

# *Introduction aux lasers*

Principe, propriétés, applications



**ULICE OPTRONIQUE**

**B.P. 1037**

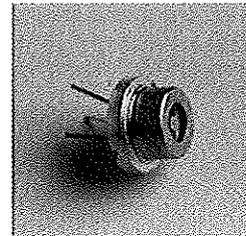
**91940 LES ULIS**

**Tél : 0 825 00 28 07**

**Fax : 0825 00 35 07**

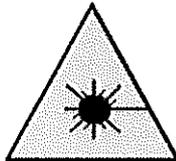


## Spécifications de votre diode laser



### Specifications:

- Puissance de sortie : < 1 mW
- Longueur d'onde : 650 nm (rouge) +/- 3 nm
- Stabilité de puissance : +/- 5% en 24 heures.
- Diamètre du faisceau de sortie : 3.0 mm +/- 10%
- Divergence : < 2 mrad (diamètre à 5 m < 8 mm)
- Polarisation : linéaire
- Temps de montée électronique : 1 s (standard)
- Stabilité de la puissance de sortie : 5 minutes (standard)
- Alimentation secteur (inclue) : 220 V-50 Hz to 12 V DC / 300 mA



LASER DE CLASSE II

### Sécurité laser

Reportez vous à la page 8.

#### Nettoyage du boîtier

Vérifiez la mise hors tension du laser avant de procéder au nettoyage. Nettoyez la surface extérieure avec un chiffon doux sec. N'utilisez jamais de détergents abrasifs ou corrosifs.

#### Environnement d'utilisation

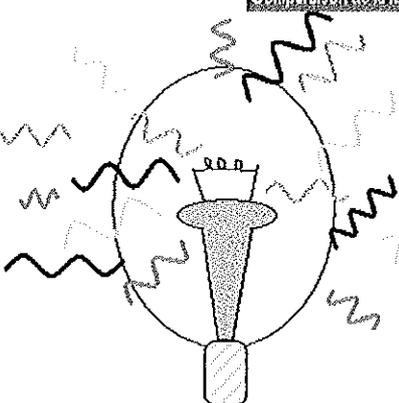
Température comprise entre 15°C et 30°C  
Humidité de 15% à 85%



# Les caractéristiques de la lumière laser

Les lasers produisent une lumière domptée bien différente de la lumière ordinaire produite par le Soleil ou les ampoules de nos maisons. Les propriétés de la lumière laser vont être à la base des applications utilisant ce type de lumière.

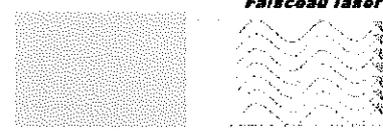
**Comparaison de la lumière ordinaire et de la lumière laser**



**La lumière ordinaire est :**

- **de plusieurs couleurs**  
Avec un prisme, la lumière que l'on voit blanche peut être décomposée en un arc-en-ciel.
- **multidirectionnelle**  
Les différentes ondes lumineuses se déplacent dans toutes les directions de l'espace à partir de la source.
- **désordonnée**  
Les différentes ondes lumineuses ne sont pas brisées en même temps. Elles oscillent de manière désordonnée, indépendamment les unes des autres.

**Faisceau laser**



**La lumière laser est :**

- **d'une seule couleur**  
On dit qu'elle est monochromatique. Elle ne peut pas se décomposer en un spectre. Il existe de nombreux types de lasers de couleurs différentes.
- **unidirectionnelle**  
Toutes les ondes lumineuses se déplacent dans la même direction et forment un faisceau lumineux étroit non divergent.
- **ordonnée (ou cohérente)**  
Toutes les ondes sont en phase, c'est à dire avec leurs « bosses » et leurs « creux » aux mêmes endroits.  
Il est possible de comparer la lumière laser à une armée de petits soldats « marchant au pas cadencé » et la lumière à une foule de personnes se déplaçant au hasard.



