

L.A.S.E.R

I. Interaction photon-matière

1. Faisceau lumineux

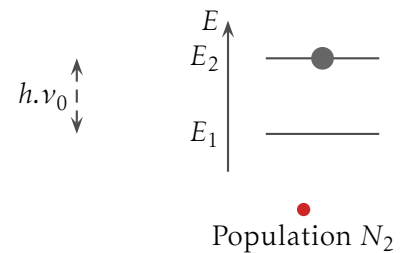
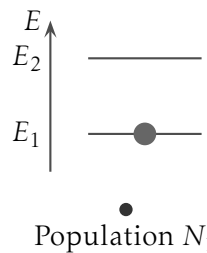
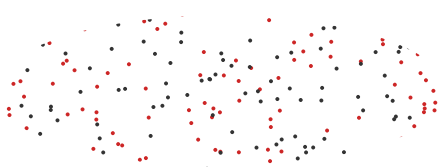
Pour un faisceau LASER de section S , on note :

- ✓ φ_p la densité de flux de photons associés au faisceau laser ($\Phi_{photons} = \iint_S \varphi_p \cdot dS$)
- ✓ n la densité volumique de photons associée au faisceau laser.

Méthode - Densité volumique d'énergie

- ✓ Exprimer l'énergie traversant une surface S du faisceau
- ✓ Déterminer le volume où se localisait cette énergie avant de traverser S . En déduire une expression de cette énergie
- ✓ Identifier ces deux grandeurs pour en déduire $\varphi_p = n \cdot c$

2. Niveaux d'énergie des atomes



$h \cdot \nu_0$

La population correspond au nombre de particules par unité de volume d'un niveau d'énergie donné.

3. Passages entre deux niveaux d'énergie

	Émission spontanée		$\begin{aligned} dN_{ph} &= -A_{21} \cdot N_2 \cdot dt \cdot S \\ A_{21} &\ll B_{21} \end{aligned}$
	Absorption		$dN_{ph,sp} = -B_{12} \cdot \varphi_p \cdot N_1 \cdot dt \cdot S$
	Émission stimulée		$\begin{aligned} dN_{ph,st} &= +B_{21} \cdot \varphi_p \cdot N_2 \cdot dt \cdot S \\ B_{21} &\approx B_{12} \end{aligned}$

où A_{21} , B_{21} et B_{12} sont les coefficients d'Einstein.

Transitions

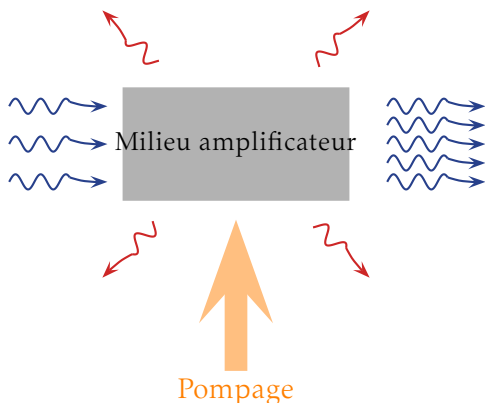
- ✓ **Émission spontanée** : Un atome excité au niveau E_2 possède une durée de vie τ après laquelle il revient spontanément au niveau d'énergie E_1 en libérant un photon d'énergie $(E_2 - E_1)$. Polarisation, direction et phase du photon sont aléatoires
- ✓ **Absorption** : Un photon d'énergie $h\nu > (E_2 - E_1)$ associé à une onde lumineuse cède de l'énergie à un atome, passant du niveau E_1 au niveau d'énergie
- ✓ **Émission stimulée** : Un photon de fréquence ν_0 qui interagit avec un atome excité au niveau E_2 entraîne la désexcitation de l'atome au niveau E_1 avec émission d'un photon de caractéristiques équivalentes au photon incident. **Les photons incident et émis sont indiscernables**

II. Pompage**1. Inversion de population****Condition d'amplification**

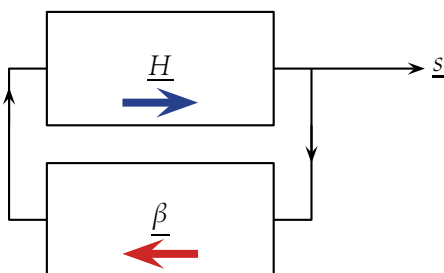
Afin que le milieu soit amplificateur, en l'absence de pertes, il est nécessaire que

$$N_2 > N_1$$

- ✓ A l'équilibre thermique, Les populations sont liées par le facteur de Boltzmann $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2-E_1}{k_b \cdot T}}$
- ✓ Exprimer dN_{ph} nombre de photons indiscernables produits pendant dt
- ✓ L'amplification de l'intensité du faisceau lumineux nécessite une inversion de population par rapport à l'état d'équilibre thermique du matériau.

