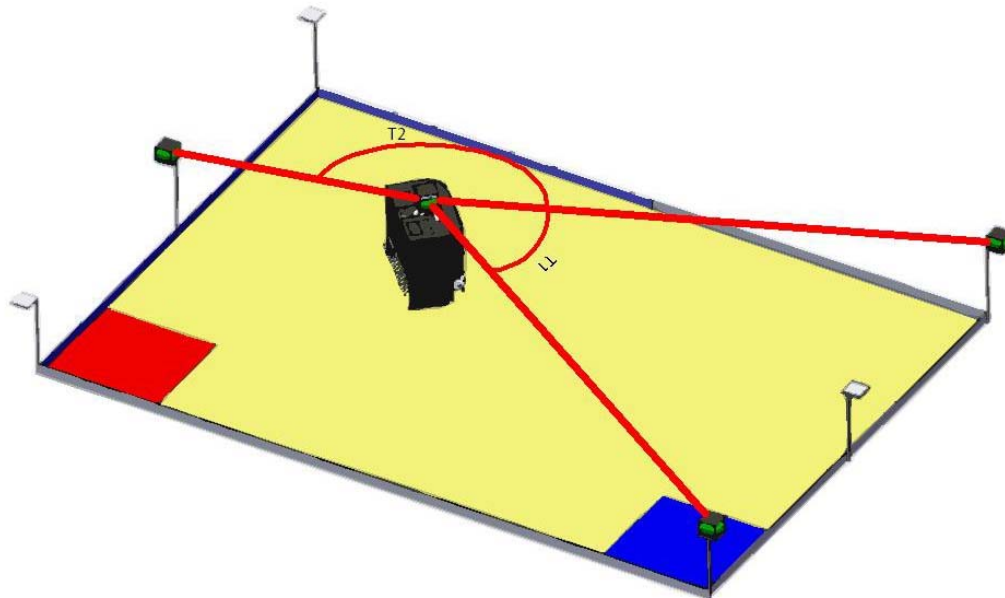
- Simple à réaliser

Désavantage :

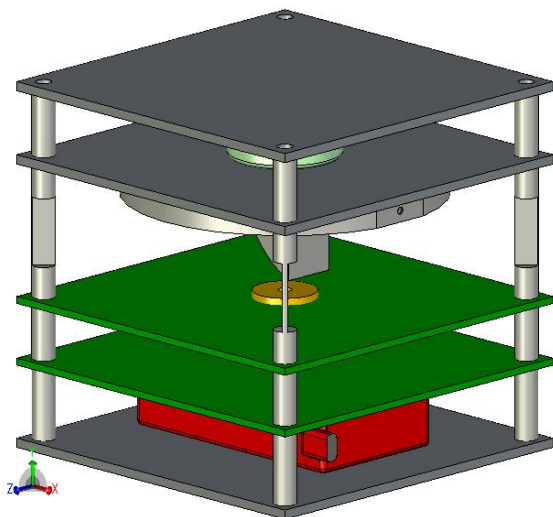
- Perturbable

4 Principe retenu

Le principe des balises laser a été retenu, car il permet d'obtenir la position et l'angle du robot en absolu. Tout en étant très peu influencé par les perturbations. Mais aussi avec une très grande précision moins de 1cm.

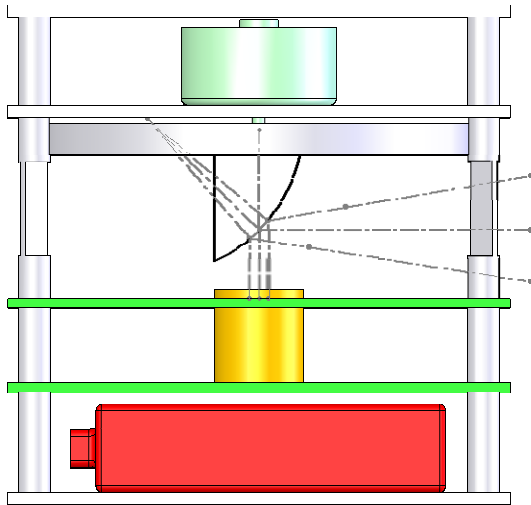


Sur chaque un des 2 robots présents sur la table lors d'un match est montée une balise mobile. Cette balise est composée d'un laser et d'un miroir rotatif.



