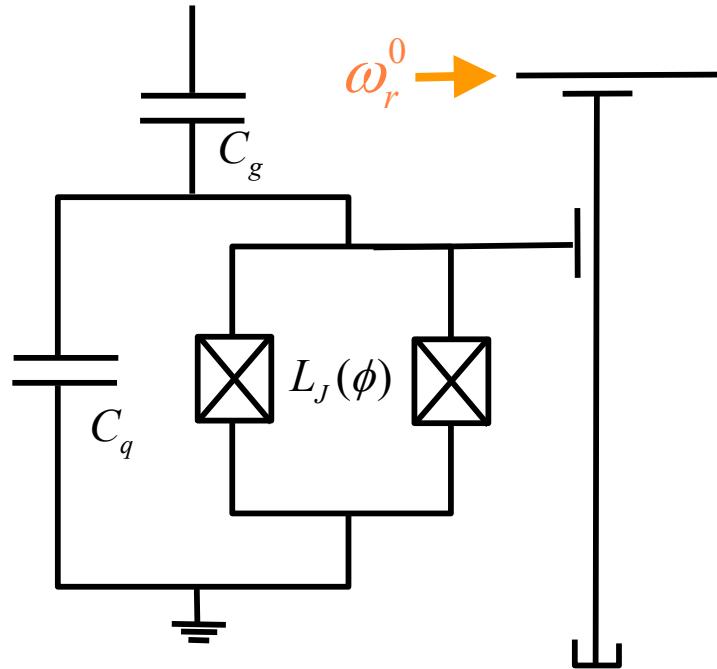


# Exercice 13.1: mesure par quantum non-demolition



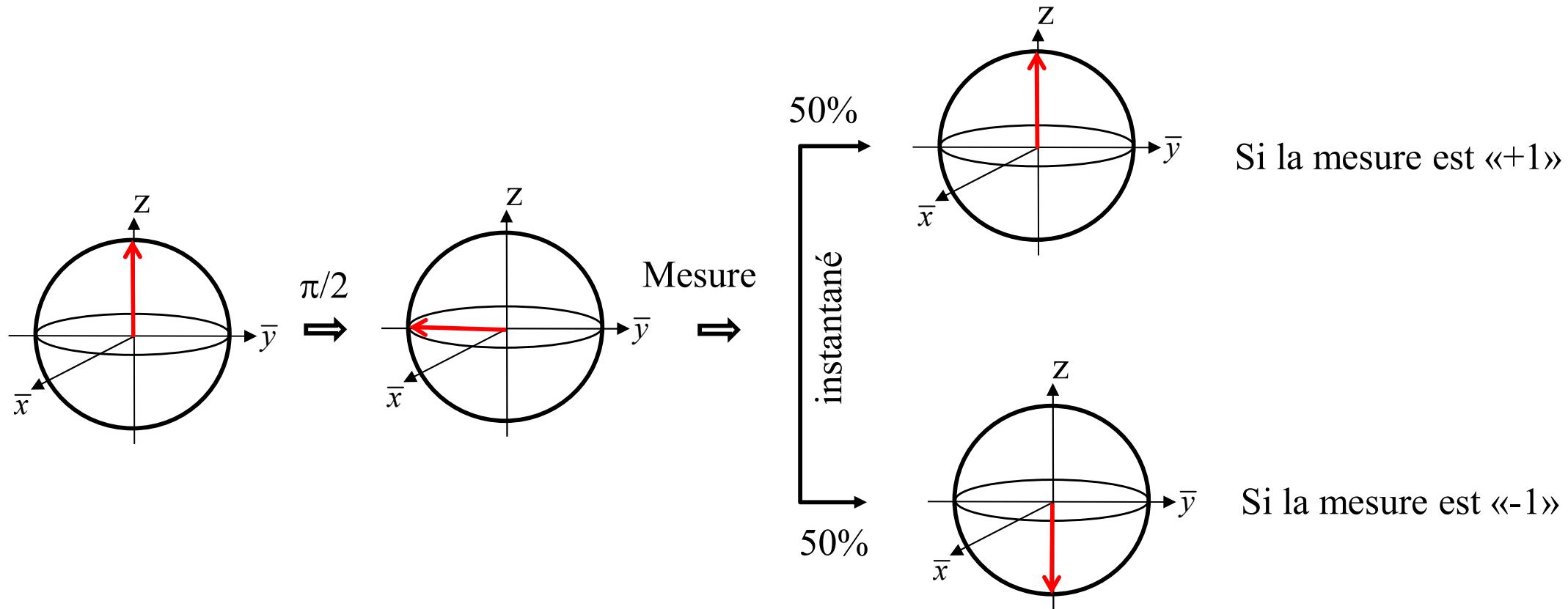
Le qubit est dans l'état de base,

- Nous appliquons une impulsion en X de  $\pi/2$
- Nous faisons directement (en négligeant la relaxation et la décohérence) une mesure par quantum non-demolition.

Indiquez, sur la sphère de Bloch, l'évolution du qubit.



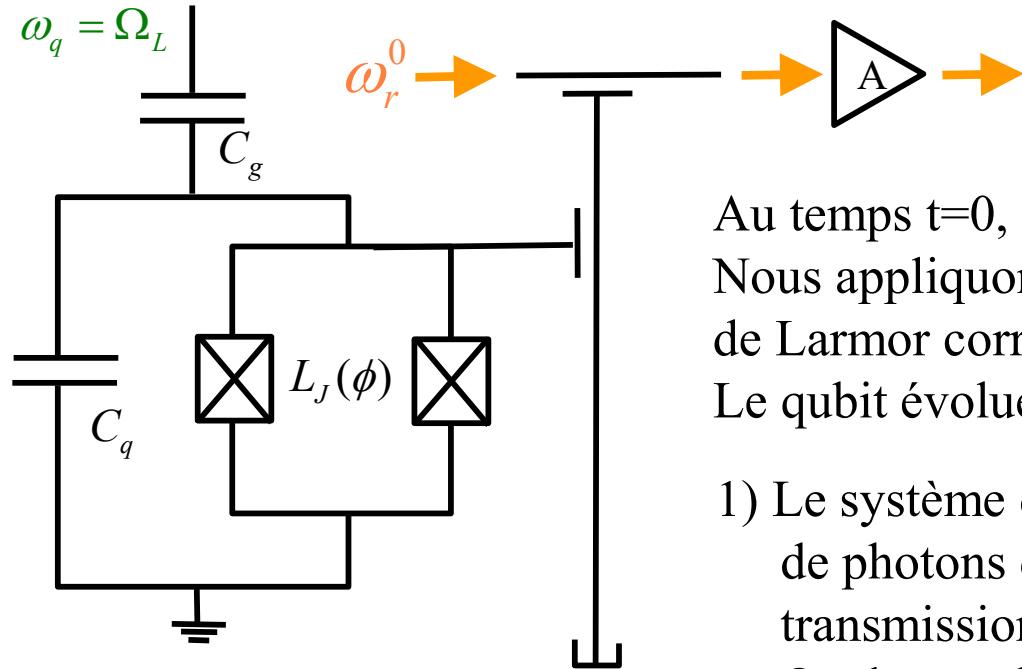
## Exercice 13.1: mesure par quantum non-demolition



Lors de la mesure, il y a projection instantanée sur un des deux états de base du système de mesure avec une probabilité de 50%/50% !!

