

Optique – 2^e Partie

Emission de la lumière par la matière



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.

2. Propriétés

Un corps chauffé à une température T rayonne et émet un spectre **continu** de rayonnement électromagnétique : c'est le **spectre de corps noir**. Ce spectre de corps noir possède également un **maximum**.

Au sein d'un corps noir les différentes particules de la matière s'échangent continuellement des photons dont la longueur d'onde est répartie sur tout le spectre des couleurs, créant chaleur et lumière, expliquant le caractère **continu** du spectre de corps noir.

A partir d'un moment, pour une énergie fournie à valeur constante au corps noir, il existe une température pour laquelle la longueur d'onde plafonnera et qui ne sera pas dépassée même si on continue de chauffer. Ce phénomène caractérise l'**équilibre thermodynamique**, phénomène stationnaire dont l'équilibre sera très différent de la luminescence, marquant le maximum. C'est pour cela que le spectre de corps noir possède un **maximum**.

3. Le spectre de corps noir et la loi de Wien

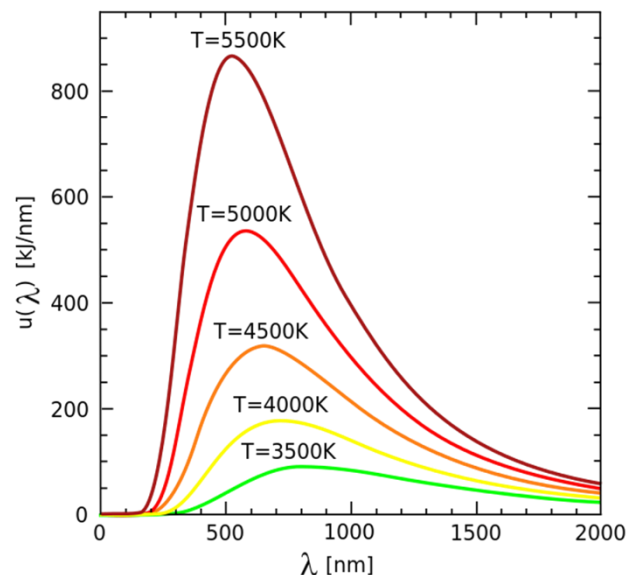
La longueur d'onde maximale du spectre est donnée par la formule suivante dite « **Loi de déplacement de Wien** ».

$$\lambda_{max} \times T \cong 0,29 \text{ cm. K}$$

Ce produit est **constant**.

Plus le pic maximal du spectre se déplace vers la gauche plus la température du corps noir augmente, vers de plus petites longueurs d'onde d'où le nom de « **loi de déplacement** ».

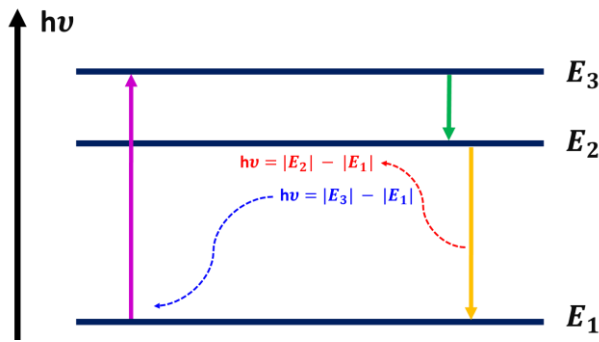
Note : La puissance émise par unité de surface augmente avec la température, impliquant des longueurs d'onde de plus en plus faibles donc plus énergétiques.



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 photon, dont l'énergie correspond à la différence d'énergie entre les 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.

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

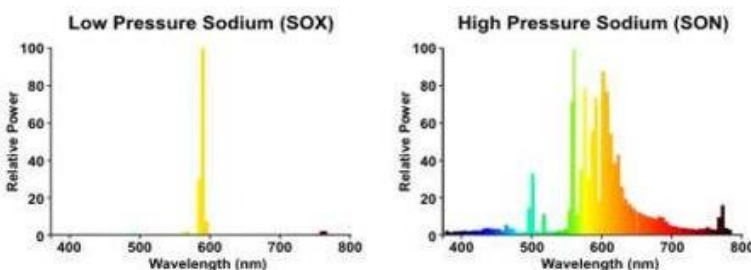
2. Exemples de luminescence

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.

