

OPTIQUE 2^{ÈME} PARTIE : ÉMISSION DE LA LUMIÈRE PAR LA MATIÈRE



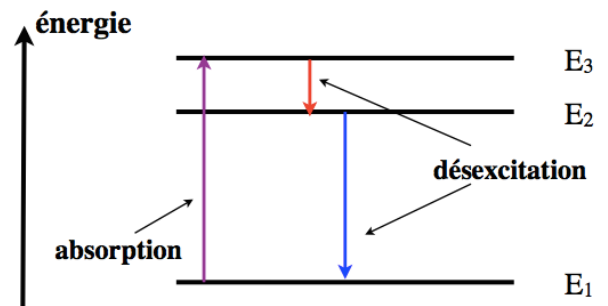
I. Incandescence et Luminescence

Incandescence : La lumière du corps est **d'origine thermique** car émise par des corps chauffés à **haute température** (ex : soleil ou ampoule électrique)

Luminescence : lumière dite « **froide** » car pas d'origine thermique. L'agitation des atomes et molécules n'est pas liée à la température.

- Photoluminescence : excitation par absorption de photons.
- Electroluminescence : excitation du système par décharges électriques (entraînant la production de photons).

L'émission de lumière est consécutive à un apport d'énergie. **Les énergies du système sont quantifiées, elles sont sur des niveaux discrets (≠ continu).** La **désexcitation** peut se faire de manière **directe** ou par l'**intermédiaire de plusieurs niveaux énergétiques**.



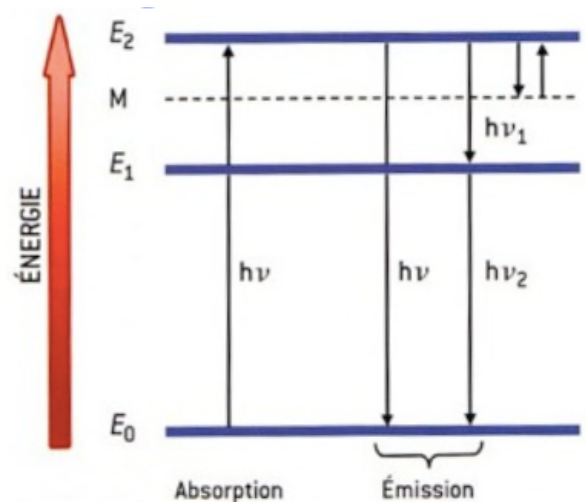
II. Phosphorescence et fluorescence

Dans la phosphorescence, les atomes excités passent dans un **état métastable, intermédiaire** avant de se désexciter en émettant de la lumière, ce qui est que le **déclin de la phosphorescence soit plus lent que celui de la fluorescence**.

A. Absorption et émission : diagramme d'énergie

Après absorption d'un photon, 3 scénarios sont possibles :

- Résonance : émission d'un photon d'énergie égale à celle du photon absorbé
- Emission de plusieurs photons en passant par les niveaux intermédiaires
- Passage par un état métastable (transition non radiative = sans émission de photon donc sans émission de lumière) : émission d'un photon **d'énergie inférieure** à celle du photon absorbé.



