



Luminescence & Lasers

I. Incandescence et Luminescence [phosphorescence et fluorescence]

A. L'incandescence

1. Définition

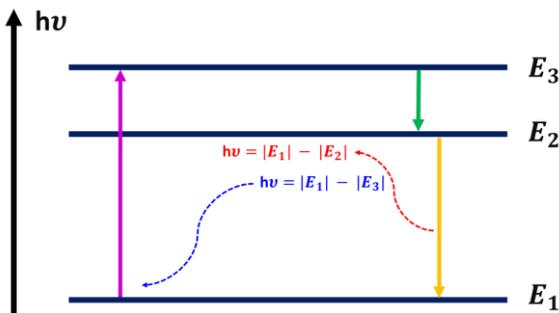
L'**incandescence** est un phénomène qui se produit quand un corps porté à une température élevée devient chaud et émet une lumière d'**origine thermique**.

Exemples : La lumière du soleil ou celle d'une bougie.

B. La luminescence

1. Définition

La **luminescence** est le phénomène consécutif à un apport d'énergie amenant atomes ou molécules dans **un état excité**. Le retour de ces éléments vers leur **état fondamental** s'accompagne de l'émission de photons.



L'absorption se fait généralement par absorption de photons, dont l'énergie correspond à la différence d'énergie entre deux niveaux.

Quand il y a eu excitation, l'atome va vouloir retourner à sa position d'équilibre. Le retour à l'état fondamental se fait directement ou par l'intermédiaire d'un ou plusieurs niveaux. Il faut que l'une de ces transitions de désexcitation au moins soit radiative pour avoir émission de lumière.

On constate que l'atome émet un photon rouge de plus basse énergie que le photon bleu absorbé, cela s'explique par une transition non radiative entre E3 et E2 qui dissipe une partie de l'énergie, cela survenant avant que

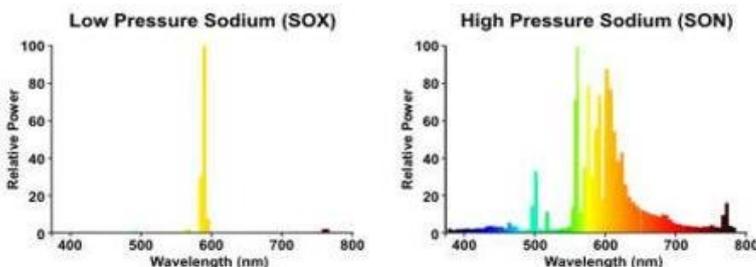
l'électron n'émette entre E2 et E1. Cependant, il arrive d'avoir émission d'un photon d'énergie égale à celle du photon absorbé : on parlera de **résonance**.

Note : Le phénomène de luminescence est l'origine d'une lumière dite **froide** contrairement à l'incandescence.

2. Exemple de luminescence : l'électroluminescence dans une lampe à décharge

L'excitation n'est pas forcément produite par l'absorption d'un photon !
Selon **la cause de l'excitation** on définit différents types de luminescence.

La **lampe à décharge** est un tube rempli de gaz sur lequel on applique des décharges électriques qui créent un champ électrique local mais très fort. On va avoir arrachement des électrons, donc ionisation avec une accélération des électrons dans le tube. Une fois que ces électrons sont accélérés, ils vont rencontrer d'autres électrons qui vont à leur tour s'exciter. Ils vont ensuite se désexciter en émettant des photons, d'où le terme d'**électroluminescence**.



Plus la pression dans le tube augmente, plus le nombre de chocs augmentent. Il y a alors excitations sur plusieurs niveaux d'énergies différents, induisant un élargissement du spectre. Il apparaît notamment plus de photons de hautes énergies (bleu voir UV) comme on peut le voir dans le spectre ci-contre.

C. Fluorescence et Phosphorescence

1. Définition

La **photoluminescence** se décline en deux catégories : fluorescence et phosphorescence.

a) La fluorescence

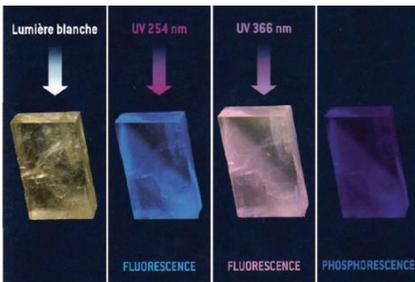
Phénomène de luminescence très rapide (de l'ordre de quelques nanosecondes) qui s'estompe à l'arrêt de l'éclairement. La couleur varie avec la longueur d'onde d'excitation.

b) La phosphorescence

Phénomène voisin de la fluorescence pour lequel on a arrêté l'éclairement. La matière va toutefois continuer de produire de la lumière, on parle alors de phosphorescence.

Retenir : Le déclin de la fluorescence est généralement plus rapide que celui de la phosphorescence.

2. Exemple du cristal de calcite



Un **cristal de calcite** placé sous une lampe UV émet de la **fluorescence** dont la couleur varie avec la longueur d'onde de l'excitation. L'émission de lumière persiste après l'interruption de l'illumination UV : c'est la **phosphorescence**.