**Quantum non-demolition ne signifie pas quantum non-transformation !**

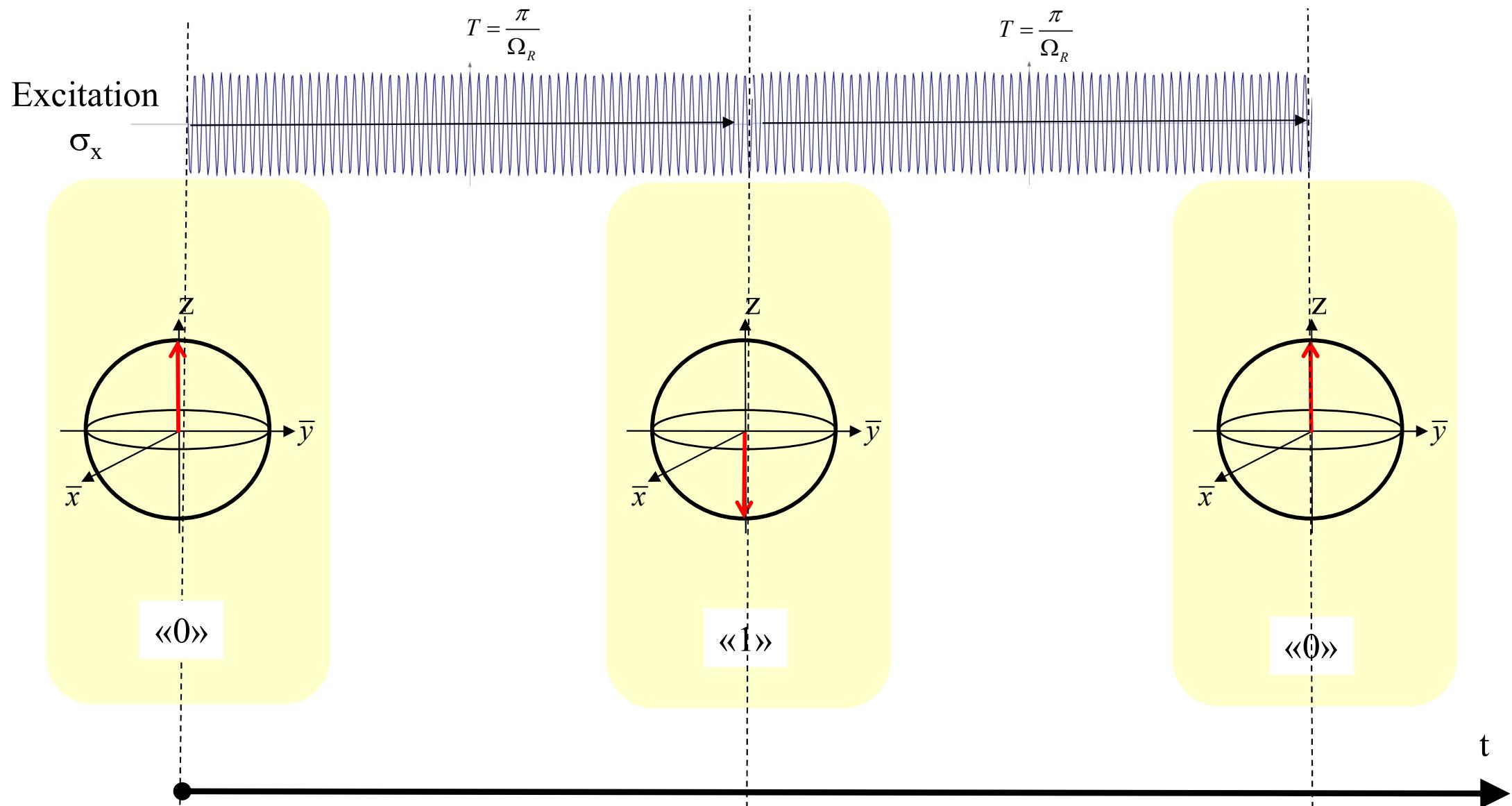
## Exercice 13.2: effet Zénon



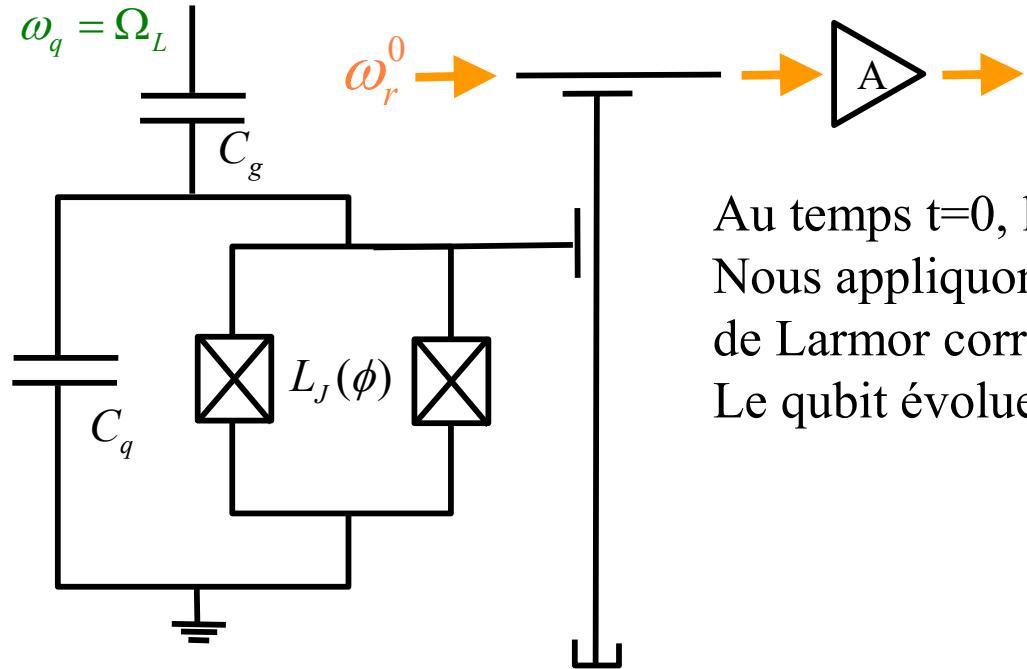
Au temps  $t=0$ , le qubit est dans l'état de base,  
Nous appliquons en continu un signal d'excitation à la fréquence  
de Larmor correspondant à la résonance du qubit ( $w_q=\Omega_L$ ).  
Le qubit évolue à la fréquence de Rabi  $\Omega_R$ .

- 1) Le système de mesure par non-démolition (excitation par injection de photons dans le résonateur et mesure électronique de la transmission) est enclenché à intervalles  $\Omega_R \cdot T = \pi$   
Quels sont les signaux détectés ?  
«0» = état de base, «1» = état excité