Chaque un des deux lasers est modulé à des fréquences différentes, pour les reconnaître entre eux. La modulation permet aussi de ne pas être perturbé par d'autre système de balise adverse.

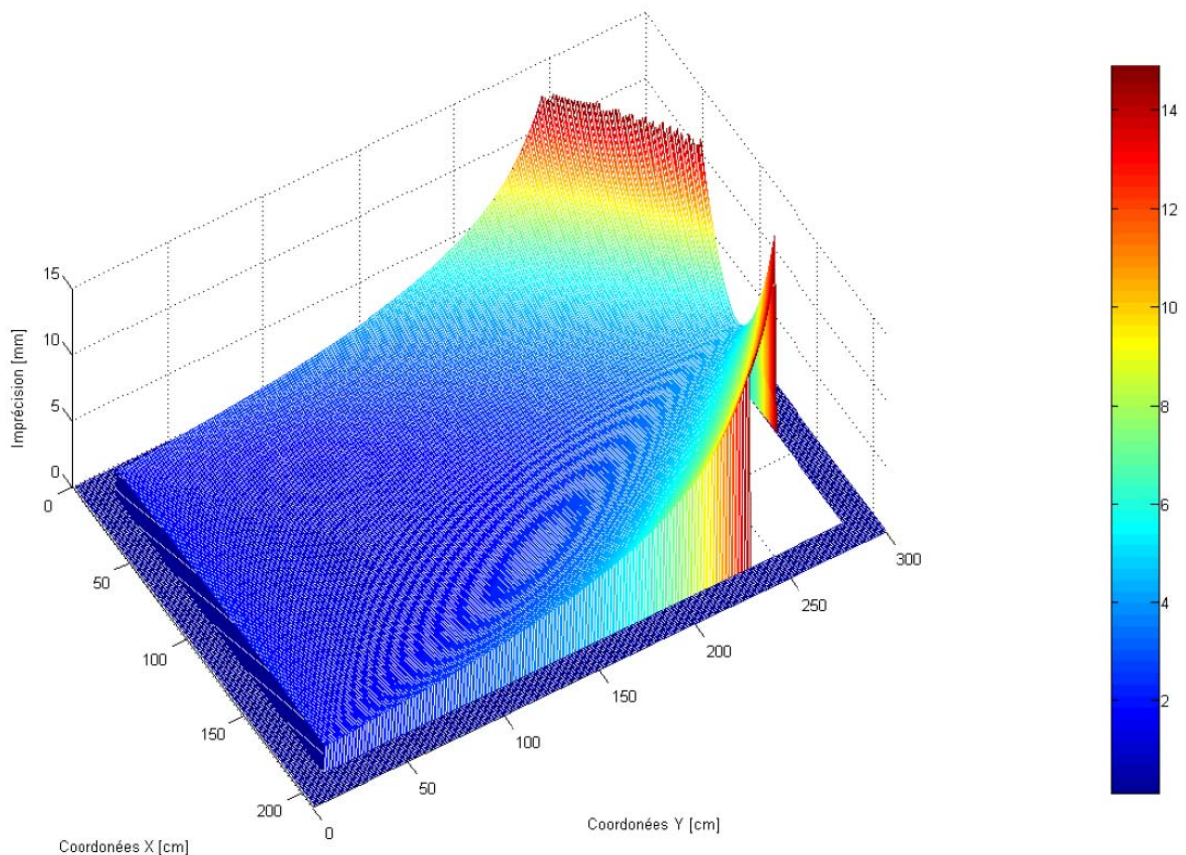
Pour garantir une rotation stable du miroir même quand le robot est en mouvement, un volant d'inertie y a été ajouté. Volant et miroir tournent à 10tr/s. Cette vitesse de rotation est contrainte, par la modulation des lasers et la bande passante des filtres utilisés. Ce qui permet d'avoir 10 fois notre position par seconde.



Il restait un problème à résoudre. En effet, la table du concours n'est pas toujours très plate et les deux balises mobiles ne sont pas à la même hauteur.

Ce problème a été résolu en créant une ligne au lieu d'un point. Le diamètre du spot de la diode laser fait 3mm. Pour créer la ligne, le miroir a été remplacé par un miroir cylindrique. Ce qui permet de créer une ligne laser tournante.

