

Lasers

Niveau : L3

Prérequis

- Faisceaux gaussiens

Laser : amplification de la lumière
par émission stimulée de radiation

1958 : Townes et Schawlow,
théorie relative au
rayonnement laser

1960 : Théodore Maiman,
premier laser

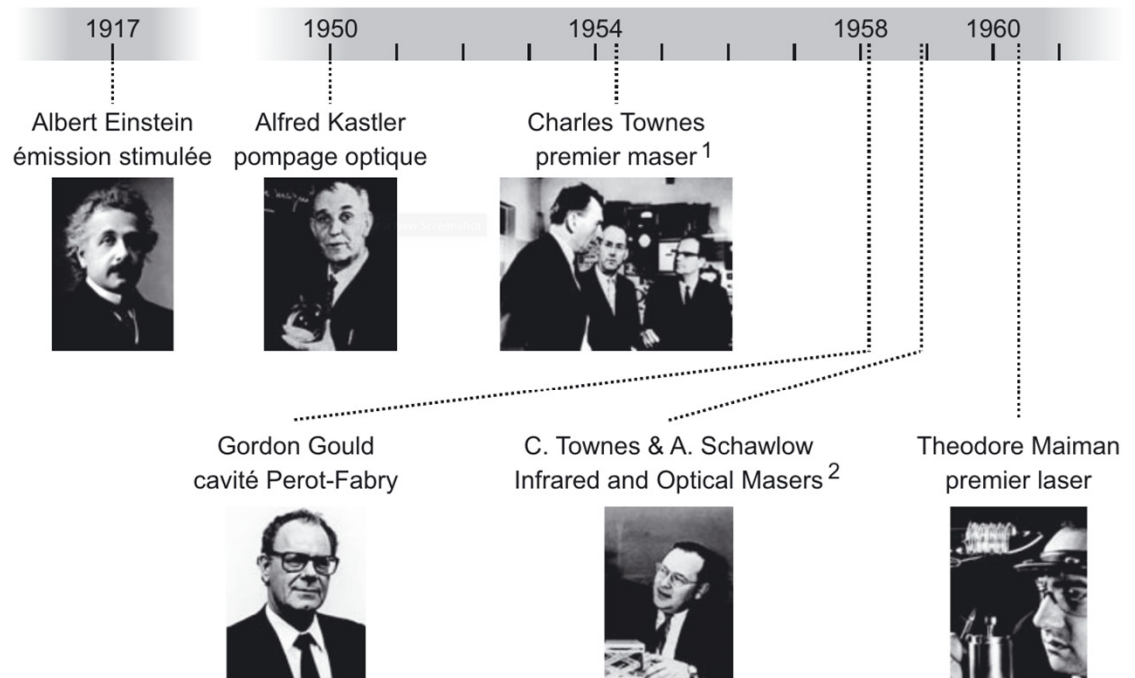
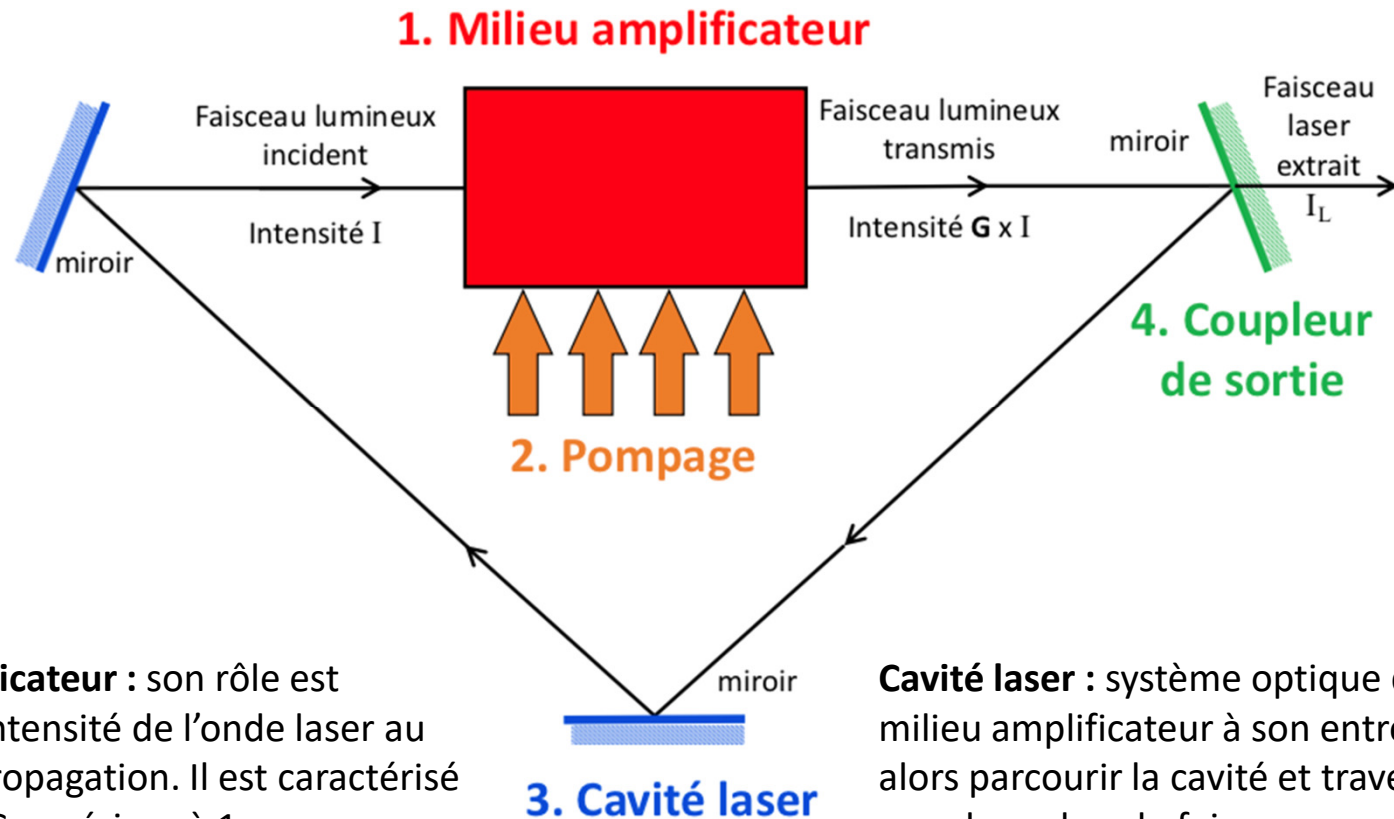