B. Luminescence moléculaire

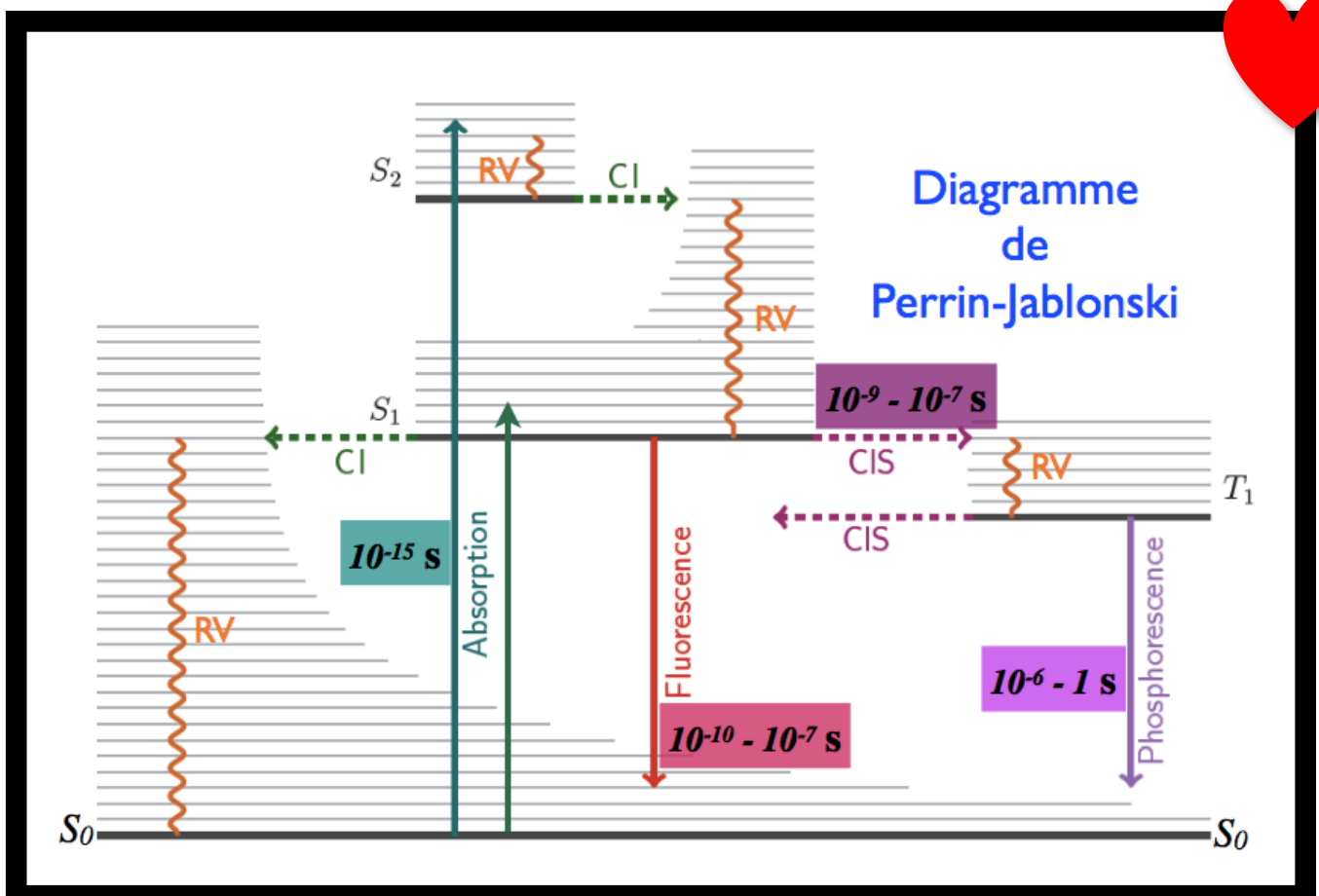
Les électrons d'une même molécule peuvent transiter entre différents niveaux et sous niveaux d'énergie (vibrationnels et rotationnels) par absorption et libération d'énergie.

Après absorption d'un photon :

1. les molécules excitées **relaxent vers le premier niveau vibrationnel du premier état excité.**
2. les molécules se dés excitent selon **diverses voies** :
 - Conversion interne (CI) : changement de la configuration électronique **sans changements d'énergie**. Suivi d'une relaxation vibrationnelle (RV) = **transition non radiative** (= sans émission de photon).

NB : la RV se déroule uniquement entre les sous niveaux d'un même niveau d'énergie.

- Fluorescence : émission d'un **photon** entre des différents niveaux vibrationnels de l'état fondamental.
- Croisement inter-systèmes (CIS) : il s'agit d'une **transition** vers un autre état excité intermédiaire T_1 . La **durée de vie de l'état triplet T_1 étant beaucoup plus longue que S_1** , la dés excitation de la molécule se fera **phosphorescence** (transition radiative).



C. Spectre d'absorption et d'émission

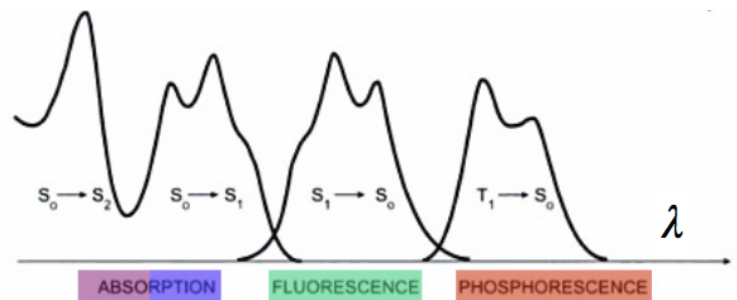
Globalement on constate que **les longueurs d'onde d'émission de photons en phosphorescence sont plus grandes qu'en fluorescence. Pourquoi ?**

On a dit que la phosphorescence fait suite au CIV qui passe par une transition non radiative donc une perte d'énergie contrairement à la fluorescence qui ne passe pas par l'état triplet T1.

