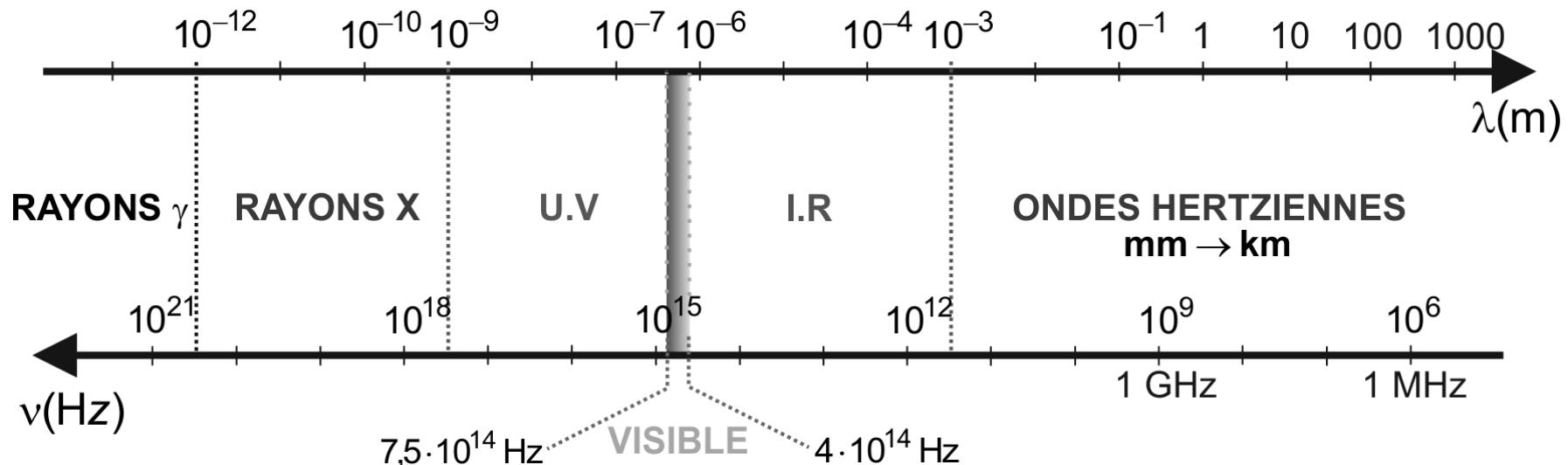


3. LA LUMIÈRE, ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

3.1 Domaine de l'optique



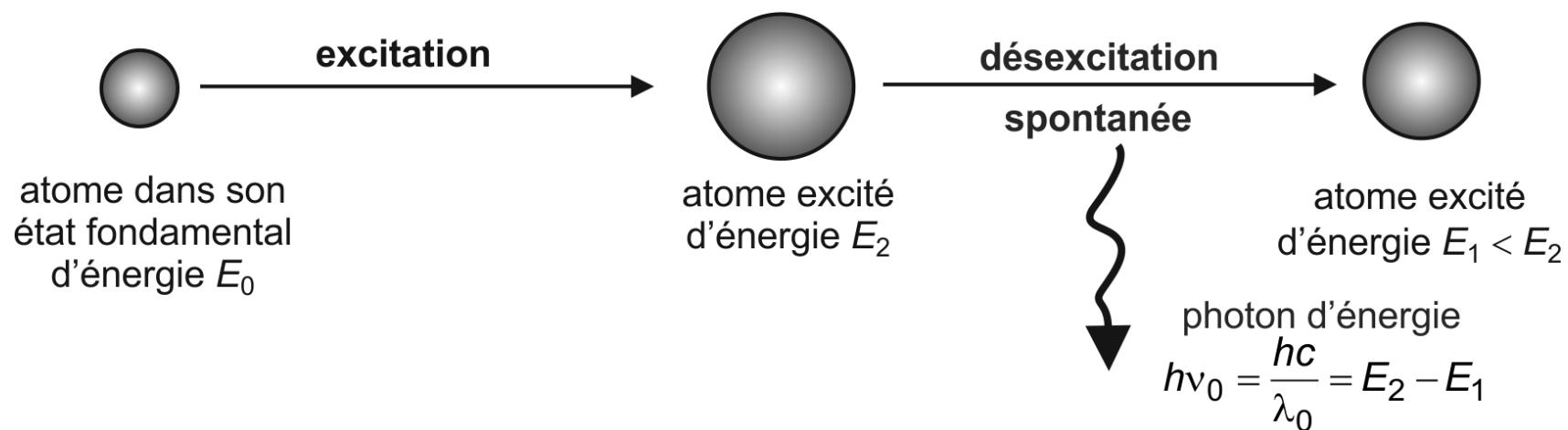
$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} \text{ avec } c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

