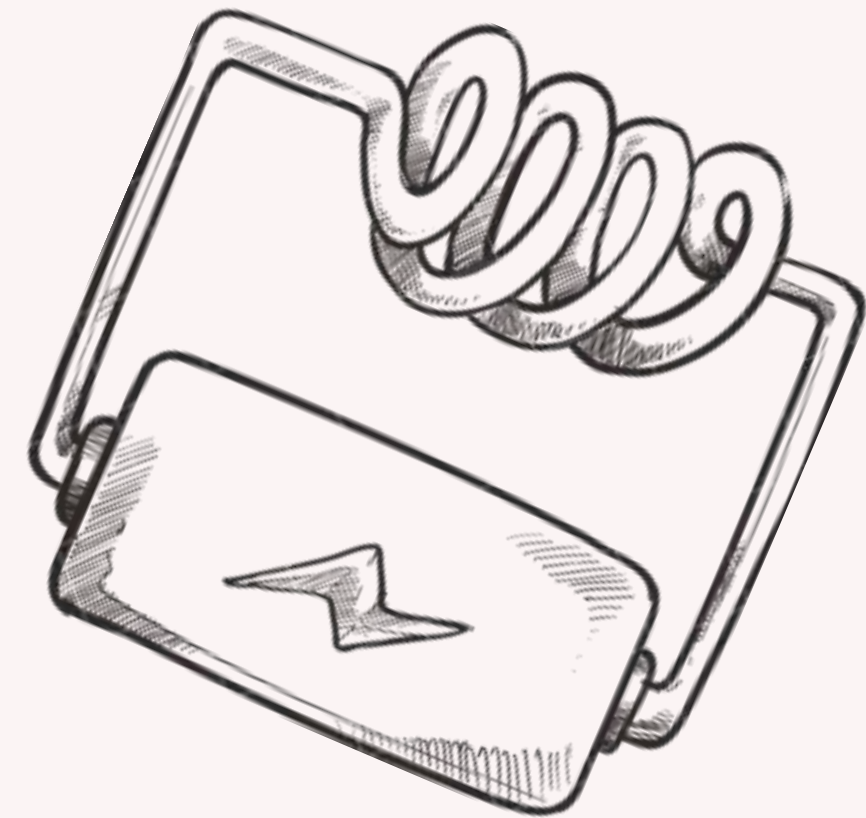


Physique Quantique

L'effet Tunnel Macroscopique



Problématique :

“ L’effet tunnel macroscopique, comment un phénomène quantique peut-il s’observer à notre échelle ”

I. Les principes de base de la mécanique quantique :

1. Dualité Onde - Corpuscule

$$\longrightarrow \lambda = \frac{h}{p}$$

2. Fonction d'onde et équation de Schrödinger

$$\longrightarrow i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = - \frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi$$

3. Courant de Ginzburg - Landau

$$\longrightarrow \vec{j} = \frac{q\hbar}{2mi} (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) - \frac{e^2}{mc} |\psi|^2 \vec{A} \text{ avec } \Psi = (\psi_1, \psi_2)$$

