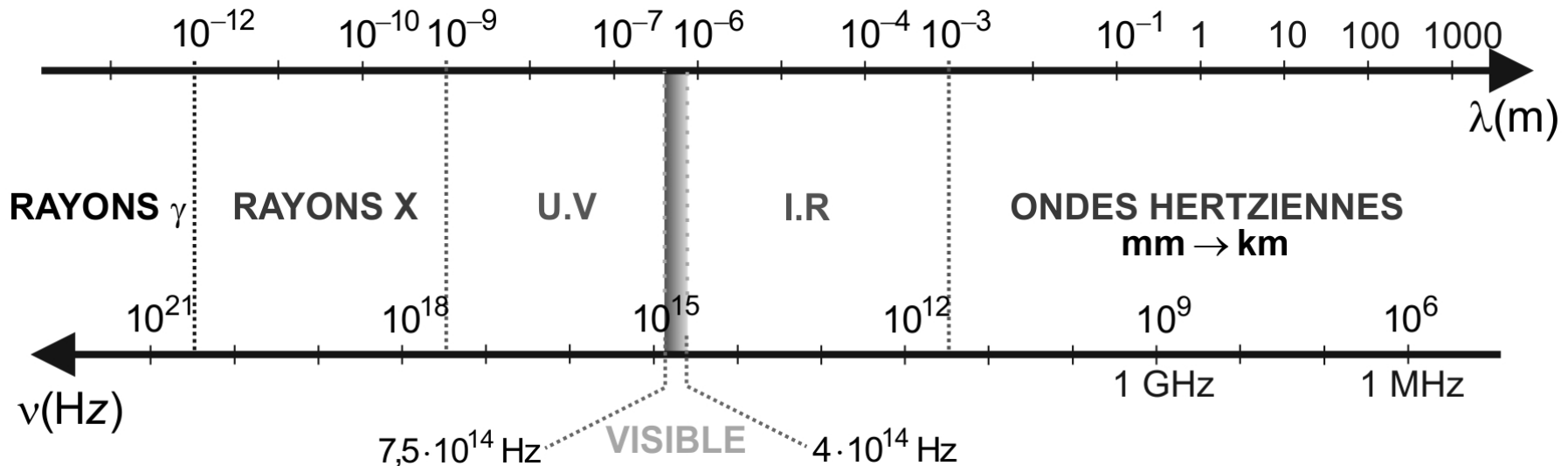


## 3. LA LUMIÈRE, ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

### 3.1 Domaine de l'optique



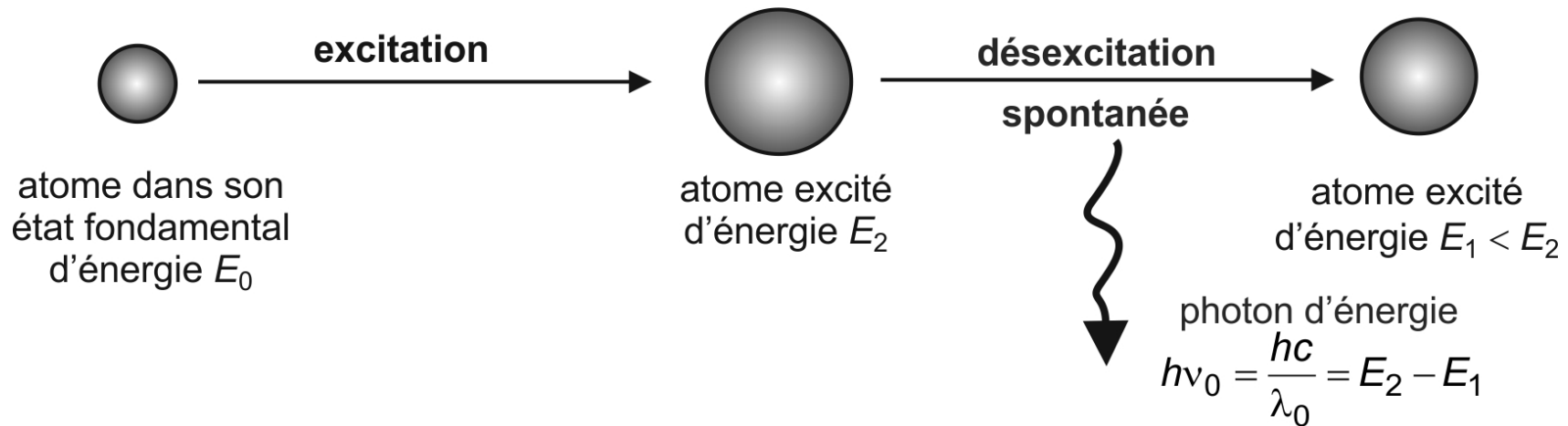
$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} \text{ avec } c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

