

TRANSFERT QUANTIQUE D'ÉNERGIE

I. Absorption et émission quantique

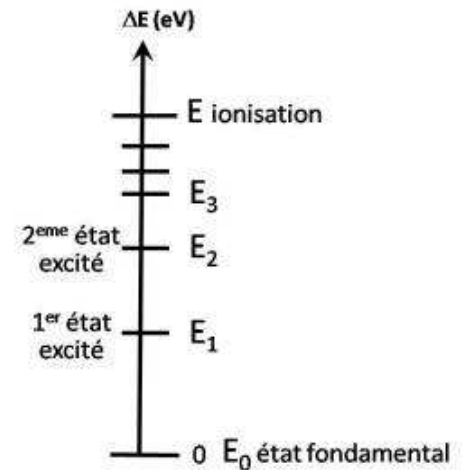
1. Quantification des niveaux d'énergie

Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés, ils ne peuvent prendre que des valeurs bien déterminées, caractéristique de l'atome.

Lorsqu'un atome est à son niveau d'énergie le plus bas, il est dans son état fondamental. C'est l'état le plus stable de l'atome. Lorsqu'un atome est à un niveau d'énergie plus élevé, il est dans un état excité.

On appelle transition quantique le passage de l'atome d'un état à un autre

Diagramme d'énergie de l'atome



2. Absorption et émission spontanée

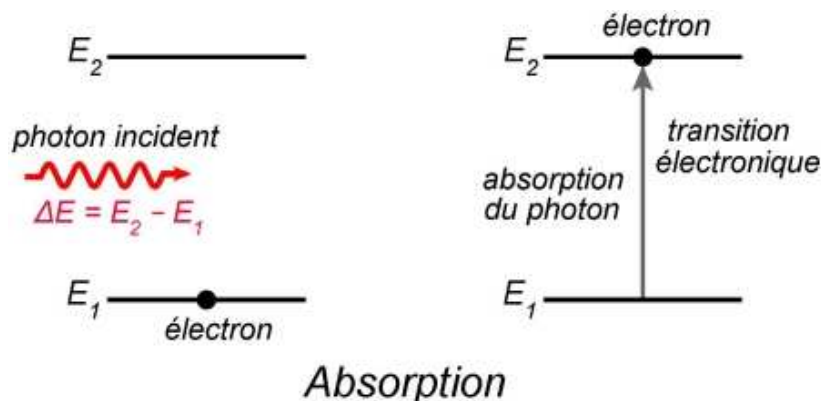
Les échanges d'énergie entre les atomes et la lumière sont quantifiés : ils se font par paquet d'énergie appelé photons.

On rappelle que l'énergie d'un photon ne dépend que de la fréquence de la radiation associée :

$$\Delta E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta E : \text{énergie du photon en joule (J)} \\ h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} : \text{constante de planck} \\ \nu : \text{fréquence de la radiation associée en Hertz (Hz)} \end{array} \right.$$

• Absorption spontanée

Un atome peut **absorber un photon** si celui-ci fait passer un de ses électrons d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau d'énergie supérieur E_2 , en lui apportant exactement le quantum d'énergie ΔE requis pour effectuer la transition.

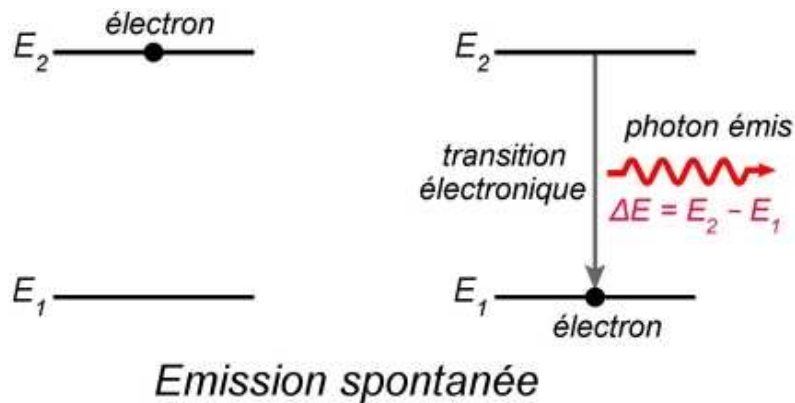


Pour faire passer un atome de son état fondamental à un état excité, plusieurs possibilités existent :

- ✘ l'absorption d'un photon d'énergie donnée.
- ✘ le passage d'un courant électrique.
- ✘ la collision avec d'autres particules.