Ci-dessous, le graphique de la précision du système sur la table jeux. Les calculs et les divers composants ont été pris en compte dans ce graphique.



5 Technologie et théorie des lasers

5.1 Définition et terminologie

Le mot laser est issu de l'acronyme anglais *light amplification by stimulated emission of radiation* ce qui signifie en français *amplification de la lumière par émission stimulée de radiation*. Le mot laser est communément utilisé pour parler d'une source de lumière basée sur l'effet laser. La plupart des amplificateurs optiques sont basés sur cet effet.

L'effet laser est un principe d'amplification cohérente (ondes et photons associés se propagent en phase) de la lumière par émission stimulée. Une source laser est une source de lumière spatialement et temporellement cohérente, cette propriété rend sa lumière extrêmement directionnelle et d'une grande pureté spectrale.

Le mot lumière est pour cet effet, utilisé dans un sens plus large, se référant aux rayonnements électromagnétiques d'une fréquence, et non pas seulement au spectre visible. Ainsi, il existe des lasers infrarouges, ultraviolet, à rayons X, etc.

5.2 Principe de fonctionnement

5.2.1 Phénomène physique

Les électrons d'un atome sont répartis sur plusieurs couches ou orbites autour du noyau. Les électrons gravitent sur ces orbites plus ou moins proche du noyau. On peut définir un niveau d'énergie pour chaque électron sur les couches, plus celui-ci est loin du centre plus son énergie est grande.

Le niveau d'énergie d'un électron est souvent exprimé par une formule selon l'atome. Le nombre n utilisé dans ces expressions est le nombre quantique principal, il désigne le numéro de la couche électronique dans laquelle se situe l'électron.

Le premier niveau $n=1$, est le niveau fondamental, le plus stable, car son énergie est la plus basse. Les autres niveaux sont dits excités et possède de plus en plus d'énergie selon le niveau d'excitation.

Exemple pour un atome d'hydrogène (dihydrogène H_2):

$$E = -\frac{13.6}{n^2} [eV]$$
$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$
$$E_2 = -3.4 \text{ eV}$$
$$E_3 = -1.51 \text{ eV}$$

Théoriquement quand $n \rightarrow \infty$ alors le niveau d'énergie est égal à zéro et l'électron est dit libre. Il y a trois principaux principes d'interaction de la matière avec la lumière, l'absorption, l'émission stimulée et l'émission spontanée.

- *L'absorption* : Lorsque l'atome est soumis à un rayonnement électromagnétique (par exemple la lumière) il prélève de l'énergie sur le rayonnement pour faire changer ces électrons de couche $n' > n$. Il y a gain d'énergie.
- *L'émission stimulée* : C'est le processus inverse de l'absorption. Un atome peut se « désexciter » vers un niveau d'énergie inférieur sous l'effet d'une onde électromagnétique, d'un état n' à un état n . Cette onde sera alors amplifiée par le gain d'énergie issue de l'atome.
- *L'émission spontanée* : Un atome dans un état excité peut se désexciter même en l'absence de rayonnement. Le rayonnement est alors émis dans une direction aléatoire.

Ces phénomènes sont valables uniquement si la fréquence de l'onde est proche de la fréquence de Bohr.

Voici une illustration du processus de gain ou perte d'énergie :