la lumière est une onde électromagnétique à laquelle l'œil humain est sensible
sa longueur d'onde se situe dans l'intervalle :

$$0,4 \text{ } \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \text{ } \mu\text{m}$$

soit des fréquences $\nu_0 \approx 5 \cdot 10^{14}$ Hz

3.2 Émission de la lumière par une source classique



désexcitation :

- >>> sans émission de lumière (transition non radiative : l'énergie $E_2 - E_1$ est alors transformée en énergie cinétique lors d'un choc)
- >>> le plus souvent (surtout dans les gaz, où la probabilité de choc est faible), émission d'un photon

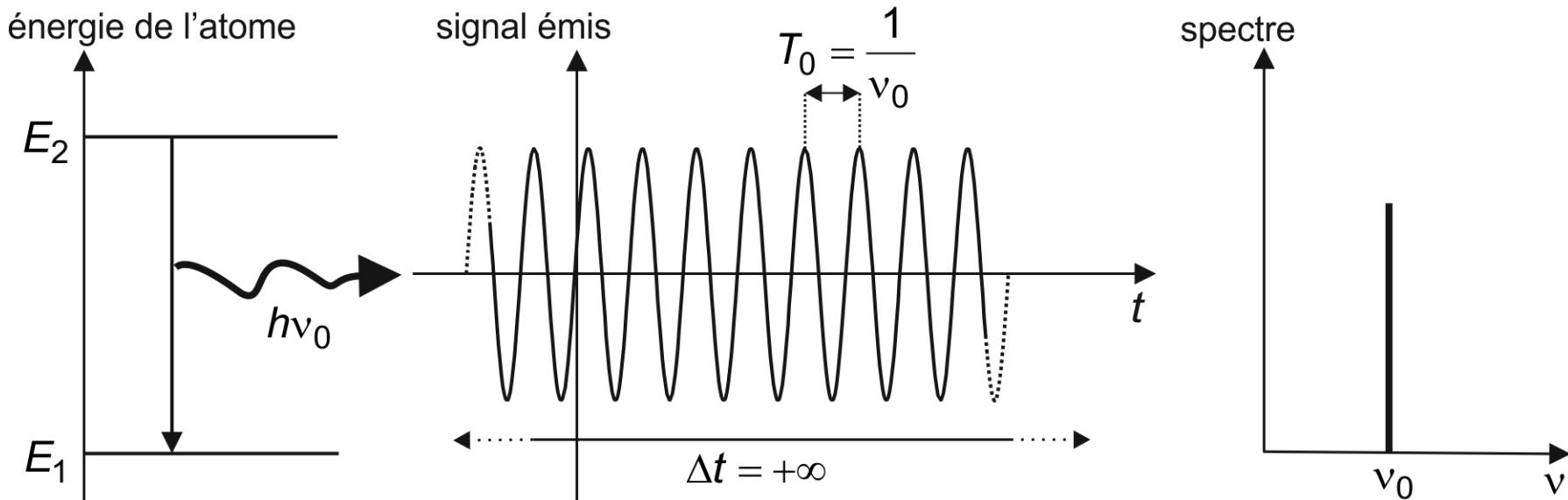
d'énergie : $h\nu_0 = E_2 - E_1$

de quantité de mouvement : $p = \frac{h\nu_0}{c}$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ constante de Planck

le photon est le quantum d'énergie échangée entre la matière et le rayonnement électromagnétique

un photon d'énergie $h\nu_0$ est associé à une onde électromagnétique de fréquence ν_0



cependant, une onde parfaitement sinusoïdale, de durée $\Delta t \rightarrow \infty$ (dont le spectre ne contient que la fréquence ν_0) n'est pas concevable physiquement (l'émission doit avoir un début et une fin : *train d'onde* ou *paquet d'onde* étroit).