• Emission spontanée

De la même manière, un électron dans un état excité n'y demeure pas longtemps (10^{-8} s en moyenne). Il peut revenir à un état d'énergie plus basse en **émettant un photon**, par **émission spontanée**. Celle-ci est un **phénomène aléatoire**, car on ne peut pas prévoir quand et comment la transition se fera, et le photon est émis selon une direction aléatoire.

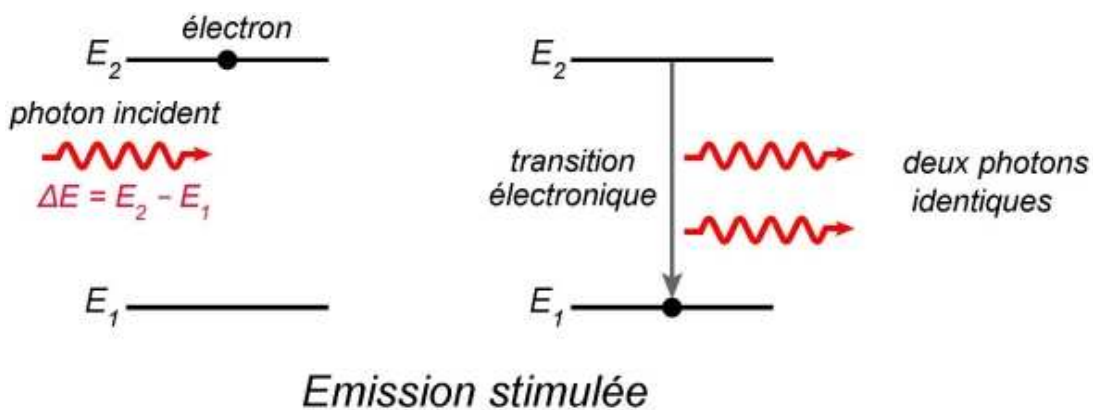


3. Emission stimulée

Il existe une troisième possibilité de transition, prédite en 1917 par **Albert Einstein** (1879-1955).

Quand un photon ayant exactement la différence d'énergie ΔE entre deux états E_1 et E_2 passe à proximité d'un électron dans l'état excité E_2 , il n'est alors pas absorbé mais va faciliter la désexcitation de l'atome en induisant la transition de l'électron vers l'état de plus basse énergie E_1 .

Il y a alors émission d'un nouveau photon d'énergie ΔE . Ce photon est en tout point identique au photon incident. Comme ils ont la même énergie, ils ont la même fréquence et même longueur d'onde. De plus, ils ont aussi la même phase (pas de décalage temporel).



Ce phénomène porte le nom **d'émission stimulée**. Pour résumer, l'idée maîtresse est d'obtenir **deux photons identiques à partir d'un seul photon incident**, l'émission stimulée a donc pour effet **d'amplifier l'onde lumineuse incidente**.

4. Concurrence des deux émissions

L'émission spontanée et l'émission stimulée sont deux modes de désexcitation des atomes qui sont en concurrence.

Lorsqu'un atome est dans son état fondamental, il y reste jusqu'à ce qu'un photon, une décharge électrique ou une collision avec d'autre particule lui apporte l'énergie nécessaire pour passer dans un état excité. Au contraire, lorsqu'un atome est dans un état excité, il se désexcite spontanément et quasi instantanément pour revenir à son état fondamental.

Dans une population d'atome, il y a donc beaucoup plus d'atome dans l'état fondamental que dans un état excité. L'émission stimulée est un phénomène très peu probable par rapport à l'émission spontanée. Si peu probable qu'elle n'a été observée qu'en 1928 alors qu'Albert Einstein avait prévu son existence dès 1917 !

II. Application au laser

L'émission stimulée est à la base du fonctionnement du LASER, contrairement aux autres sources de lumière qui utilisent l'émission spontanée.

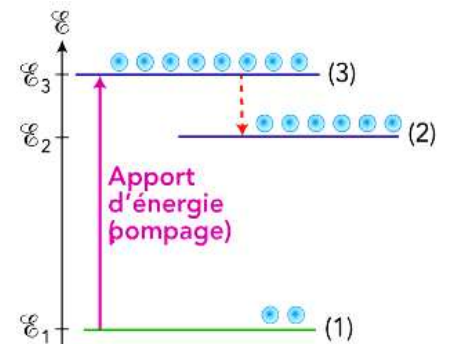
LASER : acronyme anglais de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (= amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement).

