

LUMIERE LASER

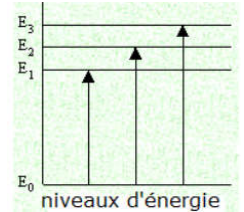
I) INTRODUCTION :

- LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = amplification de la lumière par émission stimulée de radiation.
- Un matériau stable stimulé de façon adéquate par une énergie quelconque émet de la lumière.
- Le faisceau lumineux émis est cohérent et de forte énergie.

II) BASES FONDAMENTALES :

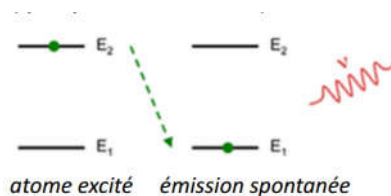
1) L'ABSORPTION :

- Un atome peut se trouver à des états d'énergie différents.
- Plus une trajectoire électronique est loin du noyau, plus son énergie est grande
- à l'état fondamental → énergie la plus faible
- si on excite l'atome avec une source d'énergie, il l'absorbe les électrons passent du niveau fondamental à un niveau supérieur
- les niveaux d'énergie de l'atome sont quantifiés: quantité d'énergie précise fait transférer un électron à un niveau précis chaque atome n'absorbe que des couleurs spécifiques.



2) L'EMISSION SPONTANÉE :

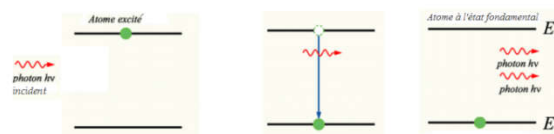
- L'énergie absorbée est restituée naturellement sous forme de photons après un bref délai (quelques nanoseconde)



- Les photons émis ont une énergie $E_{\text{photon}} = h\nu = E_2 - E_1$ (= énergie absorbée)
- La direction du rayonnement est aléatoire: dans un milieu chaque atome désexcité émet un photon dans une direction différente.

3) L'EMISSION STIMULÉE :

- quand un atome excité par une énergie $h\nu$, est stimulé à nouveau par la même quantité d'énergie $h\nu$:



- il retourne à l'état fondamental :
 - en émettant simultanément deux photons $h\nu$ en phase et dans la même direction
 - le photon incident est ainsi dupliqué

III) PRODUCTION DES RAYONS LASER :

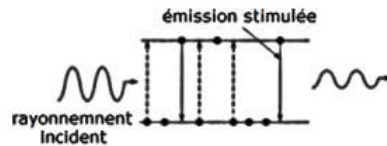
- Un photon incident a autant de chance d'être absorbé par un atome d'énergie basse que de provoquer la désexcitation d'un atome déjà excité
- Nécessité d'augmenter le nombre d'atomes excités pour privilégier l'émission spontanée: le pompage
- pour obtenir des rayons de grande énergie ces opérations de pompage et émission stimulée sont multipliées: l'amplification

1) LE POMPAGE :

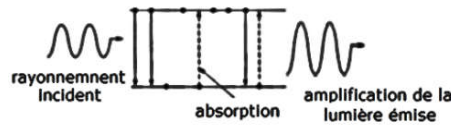
- La proportion d'atomes entre 2 niveaux d'énergie E_2 et E_1 :

$$N_2 = N_1 \times \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) \text{ (loi de Boltzmann)}$$

- À l'équilibre thermodynamique la matière contient plus d'atomes à l'état fondamental que d'atomes à l'état excité

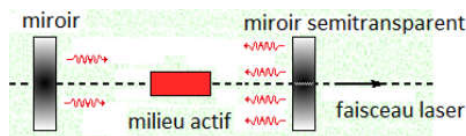


- l'augmentation du nombre d'atomes excités (inversion de population) privilégie l'émission stimulée au détriment de l'émission spontanée
- le pompage se fait par apport d'énergie extérieure qui peut être optique, chimique ou électrique



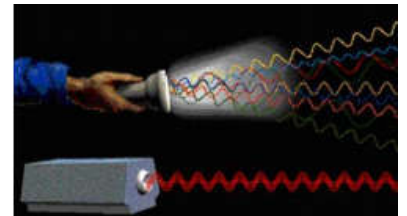
2) L'AMPLIFICATION :

- L'amplification se réalise grâce à deux miroirs qui bordent un cylindre = **cavité optique**
- Le processus s'amorce par quelques émissions spontanées de photons
- chacun des photons ainsi émis est réfléchi par les miroirs
- Il devient à son tour incident et en produit deux autres etc...
- Quand le faisceau est suffisamment intense il traverse l'un des deux miroirs qui est semi transparent: **le faisceau LASER**
- la cavité joue le rôle d'amplificateur et aussi de **filtre** car ne permet que:
 - ondes parfaitement parallèles et en phase
 - ondes avec fréquences tel que $\nu = k c / 2 L$



IV) CARACTÉRISTIQUES DES LASER :

- Lumière directive : faisceau parallèle, cohérent spatialement
 - fluence élevée (densité de puissance)
- Exemple de la fluence à 2m
 - d'une lampe de 100W : 0.2 mWcm⁻²
 - d'un LASER (r= 2mm) de 100W: $\approx 800 \text{ Wcm}^{-2}$
- photons de même énergie $E=hn$ donc même λ → lumière monochromatique
 - absorbance dans une couleur spécifique
- Émis en phase, cohérent temporellement
 - optimisation de l'énergie
- peuvent être extrêmement puissants.