relations d'Heisenberg : indétermination ΔE sur l'énergie d'un état, d'autant plus grande que la durée de vie τ de l'atome dans cet état est faible :

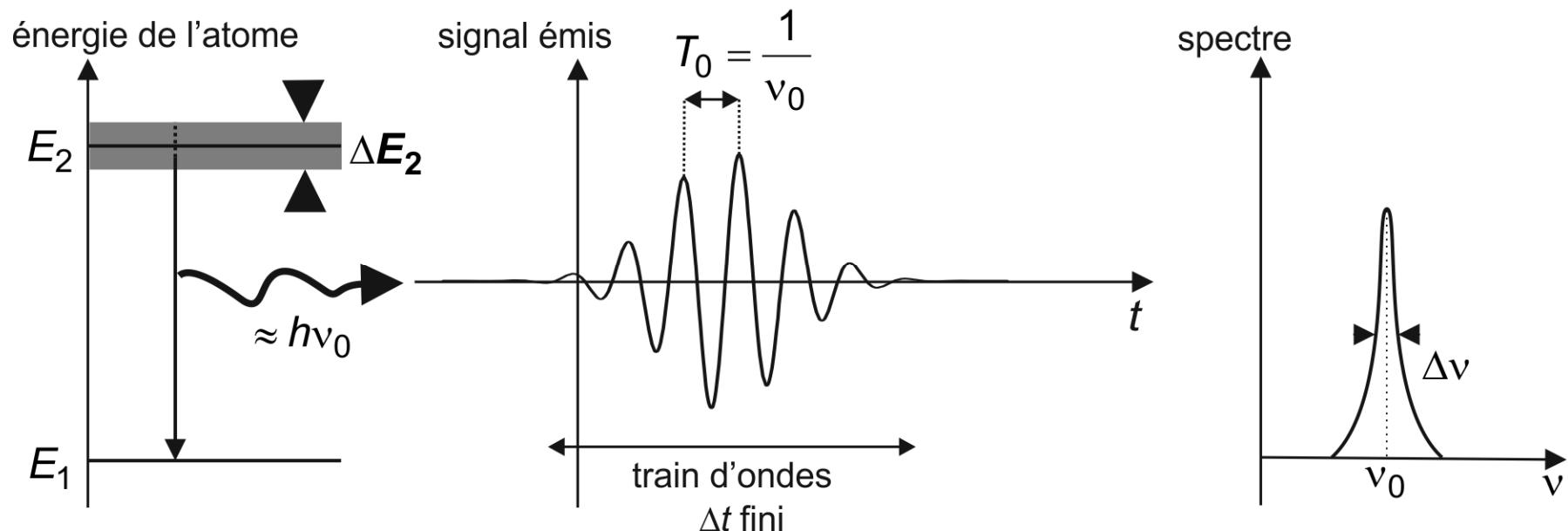
$$\Delta E_2 \cdot \tau \simeq h \text{ pour l'état d'énergie } E_2$$

(comme $E_1 < E_2$, l'état d'énergie E_1 est plus stable et sa durée de vie plus grande
 \Rightarrow on néglige ΔE_1 devant ΔE_2)

\Rightarrow l'indétermination Δv sur la fréquence de l'onde émise est telle que $\Delta E_2 = h\Delta v$

$\Rightarrow \Delta v \simeq \frac{1}{\tau}$ largeur de bande émise autour de v_0 or (analyse de Fourier) : $\Delta v \Delta t \simeq 1$

durée du train d'ondes \approx durée de l'état excité : $\Delta t \simeq \tau \simeq \frac{1}{\Delta v}$