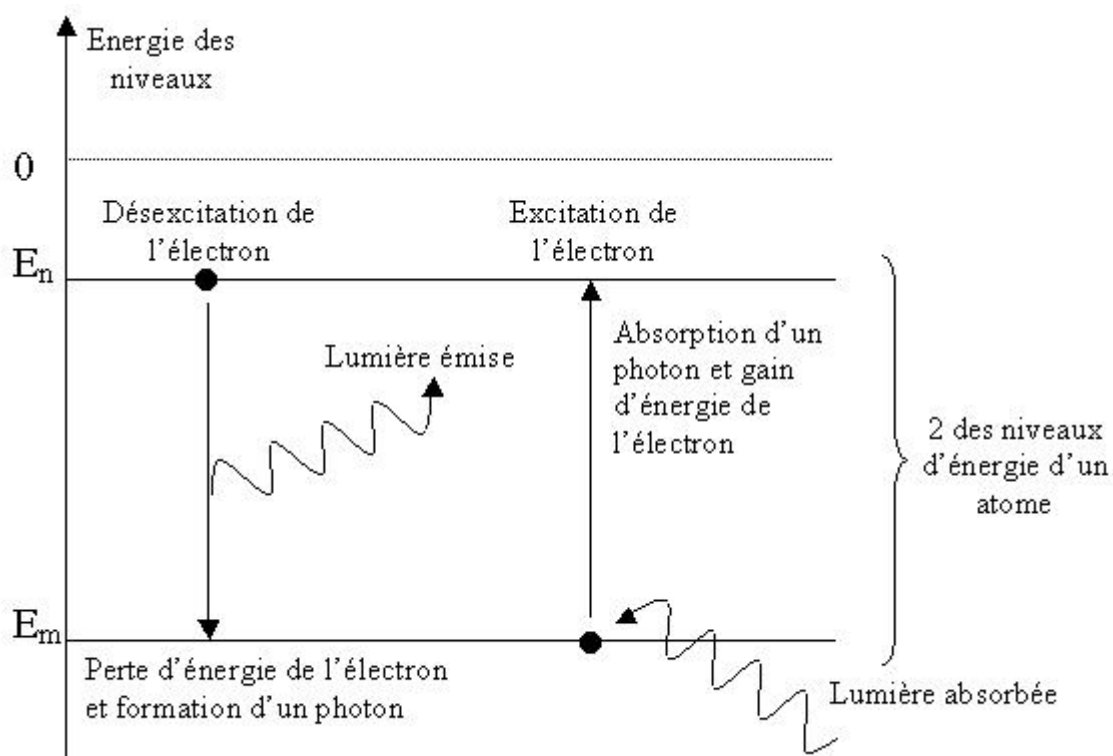


Figure 4: schéma de principe émission-absorption
<http://e.m.c.2.free.fr/niveaux-energie-hydrogene-emission-absorption.htm>

5.2.2 Fonctionnement

Comme décrit dans la description, le laser est un processus utilisant l'émission stimulée pour amplifier la lumière.

Le module d'amplification est constitué d'un milieu actif fait de matière dont les atomes sont excités dans un état n' par une source d'énergie (par exemple une pile), cette étape est appelée « pompage ». Il y a ensuite une émission de lumière dans le milieu, ce qui provoque les collisions entre les électrons et les photons. Lors de ces collisions, les électrons excités retournent à leur niveau d'énergie initial en émettant de nouveaux photons. Pour finir, deux miroirs situés aux extrémités du laser se réfléchissent la lumière ainsi émise pour l'amplifier de plus en plus. Pour que la lumière puisse être utilisée, l'un des deux miroirs est semi-réfléchissant, ce qui permet à une fraction de la lumière d'être relâchée à chaque aller-retour.

La figure ci dessous illustre le procédé :

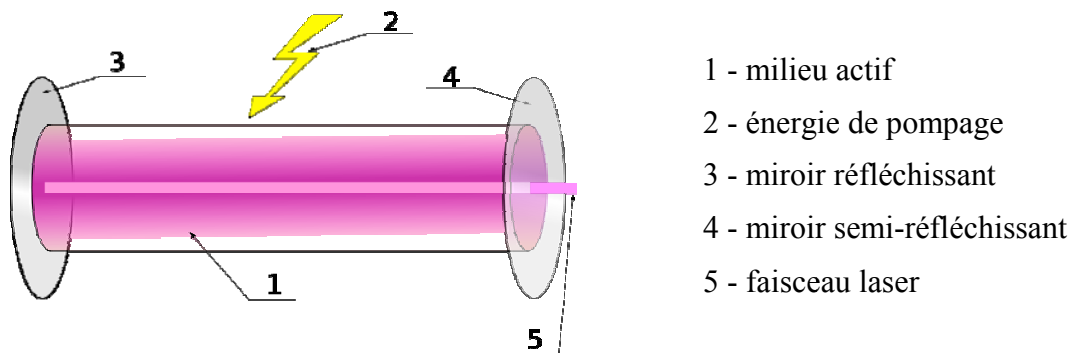


Figure 5 : fonctionnement du laser
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Laser.svg>

La cohérence de la lumière d'un laser est due au fait que les photons du milieu naissent sur le passage d'autres photons qui sont en phase avec eux dans leur déplacement. De plus, l'énergie et la direction des photons obtenus par émission stimulée sont les mêmes que ceux des photons incidents. Comme les photons ne se déplacent pas dans l'axe des miroirs sont perdus dans les parois opaques on obtient une lumière très pure dans une seule direction.