2. Pompage**Pompage**

Le pompage consiste à rendre le milieu actif par inversion de population grâce à une source d'énergie extérieure (électrique, optique)...

III. L'oscillateur**1. En électronique****Oscillateur**

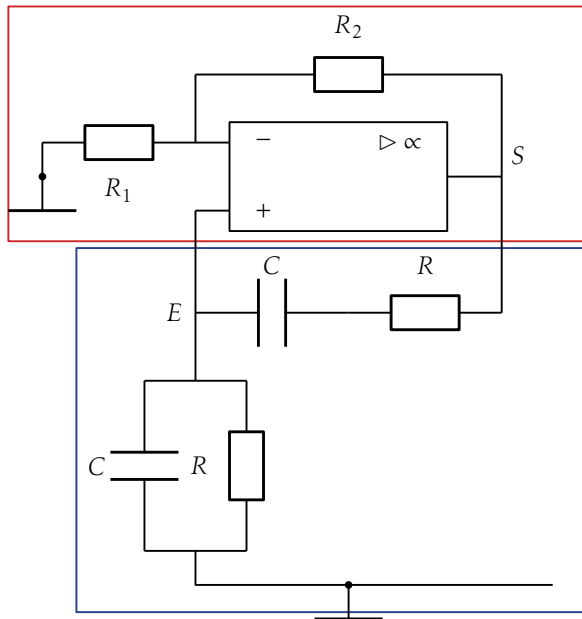
Un oscillateur est un système donnant naissance à un signal en sortie sans signal appliqué en entrée. Il est constitué

- ✓ D'une chaîne directe d'amplification $\underline{H}$
- ✓ D'une chaîne de retour constitué d'un filtre sélectif $\underline{\beta}$

Condition d'oscillation : $\underline{H} \cdot \underline{\beta} = 1$

2. Oscillateur à pont de Wien

a. Système bouclé

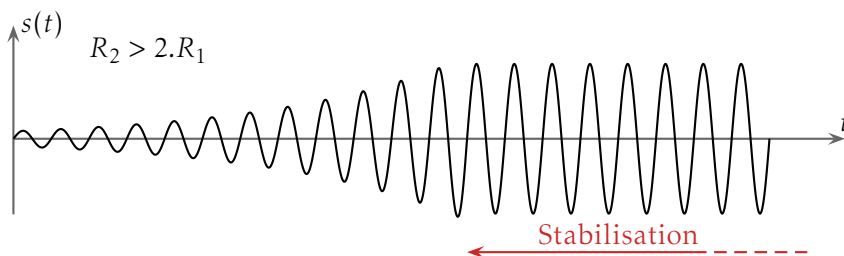


$$\underline{H} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\underline{T} = \frac{1/3}{1 + j \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)}$$

b. Condition d'oscillation

$$\underline{H} \cdot \underline{\beta} = 1 \rightarrow \begin{cases} f = f_0 \\ 1 + \frac{R_2}{R_1} = 3 \end{cases}$$



La stabilisation de l'amplitude des oscillations est due à des phénomènes non linéaires

3. Cavité optique

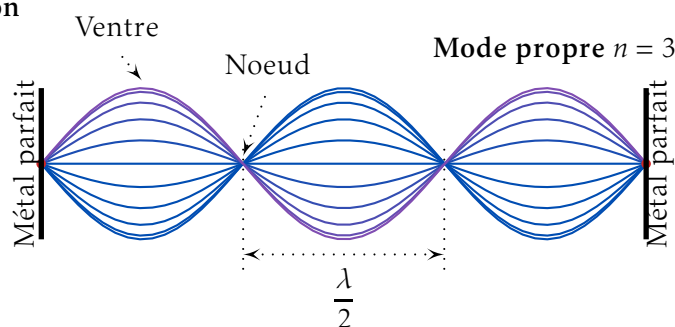
a. Principe

- ✓ Le gain en puissance sera proportionnel à la longueur parcourue dans le milieu amplificateur
- ✓ On souhaite limiter la taille de ce milieu

Principe de cavité

On va chercher à faire passer plusieurs fois le faisceau au travers du même milieu amplificateur afin de limiter la taille du dispositif et limiter dans l'espace le dispositif de pompage.