Figure 1 - Principales étapes de l'histoire des lasers. ¹ De gauche à droite sur la photo : A. Prokhorov, C. Townes et N. Basov. ² Sur la photo, A. Schawlow.

- Cohérence spatiale très élevée
- Cohérence temporelle très élevée

Éléments constitutifs d'un laser

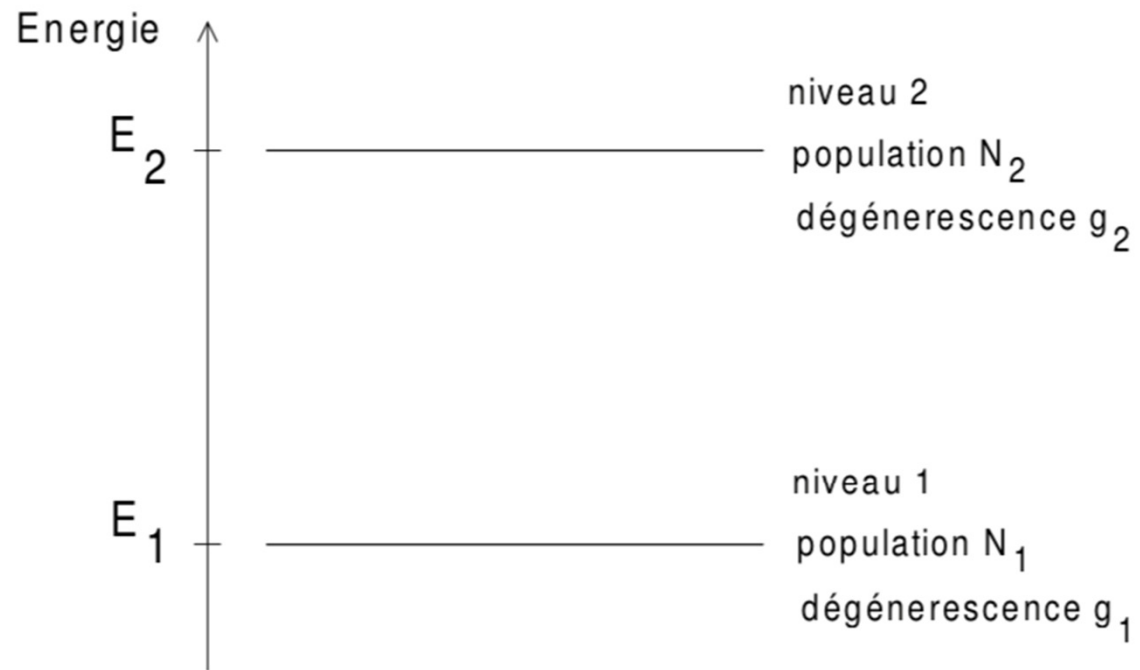


Milieu amplificateur : son rôle est d'accroître l'intensité de l'onde laser au cours de sa propagation. Il est caractérisé par son gain G supérieur à 1.