Dans le cas de la phosphorescence, les éléments excités passent par un **état intermédiaire** avant d'émettre de la lumière : en fait les phénomènes de fluorescence et de phosphorescence sont caractérisés par des **transitions énergétiques différentes**. C'est ce que l'on constate dans les diagrammes de luminescence moléculaires de Perrin-Jablonski.

3. Luminescence moléculaire et diagramme de Perrin-Jablonski

Comme pour les atomes, les électrons d'une molécule peuvent transiter vers des niveaux d'énergie supérieure si la molécule absorbe de l'énergie. Dans une molécule ces niveaux électroniques présentent des **sous-niveaux vibrationnels et rotationnels**.

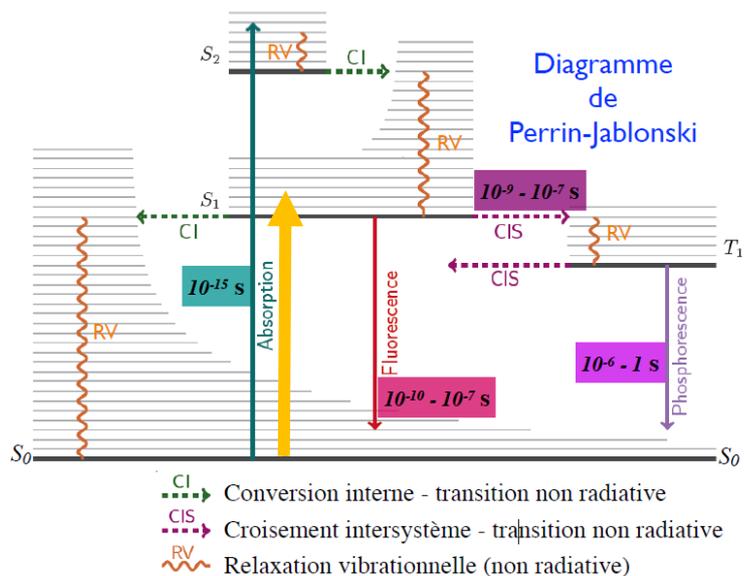
Après absorption d'un photon (flèche orange) les molécules excitées relaxent vers le plus bas niveau vibrationnel du **1^{er} état excité S₁**.

Il n'y pas d'émission de photons (**non radiatif**)

Puis, après un certain temps, **durée de vie τ de l'état excité S₁**, on distingue trois types de désexcitation :

- La relaxation vibrationnelle
- La fluorescence
- La phosphorescence

Note : La relaxation vers le plus bas niveau vibrationnel du premier état excité S₁, qui est un seuil d'énergie stable, se déroule en 10⁻¹³ à 10⁻¹¹ s. Ce temps est 100 à 10 000 fois plus court que la durée de vie de l'état excité S₁ de l'ordre de quelques dizaines de picosecondes à quelques centaines de nanosecondes, donc le temps que l'électron reste dans le puit d'énergie S₁.

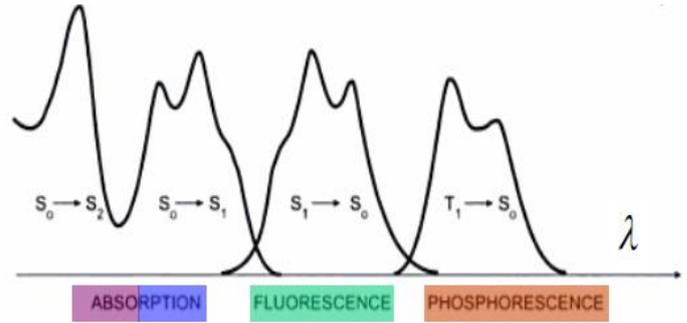


1 ^{er} type de désexcitation : la relaxation vibrationnelle	2 nd type de désexcitation : la fluorescence	3 ^e type de désexcitation : la phosphorescence
Retour au fondamental sans émission de photon. C'est une désexcitation qui est non radiative , appelée conversion interne . L'électron va céder son énergie à la molécule en passant de S ₁ à S ₀ sous forme de relaxation vibrationnelle , il change d'orbite pour cela.	Retour au niveau fondamental avec émission de fluorescence via les divers niveaux vibrationnels de l'état fondamental de manière rapide mais infiniment plus long que le temps d'absorption. Cette transition peut se faire d'un niveau S à un état vibrationnel plus bas. Plusieurs longueurs d'ondes sont donc possibles pour le photon émis.	Retour à l'état fondamentale par transition vers un autre état excité intermédiaire T ₁ . Ce phénomène s'appelle croisement intersystème . La durée de vie de l'état T ₁ est en principe beaucoup plus longue que celle de l'état S ₁ (quelques μs à plusieurs heures). L'état T ₁ est dit métastable pour cette raison. L'état T ₁ précède la phosphorescence .

