

Les laser

Le mot LASER vient de l'anglais : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (ce qui se traduit en français par : amplification de la lumière par émission stimulée).

Par rapport aux autres sources de lumière, la lumière émise par le laser a de nombreuses qualités:

- la lumière émise est quasi-monochromatique : elle émet une seule longueur d'onde. Cette propriété est liée à la longueur de cohérence (longueur moyenne des trains) d'onde émis de l'ordre du mètre.
- l'intensité émise est très importante : typiquement de l'ordre de $1000W/m^2$
- le faisceau émis est très directif.

Il existe différents types de laser aux applications différentes :

laser	à gaz ionisé (argon, krypton,...)	à gaz	chimique
application	shows lasers	découpe ou soudure de matériaux	destruction de missiles

I. Faisceau de profil Gaussien

Le champ électrique issu du laser vérifie l'équation de propagation:

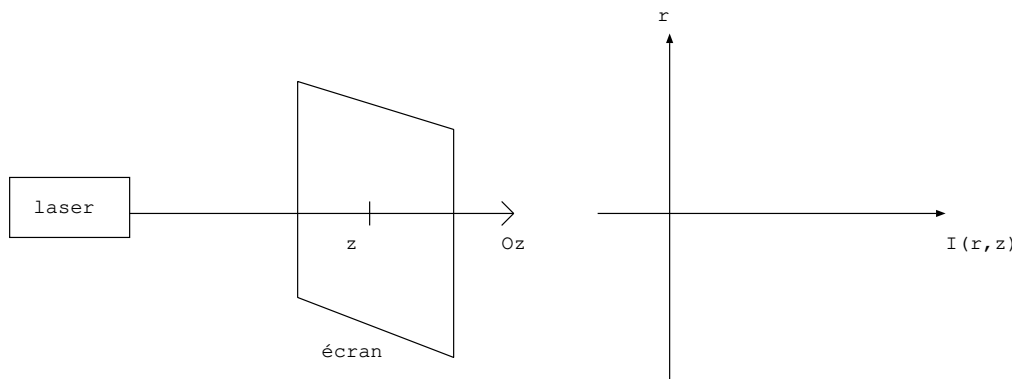
On se place en coordonnées cylindriques, l'axe Oz étant la direction de propagation de la lumière issue du laser. L'intensité lumineuse, soit s'écrit:

$$I(r, \theta, z) = I_0 e^{-\frac{2r^2}{w(z)^2}} \text{ avec } w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{L_R^2}} \text{ et } L_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

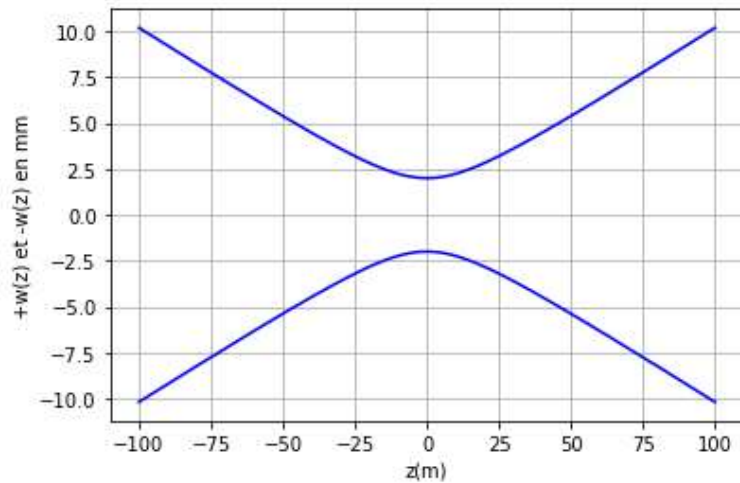
Commentaires physiques:

- Pourquoi θ n'intervient pas?

- Tracer l'allure de la fonction $I(r, z)$ en fonction de r pour z fixé. On estime que l'intensité est nulle pour $I(r, z) < \frac{I_0}{e^2} = 0,13I_0$. Déterminer les valeurs de r pour lesquelles l'intensité est négligeable.



- On donne sur le graphe suivant les courbes $+w_0\sqrt{1 + \frac{z^2}{L_R^2}}$ et $-w_0\sqrt{1 + \frac{z^2}{L_R^2}}$.



Que voit-on sur un écran placé à la côté $z = 0$ m? $z = 100$ m? Calculer l'intensité moyenne du faisceau lumineux sur l'écran pour chacune de ces positions pour un laser de puissance $P = 1$ kW.

Donner les expressions approchées de $w(z) = w_0\sqrt{1 + \frac{z^2}{L_R^2}}$ dans les deux cas suivants:

Pour $z \ll L_R$:

Pour $z \gg L_R$:

Expression de θ (demi-angle au sommet du faisceau conique):

Remarque: Donc la côté $z = 0$, qui correspond au waist dans nos expressions, ne correspond pas forcément à la sortie du laser, cette position peut être à l'intérieur ou à l'extérieur du laser, on ne sait pas à quelle position elle correspond dans un laser réel.