Ainsi, on rappelle que **$E = h\nu$ d'où $\nu =$**

$$\frac{E}{h} \text{ et } \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{E}$$

Avec E l'énergie ; h la constante de Plank ; c la célérité de la lumière = 3.10^8 m.s^{-1} ; ν la fréquence ; λ la longueur d'onde



Lorsque $E_{\text{fluorescence}} > E_{\text{phosphorescence}} \Rightarrow \nu_{\text{fluorescence}} > \nu_{\text{phosphorescence}}$ donc

$\lambda_{\text{fluorescence}} < \lambda_{\text{phosphorescence}}$.

→ **csq : les photons de fluorescence sont de longueur d'onde plus courte que ceux de phosphorescence.**

D. Rendement quantique et durée de vie

a. Rendement quantique φ

- **Rapport entre le nombre de photons émis et le nombre de photons absorbés** par la molécule.
- Caractérise l'**efficacité** de fluorescence pour une molécule donnée. $\varphi < 1$ (le nombre de photons émis est inférieur au nombre de photons absorbés).
- **Dépend de l'environnement** des molécules fluorescentes ou phosphorescentes : concentration, pH

b. Durée de vie

- La désexcitation est un **phénomène probabiliste** ! Toutes les molécules excitées ne **se dés excitent pas au même moment**.
- Le nombre N de molécules excitées décroît de **façon exponentielle** caractérisée par τ la durée de vie de l'état excité.
- τ est de l'ordre de la **nanoseconde**.

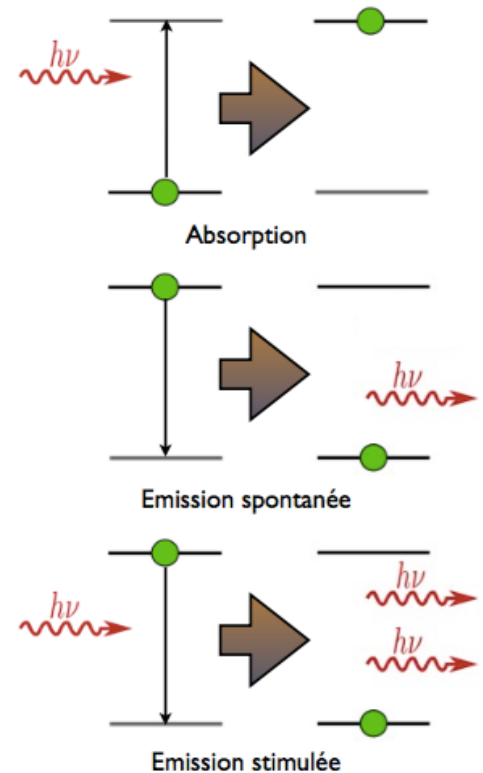
→ Ainsi, si le nombre de molécules excitées décroît de manière exponentielle au cours du temps, la fluorescence aussi !

III. Effet laser

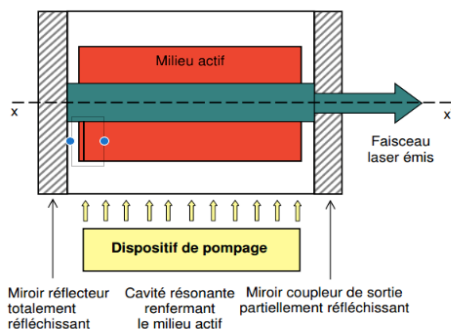
Après absorption d'un photon d'énergie égale à la différence d'énergie entre deux niveaux (on parle de **transition résonnante**) on peut assister à **deux types d'émission** :

- **Spontanée** : les photons sont émis de façon aléatoire dans toutes les directions
- **Induite/stimulée** : un photon incident force le système à se désexciter en émettant un **photon « jumeau »** au photon incident (**même énergie ; quantité de mouvement ; polarisation**). Ils sont **en phase**.