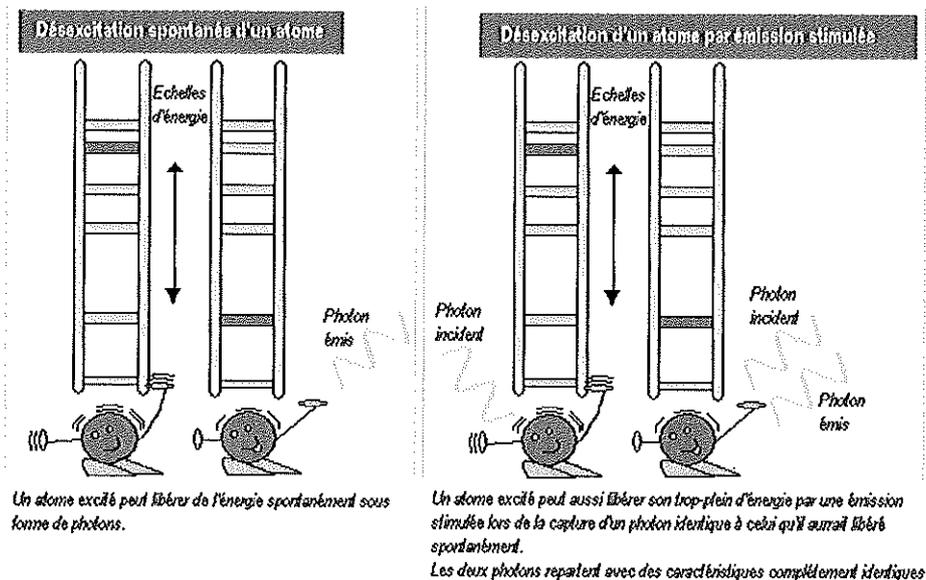
## L'émission stimulée

Un atome, un ion ou une molécule excités\* peuvent libérer leur énergie par émission spontanée d'un photon. Cependant, il existe un autre mode d'émission, l'émission stimulée d'un photon prévue par Albert Einstein en 1917.

\* L'excitation d'un système est l'augmentation de son énergie.

Décrivons un peu le phénomène. Une particule (atome, ion ou molécule) excitée émet un photon grâce à la stimulation que provoque l'arrivée d'un photon de même énergie que celui qu'il pourrait potentiellement émettre. La particularité de ce type d'émission est que le photon stimulé prend strictement les mêmes caractéristiques (couleur, direction de la trajectoire et phase) que le photon de départ, comme si le second était la photocopie conforme du premier.

L'émission stimulée agit donc comme une duplication de la lumière.



## L'oscillateur laser

Pour fabriquer la lumière laser, il faut :

- un oscillateur laser
- une source d'énergie

L'oscillateur est une sorte de boîte en forme de cylindre allongé avec, à chacune de ses extrémités, un miroir. Il contient le milieu laser qui est une collection de particules excitables (atomes, ions ou molécules) se trouvant sous forme de solide, de liquide ou de gaz. Le rubis est un milieu laser solide. Les particules excitables sont les ions chrome.

La source d'énergie fournit assez d'énergie aux particules pour obtenir une inversion de population (plus de particules excitées que de particules non excitées). L'énergie absorbée par les particules du milieu laser pourra être potentiellement libérée sous forme de lumière.



## L'inversion de population

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, de même couleur, émis en même temps et dans la même direction comme s'ils étaient la copie conforme les uns des autres : c'est la lumière laser.

La seule découverte de l'émission stimulée n'a cependant pas été suffisante pour créer des lasers. En effet, dans la matière, les atomes, les ions ou les molécules sont beaucoup plus nombreux dans un état non excité que dans un état excité. Il n'est donc pas possible de provoquer assez d'émission stimulée pour produire de la lumière laser.

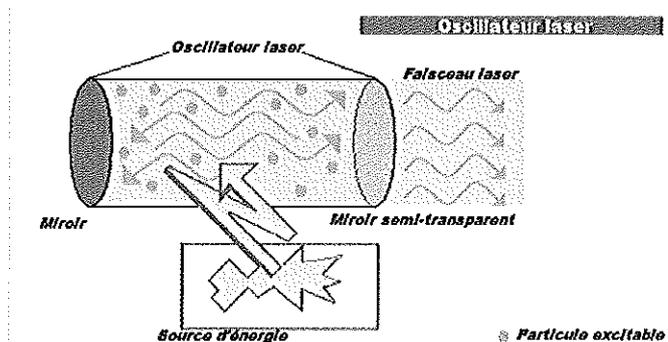
Il fallait trouver un moyen de renverser la tendance et d'obtenir dans le milieu plus d'atomes (ou ions ou molécules) excités que d'atomes au repos. Ce processus est appelé **Inversion de population**.