Conséquences : plus le faisceau est pincé, plus il est divergent: w_0 conduit à θ

Mesure de la distance Terre-Lune:



Découpage au laser:



Conclusion: Un faisceau laser est donc caractérisé par trois grandeurs : w_0 , θ et L_R . Lorsque l'on connaît une de ces grandeurs, on peut déduire les deux autres à l'aide des expressions:

Exemple: le laser helium-néon utilisé en TP a pour longueur d'onde $\lambda = 632 \text{ nm}$ et $\theta = 1 \text{ mrad}$.

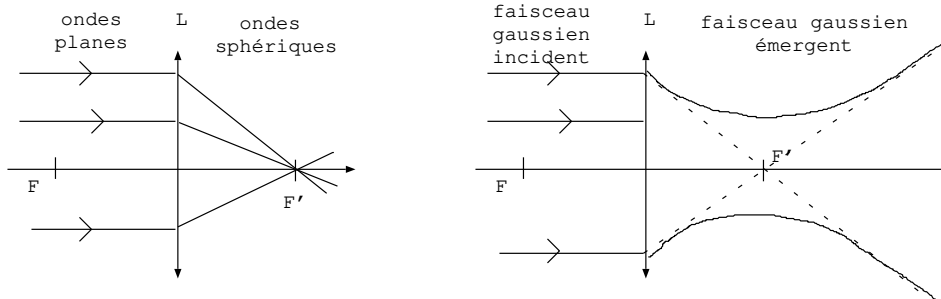
II. Modification du faisceau gaussien par une lentille

La lentille transforme un faisceau gaussien de caractéristiques θ , w_0 et L_R en un faisceau gaussien de caractéristiques θ' , w'_0 et L'_R .

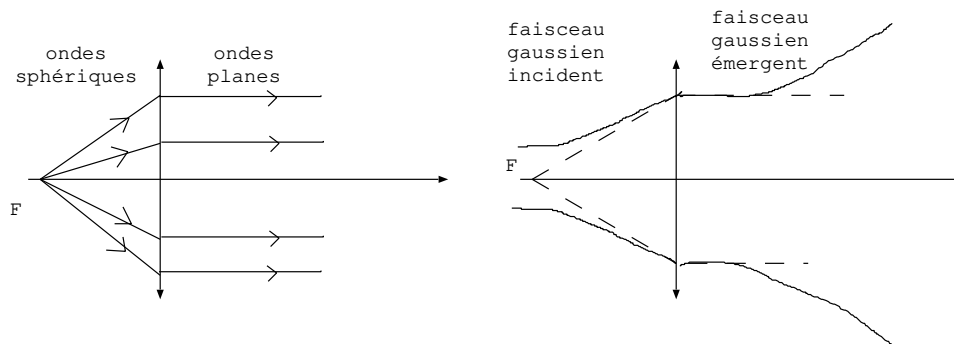
On connaît les caractéristiques du faisceau incident et on cherche les caractéristiques du faisceau émergent pour cela il suffit de déterminer l'une d'elle θ' , w'_0 et L'_R par un schéma et les autres se trouvent par le calcul.

Deux cas extrêmes:

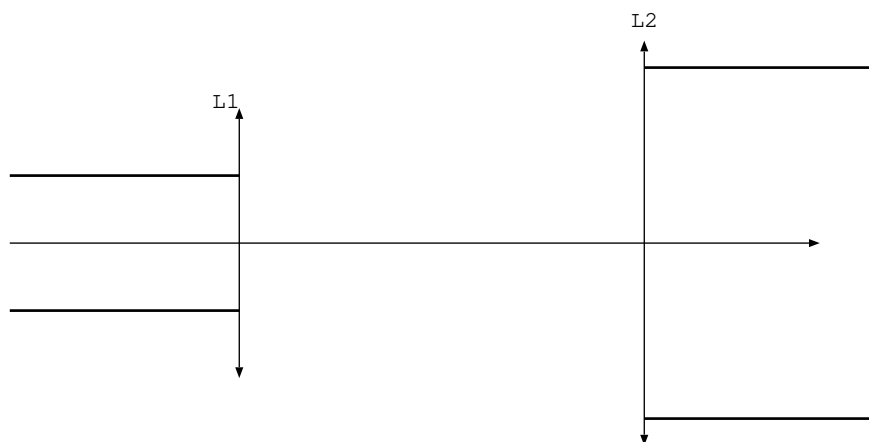
Cas 1 : en optique géométrique, c'est le cas où la lentille transforme des ondes planes en ondes sphériques



Cas 2 : en optique géométrique, c'est le cas où la lentille transforme des ondes sphériques en ondes planes.