Réaliser un laser consiste donc à favoriser l'émission stimulée au détriment de l'émission spontanée. Comment cela est-il possible ?

1. Inversion de population par pompage optique

Pour obtenir un effet d'émission stimulée sur un grand nombre d'atomes, il faut faire en sorte qu'il y ait constamment beaucoup plus d'atomes dans un niveau d'énergie excité que dans leur état fondamental. Pour cela on effectue une inversion de population : **cette inversion de population est obtenue et entretenue en fournissant continuellement de l'énergie aux atomes selon un procédé appelé pompage.**

Pompage : un excitateur, une décharge électrique ou un faisceau lumineux (on parle alors de pompage optique) excite les atomes qui passent du niveau fondamental E_1 à un niveau excité 3, légèrement supérieur à E_2 . Les atomes de du niveau 3 peuplent alors le niveau 2 en se désexcitant très rapidement ce qui réalise l'inversion.



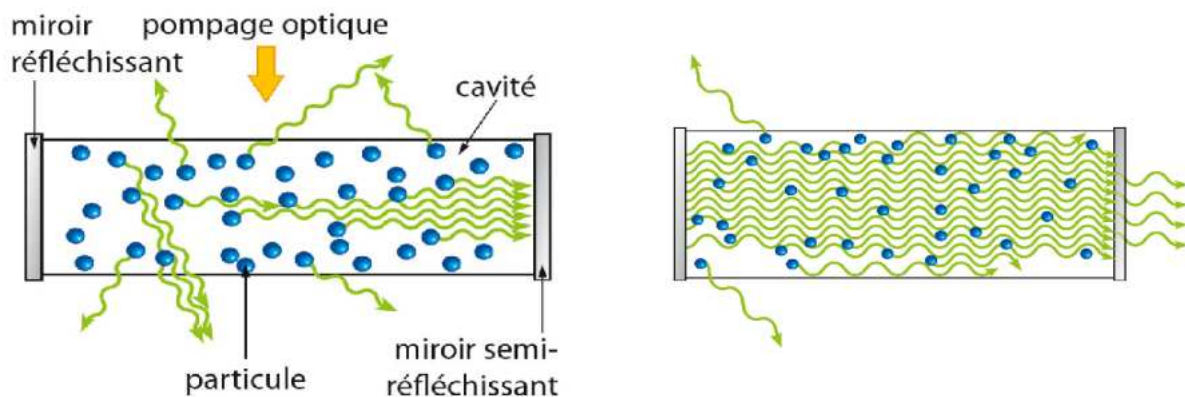
Doc. 8 Répartition des atomes (représentés symboliquement par des sphères) dans les niveaux d'énergie avec inversion de population.

2. La cavité résonnante

Les atomes capables d'émettre des photons par émission stimulée constituent le milieu actif ou milieu laser. Ce milieu est placé entre deux miroirs disposés face à face qui imposent des aller retours aux photons, c'est la cavité résonnante. Cela permet d'augmenter le nombre d'interactions photon-atome et donc le nombre de photons produits par émission stimulée. L'ensemble constitue l'oscillateur laser.

Lors de leurs allers-retours entre les miroirs, les ondes associées aux photons vont interférer entre elles. Afin qu'il n'y ait pas de perte d'intensité lumineuse, les interférences doivent être constructives, pour cela la longueur L de la cavité doit vérifier la relation :

$$2L = k\lambda \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \lambda : \text{longueur d'onde dans le milieu actif} \\ k : \text{un entier non nul} \end{cases}$$



L'un des miroirs étant semi réfléchissant, seuls les photons se déplaçant perpendiculairement aux deux miroirs peuvent sortir de la cavité.

3. Oscillateur optique

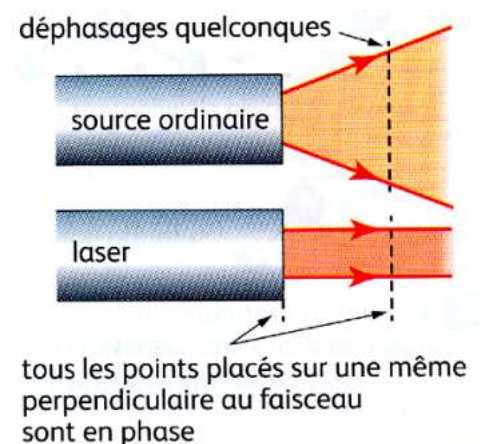
L'énergie rayonnée par le laser augmente avec l'amplification de l'onde dans la cavité résonnante.

