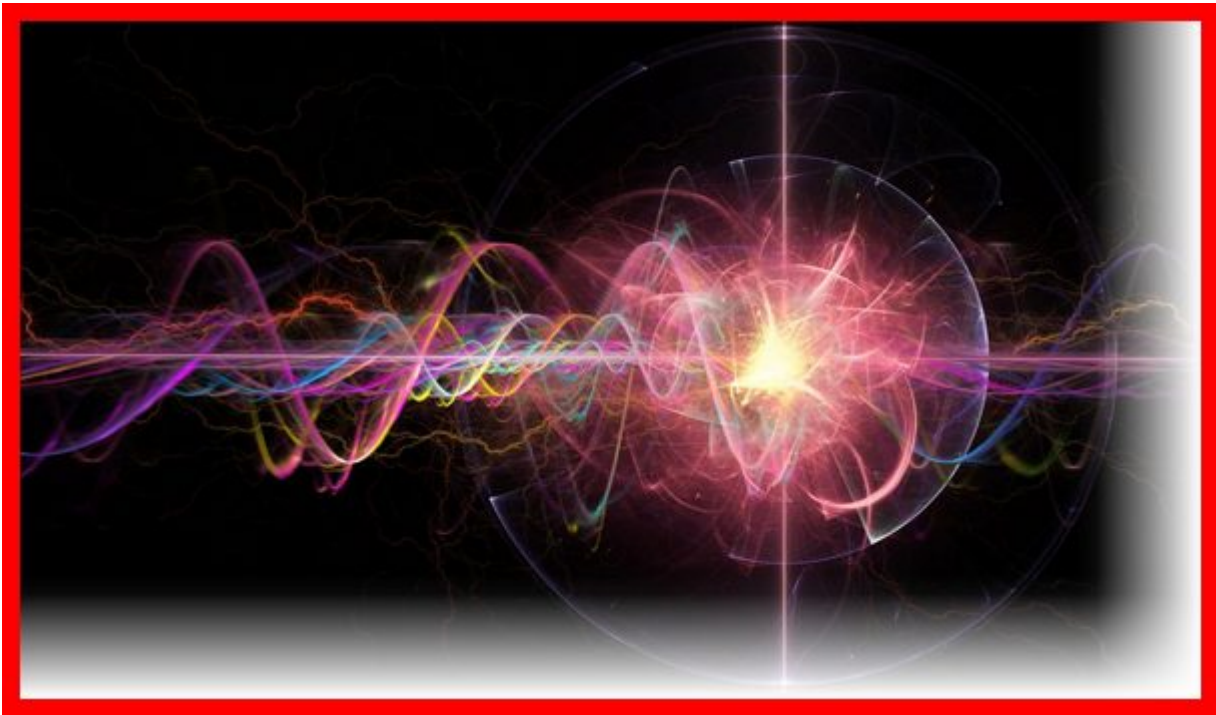


# La physique – mécanique et l'intrication quantique simplement expliquées 2 sur 3

écrit par Professeur Tetenlair | 9 novembre 2022



Lors de la première partie (que tu peux lire ou relire en

[cliquant ici](#)) nous avons vu ensemble la présentation de la physique – mécanique quantique et ce qu'elle contenait.

Nous avons élaboré ses principes fondamentaux, la notion de fonction d'onde et le principe de superposition.

Dans cette deuxième partie nous allons voir ensemble des notions fondamentales de la physique quantique :

- l'intrication quantique
- superposition cohérente d'états
- l'effet tunnel
- quantifier l'énergie quantique
- formulation mathématique de la mécanique quantique

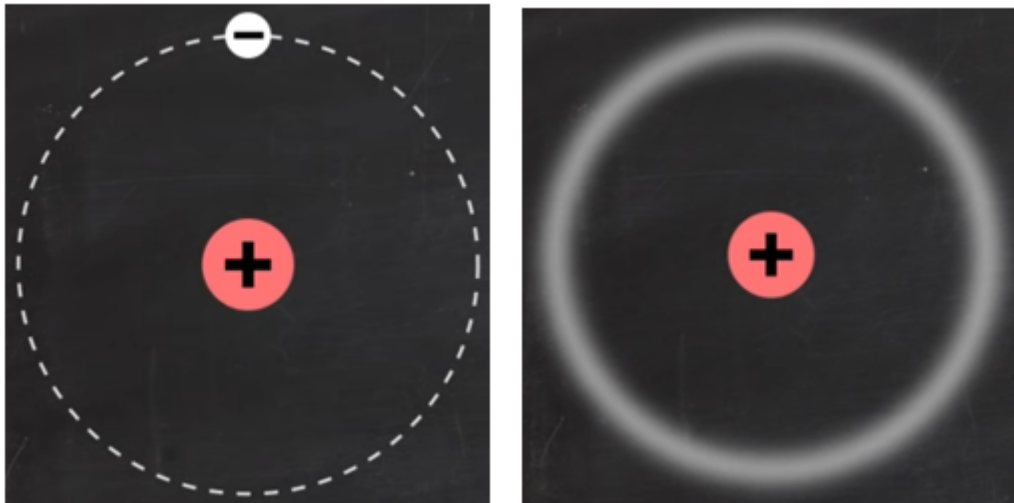
On y va ?