Chacun va pouvoir ensuite entraîner d'autres émissions stimulées → réaction en chaîne → amplification de la lumière → processus du **LASER**



A. Eléments du laser

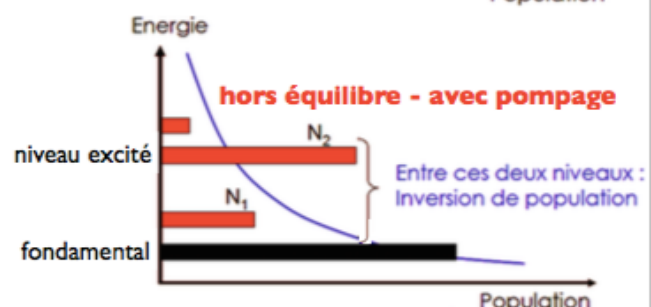
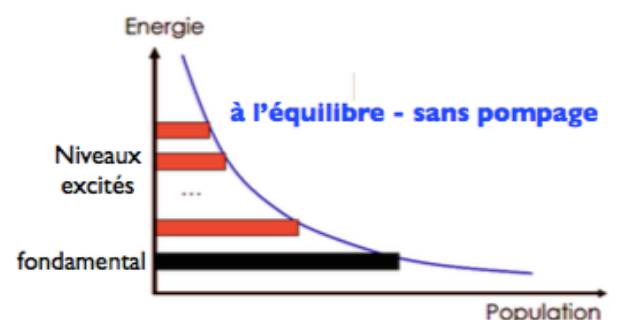


- **Milieu amplificateur** : ensemble d'atomes dont les émissions stimulées successives vont pouvoir **amplifier le nombre de photon** donc la lumière
- **Cavité résonnante** : cavité capable d'**augmenter l'amplification** en favorisant des allers/retours successifs de la lumière. (ex : deux miroirs face à face parallèles)
- **Pompage** = source externe d'énergie

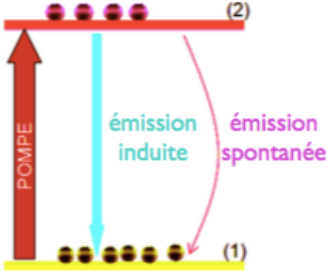
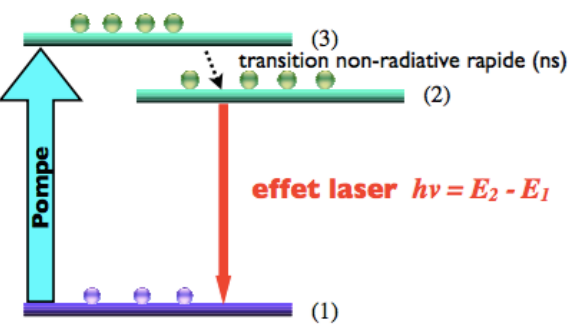
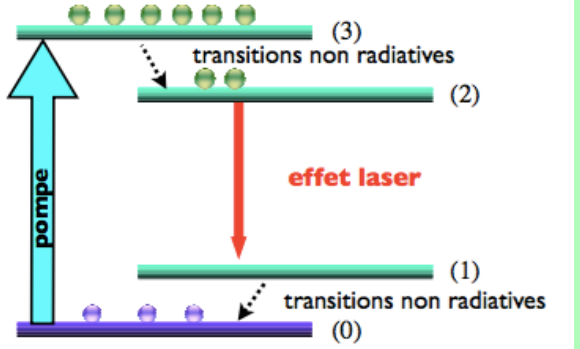
B. Inversion de population

Dans les conditions habituelles, les atomes sont dans leur état d'énergie fondamental (en effet plus le niveau énergétique est faible, plus le système est stable). Or, pour produire une quantité importante de lumière, **il faut beaucoup d'atomes dans l'état excité par rapport au fondamental**, on parle **d'inversion de population**.

D'après la statistique de Boltzmann, **plus le niveau énergétique est élevé, moins le nombre d'atomes y est élevé**. On doit **forcer l'inversion** ($N_{\text{excité}} > N_{\text{fondamental}}$) en **pompant** le milieu.



C. Différents types de lasers

Laser à deux niveaux	<p>Probabilité d'émission stimulée est égale à la probabilité d'absorption. On ne pourra jamais avoir $N_{\text{excité}} > N_{\text{fondamental}}$, au mieux on aura $N_{\text{excité}} = N_{\text{fondamental}}$.</p>	
Laser à trois niveaux	<p><u>But</u> : peupler le niveau 2 et vider le niveau 1 pour avoir l'inversion de population . <u>Problème</u> : le niveau fondamental se repeuple dès que le laser fonctionne. <u>Csq</u> : nécessité d'une puissance de pompage suffisante pour atteindre cette inversion de population : c'est le seuil de transparence.</p> <p>Passage du niveau 3 au 2 par une transition non radiative rapide. Si le niveau d'énergie E_2 a une durée de vie assez longue (état métastable), il est possible de le peupler au détriment du fondamental.</p>	 <p>Cas particulier : le premier laser a été le laser à rubis de Maiman caractérisé par non pas un état excité discret E3 mais une bande continue de niveaux excités E3.</p>
Laser à quatre niveaux	<p>Présence d'un 4^{ème} niveau d'énergie proche du niveau fondamental.</p> <p>Transition non radiative radiative de E3 à E2 → niveau E2 métastable → effet laser entre E2 et E1 → transition rapide non radiative entre E1 et E0. On peut ainsi avoir dès le début du pompage une inversion de population. Il n'y a pas de seuil de transparence ! $N > 0$ dès que le pompage est actif.</p>	