Le spectre de **phosphorescence** correspond à des longueurs d'onde plus grandes que celles du spectre de **fluorescence** parce que le plus bas niveau vibrationnel de l'état T₁ est au-dessous de celui de S₁.

Retenir : Ce qui distingue un photon de fluorescence et un photon de phosphorescence c'est **le temps de production après excitation** dû à l'existence d'un état métastable T_1 précédent la fluorescence !

La courbe de la probabilité absorption en fonction de la longueur d'onde montre que pour une absorption de S_0 vers S_1 ou de S_0 vers S_2 il faut de plus petites longueurs d'onde que celle pour l'émission. Puis on a la courbe de probabilité d'émettre en fonction de la longueur d'onde. On obtient souvent une courbe d'émission symétrique à la courbe d'absorption. Elle a des longueurs d'ondes plus grandes due à la relaxation vibrationnelle qui cède de l'énergie (si E diminue, la longueur d'onde augmente). L'émission se fait par fluorescence (de S_1 à S_0) ou par phosphorescence (de T_1 à S_0). Les longueurs d'onde augmentent car l'énergie diminue.



4. Paramètres de fluorescence

Les techniques modernes utilisant la fluorescence comme la **spectro-fluorimétrie** sont exploitées dans de nombreux domaines (physique, chimie, biologie cellulaire, industrie pharmaceutique...). Les molécules utilisés sont appelés **fluorophores** (= fluorochromes). Pour les décrire, on utilise :

- Le rendement quantique
- La durée de vie
 - a) Le rendement quantique

L'**efficacité de fluorescence** pour une molécule donnée est déterminée par le **rendement quantique ϕ_f** . Il est défini par le rapport entre le nombre de photons émis et le nombre de photons absorbés par la molécule.

Le rendement quantique varie en fonction de l'environnement des **fluorophores**.

Exemple d'environnements : la concentration du milieu, la polarité, le pH...

On obtient un nombre compris entre 0 et 1 pour le rendement quantique. Le rendement n'est jamais égal à 1 car on considère qu'il y a toujours des relaxations vibrationnelles qui sont non radiatives.

Exemple : $\phi = 0,85$ pour la **fluorescéine** donc 85% des photons absorbés par la molécule sont réémis.

- b) La durée de vie

Le nombre de molécule totale N qui reste excité en fonction du temps décroît **exponentiellement**, caractérisé par **un temps de déclin τ_f de fluorescence** appelé **durée de vie de l'état excité**, temps que les molécules dans le niveau S_1 se désexcitent vers le niveau S_0 .

C'est donc le **temps moyen** de séjour des molécules dans l'état excité.

Ce temps moyen est de l'ordre de la nanoseconde pour la plupart des fluorophores et varie en fonction de l'environnement.

Note : τ_f se définit donc comme la durée de vie **du plus bas sous-niveau de l'état excité**.

Si on regarde uniquement les molécules dans le niveau S_1 qui vont se désexciter vers S_0 on utilise le temps τ_f , mais si on regarde l'ensemble des molécules on utilise **τ_f le temps global de durée de vie de fluorescence**.

Le temps étant lié au rendement on remarque que : **$\tau_f = \tau_r \times \phi$**

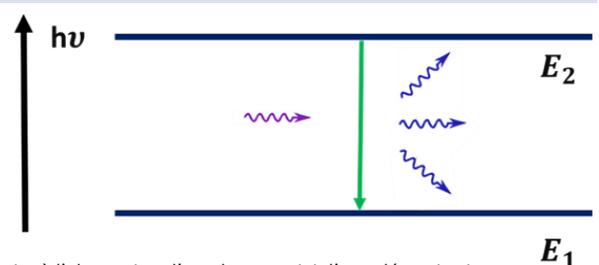
II. Emission spontanée / Emission stimulée - Effet laser

A. Emission spontanée

L'**émission spontanée** se définit comme le phénomène de désexcitation spontanée des atomes ou molécules. Les photons issues de la désexcitation sont émis de façon **aléatoire** et dans **toutes les directions**.

C'est ce qu'on a vu précédemment avec la fluorescence, qui est donc basé sur le principe d'émission spontanée !

Note : Dans le schéma est illustré trois cas possibles d'émission spontanée suite à l'absorption d'un photon suivi d'une désexcitation.

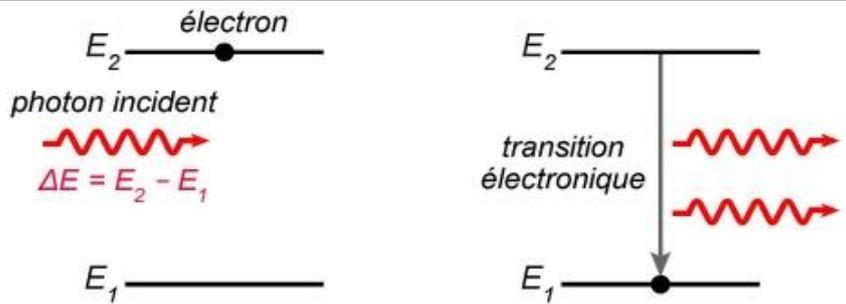


C. Emission stimulée

On parle d'**émission stimulée** lorsqu'un photon incident sur un électron excité le force à se désexciter en émettant deux photons de caractéristiques identiques à celles du photon incident.