Mode d'excitation	Types de luminescence
Champ électrique	Electroluminescence
Lumière (photons)	Photoluminescence
Rayons X, rayonnements α , β , γ	Radioluminescence
Electrons accélérés	Cathodoluminescence
Réactions chimiques	Chimiluminescence
Réactions biochimiques	Bioluminescence

a) L'électroluminescence dans une lampe à décharge

La **lampe à décharge** est un tube rempli de gaz sur lequel on applique des décharges électriques qui créent un champ électrique local 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 nombre de chocs augment. 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 de droite ci-contre.

b) La radioluminescence en imagerie médicale

Lors d'une radio, en imagerie médicale les **cristaux scintillateurs** radioluminescents convertissent l'énergie des rayonnements ionisants (X, γ) en rayonnement UV ou visible.

c) La cathodoluminescence avec le canon à électron (tube cathodiques) utilisé dans les anciennes télévisions.

Les électrons accélérés par le tube cathodique viennent frapper l'écran, sur lequel est déposée une couche électroluminescente, réagissant au choc en créant un point lumineux.

C. Fluorescence et Phosphorescence

1. Définition

La **photoluminescence** se décline en deux catégories :

a) La fluorescence

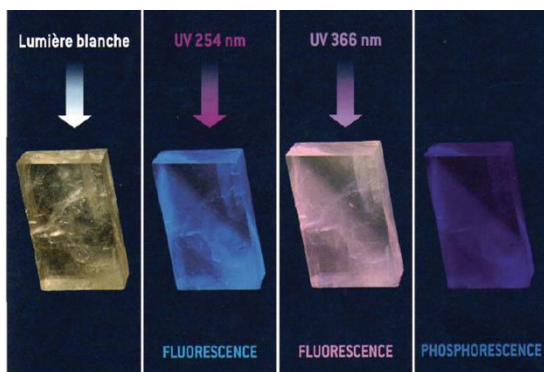
Phénomène de luminescence très rapide (de l'ordre de quelques nanosecondes) qui s'estompe à l'arrêt de l'éclairement. La couleur varie avec la longueur d'onde d'excitation.

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

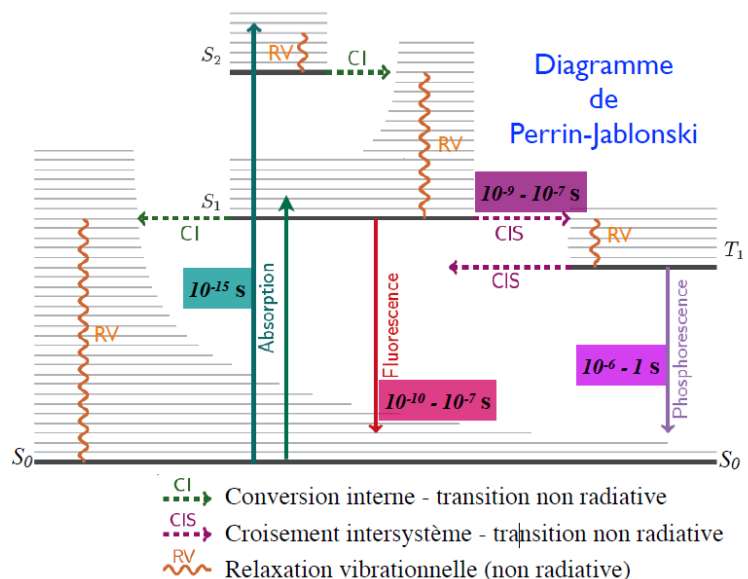
Comme pour les atomes, les électrons d'une molécule peuvent transiter vers des niveaux d'énergie supérieure si la molécule absorbe de l'énergie. Dans une molécule ces niveaux électroniques présentent des **sous-niveaux vibrationnels et rotationnels**.

Après absorption d'un photon, 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



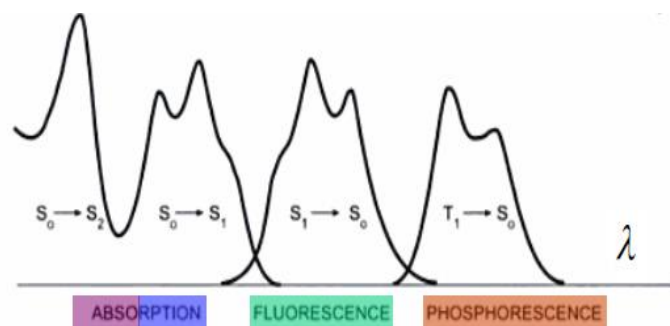
Note : La relaxation vers le plus bas niveau vibrationnel du premier état excité S_1 , qui est un seuil d'énergie stable, se déroule en 10^{-13} à 10^{-11} s. Ce temps est 100 à 10 000 fois plus court que la durée de vie de l'état excité S_1 de l'ordre de quelques dizaines de picosecondes à quelques centaines de nanosecondes, donc le temps que l'électron reste dans le puit d'énergie S_1 .

