

- On a trouvé  $|\psi(t=0)\rangle = |\psi_1\rangle = \frac{|\psi_s\rangle + |\psi_a\rangle}{\sqrt{2}}$

- d'évolution dans le tps se calcule en résolvant l'eq de Sch [2] p133  
 $i\hbar \frac{d|\psi(t)\rangle}{dt} = E|\psi(t)\rangle \Leftrightarrow \frac{d|\psi\rangle}{dt} = \frac{E}{i\hbar} |\psi\rangle$

$$\Rightarrow \boxed{|\psi(t)\rangle = |\psi(t=0)\rangle e^{-iEt/\hbar}}$$

$E = \text{valeur de } \psi / \text{rapport à l'hamiltonien.}$

- Dans la base  $\{|\psi_a\rangle, |\psi_s\rangle\}$ , H s'écrit:

$$H = \begin{pmatrix} E_1 - A & 0 \\ 0 & E_1 + A \end{pmatrix}$$

- Donc  $|\psi(t)\rangle = |\psi_1\rangle e^{-iEt/\hbar} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ e^{-i(E_1-A)t/\hbar} |\psi_s\rangle + e^{-i(E_1+A)t/\hbar} |\psi_a\rangle \right]$

$$|\psi(t)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-iE_1 t/\hbar} \left[ e^{iAt/\hbar} |\psi_s\rangle + e^{-iAt/\hbar} |\psi_a\rangle \right]$$

- On repasse dans la base  $\{|\psi_1\rangle, |\psi_2\rangle\}$

$$|\psi(t)\rangle = \frac{1}{2} e^{-iE_1 t/\hbar} \left[ e^{iAt/\hbar} (|\psi_1\rangle + |\psi_2\rangle) + e^{-iAt/\hbar} (|\psi_1\rangle - |\psi_2\rangle) \right]$$

$$\boxed{|\psi(t)\rangle = e^{-iE_1 t/\hbar} \left[ \cos\left(\frac{At}{\hbar}\right) |\psi_1\rangle + i \sin\left(\frac{At}{\hbar}\right) |\psi_2\rangle \right]}$$

- la probabilité d'être dans le puits ① ou ② à l'instant  $t$  est  

$$P_1 = |\langle \psi_1 | \psi(t) \rangle|^2 = \cos^2\left(\frac{EA}{\hbar} t\right)$$

$$P_2 = |\langle \psi_2 | \psi(t) \rangle|^2 = \sin^2\left(\frac{EA}{\hbar} t\right)$$

la molécule d'ammoniac s'inverse de manière périodique à la fréquence  $\frac{A}{\hbar}$ .  $\rightarrow \omega = \frac{2A}{\hbar}$

Son énergie est  $E_A - E_S = 2A = \hbar \omega \Rightarrow \boxed{\omega = \frac{2A}{\hbar}}$   
 fréquence de Bohr

- Au bout d'un fps  $t = \frac{\pi \hbar}{2A} = \frac{\pi}{\omega}$  la fonction d'onde est proportionnelle à  $|\psi_2\rangle \rightarrow$  molécule dans le puits ②  
 en  $t = \frac{2\pi}{\omega}$  la molécule est dans le puits ①.  
 (calculer les probas)  $\rightarrow$  ⊕ graphes PXP

- la molécule oscille de ① à ② périodiquement à la pulsation  $\omega$ . Le retour neutre périodique est possible / effet tunnel [2] p 97  $\rightarrow$  l'oscillation dépend du couplage ( $\omega \propto A$ )

- Dans ammoniae  $2A \sim 10^{-4} \text{ eV} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 24 \text{ GHz}$   
 L'oscillat° associée à l'émission ou abs d'un onde  $\vec{E}B$   
 $\rightarrow \lambda \sim 1,25 \text{ cm} \rightarrow$  empreinte digitale de l'ammoniac.  
 C'est à cette  $\lambda$  que l'on détecte  $\text{NH}_3$  dans le milieu interstellaire.