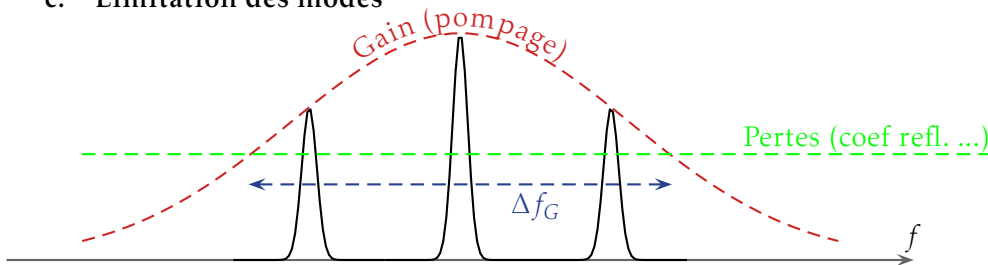
b. Conditions d'oscillation



Méthode - Modes de la cavité

On considère une cavité idéale pour laquelle il existe des nœuds de vibration au niveau des miroirs. Le gain du au pompage dans la cavité compense les pertes. Pour déterminer les modes de la cavité de longueur L

- ✓ Proposer une forme générale de la vibration
- ✓ Exploiter les CAL afin de montrer que $\lambda_p = \frac{2.L}{p}$

c. Limitation des modes**Limitation des modes**

Le nombre de modes constituant le faisceau laser dépendra de la bande passante Δf_G , domaine fréquentiel pour lequel le gain est supérieur aux pertes.

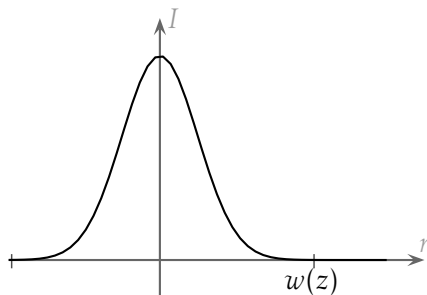
IV. Propriétés optiques d'un faisceau**1. Intensité lumineuse**

L'étude théorique de la propagation donne l'intensité lumineuse en $M(r, \theta, z)$ de l'onde

$$I(M) = I_0 \cdot \frac{w_0^2}{w^2(z)} \cdot e^{-\frac{2r^2}{w^2(z)}} \quad \text{avec :} \quad w(z) = w_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_0^2}} \quad \text{et} \quad z_0 = \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda}$$

2. Section du faisceau

On fixe z et on observe l'évolution de l'intensité avec r . Représenter l'allure de $I(r)$

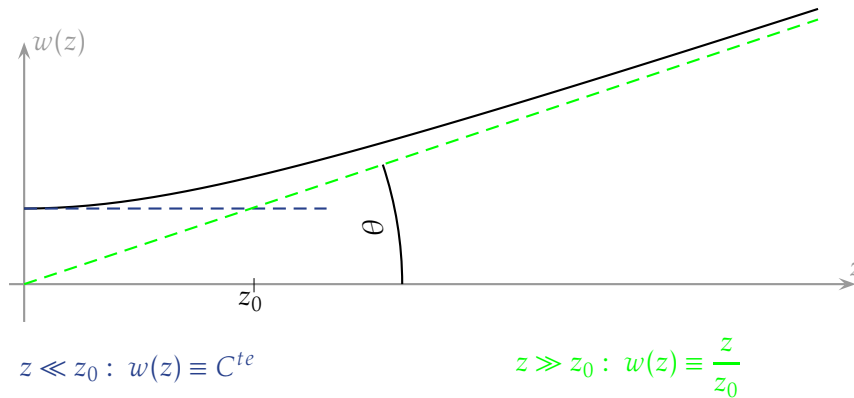


Évaluer à l'intérieur de quel rayon R peut-on considérer l'onde non nulle.

3. Profil du faisceau**a. Ouverture angulaire du faisceau**

On observe l'évolution du bord du faisceau en fonction de z , donc de $w(z)$ en fonction de z

- ✓ Donner l'équation de l'asymptote pour $z \rightarrow 0$
- ✓ Donner l'équation de l'asymptote pour $z \rightarrow \infty$
- ✓ Ces asymptotes se coupent pour $z =$
- ✓ Représenter l'allure du faisceau