**Obtenir l'inversion de population, c'est créer plus d'atomes excités que d'atomes non excités.**

Le physicien français Alfred Kastler, en 1949, apporta une solution à ce problème : le **pompage optique**. Cette méthode permet de transférer de l'énergie lumineuse à des atomes. Ces résultats lui valurent le prix Nobel de physique en 1966. Le premier milieu utilisé a été le rubis, un cristal d'alumine contenant un léger pourcentage (0,05 %) d'oxyde de chrome. Ces ions chrome absorbent facilement le vert et le bleu (d'où la couleur rouge du rubis) et peuvent être excités en les éclairant avec un flash intense de lumière blanche. Ils émettent ensuite leur énergie sous forme de photons de lumière rouge (694,3 nanomètres de longueur d'onde) de manière stimulée ou non. Les premiers lasers furent donc des lasers à rubis.

Le pompage optique n'est pas la seule façon d'obtenir l'inversion de population. Celle-ci peut être aussi provoquée par décharge électrique, par certaines réactions chimiques...

Le pompage optique et une décharge électrique sont deux façons d'obtenir une inversion de population.



L'oscillateur laser va servir à produire la lumière. Imaginons un photon émis spontanément dans le milieu laser dont la trajectoire est perpendiculaire aux plans des miroirs. En rencontrant une particule excitée, il va stimuler la libération d'un deuxième photon.

Les deux photons identiques peuvent à leur tour stimuler d'autres libérations de photons et ainsi de suite, jusqu'à ce que le groupe de photons rencontre le miroir. Leur trajectoire étant perpendiculaire au plan de celui-ci, ils seront renvoyés strictement en sens inverse et continueront de nouveau à provoquer des émissions stimulées.

Un peu comme dans une réaction en chaîne, le nombre des photons identiques qui vont et viennent entre les miroirs va donc augmenter à chaque passage : c'est la **première amplification de la lumière laser**. Pour que le faisceau laser sorte de l'oscillateur laser, l'un des deux miroirs est semi-transparent (une partie de la lumière n'est pas réfléchi par le miroir, elle traverse le miroir comme s'il était transparent). Lorsque la source d'énergie excite en continu les particules du milieu laser, l'oscillateur produit de la lumière laser en continu. Après une rapide phase de mise en route, le rayon sortant garde une puissance\* constante.



*\*Puissance : énergie délivrée par unité de temps .L'énergie est mesurée en joules (J) et la puissance est mesurée en Watt (W). Un watt égale un joule par seconde.*

Si la source d'énergie envoie par intermittence une décharge d'énergie dans l'oscillateur, la lumière laser est produite de manière discontinue, par impulsions très brèves et très intenses. On dit que le laser est impulsif. C'est, par exemple, le cas avec le pompage optique où l'énergie est apportée par un flash lumineux comme celui d'un appareil photographique.

## La couleur d'un laser

La couleur du laser est définie par le choix du milieu laser. Il existe des lasers de toutes les couleurs : rouge, bleu, vert... Certains lasers sont même faits de lumière invisible comme les ondes infrarouges ou ultraviolettes. Les multiples couleurs des lasers font la beauté des spectacles laser. Quelques exemples de lasers sont donnés dans le tableau suivant :