D. La cavité résonnante

But : augmenter l'amplification par le milieu moléculaire du faisceau incident, on lui fait **traverser l'amplificateur plusieurs fois**. **L'amplificateur est le volume de molécule qui vont permettre les nombreuses émissions induites.**

Par analogie avec une corde fixée à ses deux extrémités, le système entre en résonance pour certaines fréquences appelées **modes longitudinaux**.

Condition de résonance :

$$2L = n\lambda \Leftrightarrow \nu = \frac{nc}{2L} = n\nu_0$$

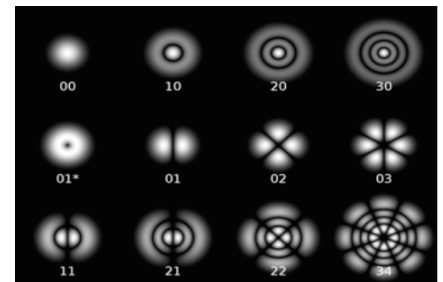
Ainsi lorsque le système entre en résonance, la cavité augmente l'amplification par le milieu.

E. Conditions d'oscillations

Pour que le laser fonctionne il faut que les pertes dues à l'absorption par la **cavité** et celles dues à la **transmission partielle** par un des miroirs soient au moins compensées par l'amplification laser.

F. Modes transverses

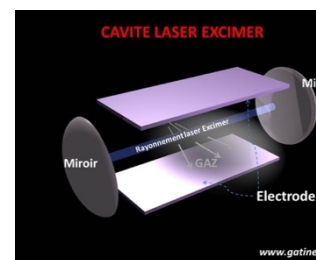
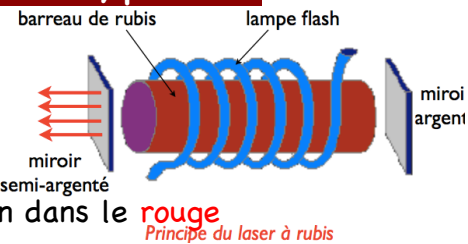
Il s'agit de la répartition du faisceau lumineux dans le volume cylindrique du laser. Liés à la section finie de la cavité, on peut les assimiler aux vibrations d'une membrane de tambour.



Modes transverses cylindriques TEM

IV. Différents types de lasers (différents types de milieux amplificateurs)

- Les lasers à solide
 - Laser à rubis de Maiman (1^{er} laser inventé) : émission dans le **rouge**
 - Lasers à néodyme → émission dans le **proche infrarouge**
 - Laser titane-saphir → large gamme spectrale de l'**UV** à l'**infrarouge**
- Lasers à gaz : excitation des atomes du gaz par une **décharge électrique** (ex : laser Hélium-néon)
- Lasers à semi conducteurs ou diodes laser : Les **diodes lasers** représentent L'émission de lumière provient de **transitions des électrons entre la bande de conduction et celle de valence** (inversion de population).
Inconvénients : lasers **peu puissants** et **faiblement directionnels**.
- Lasers à colorants : excitation par pompage optique uniquement, accordables sur une grande partie du spectre de fluorescence du colorant mais la **photodégradation progressive du colorant oblige son renouvellement régulier**.



L'UE3a est une matière qui se comprend avant de s'apprendre ! Plus vite vous débroussaillez tout ça, plus vous serez à l'aise et vous pourrez vous concentrer sur les parties un peu plus complexes du cours et les petits détails qui font la différence ;) **Courage on est avec vous !**

Petite dédicasse aux fillotes de l'ambiance : Miss Eva entre deux footings oublie pas de bossez la physique ! Insaf donne toi à fond t'en es capable, Juliette fait toi confiance, en tout cas nous tes marraines on croit en toi ! et Cameron t'as intérêt à te bouger le cu pour passer parce qu'on attend que tu nous payes ce gros Mcdo !