## Exercice 13.2: effet Zénon



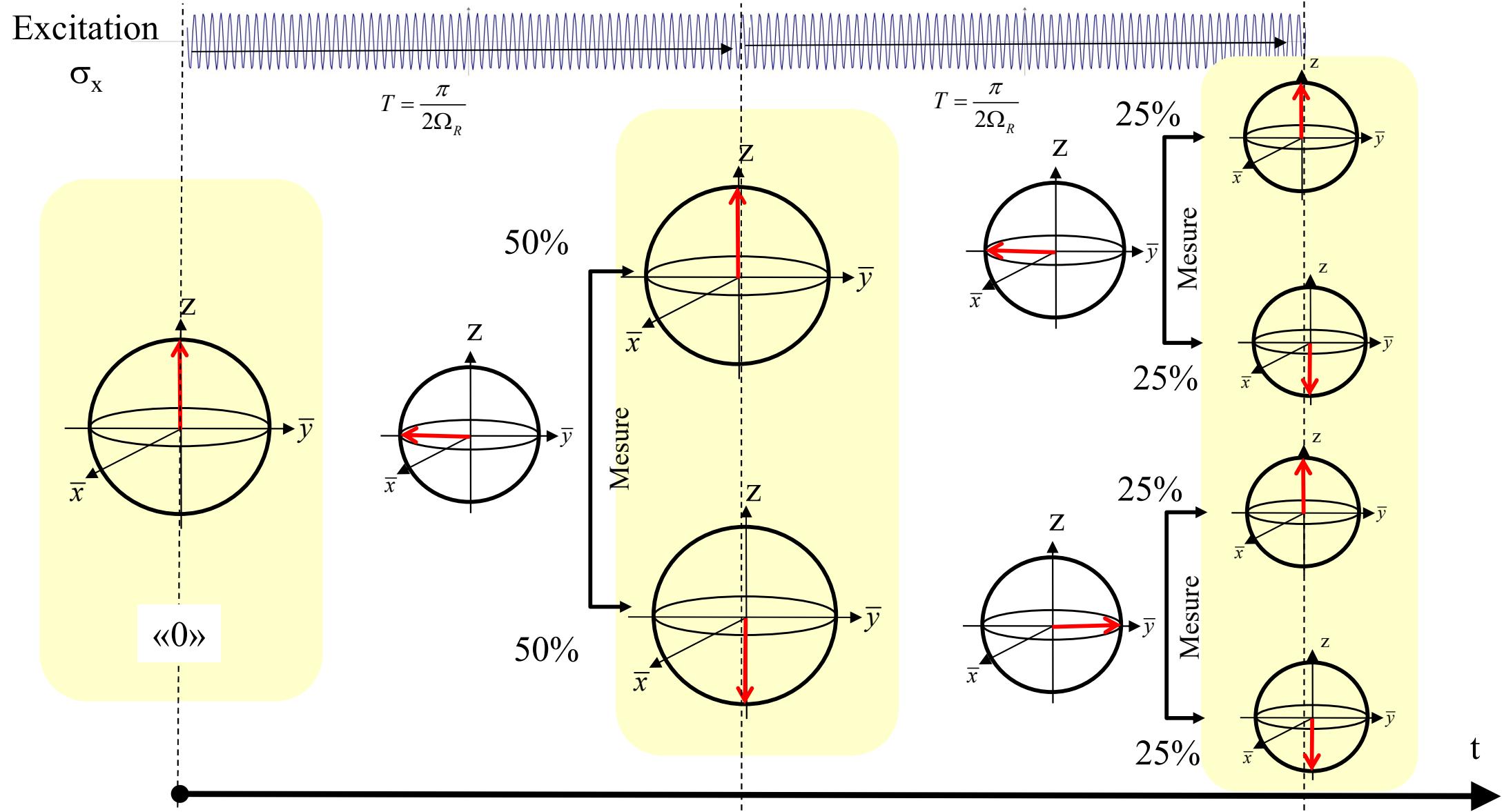
## Exercice 13.2: effet Zénon

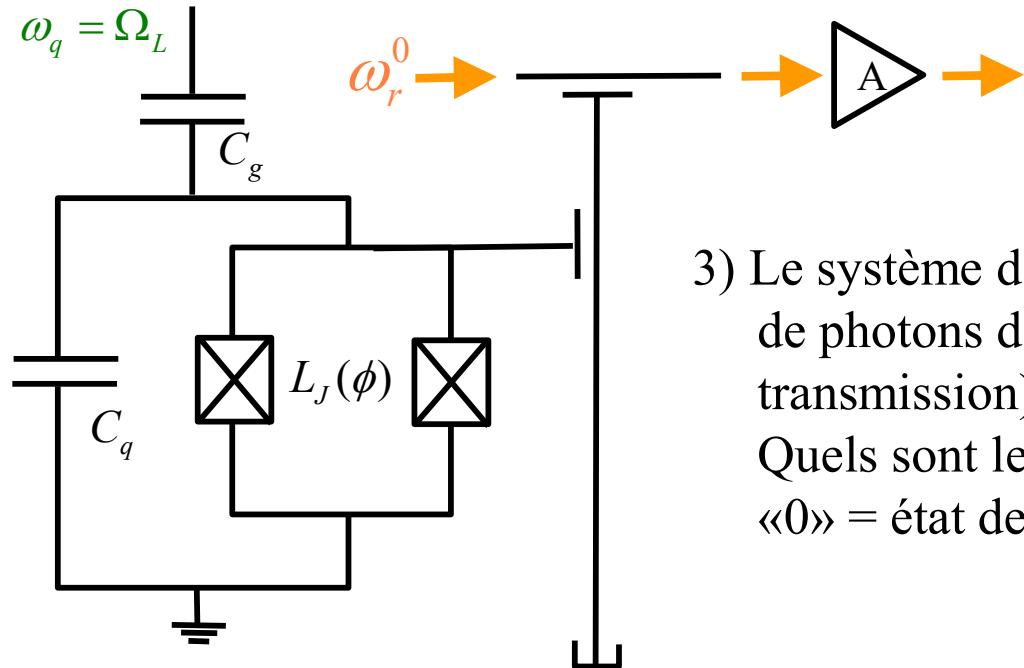


Au temps  $t=0$ , le qubit est dans l'état de base,  
Nous appliquons en continu un signal d'excitation à la fréquence  
de Larmor correspondant à la résonance du qubit ( $w_q=\Omega_L$ ).  
Le qubit évolue à la fréquence de Rabi  $\Omega_R$ .

- 2) Le système de mesure par non-démolition (excitation par injection de photons dans le résonateur et mesure électronique de la transmission) est enclenché à intervalles  $\Omega_R \cdot T = \pi/2$ .  
Quels sont les signaux détectés ?  
«0» = état de base, «1» = état excité

## Exercice 13.2: effet Zénon



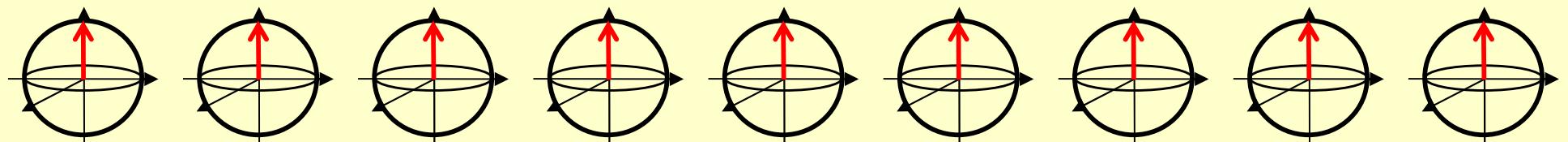
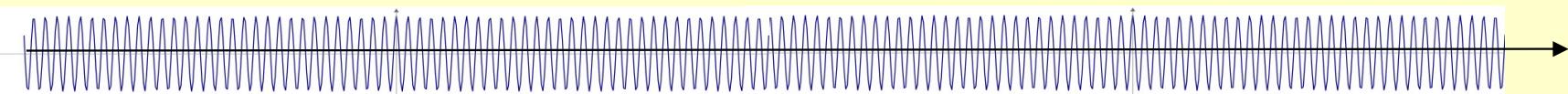


- 3) Le système de mesure par non-démolition (excitation par injection de photons dans le résonateur et mesure électronique de la transmission) fonctionne **en continu**.  
 Quels sont les signaux détectés ?  
 «0» = état de base, «1» = état excité

**Le système n'évolue plus !!**

Excitation

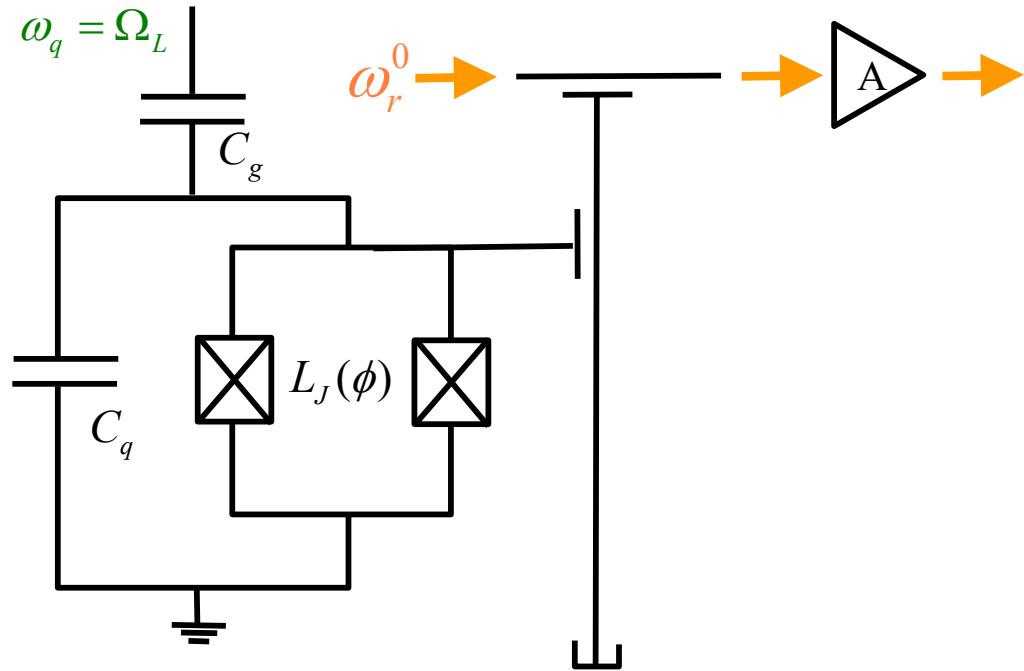
$\sigma_x$



«0»

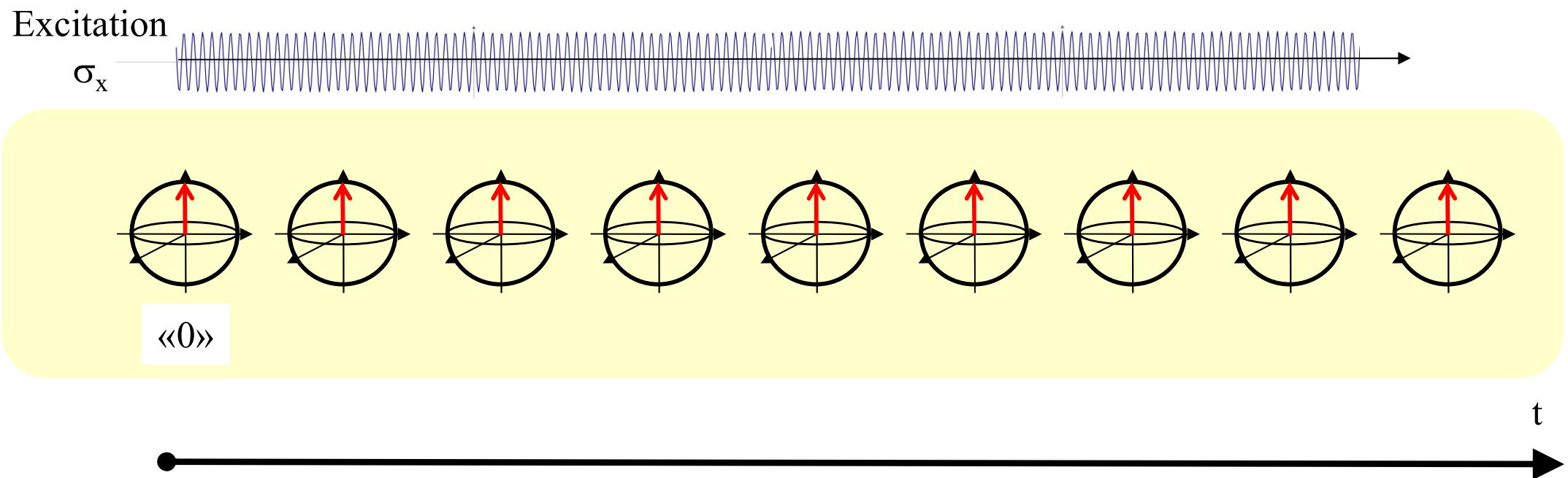
$$P_{\downarrow} = \frac{1}{2} \left( 1 - \cos^n \left( \frac{\pi}{n} \right) \right)$$