Type de laser	Milieu laser	Particules excitables	Couleur courante
Diodes laser	Semi-conducteur	Électrons-trous	Rouge-infrarouge
Laser hélium-néon	Gaz hélium-néon	Atomes de néon	Rouge
Laser à rubis	Rubis (solide)	Ions chrome	Rouge
Laser argon	Gaz d'argon	Ions argon	Bleu, vert et invisible (ultraviolet)
Laser krypton	Gaz de krypton	Ions krypton	Rouge
Laser à excimères	Mélange de gaz rare et d'halogène <i>Les plus courants sont les mélanges de xénon et chlore ou de krypton et fluor</i>	Groupement de deux atomes excités	Invisible (ultraviolet)
Laser à vapeur de cuivre	Vapeur de cuivre	Atomes de cuivre (deux niveaux d'excitation)	Vert et jaune
Laser CO <sub>2</sub>	Mélange gazeux constitué d'azote, d'hélium et de dioxyde de carbone* (CO <sub>2</sub> )	Molécules de CO <sub>2</sub>	Invisible (infrarouge)
Laser Nd-YAG	Grenat d'aluminium et yttrium (YAG) dopé au néodyme	Ions de néodyme	Invisible (infrarouge)
Laser verre-néodyme	Verre dopé au néodyme (solide)	Ions de néodyme	Invisible (infrarouge)
Laser à colorant	Colorant dans un solvant	Molécules de colorant	Différentes plages de couleurs en fonction du colorant

*\*Le dioxyde de carbone est plus connu sous le nom de gaz carbonique.*

La plupart des lasers ne peuvent émettre que sur une seule longueur d'onde. Il existe cependant des lasers dont on peut régler la longueur d'onde. On dit qu'ils sont accordables. Les principaux sont les lasers à colorant. Leur milieu laser est un liquide contenant un colorant, particule excitable. Les molécules de colorant, une fois excitées, ont la particularité d'émettre sur un grand intervalle de longueurs d'ondes. Des réglages optiques très précis vont sélectionner la longueur d'onde désirée. Or l'excitation d'un atome est, en fait, un changement de niveau d'énergie pour l'électron. Quand l'électron a capté assez d'énergie apportée par des lasers à colorant, il quitte l'entourage de l'atome qui devient alors un ion.



## La puissance d'un laser

Dans le cas des **lasers continus**, l'étendue des puissances de sortie va du mW à 50 kW. Le plus gros laser industriel d'Europe a été implanté à Yutz-Thionville en 1994. Il s'agit d'un laser CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) dont la puissance de sortie continue est de 45 kW. Il est dédié à des applications de soudage sur une forte épaisseur.

Dans le cas des **lasers impulsionsnels**, il faut distinguer :

- la **puissance moyenne de sortie**, qui tient compte également des intervalles de temps entre chaque impulsion ;
- la **puissance de crête**, qui est la puissance atteinte lors de l'impulsion.

Par exemple, un laser de un watt donnant sa lumière de façon continue aura une puissance de 1 joule/s, mais s'il concentre une énergie de un joule en une décharge lumineuse d'une milliseconde, sa puissance de crête va être multipliée par mille et sera de un kilowatt. Le fait de délivrer leur énergie sur des temps très courts (nanoseconde\* voire picoseconde\*\*) permet pour certains lasers d'étude d'atteindre des puissances de crête extrêmement élevées (jusqu'à plusieurs térawatts\*\*\*).

\*Nanoseconde :  $10^{-9}$  seconde , soit milliardième de seconde. Une nanoseconde est le temps pendant lequel un avion commercial se déplace d'un tiers de micron (un millionième de mètre).

\*\*Picoseconde :  $10^{-12}$  seconde, soit mille fois plus petit que la nanoseconde.

\*\*\*Térawatt :  $10^{12}$  watts, soit un million de un million de watts

Plus modeste, un laser industriel dédié au soudage, de puissance moyenne 1 kW, pourra disposer d'une puissance de crête de 25 kW.