Application: élargisseur de faisceau laser:



III. Interaction matière rayonnement

LASER en français signifie lumière amplifiée par émission stimulée. On va appprendre dans ce paragraphe la signification de ces mots.

1. La matière

On limite l'étude à des atomes à deux niveaux d'énergie : E_1 (fondamental) et $E_2 > E_1$ (excité).

On note N_1 et N_2 le nombre d'électrons dans les niveaux d'énergie respectifs E_1 et E_2 . Le nombre total d'atomes

A l'équilibre thermodynamique, la statistique de Boltzmann donne:

2. Le rayonnement

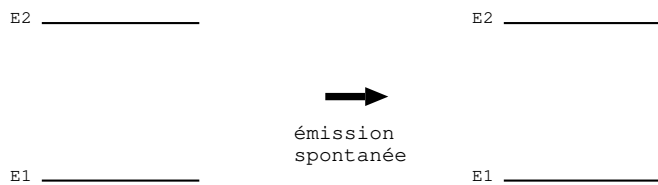
La lumière se comporte comme:

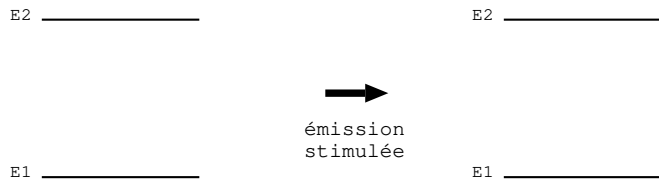
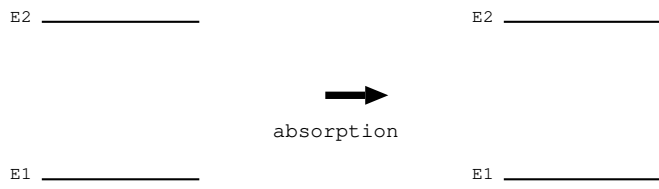
- une corpuscule:

- une onde:

On note $u(\nu)$ la densité spectrale d'énergie volumique de photons de fréquence ν en $J.m^{-3}.Hz^{-1}$. Ce terme est donc proportionnel au nombre de photons de fréquences ν .

3. Les trois types d'interaction entre la matière et le rayonnement





4. *L'inversion de population*

Ces trois processus se produisent simultanément, on a donc:

$$\frac{dN_2}{dt} = B u_\nu N_1 - A N_2 - B u_\nu N_2$$

En régime stationnaire, on a

Pour avoir plus d'émissions que d'absorptions, il faut procéder à une inversion de population, cela se fait par pompage:

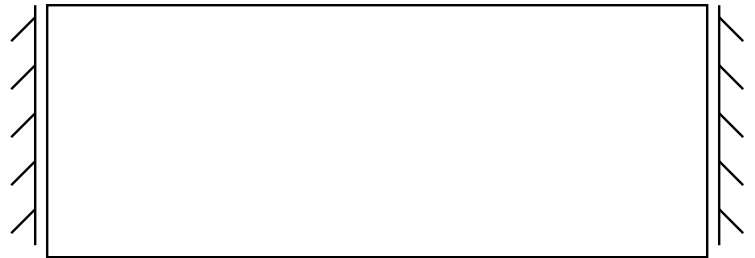
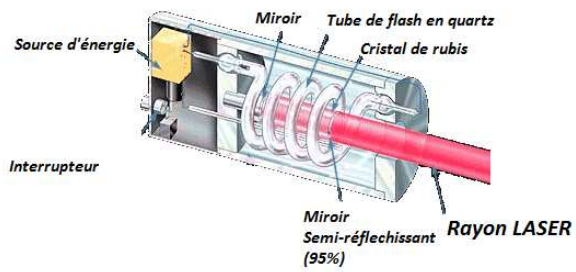
En présence de pompage, on a:

$$\frac{dN_2}{dt} = Bu_\nu N_1 - AN_2 - Bu_\nu N_2 + P$$

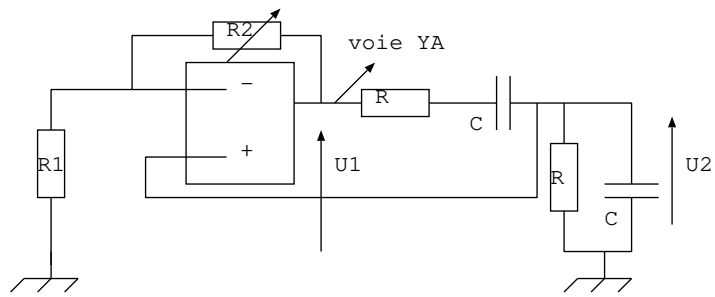
En régime stationnaire, on a:

IV. Principe du laser

Les trois composants du laser:



V. Analogie électrique



Oscillateur	Oscillateur électronique	Laser
Filtre		
Amplificateur		
Apport d'énergie		