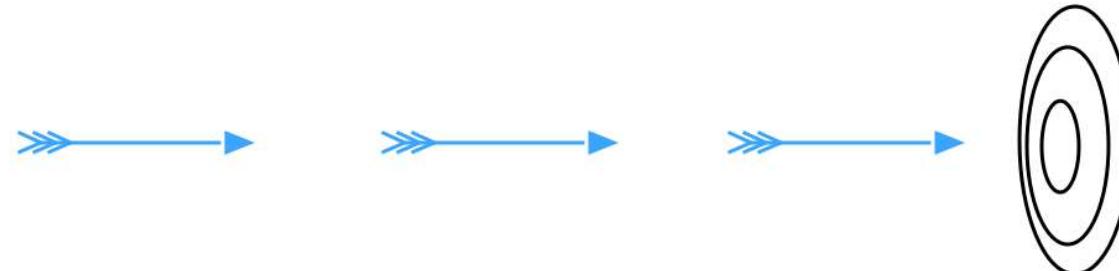
- 4) Seule l'excitation par injection de photons fonctionne en continu. La mesure électronique de la transmission est elle enclenchée à intervalles  $\Omega_R$ .  $T=\pi$   
 Quels sont les signaux détectés ?  
 «0» = état de base, «1» = état excité

**Le système n'évolue plus !!**



«mesures par l'environnement»: seule compte l'influence du qubit sur le résonateur  
pas la prise de mesure par l'électronique («mesures par l'opérateur»)

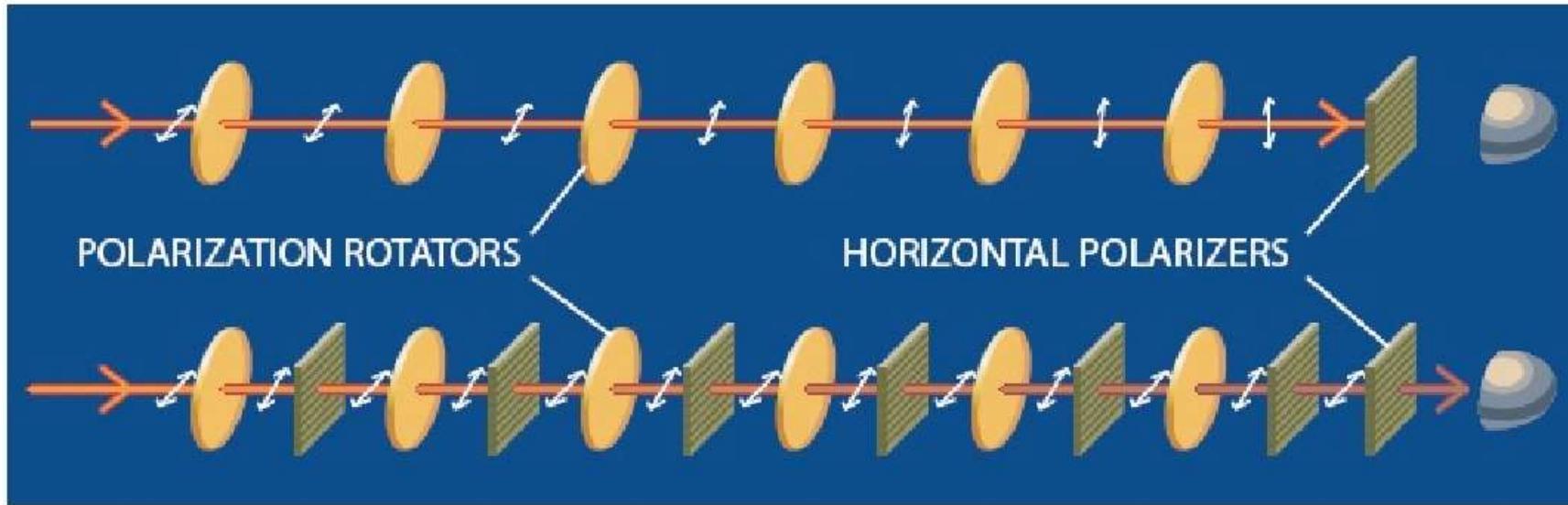
## Paradoxe de Zénon (490-430 av. JC): «la flèche en vol»



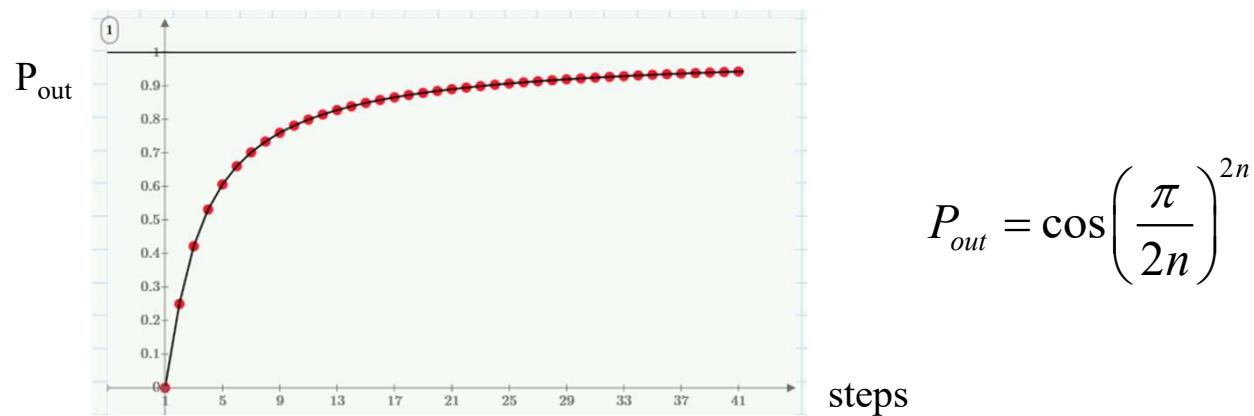
Dans le paradoxe de la flèche, nous imaginons une flèche en vol. À chaque instant, la flèche se trouve à une position précise. Si l'instant est trop court, alors la flèche n'a pas le temps de se déplacer et reste au repos pendant cet instant. Maintenant, pendant les instants suivants, elle va rester immobile pour la même raison. Si le temps est une succession d'instants et que chaque instant est un moment où le temps est arrêté, le temps n'existe donc pas. La flèche est donc toujours immobile à chaque instant et ne peut pas se déplacer : le mouvement est donc impossible.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxes\\_de\\_Zénon](https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxes_de_Zénon)