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

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

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

## 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

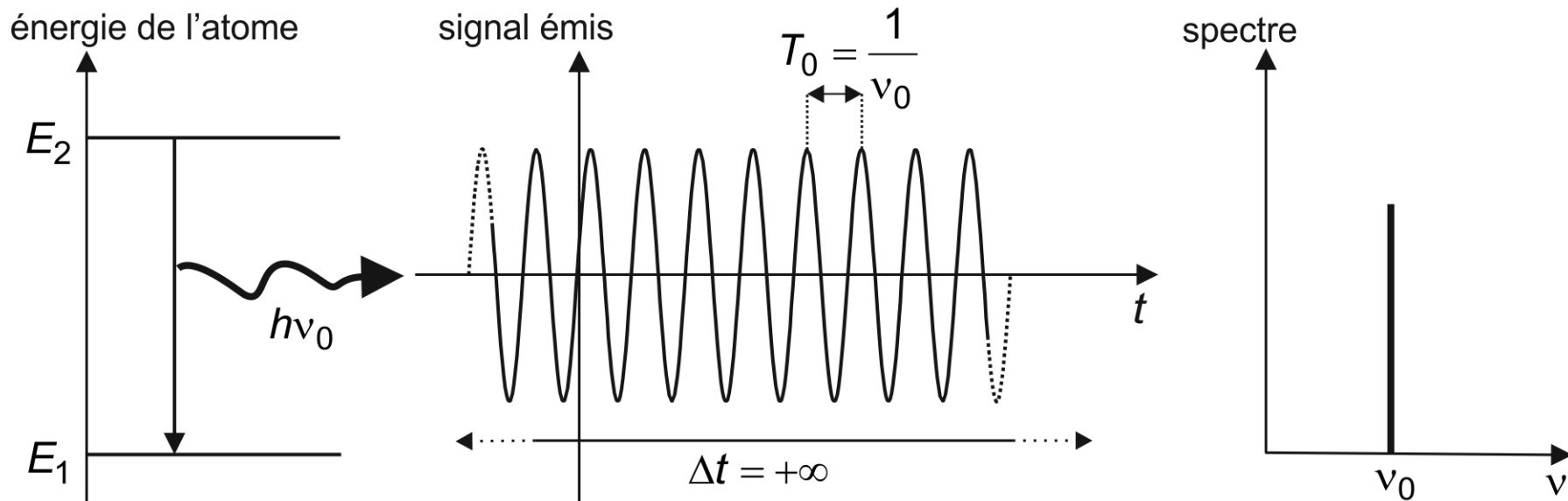
d'énergie :  $h\nu_0 = E_2 - E_1$

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

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J·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  $\nu_0$



cependant, une onde parfaitement sinusoïdale, de durée  $\Delta t \rightarrow \infty$  (dont le spectre ne contient que la fréquence  $\nu_0$ ) 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  $\Delta E$  sur l'énergie d'un état, d'autant plus grande que la durée de vie  $\tau$  de l'atome dans cet état est faible :