1^{er} type de désexcitation : la relaxation vibrationnelle	2nd 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 μ s à plusieurs heures). 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 T_1 est au-dessous de celui de S_1 .

Retenir : Ce qui distingue un photon de fluorescence et un photon de phosphorescence c'est **le temps de production après excitation !**

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 dues 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 il y a toujours des relaxations vibrationnels qui sont non radiatives

Exemple : $\phi = 0,85$ pour la **fluorescéine**

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_r 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_r 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_r , 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 :

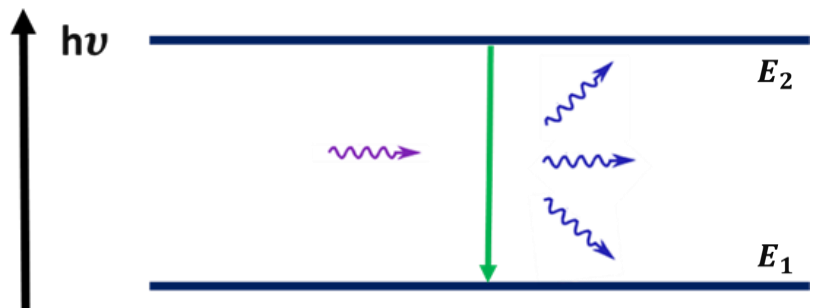
$$\tau_f = \tau_r \times \phi$$

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 !



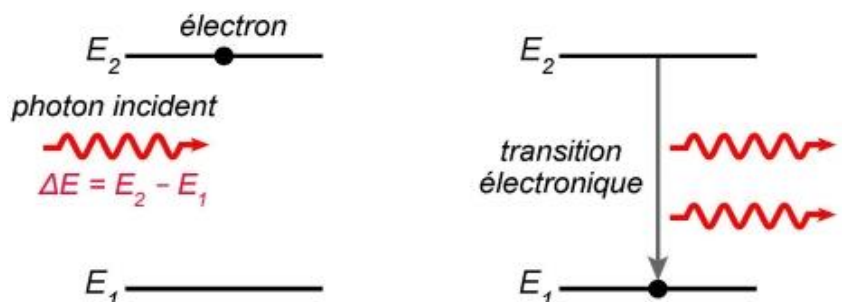
Note : Ci-dessus trois cas possibles d'émission spontanée suite à l'absorption d'un photon suivi d'une désexcitation.

B. 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 énergie, de même direction, de même polarisation et auront 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 à un **processus d'amplification de lumière**.



C'est le principe du **LASER** (Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation)

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 rechercher sur Youtube : « Laser : le principe »).

C. Effet laser

1. Les principes de base du laser

➤ Un milieu amplificateur

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

➤ 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

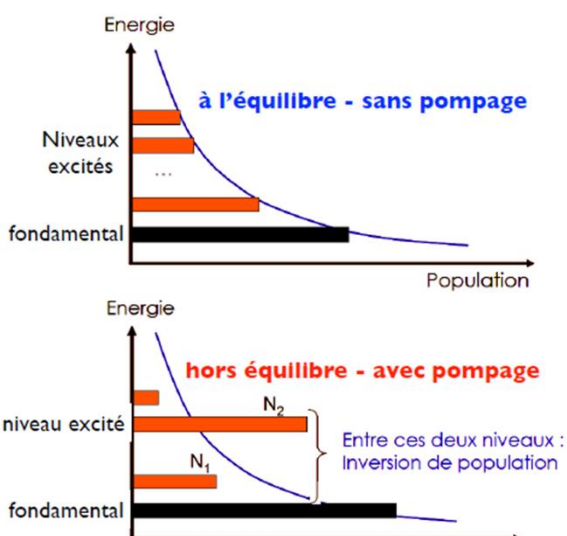
Pour obtenir un effet laser, il est nécessaire de recouvrir les parois de notre espace (contenant le milieu amplificateur) par des miroirs de sorte que les photons soient réfléchis et frappent d'autres atomes à leur tour. Les miroirs doivent être très réfléchissant et ne laisser passer qu'un minimum 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 d'un 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. On notera N la population d'atomes dans les schémas.



Pour sortir de cet équilibre thermodynamique (ci-contre) il faut donc forcer l'inversion de population en pompant le milieu de sorte que :

$$N_{\text{excité}} > N_{\text{fondamental}}$$

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). En d'autres termes, dans ce cas de figure, les atomes absorbent les photons au même rythme qu'ils en produisent.