Les deux photons produits seront notamment de **même direction, de même énergie, de même polarisation et auront ainsi une même quantité de mouvement (++)**.

Ils seront aussi **en phase** et pourront à leur tour provoquer l'émission stimulée chacun d'un autre photon, conduisant ainsi à un **processus d'amplification de lumière**.



C'est le principe du **LASER** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Dès 1917, Einstein avait prévu l'émission stimulée (= induite) !

Explication qualitative de l'émission spontanée et de l'effet laser en animation :

https://www.youtube.com/watch?v=UDxdq_ogqR8 (ou recherchez sur Youtube : « Laser : le principe »).

D. Effet laser

1. Les principes de base du laser

➤ **Un milieu amplificateur**

C'est le milieu où se trouve nos atomes, souvent un gaz, attendant d'être excité.

➤ **Une source externe d'énergie : le pompage**

Le **pompage** est fondamental. Si on n'entretient pas le processus d'amplification on obtient un flash unique très rapide. Pour perpétuer ce processus on utilise un pompage qui tend à maintenir les atomes dans un état excité.

➤ **Une cavité résonante**

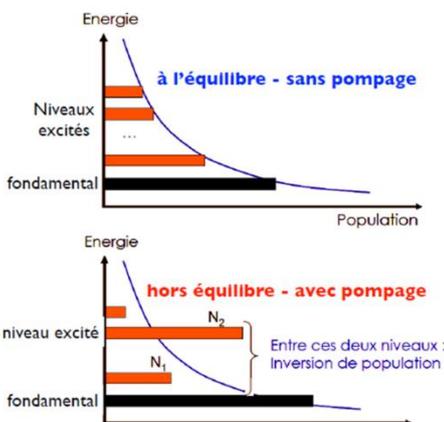
Pour obtenir un **effet laser**, il est nécessaire de recouvrir les parois de notre espace (contenant le milieu amplificateur) par des miroirs de sorte que les photons soient réfléchis et frappent d'autres atomes à leur tour. Les miroirs doivent être **très réfléchissant** et ne laisser passer qu'un minimum de lumière à travers eux pour récupérer un maximum d'intensité.

2. L'inversion de population

C'est le phénomène le plus compliqué, qui met le plus en cause l'effet laser, car il s'agit processus mettant les atomes dans un état excité, grâce au **pompage**. Il consiste à changer la population de son état d'équilibre vers un état de non équilibre.

Note : Le pompage se fait généralement grâce à une **décharge électrique** dans les lasers à gaz ou un **flash** dans les lasers à solides (comme le **laser à rubis**).

A l'**équilibre thermodynamique**, les populations des niveaux sont régies par [la statistique de Boltzmann](#) : $N_i \propto \exp(-E_i/k_B T)$



k_B correspond à la constante de Boltzmann et N_i à la population d'atomes dans un état excité i . Pour sortir de cet **équilibre thermodynamique (ci-contre)** il faut donc forcer l'inversion de population en pompant le milieu de sorte que :

$$N_{excité} > N_{fondamental}$$

Toutefois, pour une transition donnée, la **probabilité d'une émission stimulée** pour un atome dans l'état excité **est égale** à la **probabilité d'une absorption** pour un atome dans l'état fondamental (résonance). En d'autres terme, dans ce cas de figure, les atomes absorbent les photons au même rythme qu'ils en produisent.

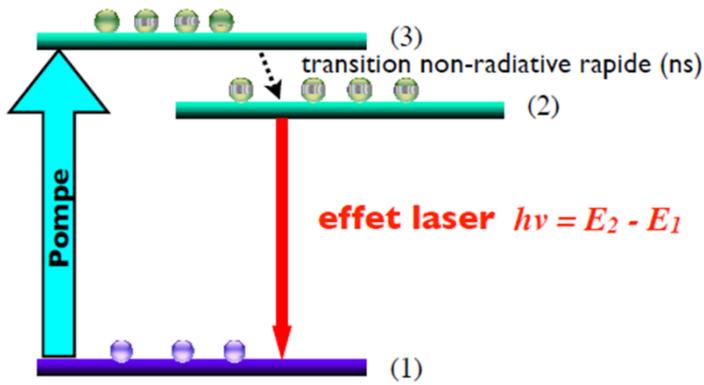
Il est donc **impossible** en pompant une seule transition atomique d'obtenir **une inversion de population** ($N_2 > N_1$).

Pas de lasers à **2 niveaux** ! (++)

Au maximum, pour un fort pompage, on aurait $N_1 = N_2$, mais on ne produirait rien vu que les photons créés sont tout de suite réabsorbé par d'autres atomes.