Système de pompage : prépare le milieu amplificateur dans un état quantique tel que le gain soit assez grand. Il apporte au milieu amplificateur l'énergie que celui-ci pourra ensuite communiquer au faisceau lumineux.

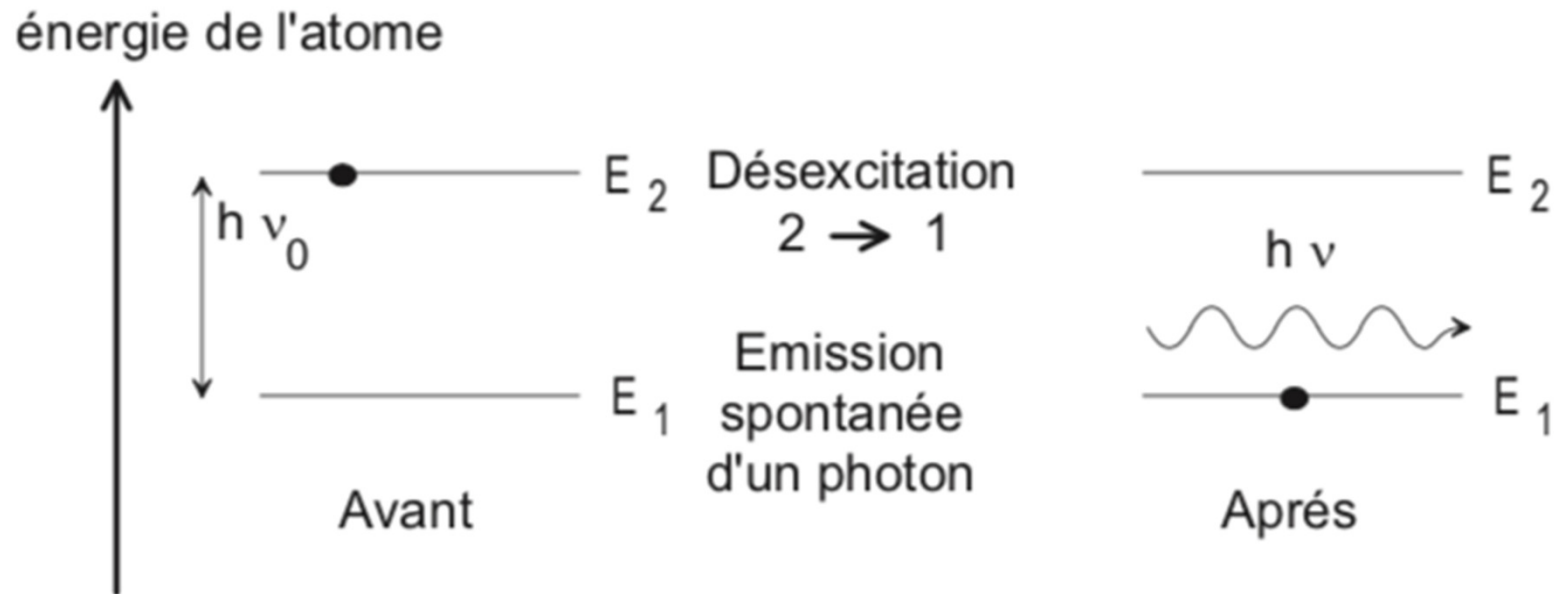
Cavité laser : système optique qui relie la sortie du milieu amplificateur à son entrée. La lumière peut alors parcourir la cavité et traverser l'amplificateur un grand nombre de fois.

Coupleur de sortie : un miroir à transmission non nulle, une lame de prélèvement ou un réseau utilisé dans un ordre de diffraction choisi permettent de faire sortir une partie de la lumière laser établie dans la cavité à chaque tour. Le faisceau extrait constitue le faisceau laser.