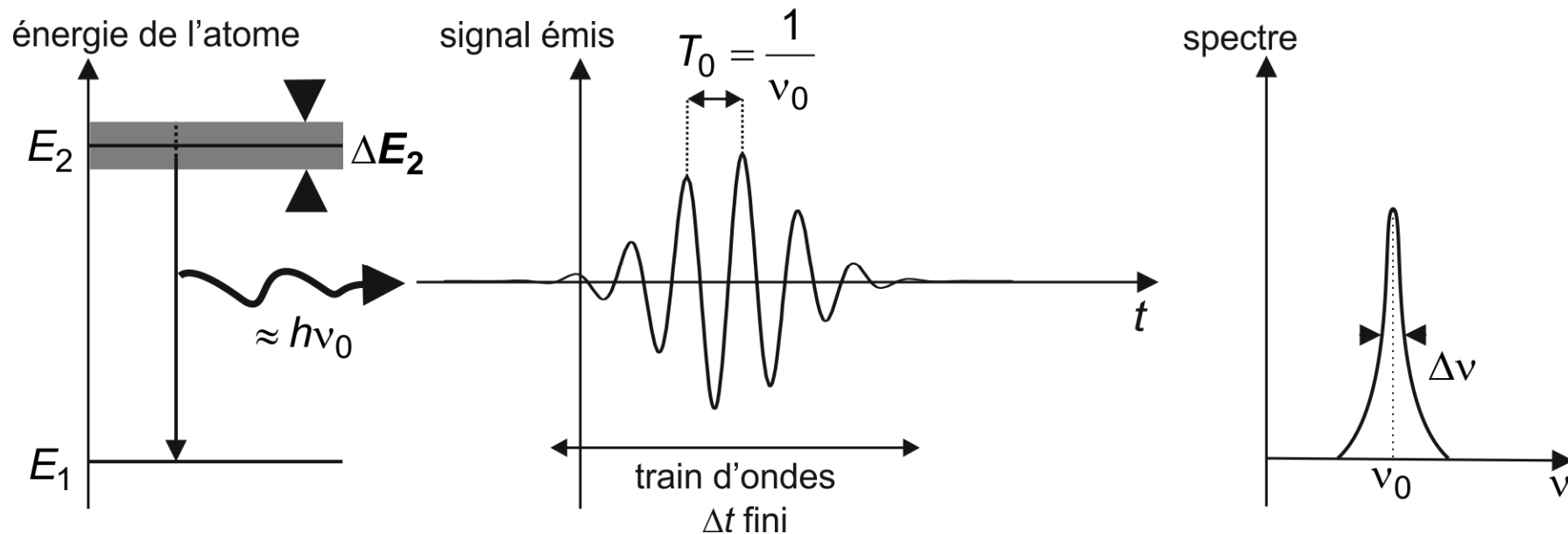
$$\Delta E_2 \cdot \tau \simeq h \text{ pour l'état d'énergie } E_2$$

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

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

$\Rightarrow \Delta \nu \simeq \frac{1}{\tau}$  largeur de bande émise autour de  $\nu_0$  or (analyse de Fourier) :  $\Delta \nu \Delta t \simeq 1$

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



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

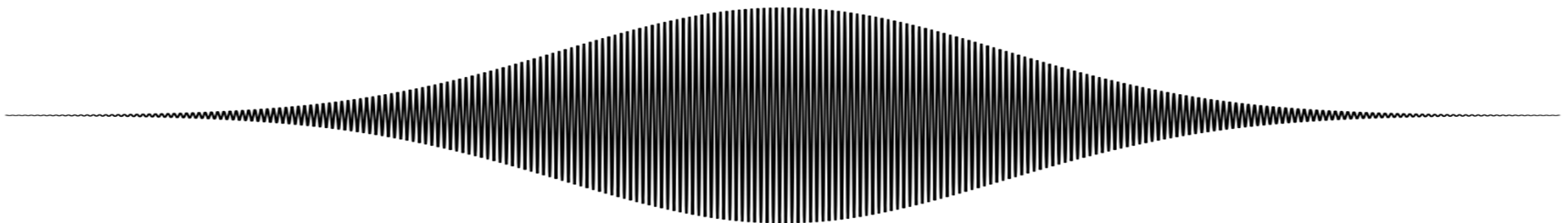
ordres de grandeur pour une lampe spectrale à basse pression utilisée en T.P

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  $\Rightarrow$  désexcitation avec rayonnement émis correspondant à un spectre de raies

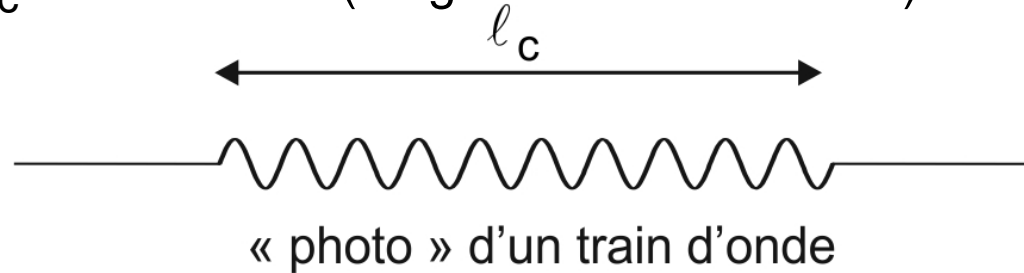
raie verte d'une lampe Hg :  $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} \simeq 5 \cdot 10^{-5}$  (paquet d'onde *étroit*)