Retenir : Il faudra donc **au minimum** un système à **3 niveaux** pour obtenir un effet laser.

3. Le laser à 3 niveaux



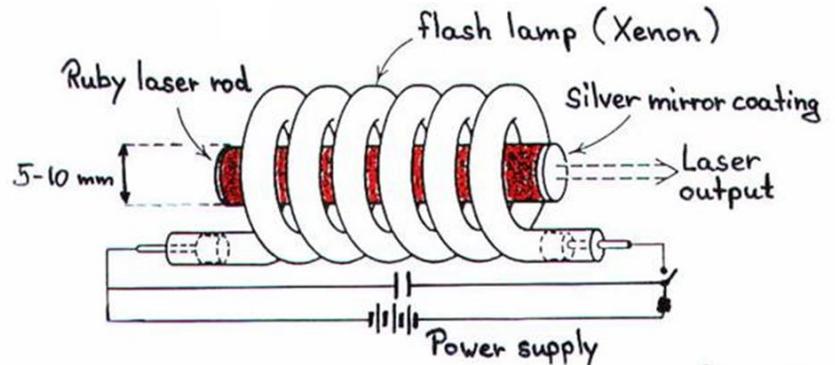
Il s'agit de procéder cette fois à un pompage (optique ou électrique) de la population de E_1 vers E_3 . La population de E_3 descendra ensuite vite remplir le niveau E_2 via **une transition non radiative**. L'intensité du laser étant très fortement lié à la différence entre N_1 et N_2 , la difficulté est en fait de vider le niveau (1) car le niveau fondamental est repeuplé dès que le laser fonctionne.

Ainsi, il existe un **seuil de transparence** :
il faut un pompage suffisamment puissant pour atteindre $\Delta N = 0$.

Si $N_2 \leq N_1$: pas d'effet laser. L'effet laser se produit donc ici selon deux conditions :

- **Pompage efficace** pour que $N_2 > N_1$
- **Transition très rapide non radiative de E_3 vers E_2** . Elle doit être plus rapide que l'émission laser de E_2 vers E_1 .

Pour satisfaire cette deuxième condition, il est nécessaire que le niveau d'énergie E_2 ait **une durée de vie assez longue (état métastable)** pour être peuplé au détriment du niveau fondamental.



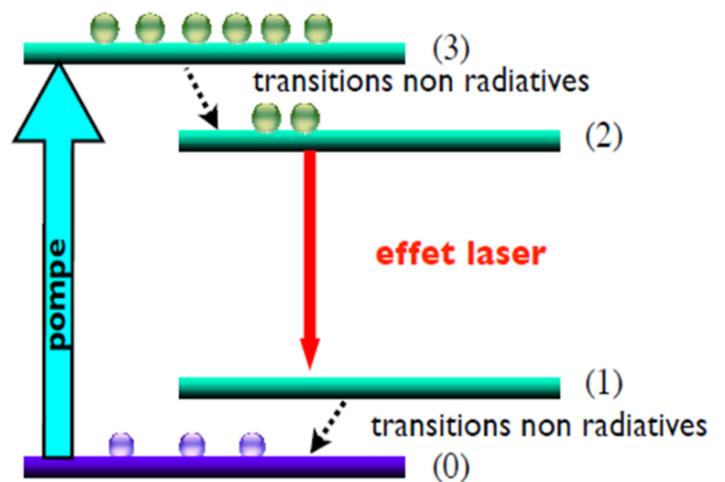
Exemple de laser à 3 niveaux (ci-dessus) : **Le laser solide à rubis**

Le rubis est enfermé dans un tube et le flash va faire passer les molécules de celui-ci dans un état excité par pompage optique. Il produit un effet laser de 645 nm (couleur rouge). *C'est le premier laser créé !* Il s'agit d'un cas un peu particulier car ce laser possède une bande continue de niveaux excités E_3 (= large bande d'absorption, dans le vert).

4. Le laser à 4 niveaux

Ce laser est beaucoup plus facile à réaliser grâce à l'existence d'un niveau (1) d'énergie E_1 un peu plus élevée que l'énergie E_0 du fondamental, mais assez éloigné pour que $(E_1 - E_0) > k_B \times T$, à température ordinaire, d'où **un niveau (1) quasiment vide** à l'équilibre thermodynamique.

Dès que l'on met en route le mécanisme de pompage, on procède à **une inversion de population entre E_0 et E_3** . La population de E_3 se videra ensuite vers E_2 **sans émission radiative** et l'effet laser va se faire entre E_2 et E_1 . En supposant que la transition de E_3 vers E_2 soit très rapide on observera conséquemment une augmentation du nombre de molécules dans un état E_2 et un passage vers E_1 . Avec le mécanisme en chaîne des photons, on produit une grande intensité lumineuse.



Pas de seuil de transparence : $\Delta N > 0$ dès que le pompage est actif.

Parfois, on peut choisir le niveau d'énergie E_1 au sein d'une bande large et donc choisir sur un certain intervalle la fréquence amplifiée : on parle de **laser accordable en fréquence**.