- $E_2 - E_1 = h\nu_0$
- **Population du niveau i :**
nombre d'atomes par unité de volume sur le niveau i

Emission spontanée

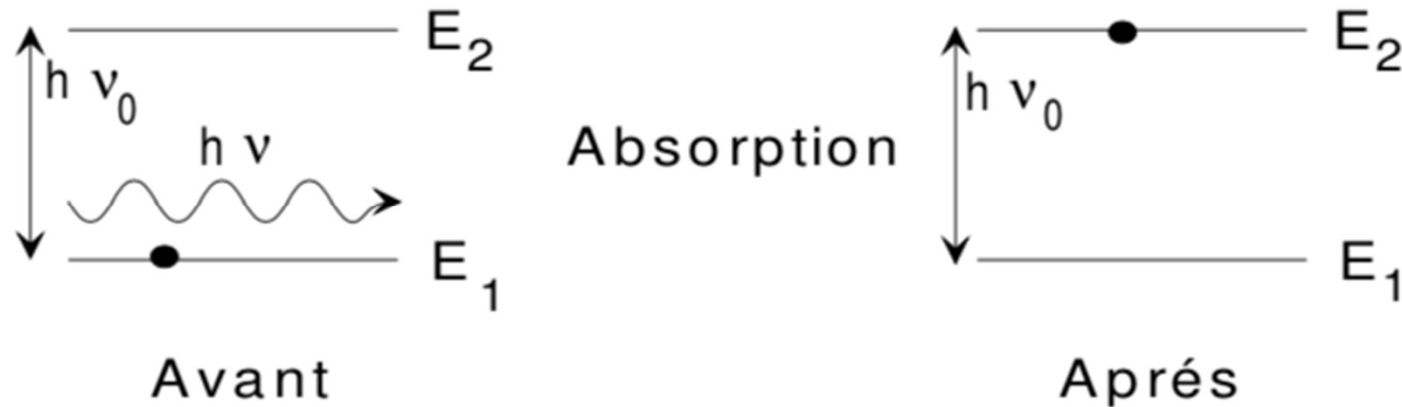


Un atome sur le niveau 2 se désexcite spontanément vers le niveau 1. Les photons produits par émission spontanée sont émis de manière isotrope dans toutes les directions de l'espace.

$$dn_{es} = A_{21} N_2 dt$$

A_{21} = coefficient d'Einstein pour
émission spontanée, d'émission
spontanée par atome et par seconde

Absorption

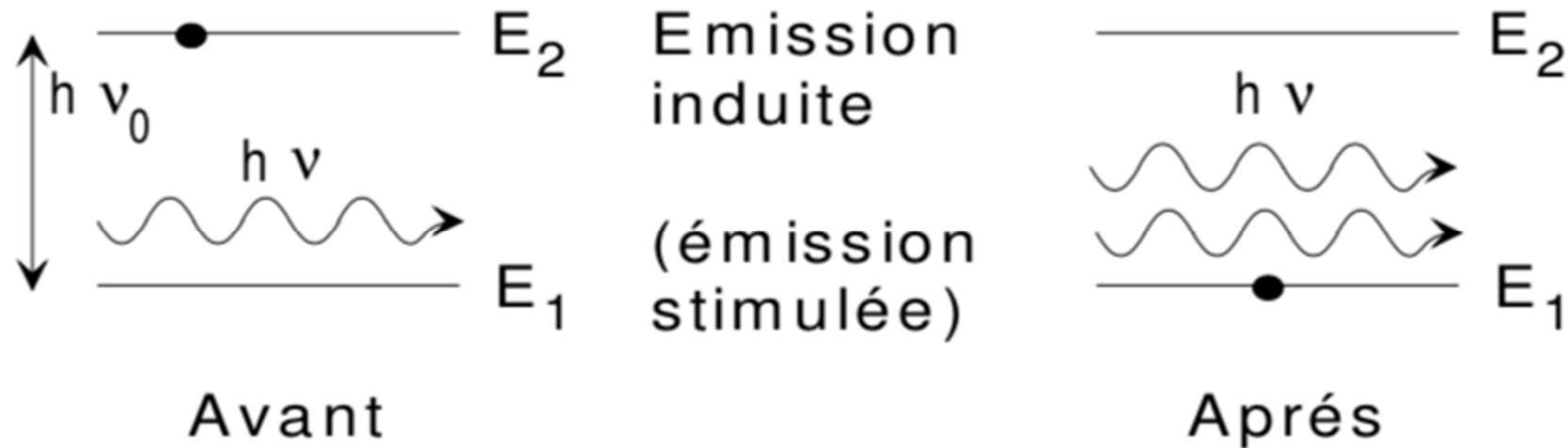


Lorsque ν est très proche de ν_0 l'interaction entre le rayonnement incident et un atome du niveau 1 peut induire une transition de cet atome du niveau 1 vers le niveau 2.