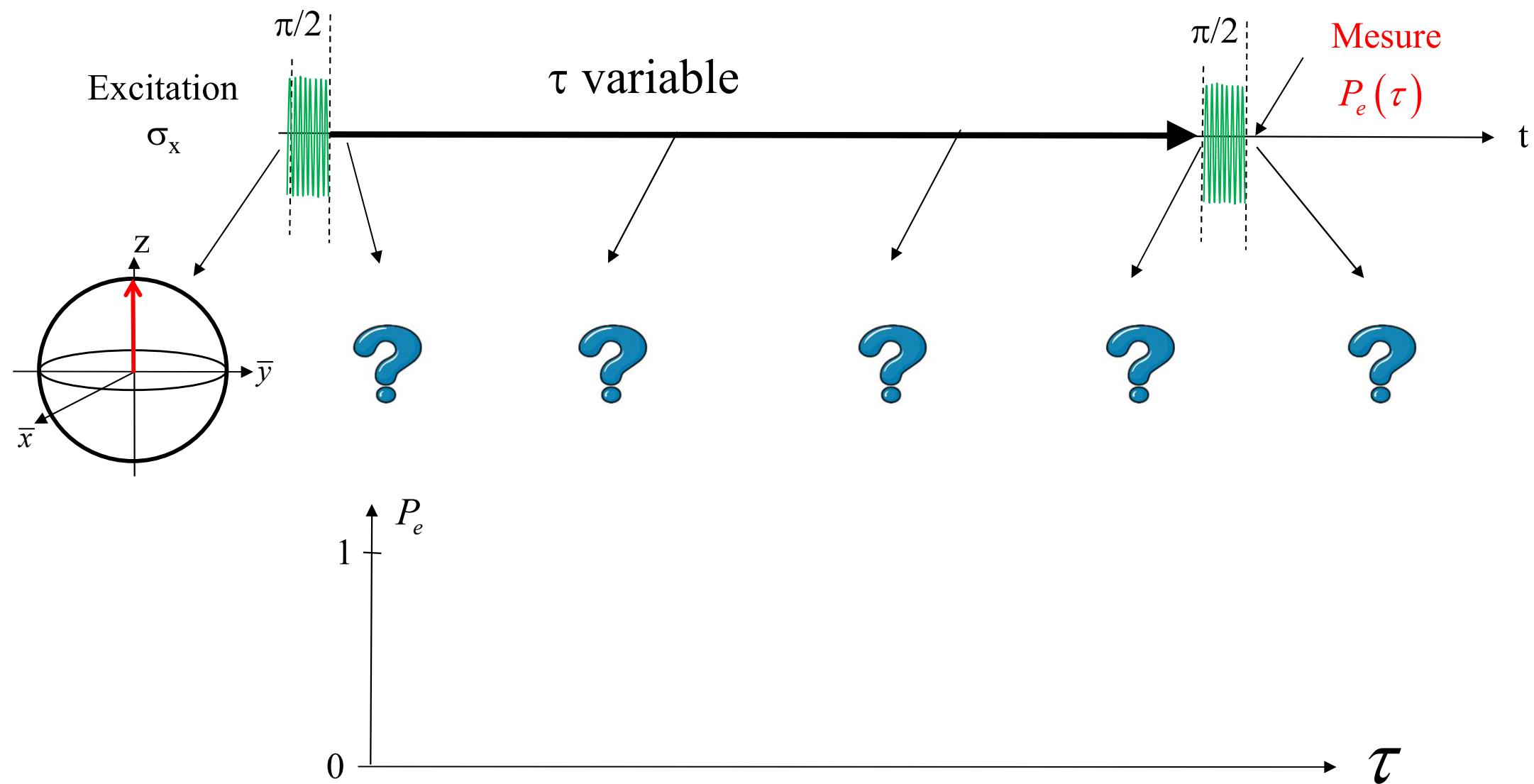
# Exemple: optical Zeno effect



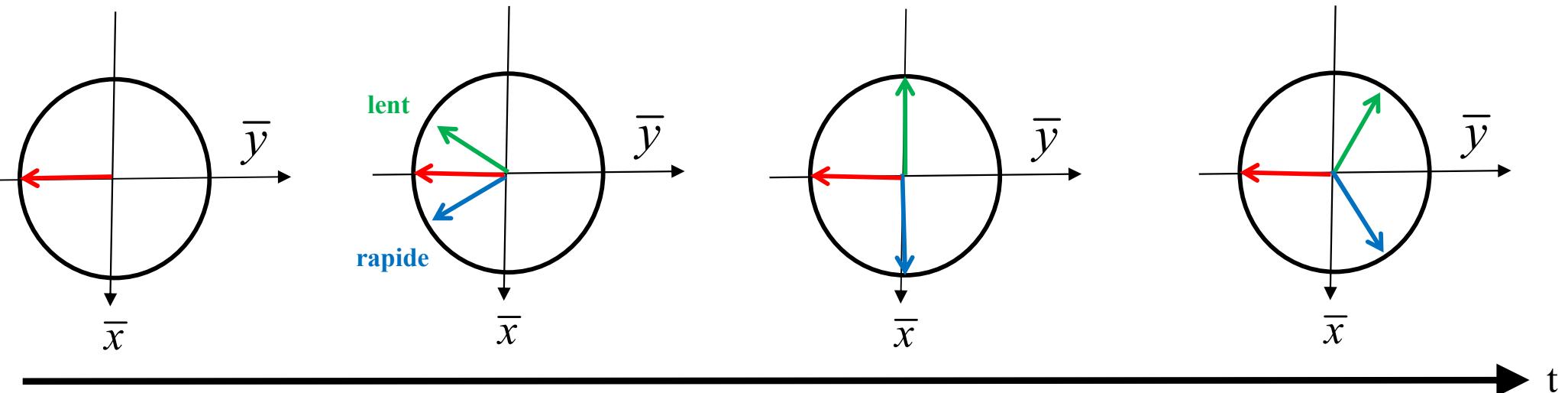
Eva Kilian, « The Quantum Zeno Effect and Interaction-free Measurements », Uni Wien, 2014



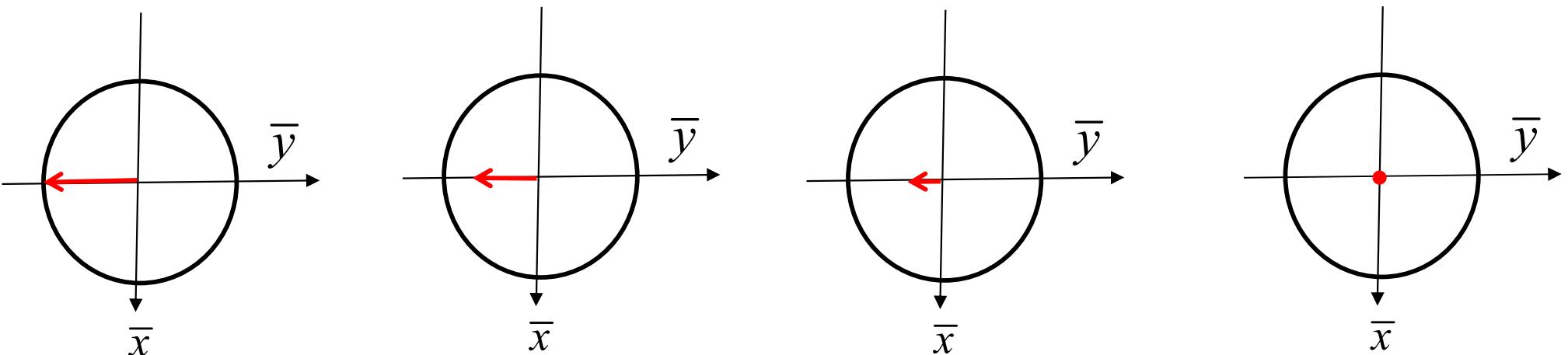
## Exercice 13.3 Mesures de décohérence: analysez ce cas, mesure de T2\*



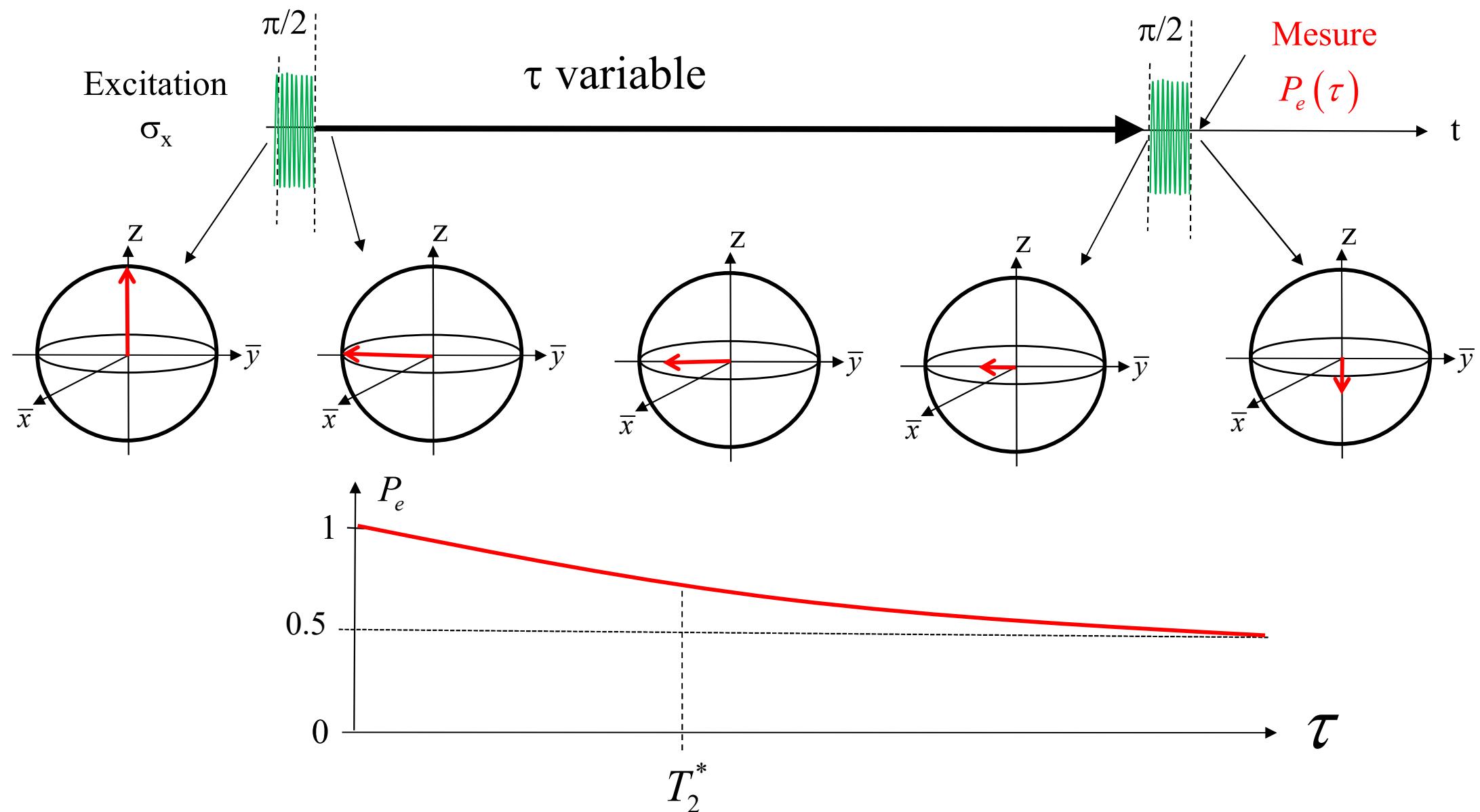
Décohérence: Temps  $T2^*$  ( $T2$ )