Exemple de laser à 4 niveaux : **Le laser solide à base de néodyme**. Contrairement au laser rubis, on va avoir un effet laser entre le niveau 2 et le niveau 1 qui n'est pas l'état fondamental. Cependant l'énergie libérée sera plus petite et on aura donc une longueur d'onde plus grande de 1080 nm. C'est **un laser à infrarouge**.

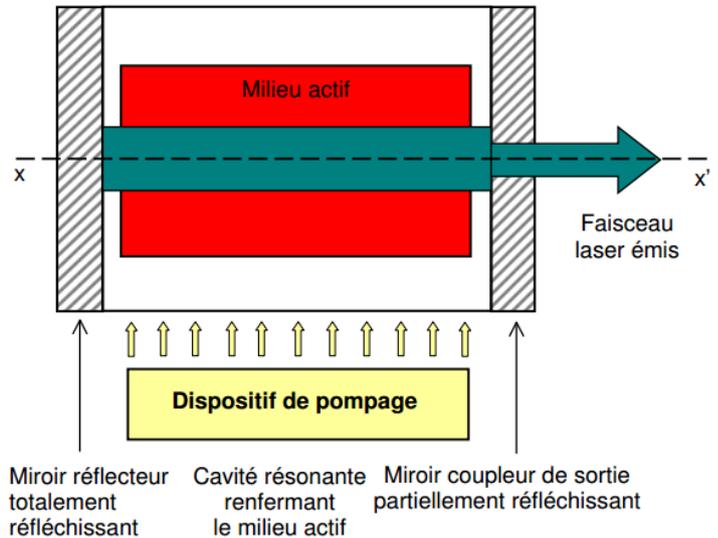
III. La cavité résonnante (partie simplifiée ! \o/)

A. Le rôle amplificateur

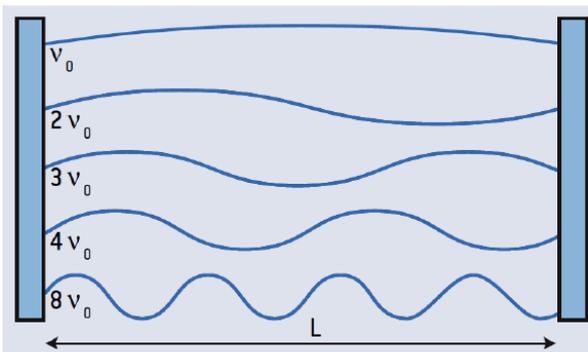
1. Généralités

Pour augmenter l'amplification du faisceau incident, on lui fait traverser l'amplificateur plusieurs fois, c'est le rôle de la cavité. En optique, la cavité résonnante est le plus souvent **une cavité Fabry-Pérot** constituée de **deux miroirs plans parallèles**.

Plus le nombre de photons est important et plus les chances d'obtenir une émission stimulée sont grandes, on peut abaisser ce seuil critique en augmentant le taux d'émissions stimulées, cela en faisant croître l'intensité du rayonnement. On y parvient par « amplification résonante » en utilisant une cavité constituée de **deux miroirs parallèles** espacés d'une distance égale à **un nombre entier de demi-longueurs d'ondes**. Grâce à cette cavité résonnante qui constitue un **oscillateur optique**, on obtient une amplification résonnante de lumière qui favorise l'émission stimulée dans la direction de propagation de la lumière dans la cavité.



2. La condition de résonance



Les photons présentent une composante ondulatoire, caractérisée par la longueur d'onde et la fréquence.

On cherche à créer dans la cavité une onde stationnaire pour entretenir l'aller-retour d'une telle onde à la fréquence ν .

La condition pour ça, c'est que lorsqu'on a fait un aller-retour, c'est à dire $2L$, on doit avoir un nombre entier de longueur d'ondes soit $n\lambda$. Sachant que $\lambda = c / \nu$, au niveau de la fréquence cela se traduit par le fait que ν est un multiple d'une fréquence de référence : $c / (2L)$ avec c la vitesse de la lumière dans le vide.

$$2L = n\lambda \text{ et } \lambda = \frac{c}{\nu} \text{ donc } 2L = n \times \frac{c}{\nu} \Leftrightarrow \nu = n \times \frac{c}{2L}$$

$c / (2L)$ donne donc une fréquence de **résonance fondamentale** ν_r et toutes les autres fréquences, permettant d'avoir des **ondes stationnaires**, sont des multiples de cette valeur de résonance fondamentale. La condition de résonance est donc satisfaite quand :

$$2L = n \lambda \Leftrightarrow \nu = n c / (2L) = n \nu_r$$

C'est la condition de re-bouclage en « phase » sur un aller-retour.