$$dn_a = W_{12} N_1 dt$$

W_{12} : probabilité d'absorption par atome et par unité de temps

Emission induite

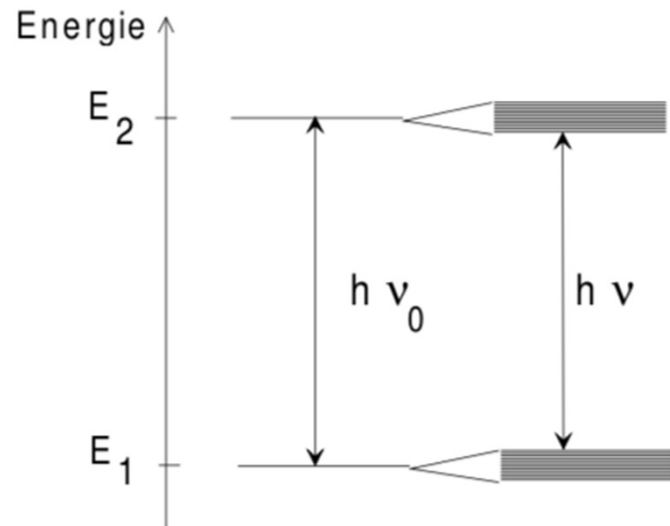
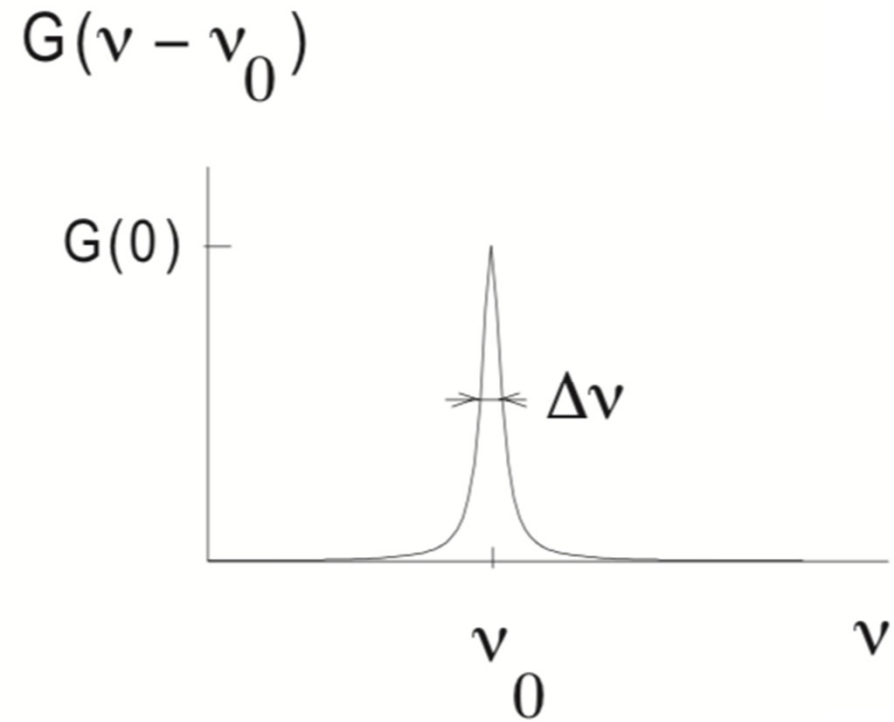
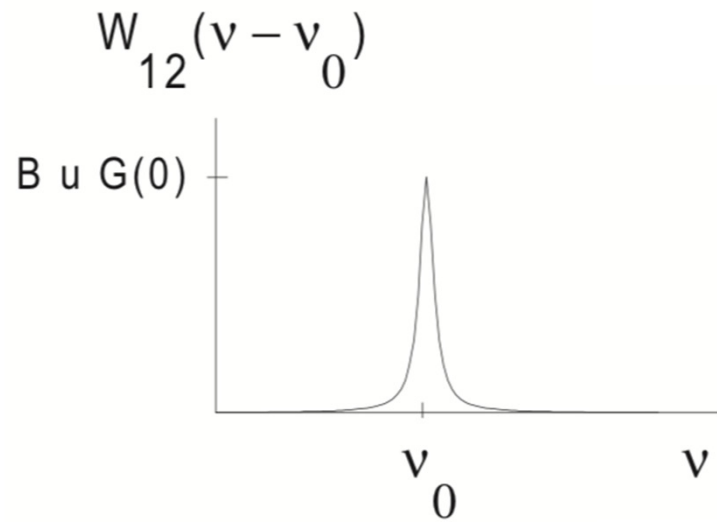