## La cohérence dans le temps et dans l'espace

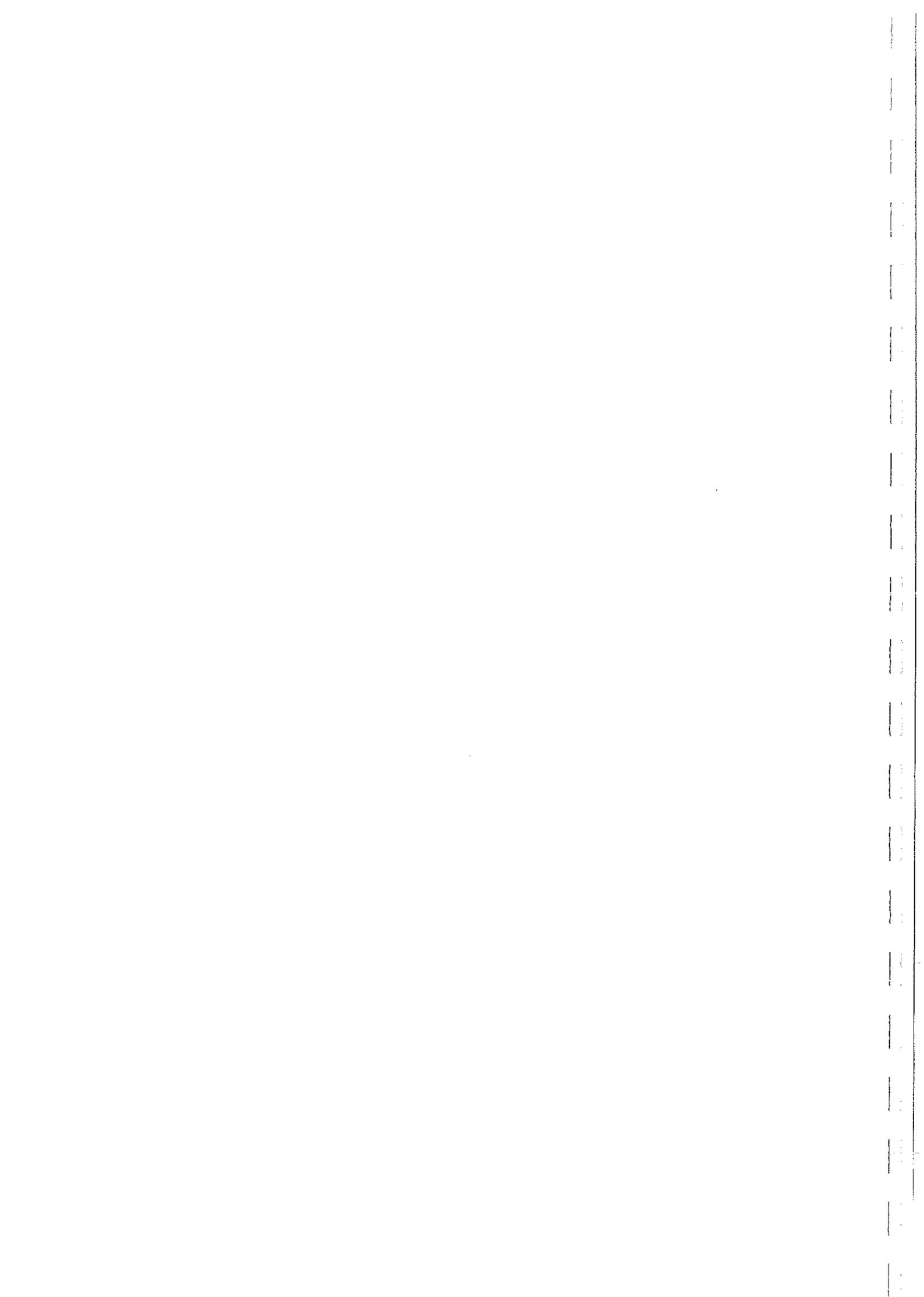
La cohérence du laser dans le temps et dans l'espace regroupe les propriétés d'unidirectionnalité et de monophasé. Elle est souvent à la base des applications potentielles des lasers. C'est la cohérence du laser, par exemple, qui va permettre la lecture des disques laser.

### **Le faisceau laser est parfaitement rectiligne.**

La propagation d'une onde lumineuse est parfaitement rectiligne. Or, comme toutes les ondes du laser se propagent dans la même direction, un faisceau laser n'est pas divergent comme la lumière d'une lampe de poche, par exemple. Il est parfaitement rectiligne et visible sur de grandes distances. Cette propriété est utilisée lors des spectacles laser où le rayon lumineux se poursuit loin dans l'espace ou bien pour l'alignement des tracés de routes et de tunnels... Ainsi, un laser a été utilisé lors de la construction de la tour Montparnasse.