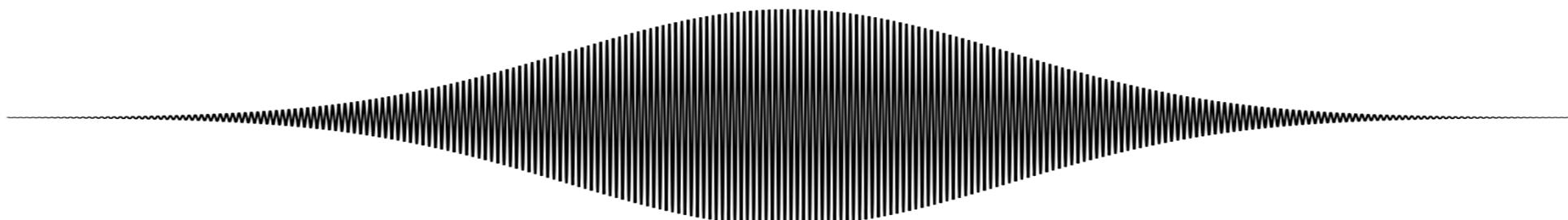
ces durées, ainsi que l'amplitude du signal émis, varient aléatoirement autour d'une valeur moyenne, d'un train d'ondes à l'autre

ordres de grandeur pour une lampe spectrale à basse pression utilisée en T.P
 le principe : grande d.d.p appliquée dans un tube contenant un gaz à basse pression (Hg, Na...) \Rightarrow ionisation puis accélération des atomes ionisés \Rightarrow chocs avec les atomes \Rightarrow excitation de certains atomes \Rightarrow déexcitation avec rayonnement émis correspondant à un spectre de raies

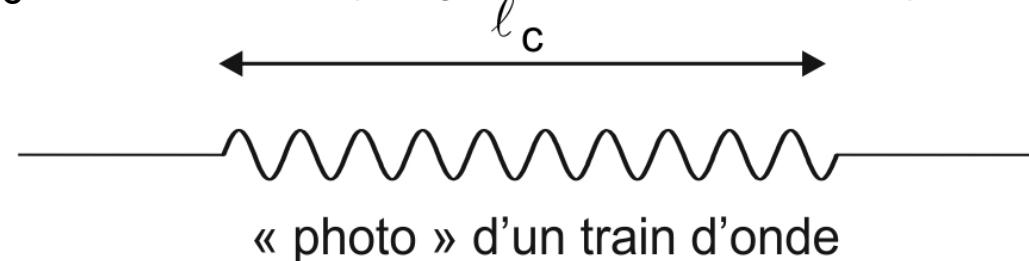
raie verte d'une lampe Hg : $\frac{\Delta v}{v_0} \simeq 5 \cdot 10^{-5}$ (paquet d'onde étroit)

$$v_0 \simeq 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \Rightarrow \Delta v \simeq 2,5 \cdot 10^{10} \text{ Hz} \Rightarrow \Delta t \simeq \tau \simeq 4 \cdot 10^{-11} \text{ s} \gg T_0 = \frac{1}{v_0} \simeq 2 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$\Rightarrow 2 \cdot 10^4$ oscillations pendant un train d'onde...



étalement spatial : $\ell_c = c\Delta t \simeq 1 \text{ cm}$ (longueur de cohérence)



$T \nearrow$ ou $p \nearrow \Rightarrow$ chocs / u.de temps $\nearrow \Rightarrow \tau$ et $\Delta t \searrow \Rightarrow \Delta v \nearrow$ les raies s'élargissent

l'effet Doppler est souvent le facteur prépondérant dans l'élargissement des raies :