3. La condition d'oscillation

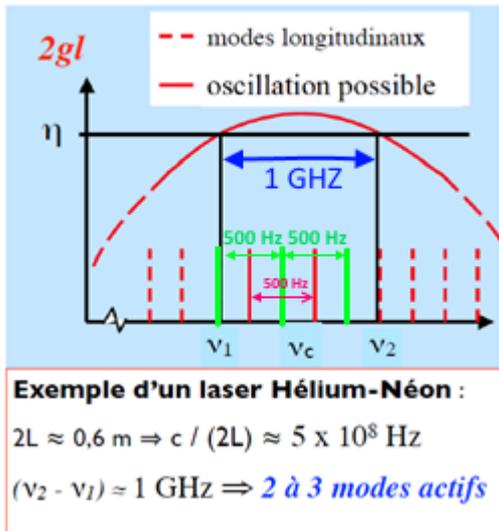
On trouve un miroir de chaque côté de la cavité. Il s'avère que l'un est très réfléchissant et l'autre l'est un peu moins et laisse passer une toute petite partie du rayonnement ($1/1000^e$ de ce qu'il reçoit). L'un des miroirs est donc **partiellement réfléchissant** afin de permettre au faisceau de sortir du dispositif.

Toutefois il faut un juste milieu. Si le miroir à travers lequel les photons s'échappent n'est pas assez réfléchissant, le laser risque d'être inefficace : les photons s'échappant trop tôt ceux-ci n'entreprendraient pas le processus d'amplification. Au contraire, si le miroir est trop réfléchissant, l'apport continu de photons grâce au processus de pompage pourrait conduire à un échauffement du milieu puis à une explosion de la cavité résonnante à cause de la surcharge de photon non évacués.

Cette perte (volontairement) engendrée s'appelle η . Il représente **le facteur de transmission du miroir**. Elle doit donc être **compensée** par l'effet laser. Il s'agit donc d'obtenir un gain, c'est-à-dire parvenir après de nombreux aller-retours à une augmentation de l'amplification. Ce gain G est à peine supérieur à 0 et croît de manière exponentielle avec l qui est la longueur du milieu actif tel que $G = e^{gl}$. En notant G le gain du milieu actif et η les pertes sur un aller-retour, la **condition d'oscillation laser** pour un laser performant s'obtient quand :

$$G(1 - \eta) > 1$$

4. Les modes actifs longitudinaux



Plusieurs résonances peuvent être favorisées dans une cavité résonnante, ce qui conduit à avoir un laser à plusieurs modes actifs.

On parlera ici des modes **longitudinaux** (trait en pointillés) au sein de la cavité résonnante car les photons qui oscillent en son sein se propagent selon un mode longitudinal et ne sont autorisés qu'à osciller que pour certains modes compris dans l'**intervalle en fréquence** sur lequel le gain l'emporte sur l'absorption (trait pleins).

Sur le schéma $\nu_1 - \nu_2$ correspond à la largeur de cet **intervalle en fréquence** qui est de 1 GHz dans l'exemple.

Il s'agit en fait de diviser cet intervalle par la fréquence de résonance (ici 0,5 GHz) pour pouvoir retrouver le nombre de modes actifs. En procédant ainsi dans l'exemple on trouve 2, on aura donc 2-3 modes actifs longitudinaux : pour interpréter le résultat cela signifie qu'on peut avoir deux pics espacés de 500 MHz (en rose), soit 3 pics espacés de 500 MHz (en rouge) au sein de l'intervalle en fréquence qui correspondent aux modes actifs où l'oscillation est possible.

B. Pertes par diffraction

1. Généralités

Dans tous ces cas on a un phénomène qui s'oppose à l'effet laser, c'est l'effet de *diffraction*.

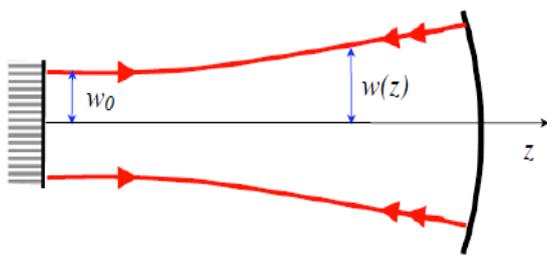
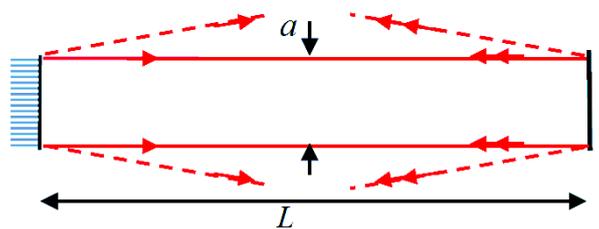
La diffraction est liée au fait qu'à cause de la section finie de la cavité, les ondes électromagnétiques (photons) qui se propagent dans la cavité interagissent de manière perpendiculaire avec les bords de celles-ci. Ces variations se traduisent par des **modes transverses**, analogues des modes de vibration de la membrane d'un tambour, et caractérisés par leur profil spatial.

Par exemple, le premier mode transverse (00) est celui dont les pertes par diffraction sur les bords des miroirs sont les plus faibles. Ce mode est caractérisé par une forte corrélation de l'amplitude et de la phase des ondes dans une section transverse du faisceau.