Un régime stable s'installe dans la cavité lorsque l'énergie rayonnée devient égale à l'énergie fournie par le pompage optique. L'amplitude de l'onde est alors constante, les pertes (photons disparus lors de l'émission du laser ou absorbé par la paroi) sont compensées par le pompage.

Le laser constitue un oscillateur optique entretenu.

4. Principales propriétés du laser

- La cavité résonnante du laser, de longueur L , n'amplifie par interférence constructive que les ondes de longueur d'onde λ telle que $2L = k\lambda$; il en résulte que tous les photons émis par le laser ont la même longueur d'onde et la même fréquence : **la lumière émise est donc monochromatique**
- Les photons émis sont aussi en phase les uns par rapport aux autres : **un laser produit donc un faisceau lumineux cohérent.**
- Les photons ont la même direction : **le faisceau émis par un laser est donc directif.**
- Les lasers sont des sources lumineuses très intenses car **l'énergie rayonnée est concentrée dans l'espace.**
- **L'énergie rayonnée peut également être concentrée dans le temps** dans le cas des lasers à impulsions. Ceux-ci émettent des radiations d'une puissance considérable pendant une durée très brève.

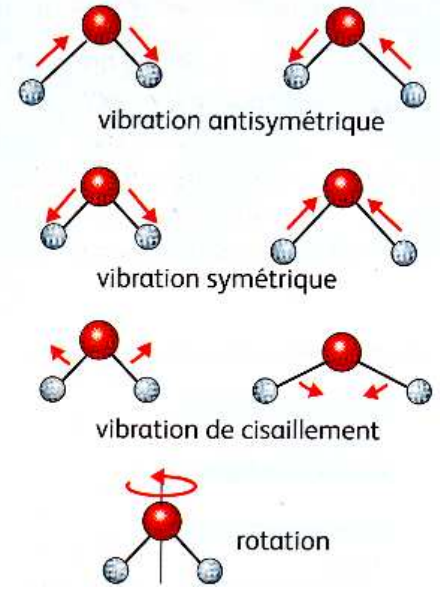


III. Domaine spectral et transition quantique

1. Energie dans une molécule

Une molécule est constituée d'atomes qui vibrent et qui tournent les uns par rapport aux autres. Elles possèdent donc de l'énergie vibratoire et rotationnelle en plus de l'énergie électronique liée à la répartition des électrons. Ces trois énergies sont quantifiées, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent prendre que certaines valeurs particulières (on parle de valeurs discrètes)

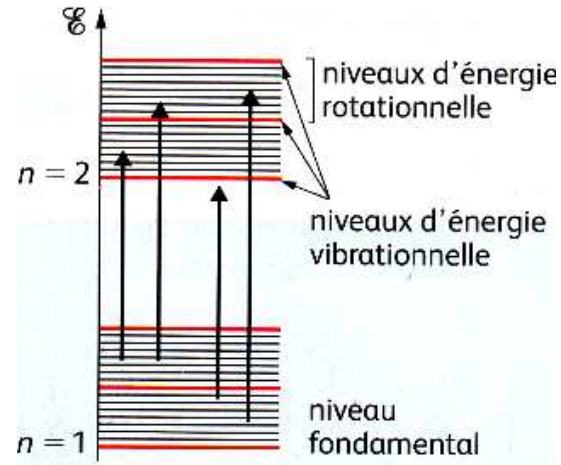
Comme pour l'atome on définit des niveaux d'énergie électronique de la molécule et à chaque niveau d'énergie électronique correspondent des sous-niveaux d'énergie vibratoire et rotationnelle



2. Transition énergétique

Par absorption d'un quantum d'énergie, une molécule peut passer à un niveau d'énergie supérieur. Elle peut aussi revenir à un niveau d'énergie inférieur en émettant un photon. Ces transitions énergétiques sont des transferts quantiques d'énergie.

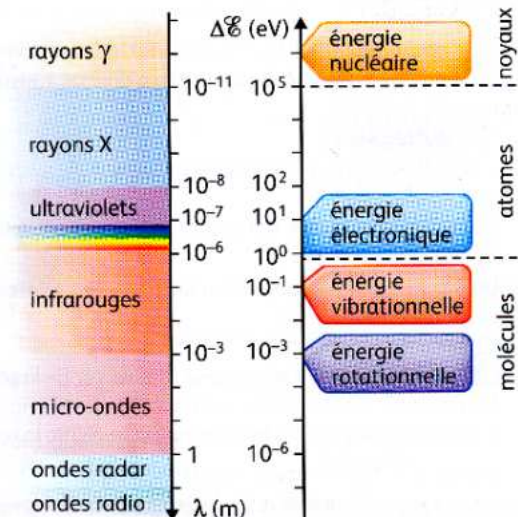
La nature de la transition est différente suivant l'ordre de grandeur du quantum d'énergie. L'énergie mise en jeu lors d'une transition d'énergie électronique est plus grande que celle mise en jeu lors d'une transition vibratoire. Un domaine spectral est associé à chacune de ces transitions.