### **Un laser a permis de calculer la distance Terre-Lune.**

**Les lasers servent aussi dans la télémétrie, c'est-à-dire la mesure de distance.** Le faisceau laser atteint une cible qui le renvoie en sens inverse. La vitesse de la lumière étant connue, il est possible, en mesurant le temps mis par le faisceau laser pour faire l'aller et le retour, de connaître la distance séparant la source laser d'un obstacle. Cette méthode a même permis le calcul de la distance Terre-Lune



## L'éclairement par laser

Les diamètres des faisceaux émis par les lasers (plusieurs dizaines de mm pour les lasers de puissance industriels) ne permettent pas, le plus souvent, une utilisation directe de ces faisceaux. La focalisation permet d'augmenter considérablement l'éclairement qui se définit en nombre de watts par centimètre carré, ( $W / cm^2$ ). Par exemple, l'éclairement du soleil peut atteindre  $0,1 W / cm^2$ . Une loupe qui focalise la lumière du soleil peut permettre d'atteindre un éclairement de  $100W / cm^2$ , ce qui suffit pour enflammer du papier.

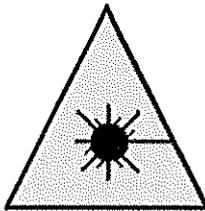
L'éclairement est défini par le nombre de watts par centimètre carré ( $W/cm^2$ ).

Pour les lasers, la focalisation peut être obtenue par des systèmes optiques à lentilles si les flux et/ou la longueur d'onde du faisceau le permettent, ou par des dispositifs à miroirs, ce qui est un cas courant.

La focalisation est, par exemple, indispensable pour les opérations industrielles de perçage, soudage et découpe. Elle est aussi utile pour les lasers de puissance utilisés par les chercheurs pour étudier l'interaction très forte lumière-matière.

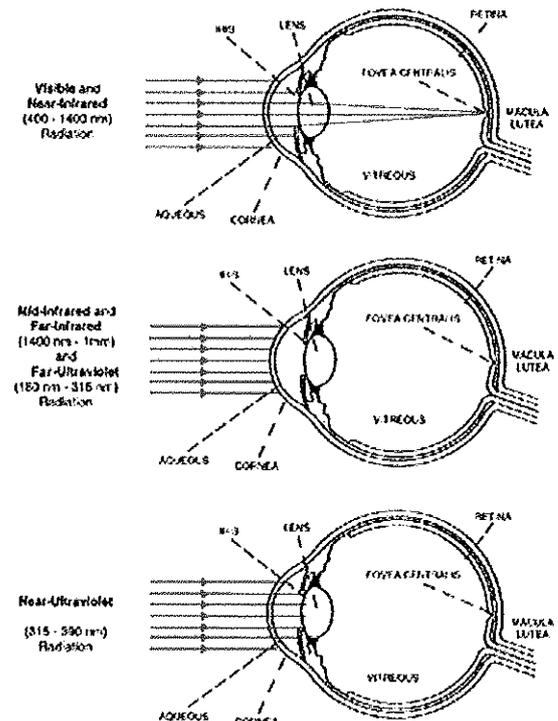
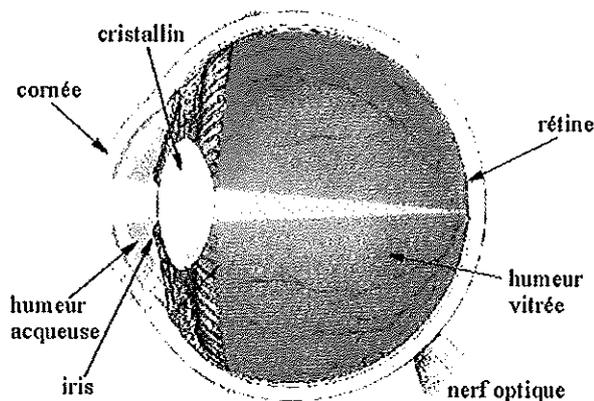
A *contrario*, on peut être amené à limiter et/ou homogénéiser l'éclairement. C'est le cas des opérations de traitement de surfaces.