2. Condition de diffraction

On décrit cette condition de diffraction en fonction de la distance à laquelle se situe l'autre miroir égale à l'angle divisé par L. On aura une perte par diffraction négligeable si :

$$\lambda L \ll a^2$$



Si la diffraction n'est pas négligeable, il faut utiliser d'autres astuces, comme un miroir qui est **concave** pour que le trajet lumineux puisse revenir avec une trajectoire non rectiligne. Cela permet de contrer cette diffraction.

En limitant les effets de la diffraction on augmente la directivité du laser.

Ce qui est important dans un laser c'est déjà sa cohérence temporelle mais c'est surtout sa cohérence spatiale.

IV. Divers types de lasers

On termine par une synthèse sur quelques types de laser. Il existe autant de laser que de milieu dans la matière. Il existe trois états de la matière : solide, liquide et gazeux, pour chacun il existe des lasers.

Laser à solide

- Le laser à rubis : Le pompage est produit par un tube flash. Le faisceau laser émis est rouge ($\lambda = 694,3 \text{ nm}$).
- Le laser à néodyme : Il suit le même principe (milieu actif : verre dopé en ions Nd^{3+}). L'émission est dans le proche infrarouge ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$).
- Le laser titane-saphir : Le pompage est effectué par d'autres lasers ce permet de faire beaucoup de modes longitudinaux successifs entraînent un fonctionnement en train d'impulsion très brèves de quelques secondes avec des impulsions assez élevées et qui peuvent être très intenses. C'est laser accordable en fréquence de l'UV à l'IR.

Laser à gaz

Le milieu amplificateur est constitué d'un gaz ou d'un mélange de gaz, en général contenu dans un tube en verre ou en quartz. Par une décharge électrique dans le gaz, on excite directement ou par collisions les atomes. Le gain optique dans le milieu étant faible, les pertes doivent l'être aussi : les miroirs utilisés sont très réfléchissants (plus de 99,9 % de réflexion).

- Le laser hélium-néon : L'hélium est utilisé comme gaz tampon (15% He, 85% Ne). Une alimentation électrique cède de l'énergie aux atomes d'He, qui transfèrent par collision cette énergie aux atomes de Ne. Sa raie laser la plus intense est dans le rouge.

Niveaux du laser He-Ne

Lasers à semi-conducteurs ou diodes laser

Les diodes lasers représentent aujourd'hui les lasers les plus vendus dans le monde. Ces dispositifs bien particuliers utilisent comme milieu amplificateur des matériaux semi-conducteurs. Ces lasers présentent l'avantage d'être compacts et d'avoir une bonne efficacité (environ 50%). Ils sont en revanche peu puissants (1 à 10 mW) et le faisceau est faiblement directionnel (divergence de 5° à 30°) et ont des effets de diffraction importants.

Application : lecteur CD, imprimante laser...

Lasers à colorants (liquide)

Dans les lasers à colorants, le milieu amplificateur est souvent liquide. Il est composé d'une solution que l'on enferme dans une cuve de verre et qui contient des molécules organiques de colorants. Pour l'excitation, les molécules de colorant diluées dans l'alcool étant bien incapables de conduire correctement le courant électrique, le pompage doit être optique. Ces lasers présentent l'avantage d'être accordables sur une grande partie du spectre de fluorescence du colorant. Leur inconvénient est la **photodégradation** progressive du colorant qui doit donc être renouvelé régulièrement.

V. Lumière et couleurs

Origine de l'émission lumineuse	Phénomène physique responsable de la couleur	Exemples
Source primaire de lumière	<ul style="list-style-type: none"> • incandescence • luminescence <ul style="list-style-type: none"> <i>photoluminescence</i> <i>électroluminescence</i> <i>bioluminescence</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - flamme de bougie, filament d'ampoule, résistance électrique, Soleil, étoiles... - lampes et tubes fluorescents - lampes à vapeur de sodium, diodes électroluminescentes - lucioles, certaines méduses ou poissons...
Source secondaire de lumière	<ul style="list-style-type: none"> • réfraction • diffusion • diffraction & interférences • interférences sans diffraction • absorption • absorption suivi d'émission (photoluminescence) 	<ul style="list-style-type: none"> - dispersion par un prisme, arc-en-ciel... - bleu du ciel, reflets bleutés de la neige, fumée de cigarette... - réseaux de diffraction, iridescence des ailes de certains papillons... - bulles de savon, film d'huile sur l'eau... - pigments, colorants - couleurs des minéraux, des plantes... - objets fluorescents et phosphorescents...

Et voilà pour cette fiche n°2, en espérant qu'elle vous soit utile pour mieux appréhender la luminescence et les lasers ! ^^

Peu de formule à retenir en soit, simplement de la compréhension !

Encore bon courage pour cette année difficile, mais je n'ai aucune inquiétude en ce qui concerne votre détermination si vous avez eu le courage de lire cette fiche. 😊