V) LES DIFFÉRENTS TYPES DE LASER :

LASER À SOLIDES

- Verres ou cristaux, mauvais conducteurs électriques
- Dopés avec des ions aux propriétés laser
- Émettent surtout dans le rouge et l'infrarouge proche
- Peuvent émettre en continu ou de manière impulsionnelle

exemple :

à 694nm pour le rubis

à 1064nm pour le YAG (Y₃Al₅O₁₂) qui est un grenat d'aluminium et d'yttrium

LASER À GAZ :

- le milieu actif est un gaz contenu dans un tube en verre ou céramique
- faisceau émis très cohérent et fréquence d'émission très pure.
- Les plus connus: Helium-Néon, $\lambda = 632\text{nm}$, rouge
- Argon, $\lambda = 500\text{nm}$, bleu-vert

Krypton, $\lambda = 570\text{nm}$, jaune
Helium-Cadmium, $\lambda = 440\text{nm}$, violet
Gaz carbonique (CO_2), $\lambda = 10600\text{nm}$, infra-rouge

LASER À LIQUIDE :

- Colorants organiques
- Émission continue ou discontinue suivant le mode de pompage
- Les fréquences (couleurs) émises peuvent être réglées à l'aide d'un prisme ou d'un filtre optique
- Selon le colorant ils peuvent émettre de l'UV à l'IR

VI) MÉCANISMES D'ACTION DU LASER :

- Effets thermiques/ Mécanismes photochimiques/ Mécanismes photo-mécaniques

1) EFFETS THERMIQUES :

- Effet hyperthermique localisé
- entre 42 °C et 45 °C, appliqué pendant quelques dizaines de minutes
- Apoptose cellulaire
- Coagulation
- entre 50 °C et 80 °C atteinte en quelques secondes
- dénaturation des protéines et du collagène
- nécrose irréversible sans destruction immédiate des tissus
- Volatilisation
- plus de 100 °C appliqué pendant une durée très brève (dixième de seconde)
- le tissu part en fumée et Les rebords cicatrisent par nécrose de coagulation

2) EFFETS PHOTOCHIMIQUES :

- Absorption de λ émise par des molécules spécifiques
- pour de faibles fluences → réactions photochimiques
- Pour des puissances plus élevées → ruptures des liaisons chimiques ou production de radicaux libres
- Effet photodynamique
- Injection d'un produit photosensibilisant
- Éclairage avec λ adéquate (absorption et pénétration)
- Libération de produits toxiques pour la cellule ciblée

3) EFFET PHOTO-MÉCANIQUE :

- Obtenu avec des densités de puissance très élevées
- Production d'ondes de choc destructrices
- par l'expansion / la contraction et implosion de bulles de vapeur: accumulation de chaleur sans diffusion thermique → bulle gazeuse
- ou par ionisation des atomes de la matière: entre milieu ionisé et non ionisé apparaît un gradient de pression → onde de choc
- Selon les propriétés mécaniques des tissus et de l'eau qu'ils contiennent:
- arrachement pour les tissus mous
- Rupture pour les tissus solides

VII) APPLICATIONS MÉDICALES :

OPHTALMOLOGIE

- Le laser argon est utilisé principalement dans:
 - traitement de la rétinopathie diabétique.
 - prévention du décollement de la rétine
- Le laser YAG (effet mécanique)
- cataracte secondaire.
- traitement de glaucome
- Le laser Excimer (émission dans l'UV)
- resurfaçage de la cornée (myopie et astigmatisme)
- Le laser femtoseconde (10-15 secondes)
- découpe du volet cornéen

DERMATOLOGIE

- Effacement des tatouages (rupture de liaison moléculaire)

-le Nd:YAG (1064 nm) pour le noir, bleu et vert

-le Nd:YAG (532 nm) pour le rouge

- suppression de taches de naissance

-Laser à colorant

- Épilation

-Laser à rubis émettant à 994 nm

-absorption par la mélanine

UROLOGIE

- lasers pulsés pour provoquer la fragmentation des calculs urétéraux

ONCOLOGIE

- Thérapie photodynamique

- Coagulation

CHIRURGIE DENTAIRE

- photoablation de caries