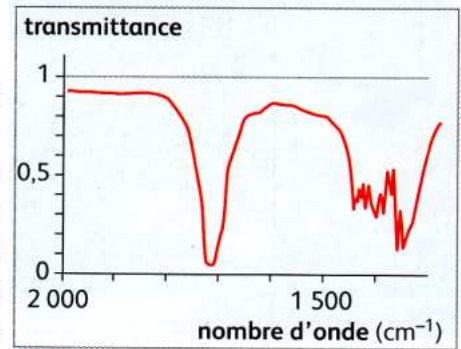
Une transition d'énergie électronique est associée à une radiation ultraviolette ou visible

Une transition d'énergie vibratoire est associée à une radiation infrarouge.

Les radiations associées aux photons échangés lors des différents types de transferts d'énergie appartiennent à des domaines spectraux différents :



Remarque. Chaque niveau d'énergie électronique est associé à un très grand nombre de valeurs pour les énergies vibrationnelles et rotationnelles, induisant ainsi une multitude de transitions possibles (**figure 18**). Cependant, les raies d'absorption ont des fréquences trop voisines pour pouvoir être discernées: on observe alors des bandes d'absorption (**figure 19**). L'étude de ces bandes permet au chimiste d'identifier les liaisons des molécules et de mettre en évidence les groupes caractéristiques des molécules organiques (**chapitre 6**).

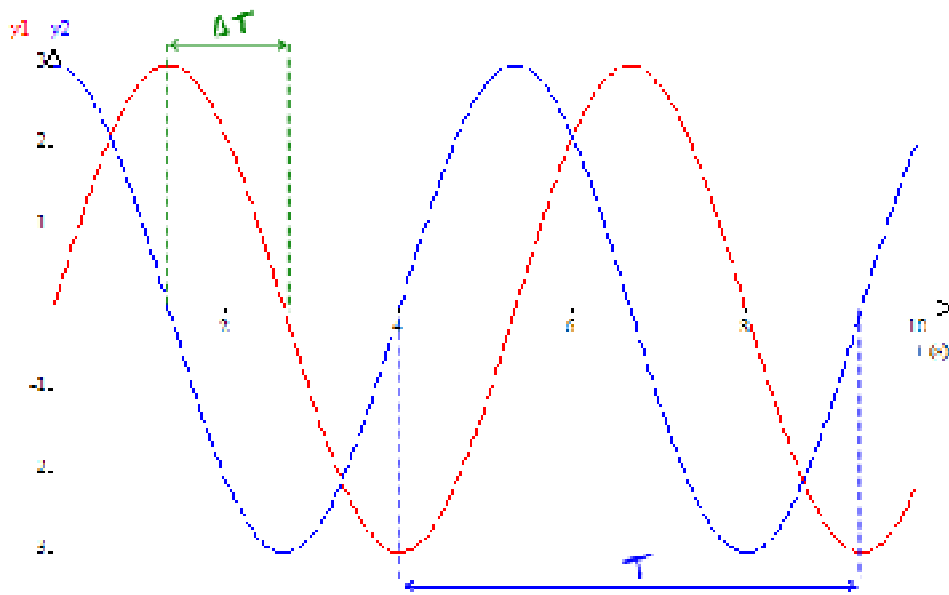


19 Spectre infrarouge de la butan-2-one.

RAPPEL :

Sources cohérentes

Définition: Il existe un déphasage entre deux fonctions sinusoïdales lorsqu'elles sont décalées dans le temps.



Définition: Deux sources sont cohérentes si elles émettent des ondes sinusoïdales de même fréquence et si le retard de l'une par rapport à l'autre ne varie pas au cours du temps: elles gardent alors un déphasage constant.

Remarque: Si le décalage est nul ou multiple de la période, les deux courbes sont superposées: elles sont en phase. Si le maximum de l'une coïncide avec le minimum de l'autre, les deux courbes sont en opposition de phase