$$\nu_0 \simeq 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \Rightarrow \Delta\nu \simeq 2,5 \cdot 10^{10} \text{ Hz} \Rightarrow \Delta t \simeq \tau \simeq 4 \cdot 10^{-11} \text{ s} \gg T_0 = \frac{1}{\nu_0} \simeq 2 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$\Rightarrow 2 \cdot 10^4$  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 :

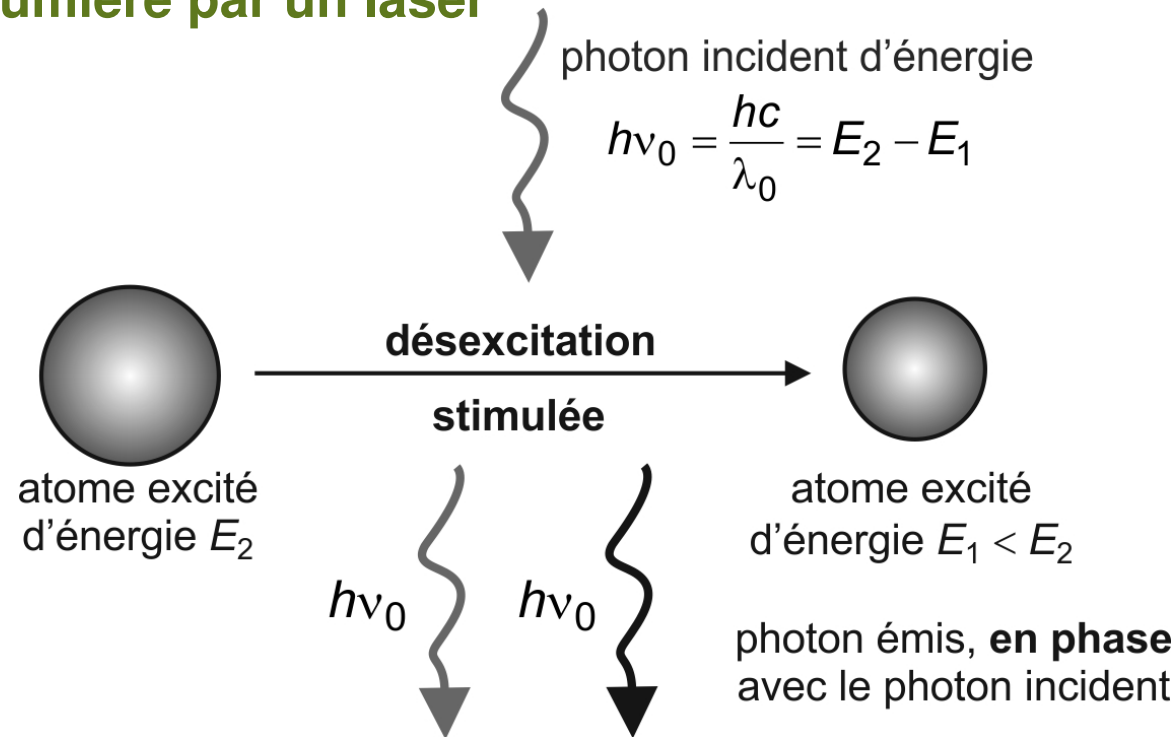
$T \nearrow \Rightarrow v$  (vitesse des particules)  $\nearrow$

or si la fréquence émise dans le référentiel de la particule est  $\nu_0$ , elle varie autour de  $\nu_0$  dans le référentiel du laboratoire ( $\nu > \nu_0$  pour l'émission par des particules qui se rapprochent du capteur,  $\nu < \nu_0$  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  $\nu_0$ , il peut aussi l'absorber (avec des probabilités différentes)

### 3.3 Émission de la lumière par un laser



**laser** (***L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation*) : 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  $\nu_0 = 1 / T_0 \approx 5 \cdot 10^{14}$  Hz, envoient des influx électriques au cerveau, à la fréquence  $\nu$  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  $\nu$  de 24 ou 25 Hz)

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

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 :  $I = \langle \|\vec{S}_p\| \rangle$