II. Effet tunnel quantique microscopique :

1. Définition

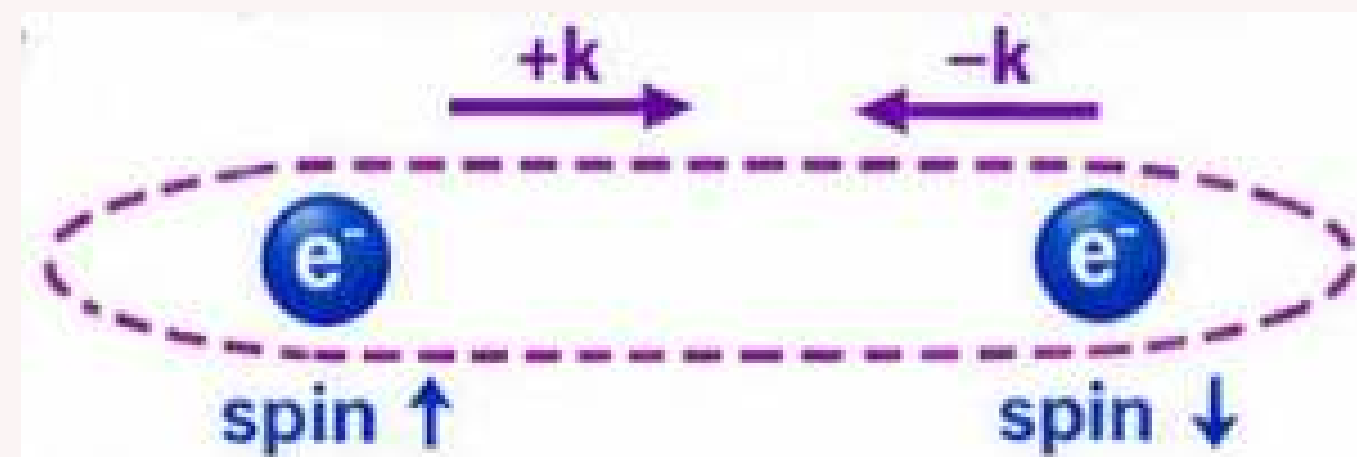
→ Barrière de potentiel

2. Particule dans un puits de potentiel

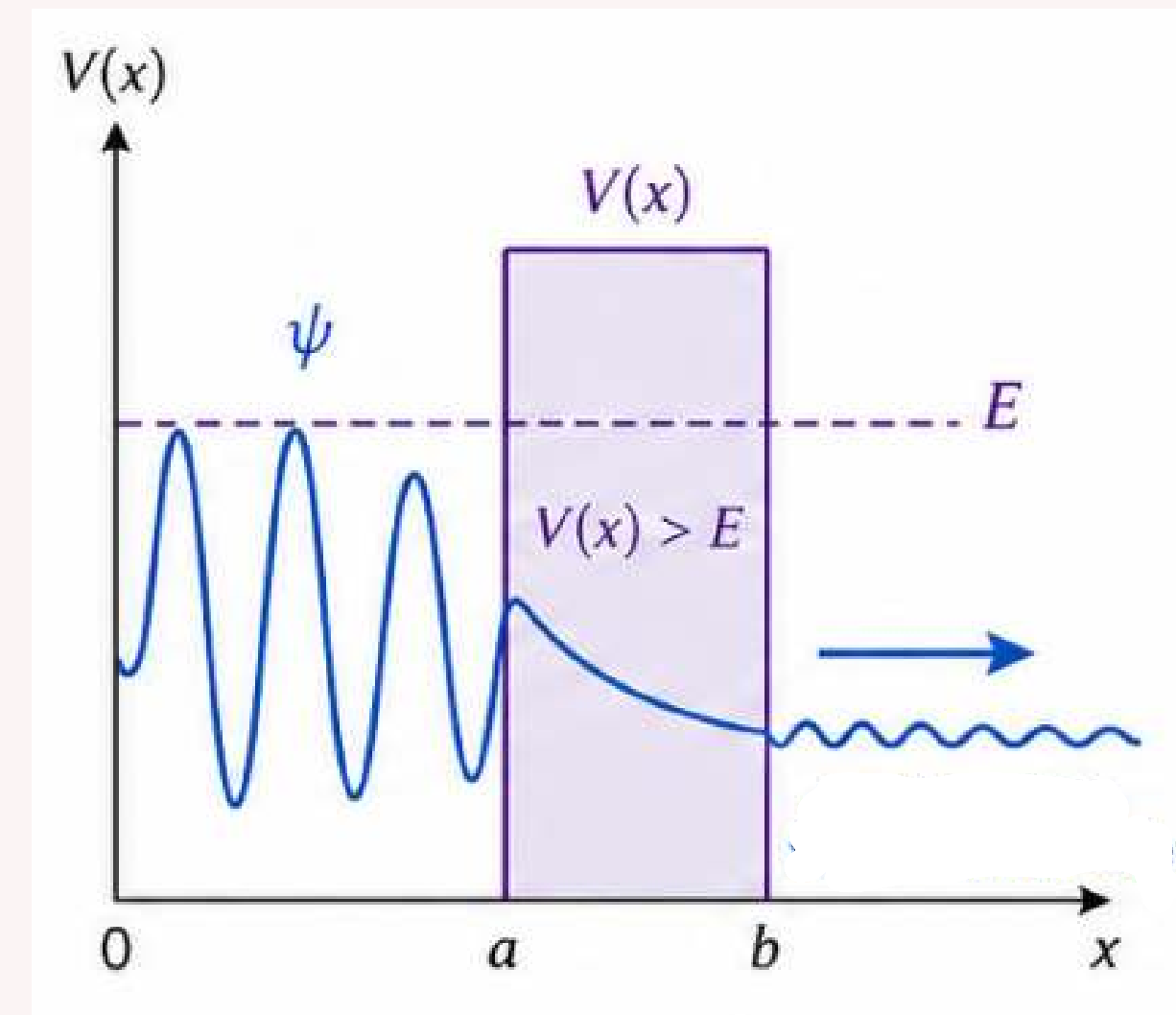