Lorsque ν est très proche de ν_0 l'interaction entre le rayonnement incident et un atome du niveau 2 peut induire la transition de cet atome du niveau 2 vers le niveau 1.

$$dn_{ei} = W_{21} N_2 dt$$

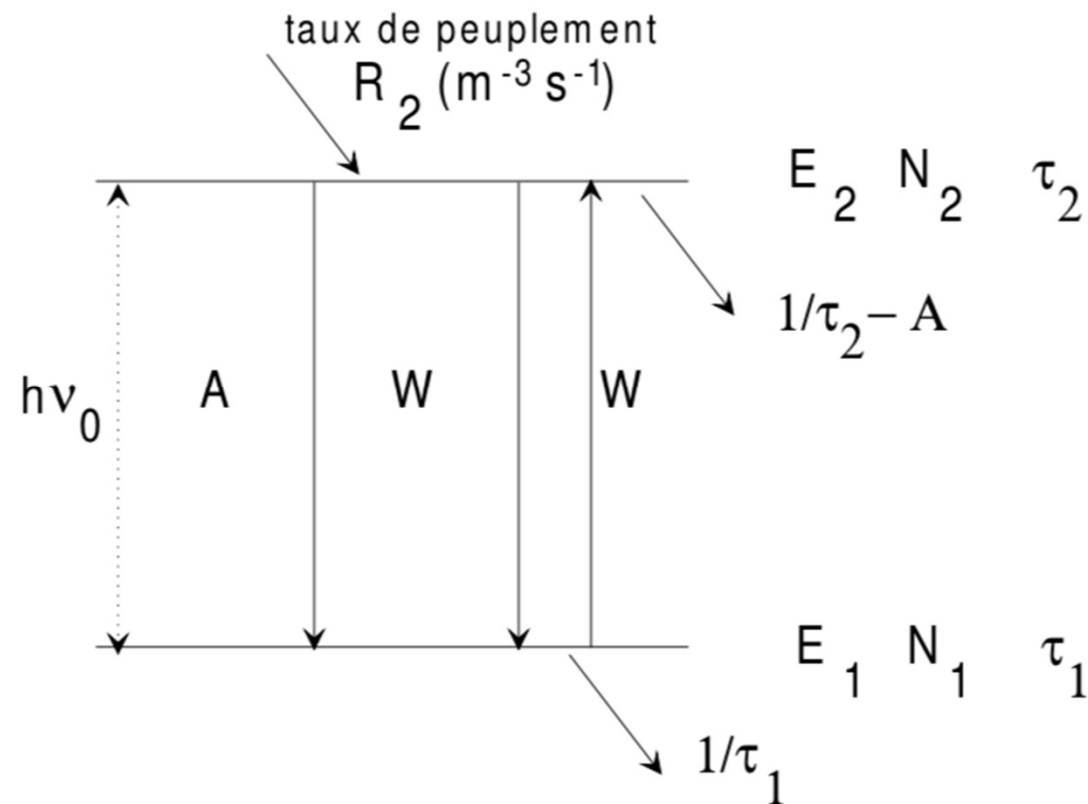
Le photon produit par émission induite a les **mêmes caractéristiques que le rayonnement inducteur**.