Panneau indiquant la présence d'un laser



## SÉCURITÉ LASER

Les lasers sont des outils souvent indispensables pour de nombreuses applications, mais il ne faut pas en oublier les dangers. Leur utilisation peut présenter des risques pour l'homme en fonction de la puissance du laser. L'œil est l'organe le plus fragile vis-à-vis de la lumière laser. En effet, si le faisceau laser est dirigé dans l'œil, celui-ci focalise le faisceau laser, ce qui augmente l'éclairement sur la rétine. Cette dernière peut alors être endommagée même avec des lasers de faible puissance (dès 1 mW).

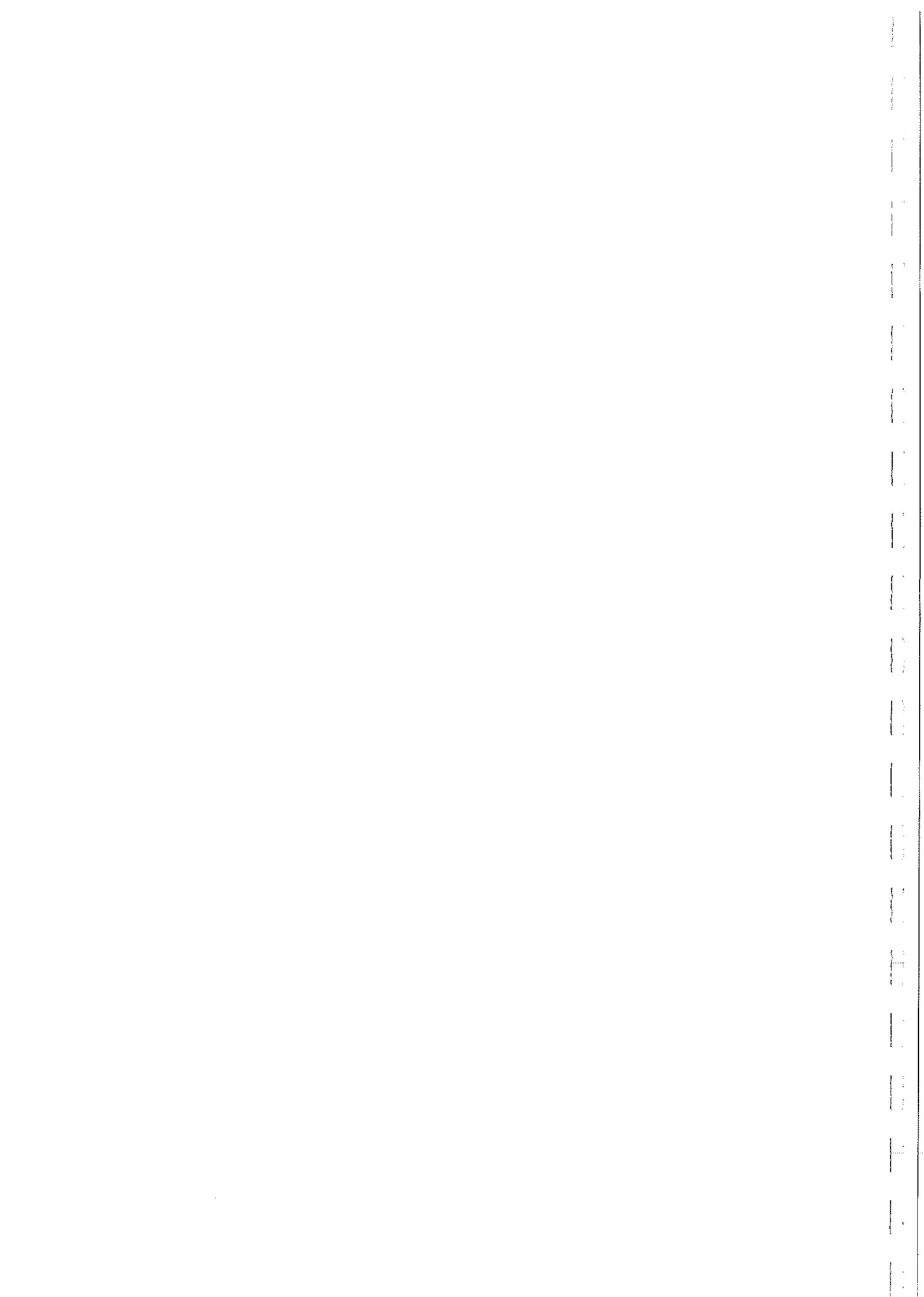


Absorption de l'œil dans le visible, l'infrarouge et l'ultraviolet lointain, et le proche ultraviolet