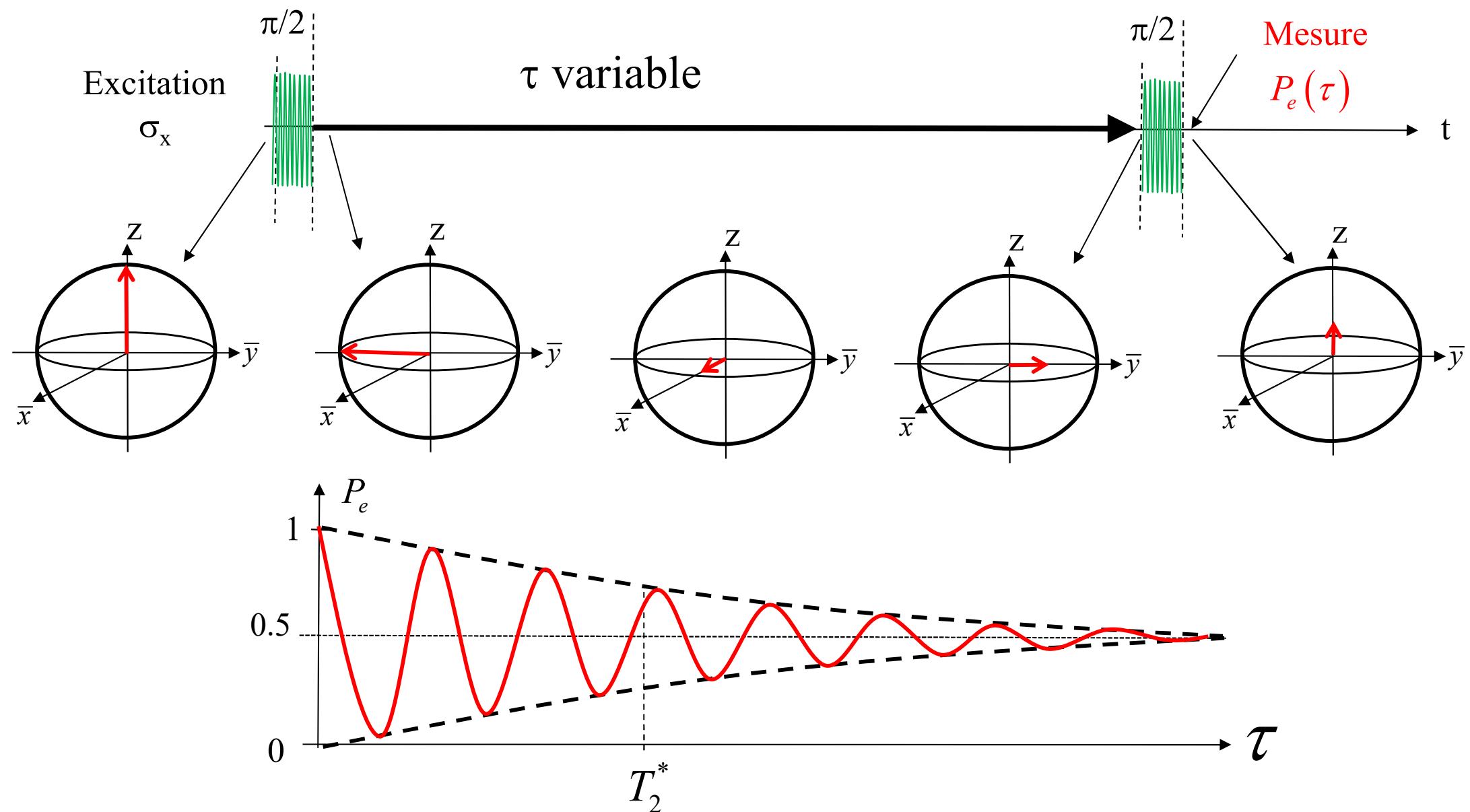
Qubit moyen



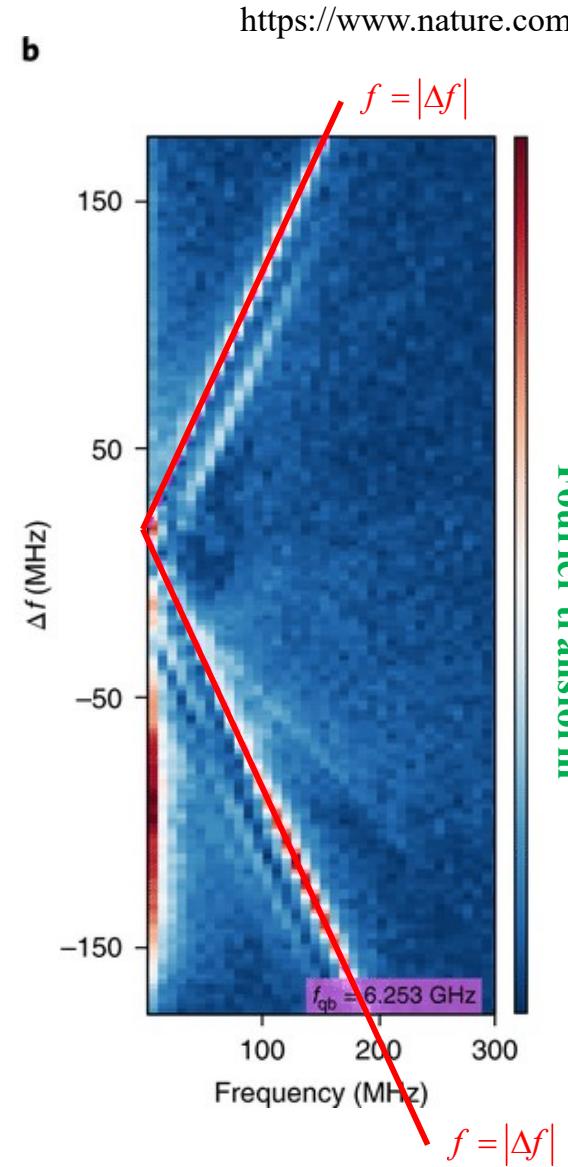
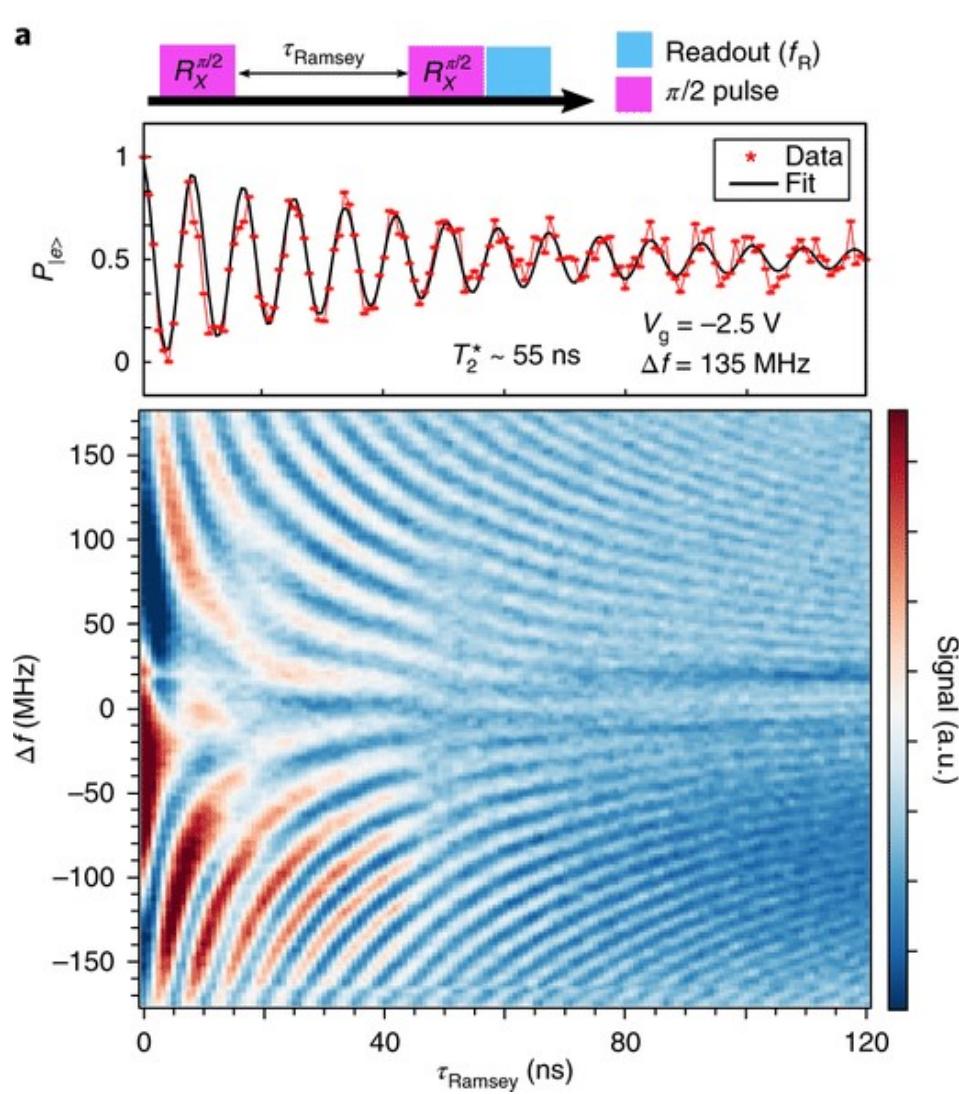
## 13.3 Mesures de décohérence: Expérience de Ramsey en résonnance