Profil spectral de la transition



Δv = largeur spectrale de la transition

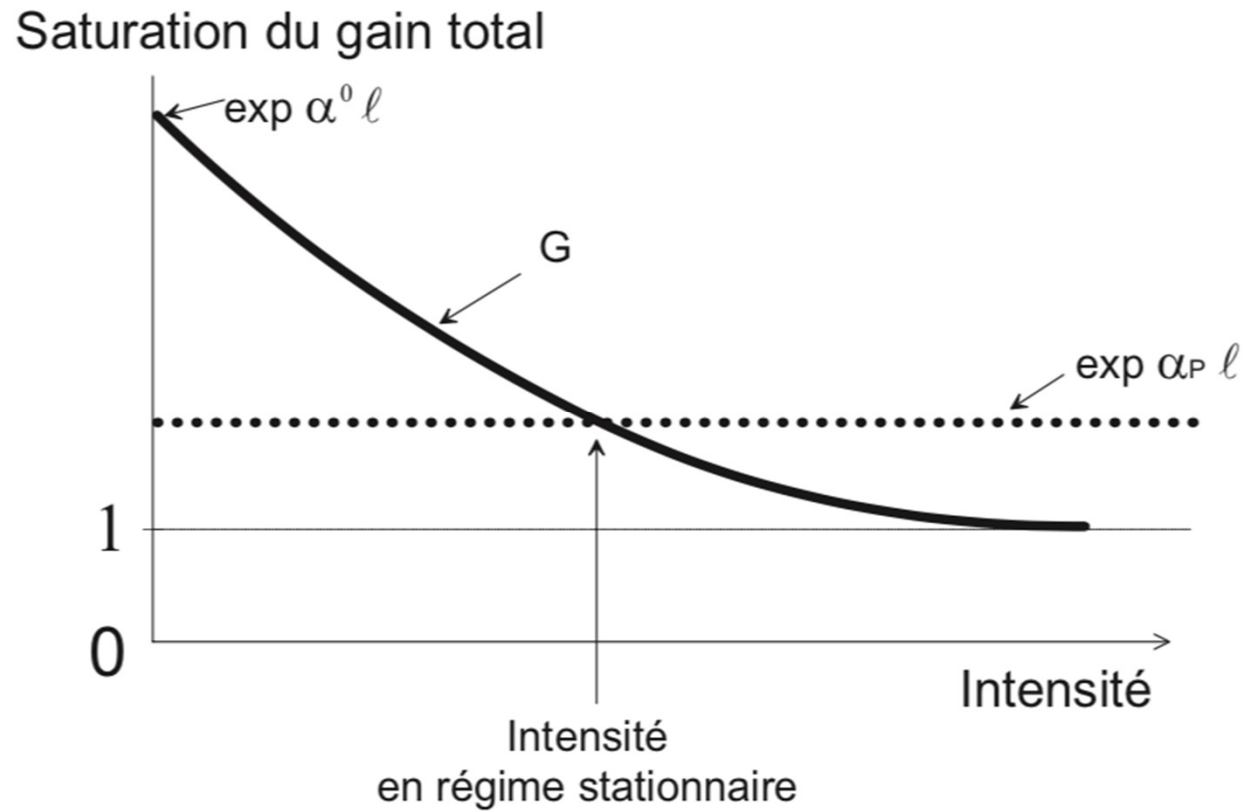
Saturation de l'amplification et gain du milieu amplificateur



On se place en régime stationnaire.

$1/\tau_2$ = somme des probabilités par seconde et par atome pour l'émission spontanée $1 \rightarrow 2$

Fonctionnement du laser en régime stationnaire



Bilan

Amorçage d'une impulsion	Régime stationnaire (laser continu)
$\nu = \nu_q$	$\nu = \nu_q$
$\alpha^0(\nu) > \alpha_P(\nu)$	$G(\nu) \exp(-\alpha_P(\nu) \ell) = 1$ avec pour des pertes faibles le gain $G(\nu) = \exp \alpha(\nu) \ell$ proche de 1, la condition de fonctionnement se simplifie en $\alpha(\nu) = \alpha_P(\nu)$

Applications - directivité : télémétrie

Terre-Lune

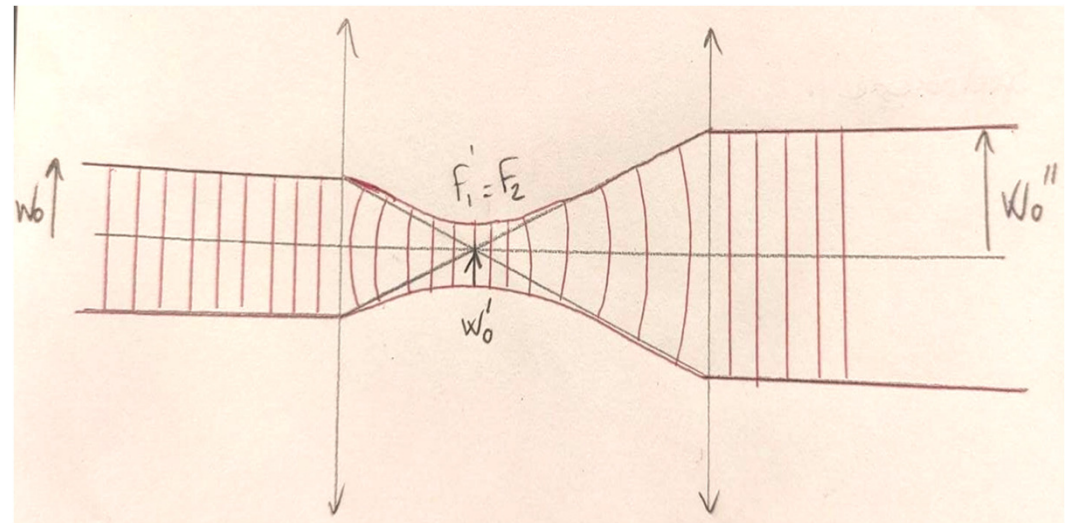
Laser He-Ne classique :