→ Définition d'un puits

3. Jonction de Josephson et Paires de Cooper

→ $I = I_c \sin(\phi)$



Paire de Cooper



Barrière de potentiel

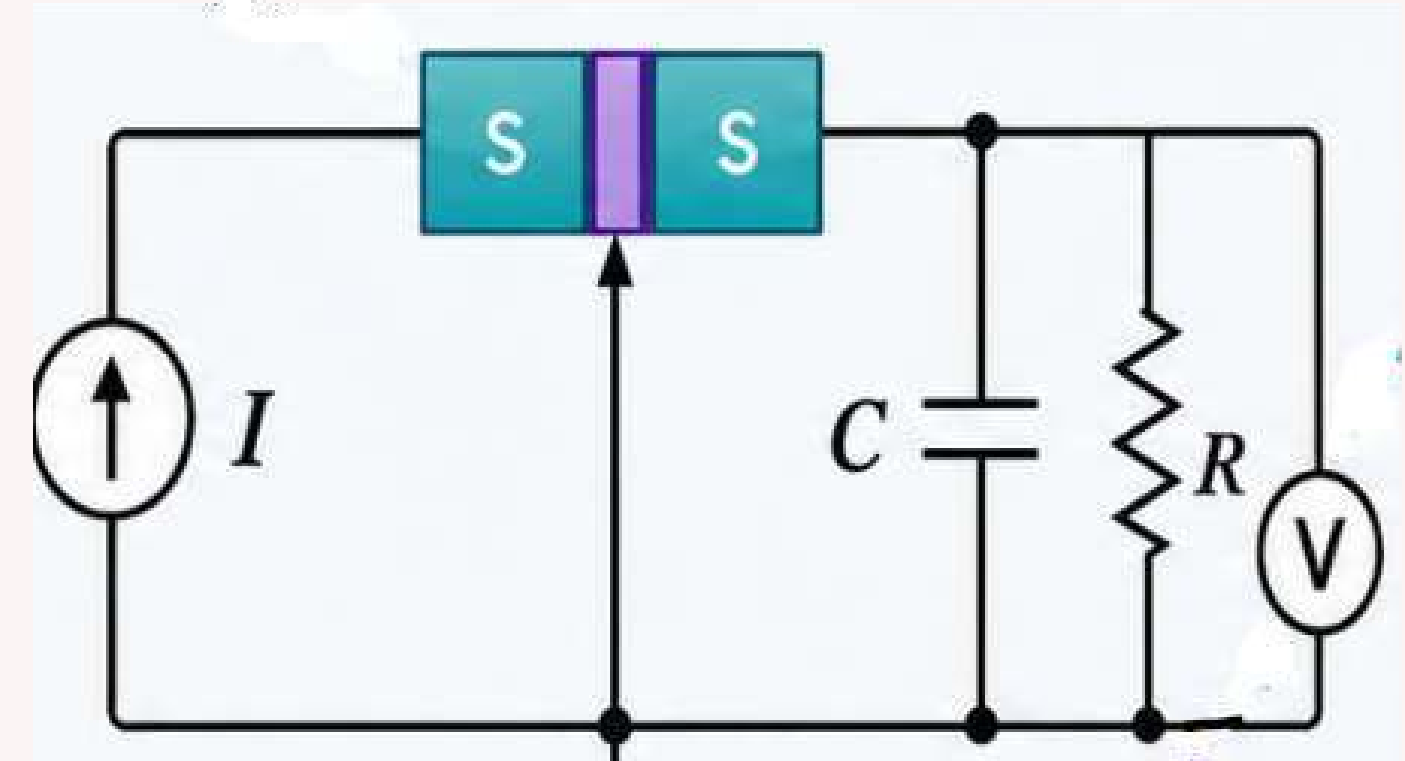
III. Effet tunnel quantique macroscopique :