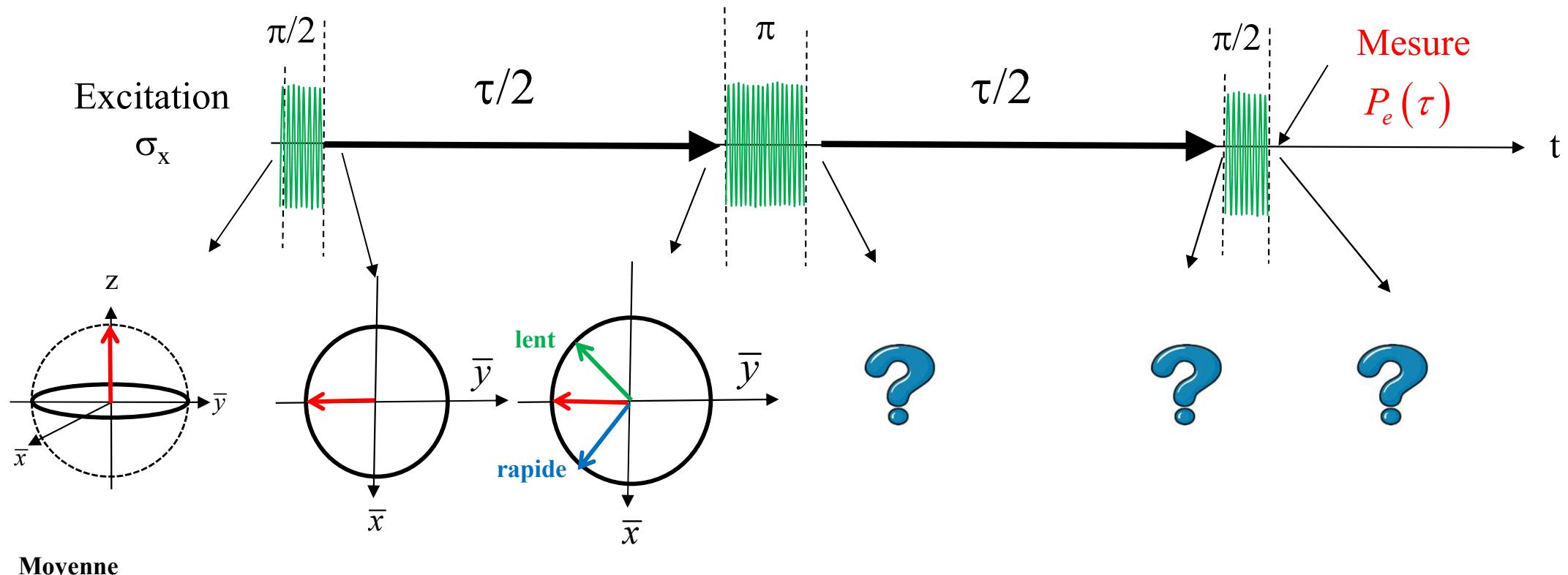
## 13.3 Mesures de décohérence: franges de Ramsey (**avec detuning**)



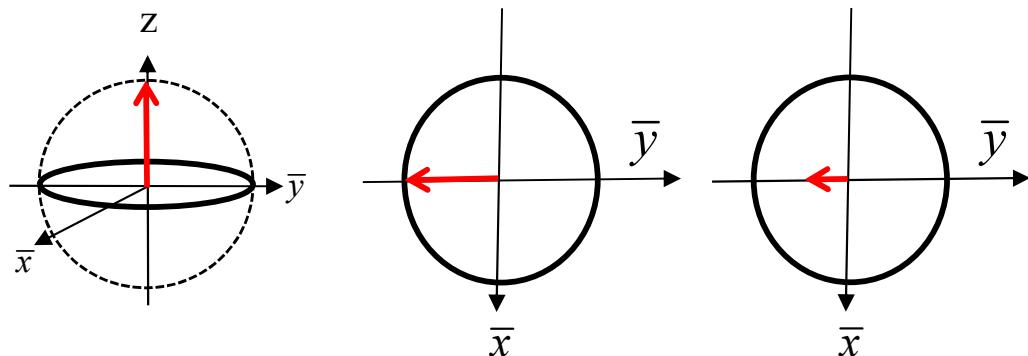
# 13.3 Mesures de décohérence: franges de Ramsey (avec detuning $\Delta f$ )



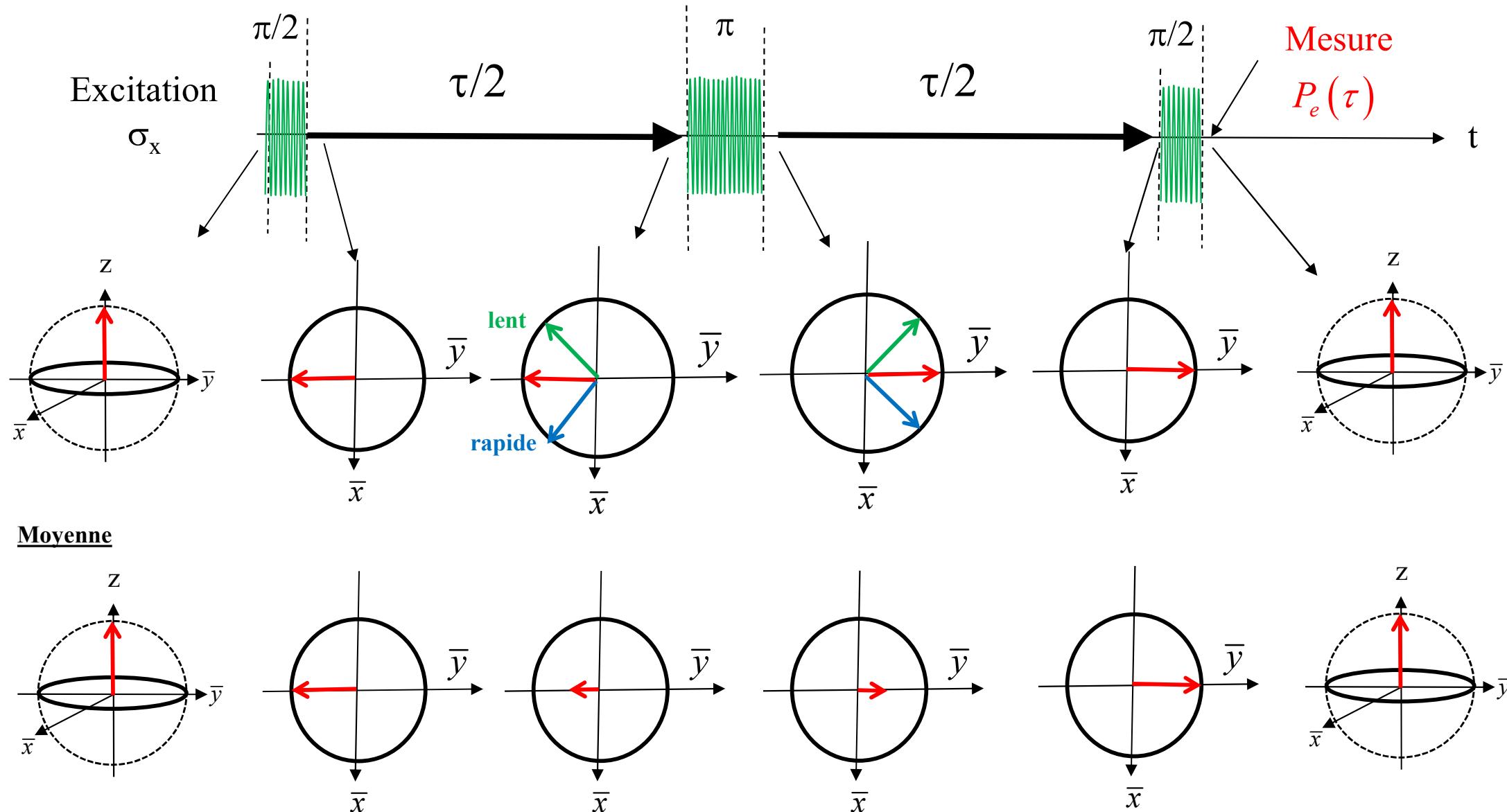
## Exercice 13.4: Mesures de décohérence: analysez ce cas: mesure de T2