$$w_0 = 0.3\text{mm} \Rightarrow \theta = 0.50\text{mrad}$$

Donc pour :

$$z = 1\text{m}, \varnothing = 1\text{ cm}$$

$$z = 3,8 \cdot 10^5\text{km}, \varnothing = 380\text{km}$$

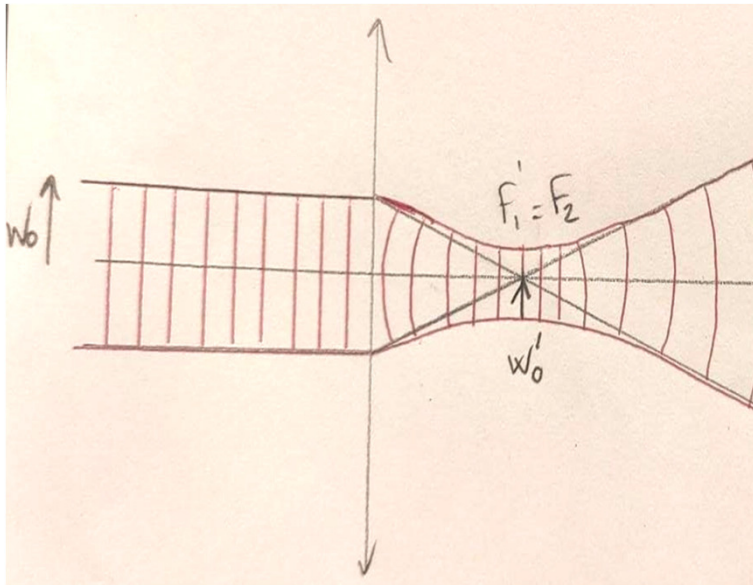


$$\theta' = \frac{\lambda}{\pi w'_0} = \frac{w_0}{f'_1} = \frac{w''_0}{f'_2}$$

**Télémétrie moyenne et grande distance scan
3D (LIDAR)**

Application - puissance

Puissance de découpe :



1mW - rien

1W - papier

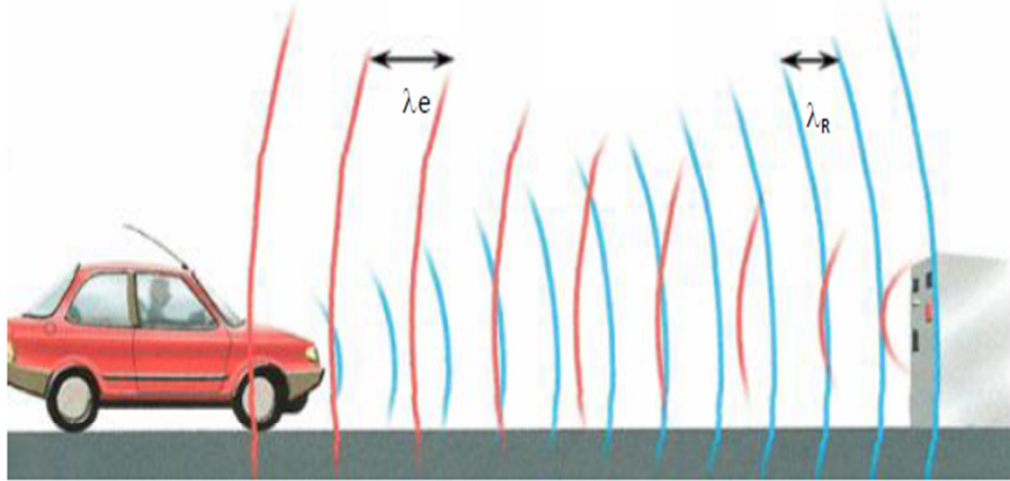
10kW - métaux

$$P' = P \left(\frac{w_0}{w_0'} \right)^2$$

Usinage
Optique non linéaire

Applications - cohérence temporelle :

vélocimétrie Doppler



Application numérique au laser YAG :

$$\lambda = 1064\text{nm}$$

$$\Delta\nu \simeq 1\text{kHz}$$

$$\delta v \simeq 1\text{mm/s}$$

$$\delta\nu = -\nu \frac{v}{c}$$

$$\delta\nu_{lim} = \Delta\nu \Rightarrow \delta v = \frac{c\Delta\nu}{\nu}$$

**mesure de vitesse de solides
cartographie d'écoulement 3D**

Bibliographie des images