1. Modèle RSJ - Resistivity Shunted Junction

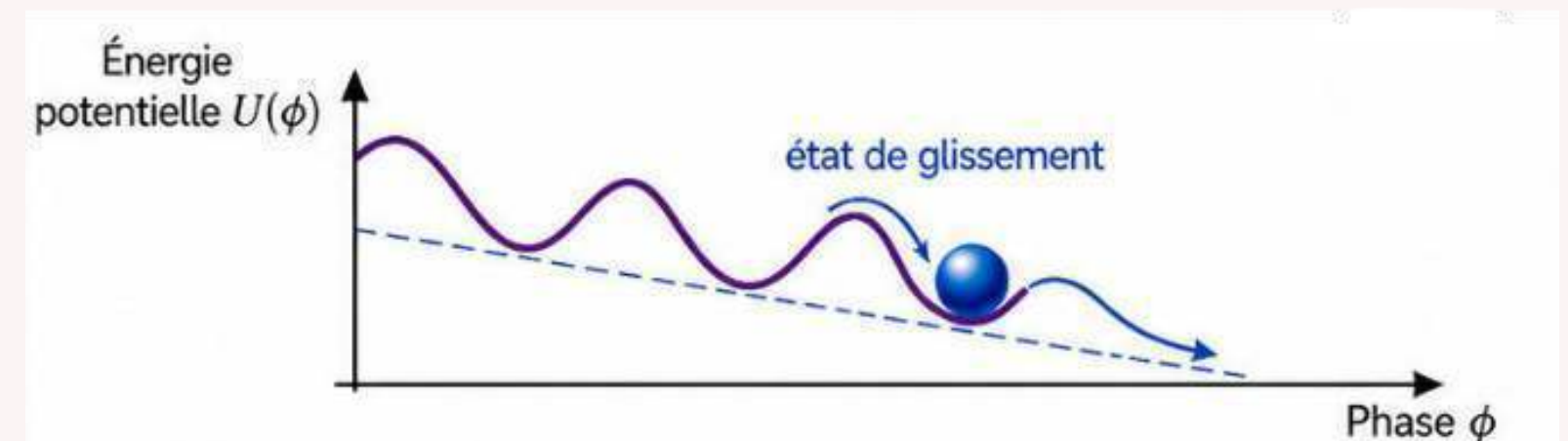
$$\longrightarrow I = I_c \sin(\phi) ; \frac{d\phi}{dt} = \frac{2\pi V}{\Phi_0} ; \Phi_0 = \frac{h}{2e}$$
$$\longrightarrow C \left(\frac{\Phi_0}{2\pi} \right)^2 \frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{1}{R} \left(\frac{\Phi_0}{2\pi} \right)^2 \frac{d\phi}{dt} + \frac{\partial U(\phi)}{\partial \phi} = 0$$

2. Potentiel de "Washboard"

$$\longrightarrow U(\phi) = - \frac{\hbar I_c}{2e} \cos(\phi) - \frac{\hbar I}{2e} \phi$$