Il existe aussi des lasers impulsionsnels, dans lesquels il n'y a pas de miroir semi-réfléchissant. Le laser est équipé d'un obturateur qui libère le faisceau lorsque l'on commande le tir. Entre deux impulsions, il faut un certain temps pour que le milieu actif soit convenablement pompé.

5.3 Les différents types

Pendant mes recherches j'ai trouvé plusieurs façons de classer les différents types de laser. J'ai retenu celle qui je pense est la plus complète en six groupes. Le sixième groupe étant le dernier né dans le domaine il ne figure donc pas encore partout.

La classification est faite en fonction de la nature du milieu actif.

5.3.1 À solide ou cristallin

Ce type de laser utilise pour milieu actif un solide cristallin par exemple de verre ou le rubis. Cette matière ne sert que de matrice pour fixer des ions qui eux vont permettre l'émission des photons. Ce procédé utiliser pour ioniser la matière est appelé « dopage ».

Comme la longueur d'onde est définie par rapport à la fréquence de Bore du matériau émettant les photons, il est facile de la changer en modifiant le dopant. Il est donc possible de définir la couleur du laser ou même de faire un laser infrarouge ou ultraviolet.

5.3.2 À liquide ou à colorant

Dans les lasers à liquide, le milieu d'émission est un colorant en solution liquide enfermé dans une fiole de verre. Le milieu est pompé par flashage (mode discontinu) ou par un laser auxiliaire à gaz (mode continu). Dans un laser à liquide.

Les fréquences du rayonnement peuvent être ajustées au moyen d'un prisme régulant placé dans le récipient, ce qui rend ce type d'appareil extrêmement précis. Le choix du colorant détermine essentiellement la gamme de couleurs du rayon qu'il émettra.

5.3.3 À gaz

Dans un laser à gaz, le milieu qui génère les photons est un gaz. Ce gaz peut être pur, mélangé ou un métal chauffé à l'état de vapeur. Il est contenu dans un tube en verre ou en quartz. Le pompage du milieu est obtenu par rayonnement ultraviolet ou par bombardement d'électrons.

Le laser à hélium et néon, en particulier, est connu pour la pureté de sa fréquence d'émission et l'étroitesse (directivité) du faisceau obtenu. Les lasers à dioxyde de carbone sont également répandus et génèrent de fortes puissances en mode continu.

5.3.4 À semi-conducteurs ou diode laser

Ces lasers sont principalement constitués d'une diode à semi-conducteur afin de produire un rayonnement. Le pompage se fait grâce à une jonction PN qui traversé par un courant émet des photons par la recombinaison des trous et des électrons.

Pour obtenir des puissances plus élevées, un grand nombre de jonctions sont montées en parallèle, leur densité pouvant atteindre plusieurs millions au centimètre carré.

C'est le type de laser le plus utilisé dans l'industrie. Il présente de nombreux avantages par exemple le lien entre l'énergie électrique et la lumière, d'où les applications en télécommunications. De plus, le rendement de ce procédé est élevé (30 à 40 %). Parmi les avantages notables de ces lasers, il y a leurs prix très bas ainsi que leur petite taille.

En utilisant ce procédé on arrive à créer des lasers dans quasiment toutes les longueurs d'onde. Le laser rouge est toujours le plus utilisé pour des raisons de coût.

Malgré tout ces avantages, c'est un type de laser dont la direction spectrale de la lumière est moins bonne, on dit qu'il est moins « pur ». Bien entendu pour la plupart des applications ce n'est pas un problème.

5.3.5 À électrons libres

Le laser à électrons libres est une technologie assez récente (1977). Son principe de fonctionnement est tout à fait différent de celui des autres types de laser. La lumière est produite par un rayonnement synchrotron qui lui est produit par des électrons accélérés. Pour expliquer ce système plus simplement, le laser mobilise les électrons du plasma qui se déplace selon une trajectoire en spirale.