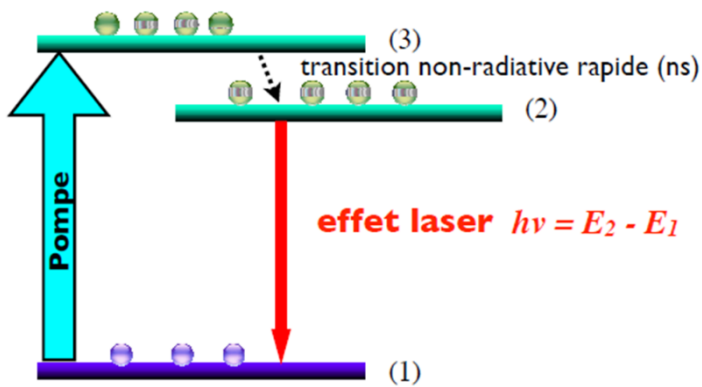
Il est donc impossible en pompant une seule transition atomique d'obtenir une inversion de population ($N_2 > N_1$).

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 réabsorbés 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



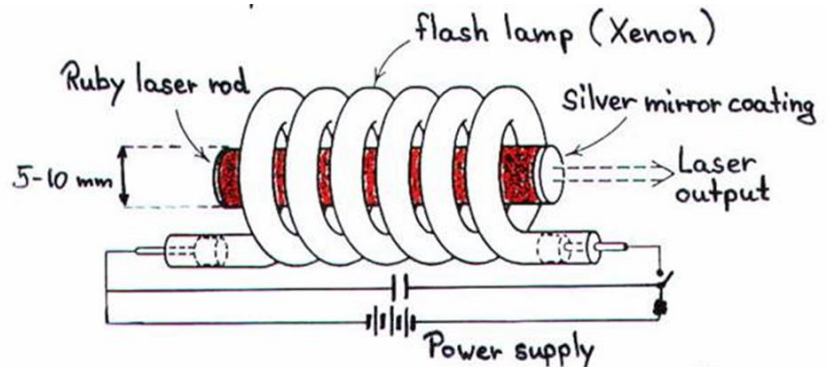
Il s'agit de procéder cette fois à un pompage (optique ou électrique) de la population de E_1 vers E_3 . La population de E_3 descendra ensuite vite remplir le niveau E_2 via **une transition non radiative**. L'intensité du laser étant très fortement liée à la différence entre N_1 et N_2 , la difficulté 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 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-contre) :

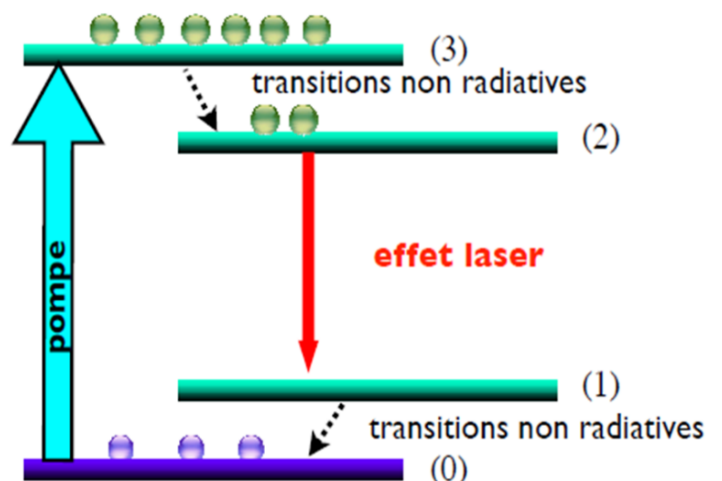
Le laser solide à rubis

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 !*

4. Le laser à 4 niveaux

Ce laser est beaucoup plus facile à réaliser grâce à l'existence d'un niveau (1) **quasiment vide** à l'équilibre thermodynamique et d'énergie E_1 un peu plus élevée que l'énergie E_0 du fondamental.

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.

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**.