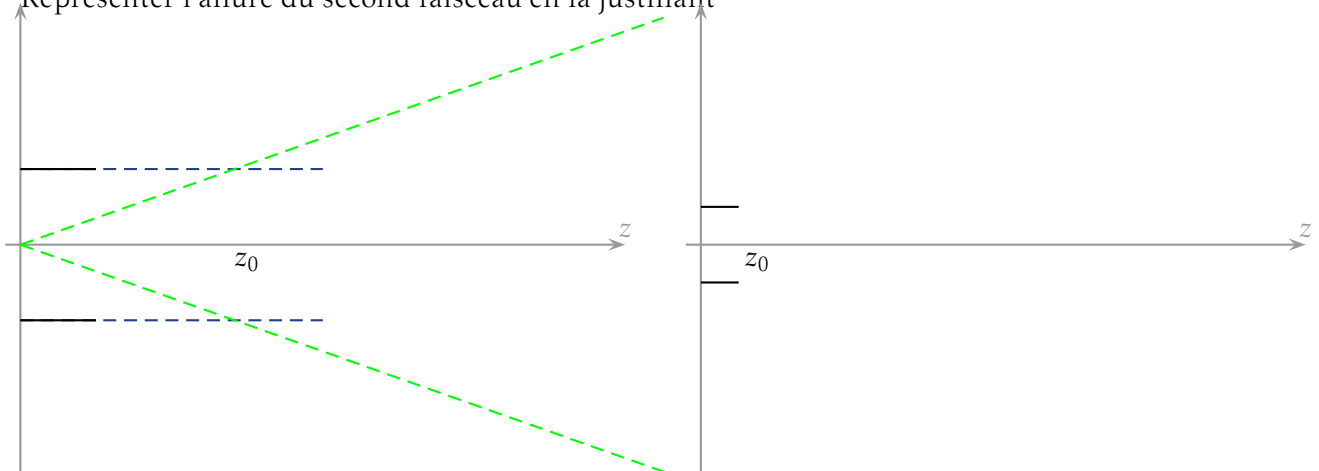
Longueur de Rayleigh

On appelle longueur de Rayleigh L_R la distance à partir de la cote $z = 0$ où la forme de l'enveloppe du faisceau bascule du modèle cylindrique au modèle conique.

$$L_R = z_0$$

b. Influence de la section du faisceau initial sur l'ouverture

- ✓ Représenter l'allure du second faisceau en la justifiant



Ouverture du faisceau

Au delà de la longueur de Rayleigh, la demi-ouverture du faisceau de rayon a a pour expression :

$$\theta \equiv \frac{\lambda}{\pi \cdot w_0}$$

Par analyse de $I(r, z)$

- ✓ Rappeler l'équation de l'asymptote pour $z \gg z_0$
- ✓ Exprimer son coefficient directeur
- ✓ en déduire $\tan\theta$, or $\theta \simeq \tan\theta$

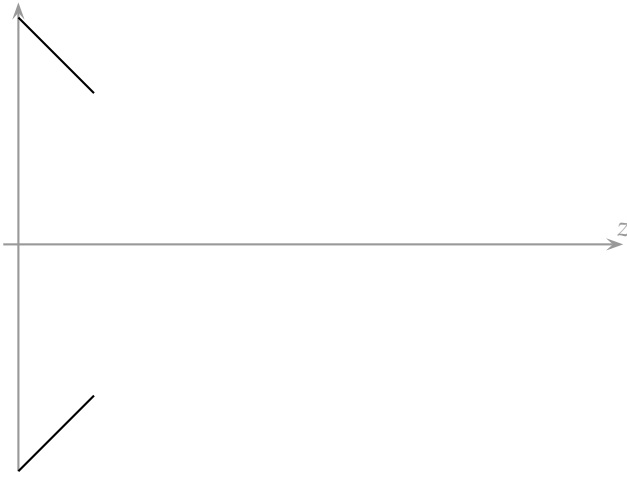
Par phénomène de diffraction

Tout se passe comme si le faisceau était diffracté par son propre bord.

- ✓ Imaginer une fente de largeur égale au diamètre du faisceau
- ✓ Fournir par la relation admise l'expression de $\sin\theta$
- ✓ Vérifier la cohérence avec la relation obtenue par la première méthode.

4. Convergence d'un faisceau

- ✓ En exploitant le principe de retour inverse de la lumière, représenter l'allure du faisceau ci-dessous.



Waist

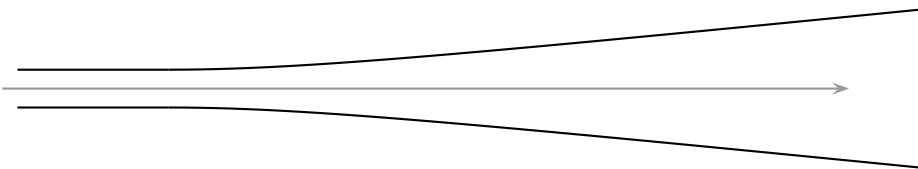
Un faisceau convergent de demi-angle α aura un rayon minimum, nommé *waist*. L'intensité au niveau du waist sera maximum.

- ✓ Exploiter le principe de retour inverse de la lumière
- ✓ Relier θ , w_0 et z_0
- ✓ Identifier l'une de ces grandeurs au rayon de waist, R_{waist}
- ✓ En déduire son expression $R_{waist} = \frac{\lambda}{\pi \cdot \theta}$

5. Élargisseur de faisceau

Représenter l'évolution du faisceau avec l'élargisseur de faisceau. On considère les distances jusqu'à la sortie de l'élargisseur inférieures à la longueur de Rayleigh pour le faisceau

Sans élargisseur



Avec élargisseur



Réduction de l'ouverture d'un faisceau

L'élargisseur de faisceau, correctement placé, permet de limiter l'ouverture angulaire du faisceau au détriment de son intensité.