Circuit électrique avec jonction de Josephson

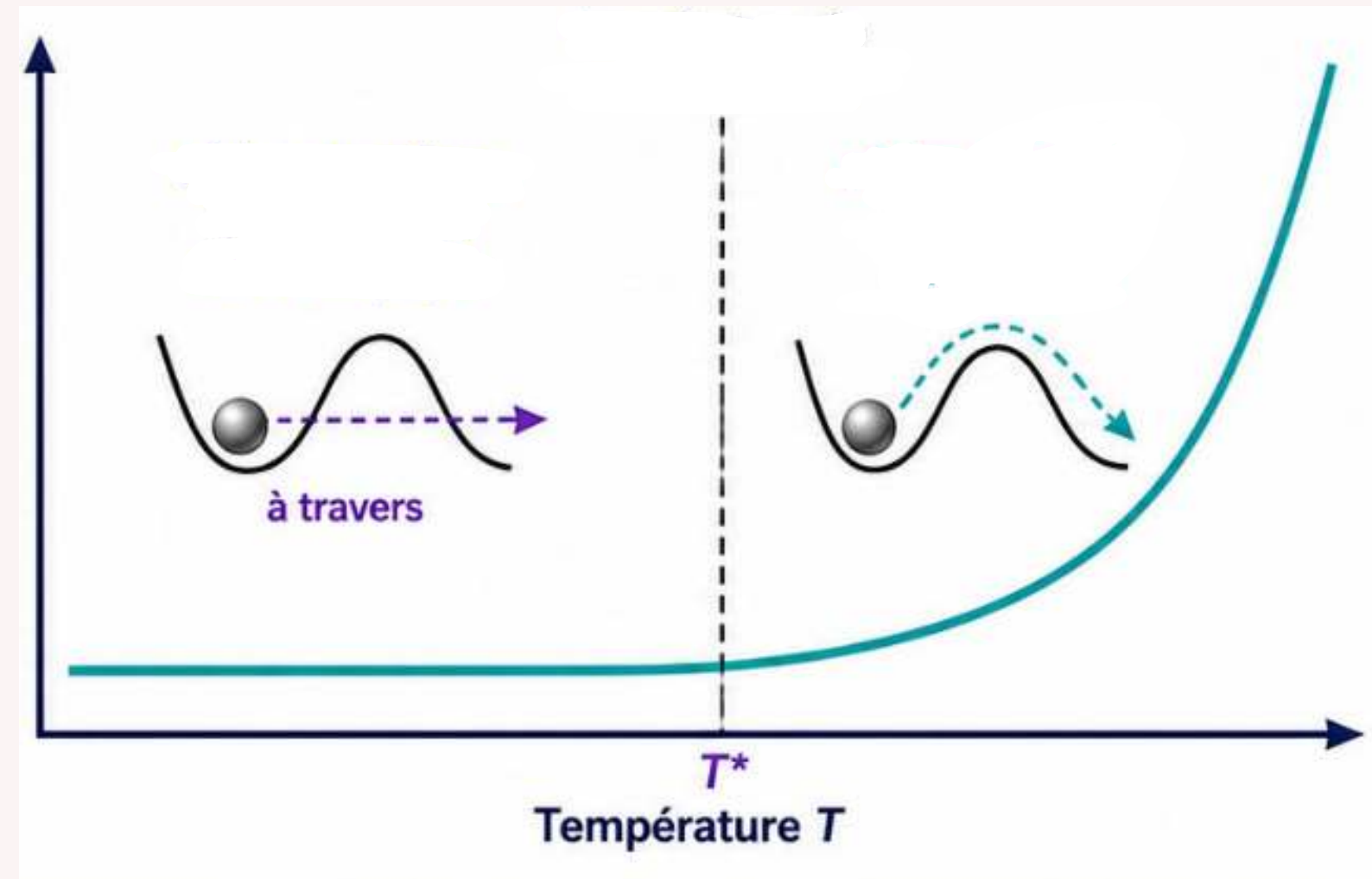


Potentiel de phase

III. Effet tunnel quantique macroscopique :

3. Limites

→ Rôle des basses températures



Température de crossover

Objectifs :

- Comprendre les principales idées de l'article des prix nobels
- Reformuler simplement ces idées pour une expérience “idéale”
- Etudier les limites de l'effet tunnel