Pour que l'effet laser puisse avoir lieu, on envoie un faisceau d'électrons dans un onduleur qui lui est placé entre deux miroirs. C'est alors que le rayonnement synchrotron est amplifié et devient cohérent.

Pour changer la longueur d'onde du laser, il suffit de changer la vitesse des électrons. De ce fait la gamme de fréquences est très large et l'ajustement peut se faire de façon très fine. Comme c'est une technologie compliquée et chère, ces lasers sont principalement utilisés en recherche ou l'on recherche de grandes précisions.

En observant l'évolution de cette technologie, il est bien possible que dans l'avenir de tels lasers soient capables de générer de hautes énergies à des coûts raisonnables.

5.3.6 À fibre

Comme mentionné plus haut ce type de laser est la dernière trouvaille dans le domaine. Sa conception est assez révolutionnaire. En effet le milieu actif n'est rien d'autre qu'une fibre optique qui a été dopée avec des ions de terre rare (ytterbium).

La gamme de fréquences est sensiblement la même que pour les lasers cristallins. Par contre, ce type est en beaucoup de points meilleurs que les autres lasers. En effet il est plus petit, plus stable et la qualité de son faisceau est plus grande ce qui permet d'avoir une meilleure résolution. Un avantage notable est le fait qu'il ne chauffe que très peu, il n'y a donc pas besoin d'un système de refroidissement.

5.4 Classe des lasers

Les lasers sont triés en plusieurs classes selon leur dangerosité. Plus le chiffre de la classe est élevé, plus le risque est important. Le guide de classification des appareils à laser constitue l'un des principaux éléments de la norme sur les appareils à laser EN 60825-1.

Classe 1	inoffensif en fonctionnement normal	aucune mesure nécessaire
Classe 1M	inoffensif sans instruments optiques	mettre en garde les personnes qui emploient des instruments optiques
Classe 2	inoffensif pour des temps d'exposition courts	ne pas regarder volontairement dans le faisceau, ne pas diriger le faisceau vers des visages
Classe 2M	sans instruments optiques: comme classe 2	mettre en garde les personnes qui emploient des instruments optiques
Classe 3A	abrogée	à considérer comme les classes 1M ou 2M
Classe 3R	risque réduit	ne laisser utiliser que par du personnel formé à cet effet
Classe 3B ²	rayonnement direct dangereux pour l'œil, rayonnement diffusé non dangereux	nommer un responsable de sécurité laser, délimiter physiquement la zone d'utilisation, contrôler son accès, signaler la présence de lasers à l'entrée, ne laisser utiliser que par du personnel formé à cet effet, porter év. des lunettes de protection
Classe 4 ²	rayonnement dangereux pour les yeux et la peau, rayonnement diffusé év. dangereux pour l'œil, risque d'incendie	mêmes mesures que pour la classe 3B, porter év. des équipements de protection supplémentaires pour certaines parties du corps

Les lasers de classe M, 1M par exemple, sont des lasers à faisceau élargi ou divergeant. Attention, en cas d'utilisation d'instruments optique, cela peut changer leur classe.

6 Conclusions

Un tel sujet est très intéressant surtout dans son aspect pluridisciplinaire. En effet pour la partie théorie des lasers il y a autant de notions des matériaux, électroniques, électromagnétiques ainsi que plusieurs principes physiques différents. Il n'a pas été simple de comprendre et d'expliquer simplement ses procédés complexes.

Le championnat suisse de robotique, qualification pour Eurobot, aura lieu à la salle de la Marive à Yverdon, le 8 et 9 mai.

Lieu : *Blonay*

Date : 8 février 2009

Signatures :

Romain Bersier

Clauss David

7 Référence

- www.cvra.ch Club vaudois de robotique autonome
- www.wikipedia.org Encyclopédie libre (français et anglais)
- www.eurobot.org Concours européen de robotique autonome
- www.swisseurobot.ch Concours suisse de robotique autonome
- <http://fribotte.free.fr/> Club de passionné de robotique
- [Balises_CPLN](#) Travail de diplôme au CPLN
- www.suva.ch une entreprise indépendante de droit public
- Encyclopédie Encarta