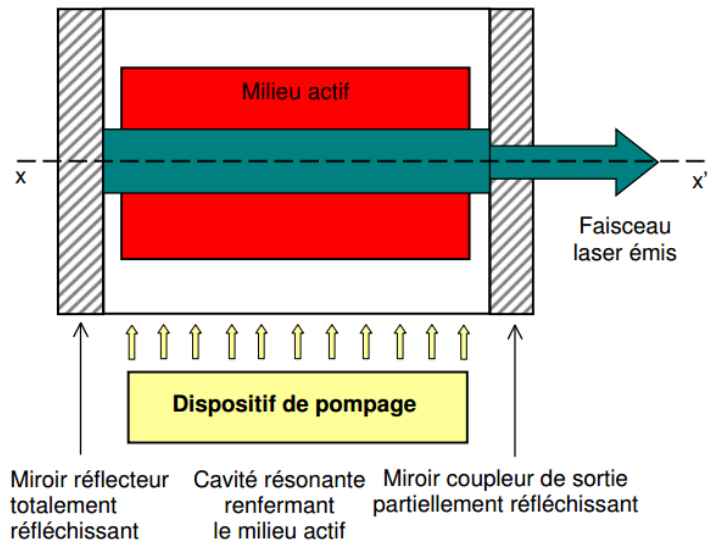
III. La cavité résonnante

A. Le rôle amplificateur

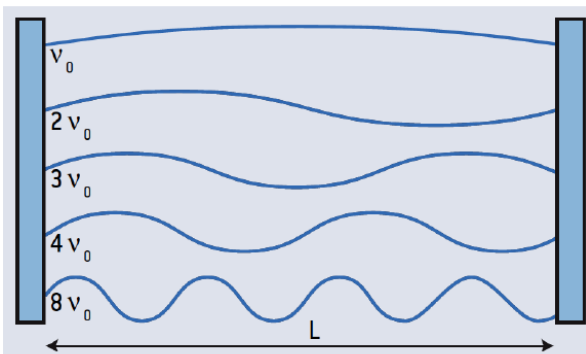
1. Généralités

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 (perpendiculaire aux miroirs).



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.

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

La condition de résonance est donc satisfaite quand :

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

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 **semi-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 résonante à cause de la surcharge de photon non évacués.

Cette perte (volontairement) engendrée s'appelle η , qui 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 $G = e^{gl}$.

Ainsi 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 :

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

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. Le miroir va réfléchir le faisceau de photons suivant un angle lié à λ / a . Si cet angle est négligeable par rapport à l'angle sous lequel est vu l'autre miroir (« source du faisceau »), alors l'effet de diffraction sera faible.

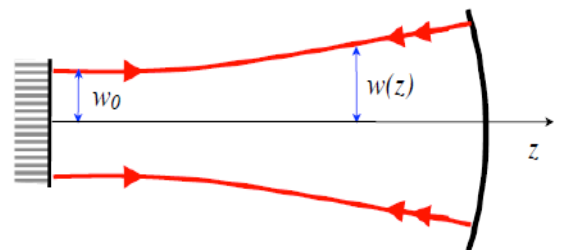
Admettons que le miroir est vu sous un angle ici de 10° , si λ / a est de l'ordre d'un dixième de 10° , on ne va pas voir la diffraction du faisceau par rapport à la réflexion. Mais si λ / a est de 10° , on va perdre beaucoup de lumière par diffraction !

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 :

$$\lambda L \gg a^2$$

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.



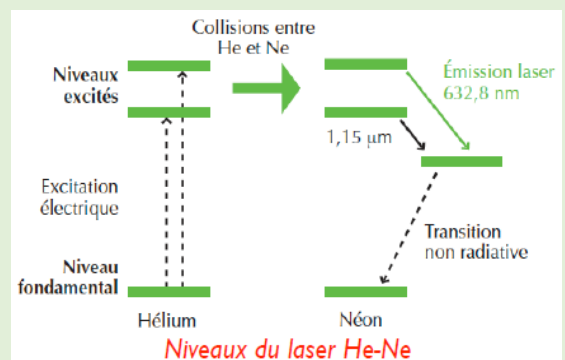
IV. Divers types de lasers

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 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.



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 ($\lambda = 1,06 \text{ }\mu\text{m}$).
- Le laser titane-saphir.

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°).

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.

Leur inconvénient est la **photodégradation** progressive du colorant qui doit donc être renouvelé régulièrement.

FINI !!! Bravo si vous avez réussi à parvenir jusqu'ici !

Bon courage pour ce concours blanc de la tut'entrée et n'oubliez pas, il s'agit avant tout de maîtriser les bases de ce cours avant d'avoir le prof.

(Et les QCM ne seront même pas difficiles pour une première entrée en matière)

En tout cas vous êtes paré pour endurer la P1 à ce rythme. *-*

**Quoiqu'il arrive, surtout, restez motivés jusqu'au bout pour ne rien regretter !
(mais si vous lisez ce message c'est que vous êtes déjà sur la bonne voie 😊)**

Pour toute question n'hésitez surtout pas à aller sur le forum on est là pour ça !