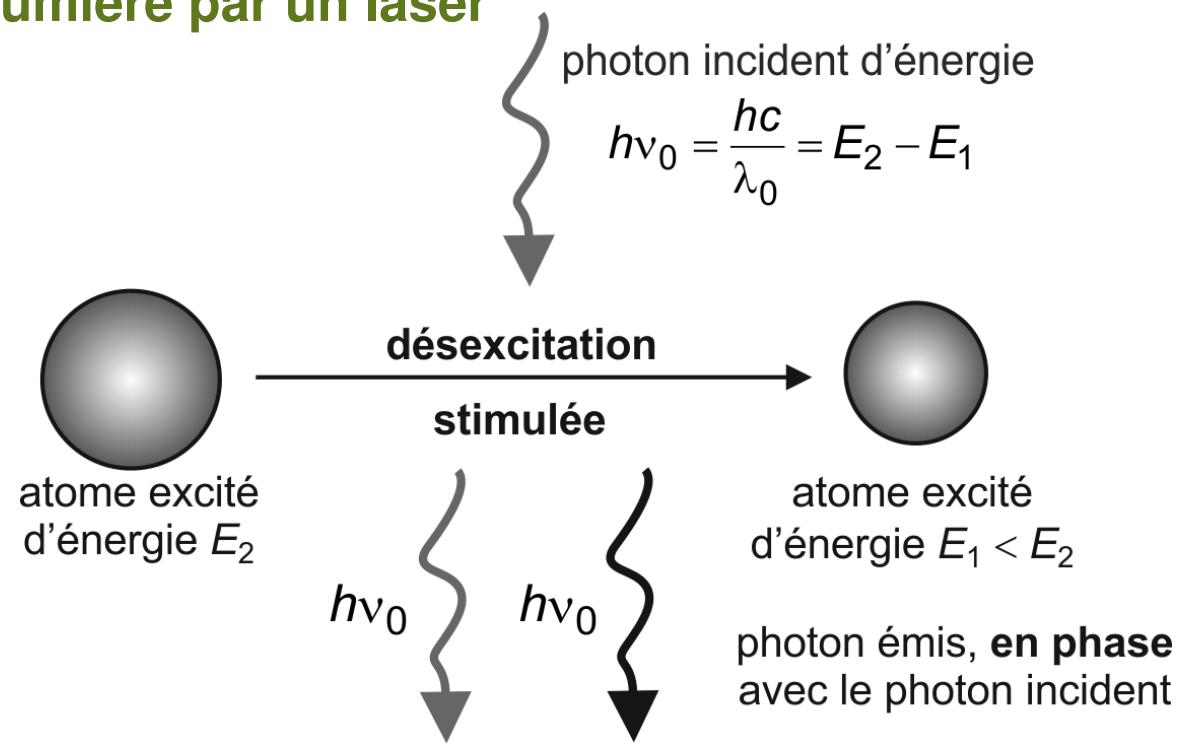
$T \nearrow \Rightarrow v$ (vitesse des particules) \nearrow

or si la fréquence émise dans le référentiel de la particule est v_0 , elle varie autour de v_0 dans le référentiel du laboratoire ($v > v_0$ pour l'émission par des particules qui se rapprochent du capteur, $v < v_0$ si elles s'en éloignent)

remarque : l'excitation d'un atome peut être obtenue par décharges électriques ou par absorption d'un photon d'énergie $h\nu_0 = E_2 - E_1$

\Rightarrow lorsqu'un atome peut émettre spontanément un rayonnement de fréquence v_0 , il peut aussi l'absorber (avec des probabilités différentes)

3.3 Émission de la lumière par un laser



laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) : émission d'un photon par un atome dans un état excité d'énergie E_2 , stimulée par un photon incident d'énergie $h\nu_0 = E_2 - E_1$ (photon résonant) \Rightarrow désexcitation de l'atome vers l'état d'énergie E_1 , avec émission d'un second photon d'énergie $h\nu_0$, « clone » du photon incident (en phase, même direction, même sens et même état de polarisation : principe de l'émission cohérente de lumière)

lumière émise « très » monochromatique : $\Delta\nu / \nu_0 \simeq 10^{-12}$

3.4 Réception par un capteur

vision : les cellules de la rétine, sensibles à des ondes électromagnétiques de fréquence $v_0 = 1 / T_0 \approx 5 \cdot 10^{14}$ Hz, envoient des influx électriques au cerveau, à la fréquence v du signal qui module ces ondes

le cerveau *interprète* ces informations pour créer une image, en se basant sur notre expérience (traitement global de l'information en un temps variable selon la complexité de l'image, de l'ordre de 50 ms) : deux images qui s'enchaînent trop rapidement ne peuvent pas être distinguées (phénomène exploité au cinéma ou à la télévision pour créer une sensation de mouvement continu à partir d'images se succédant à une fréquence v de 24 ou 25 Hz)

cellule photo-électrique : temps de réponse $\tau_c \approx 1 \mu\text{s}$

plus généralement, pour les capteurs optiques agissent comme un passe-bas sur le signal qui module les ondes lumineuses reçues, $\tau_c \gg T_0 \approx 2 \cdot 10^{-15}$ Hz et aussi $\tau_c \gg \Delta t$, durée d'un train d'onde

⇒ ils délivrent des signaux proportionnels à la puissance *moyenne* du signal (moyennée sur la durée)

⇒ intérêt de définir l'intensité lumineuse par : $I = \langle \|\vec{S}_p\| \rangle$