## Principales utilisations (en fonction de leur puissance)

Utilisation	Puissance	Mode de fonctionnement	Remarques générales
Lecture des disques compact. Lecture des codes barres dans les supermarchés	Quelques mW	Continu	Petites diodes lasers qui s'intègrent dans les appareils comme des composants électroniques ordinaires
Lasers d'alignement pour les travaux publics ou les carrossiers... Guidage d'engins de travaux publics	Environ 10 mW	Continu	Petits lasers (par exemple, lasers hélium-néon)
Lasers de transport des télécommunications	Quelques dizaines de mW	Continu ou impulsionnel	Petites diodes lasers. Ces faisceaux laser sont transportés à travers toute la planète et sur de très longues distances le long de fibres optiques tendues sous terre ou dans la mer.
Discothèques, Spectacles lasers	Quelques watts	Continu	Lasers à argon ou à hélium-néon, par exemple.
Applications médicales <i>Chirurgie interne</i> : Opérations sans ouvrir le corps <i>Chirurgie externe</i> : Soins de l'oeil (décollements de rétine), Soins des dents (caries), bistouri...	Puissance, fonction des applications	Continu ou impulsionnel	Lasers YAG ou lasers à CO2. Les lasers utilisés pour des applications médicales sont assez puissants. Ils peuvent brûler une partie endommagée dans le corps, souder la rétine sur l'oeil ... Mais attention, le médecin ou le dentiste doivent avoir la main sûre. Cependant, aucun autre instrument ne permet une intervention aussi précise.
Nettoyage et préparation de surface (par exemple, décapage aux lasers des monuments historiques)	Puissances crêtes de l'ordre de 10 <sup>7</sup> à 10 <sup>8</sup> W (pour des puissances de 10 à 20 W pour les lasers YAG, par exemple)	Impulsionnel (très courtes impulsions : quelques dizaines à quelques centaines de nanosecondes)	Lasers excimères ou laser YAG Ce procédé permet d'éliminer totalement ou de façon sélective des couches surfaciques recouvrant différents matériaux sans les altérer en dessous, en concentrant le faisceau laser sur les zones à décapier.
Procédé d'enrichissement de l'uranium par lasers	Quelques centaines de watts	Impulsionnel	Lasers à vapeur de cuivre pompant des lasers à colorant. (lasers discontinus : 5000 impulsions/seconde)
Soudage des métaux	Quelques dizaines de watts à 50 kW Puissance selon l'épaisseur	Continu ou impulsionnel	Lasers YAG (100 W à 2 kW) Lasers CO2 (100 W à 50 kW)
Découpage de matériaux tels que le bois, le plexiglass ou les métaux.	1 à 3 kW	Continu ou impulsionnel	
Lasers de puissance de recherche	Quelques térawatts	Impulsionnel	



***Déclaration de Conformité***  
***Directives du Conseil 89/336/CEE et 73/23/CEE***

ULICE Optronique  
B.P. 1037  
91940 LES ULIS  
France

Déclare que les appareils référencés:

AM\_DL  
Diode laser didactique - **Type 1**  
Classe II - Puissance optique < 1mW

Ont été conçu, fabriqué et commercialisé en conformité avec les normes:

**EN 61000-6-1**: Norme générique émission  
**EN 61000-6-3**: Norme générique immunité  
**EN 61010-1**: Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage,  
de régulation et de laboratoire  
**EN 60825**: Sécurité des appareils à laser

suivant les recommandations des Directives :

Directive Compatibilité Electro-Magnétique **89/336/CEE**  
Directive Basse Tension **73/23/CEE**



Emmanuel CINIGLIA  
Responsable Technique