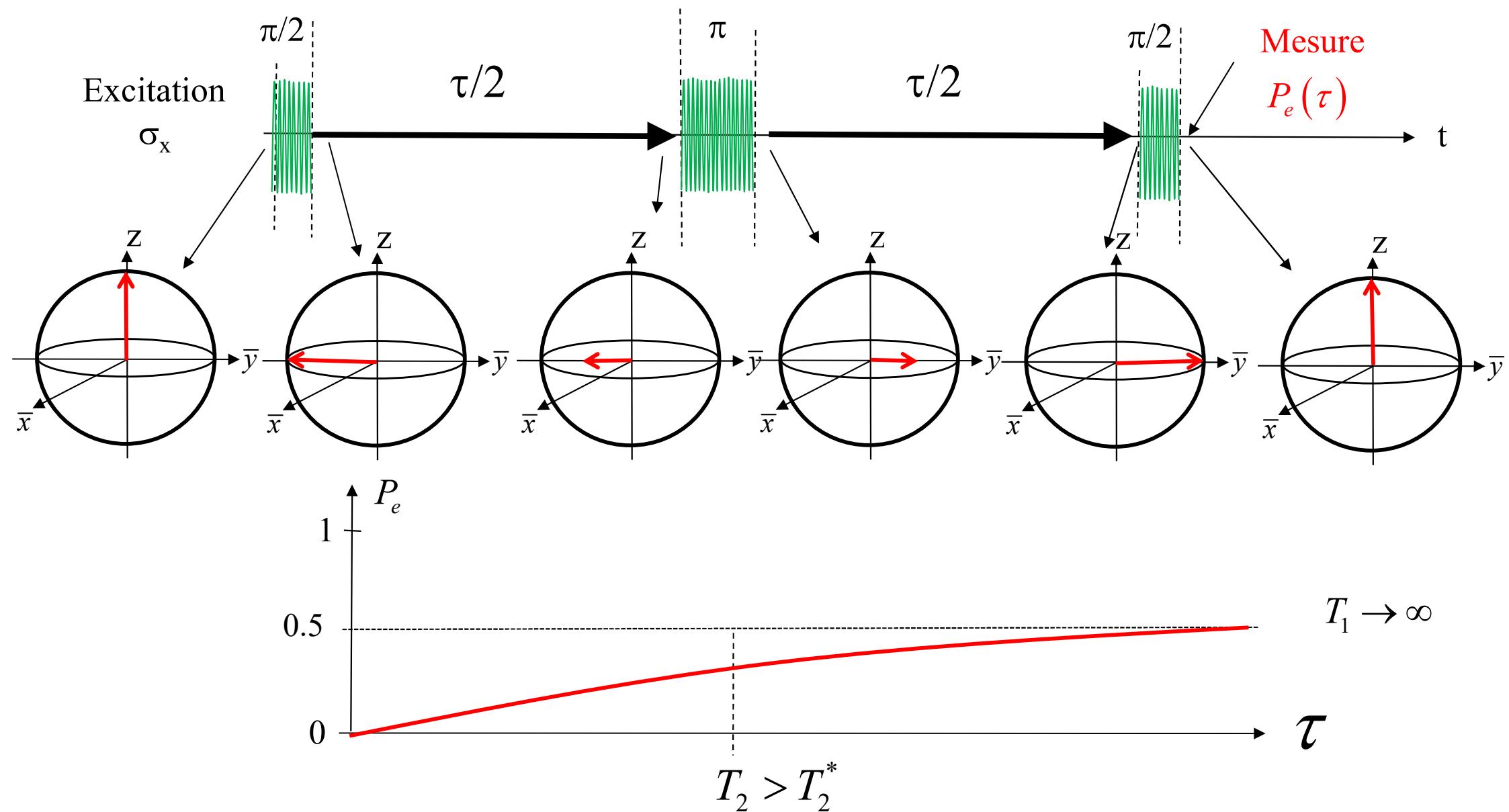
Moyenne



## 13.4 Mesures de décohérence: spin echo → refocusing



## 13.4 Mesures de décohérence: spin echo → refocusing



## 13.4 Transmon spin echo measurements

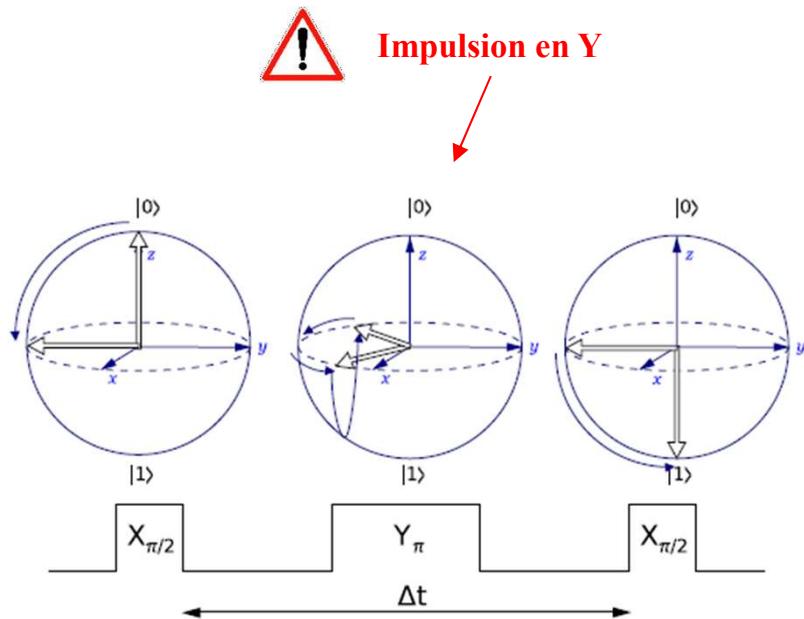


Figure 7: Top: Schematic representation of the spin echo technique: An extra  $\pi$  pulse around the  $y$  axis between the two  $\pi/2$  pulses brings the qubit in a symmetric position with respect to the  $y$  axis. During the second free precession, the qubit can refocus. Bottom: Pulse scheme of the spin echo sequence.

Aucune oscillation  
même avec detuning

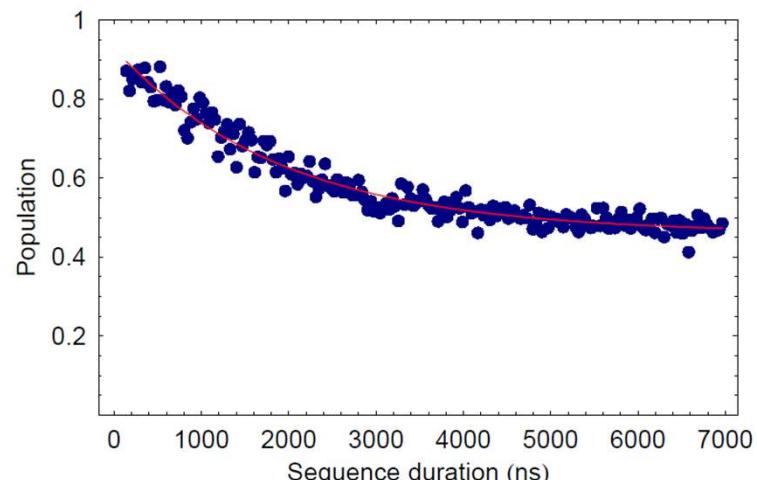


Figure 8: Spin echo experiment, where the  $\pi$  pulse is around the  $y$  axis, such that a direct plot of the decay is yielded. The dots are the experimental data, the solid line is an exponential fit. The  $T_2$  time obtained by the fit gives a value of  $\approx 1.9 \mu\text{s}$

Lars Steffen, "Spin echo measurements in a superconducting qubit", Semester work, ETH Zurich, Prof. Andreas Wallraff, 2007