Nobel Prize in Physics 2025



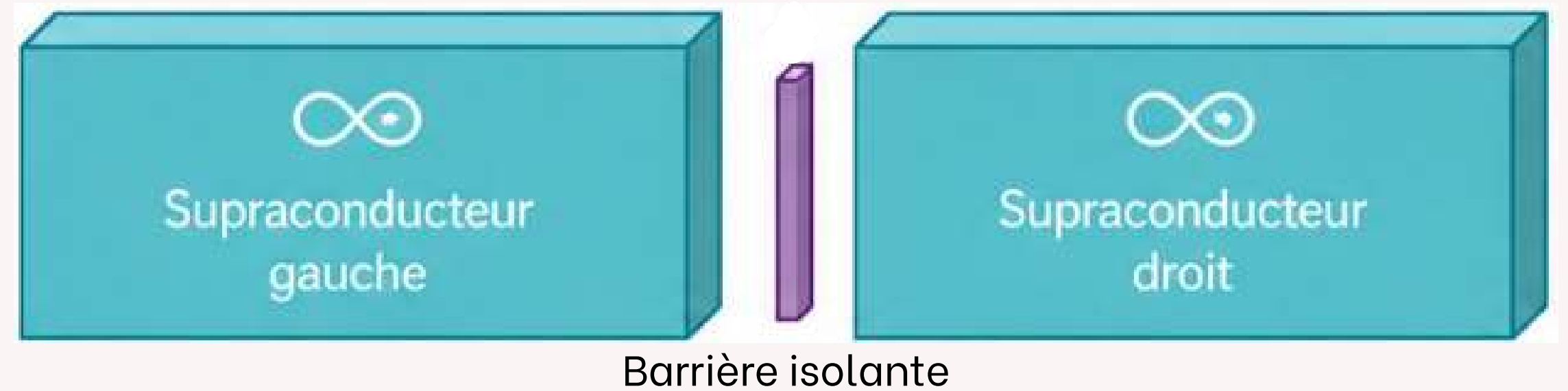
John
Clarke

Michel
Devoret

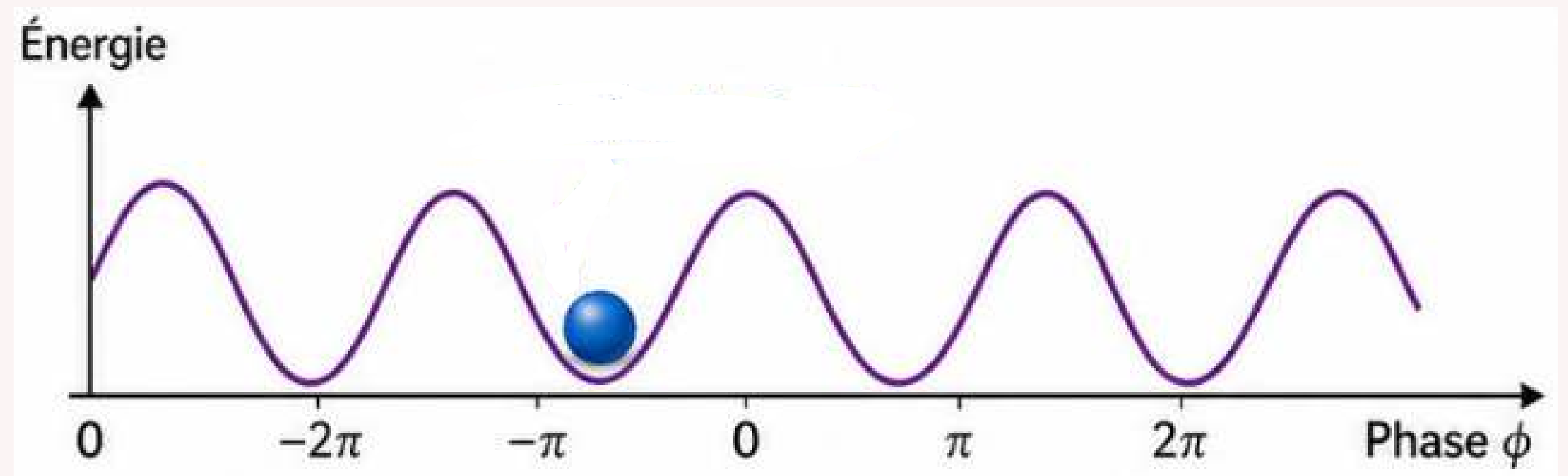
John
Martinis

Notion d'effet tunnel macroscopique :

→ Jonction de Josephson



→ Variable collective : ϕ



Sources :

Livre de mécanique quantique tome I, II, III de **Claude COHEN-TANNOUDJI**, CNRS édition.

Le cours de physique, mécanique quantique de **Richard FEYNMAN**, DUNOD édition.

J.B. Ketterson, S.N. Song. Supraconductivity. Cambridge Univ. Press, 1999.

Quantum Mechanics of a Macroscopic Variable: the Phase Difference of a Josephson Junction de **J.Clarke, A.Cleland, M.Devoret, D.Esteve, J.Martinis** - Science, Vol. 239, p.992-997, 1988.

Quantum Tunnelling in a Dissipative System de **A.Caldeira, A.Leggett** - Annals of Phys. 149, p.374-456, 1983.