## **L'INTRICATION QUANTIQUE**

Une fois comprises les notions de fonction d'onde et de superposition, on peut aborder l'aspect principal, pourrait-on dire, de la mécanique quantique : **l'intrication quantique**. Ne t'inquiète pas mon cousin, tu vas comprendre.

**L'intrication quantique de deux objets se définit comme leur inséparabilité. Leur interdépendance radicale s'exprime par l'impossibilité de décrire chacun d'eux par une fonction d'onde (voir la première partie) séparée.**

**Une paire d'objets intriqués doit obligatoirement être considérée comme un système unique décrit par un état global qu'on ne peut pas décomposer en deux états distincts.** Un tel concept est assez facilement acceptable lorsqu'on étudie par exemple un électron en orbite autour d'un noyau atomique d'hydrogène. L'électron d'hydrogène ne tourne pas autour d'un proton comme on l'a appris à l'école, mais se trouve au même endroit et au même moment tout autour du proton de l'hydrogène.



Il devient en revanche très étonnant lorsqu'il s'applique à deux objets si éloignés l'un de l'autre qu'aucun signal physique (c'est-à-dire se propageant à une vitesse inférieure ou égale à celle de la lumière) ne peut les relier. L'application de ce principe de superposition au cas de deux photons amène au phénomène d'intrication.

### Explications.

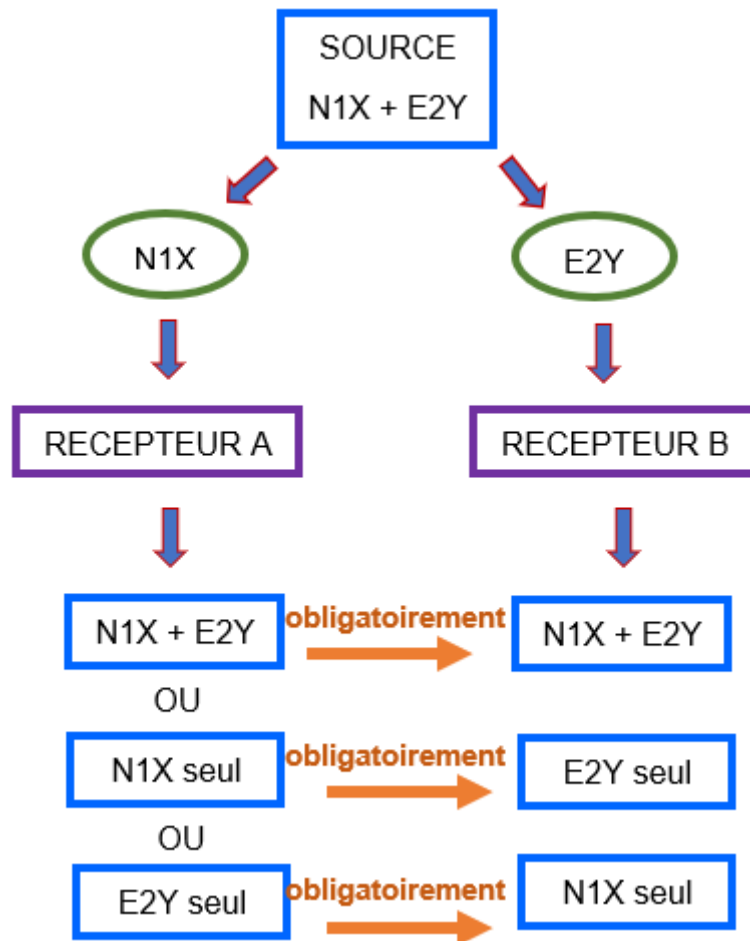
Soit une source qui produit deux photons dont les polarisations (= particules chargées libres mises en mouvement sous l'impulsion d'un champ électrique) sont obligatoirement différentes : l'état produit pourrait être décrit par la fonction d'onde N1X (Nord, photon n° 1, de la longueur d'onde X) ou par la fonction d'onde E2Y (Est, photon n° 2 de la longueur d'onde Y), mais il est en fait en général décrit par une superposition de la forme  $N1X + E2Y$ .

Le premier photon se propage jusqu'à un détecteur A, le second vers un détecteur B, A et B étant situés très loin l'un de l'autre. Lorsque A effectue sa mesure sur le photon numéro 1, il ne projette pas la fonction d'onde de ce seul photon, mais celle de tout le système  $N1X + E2Y$ .

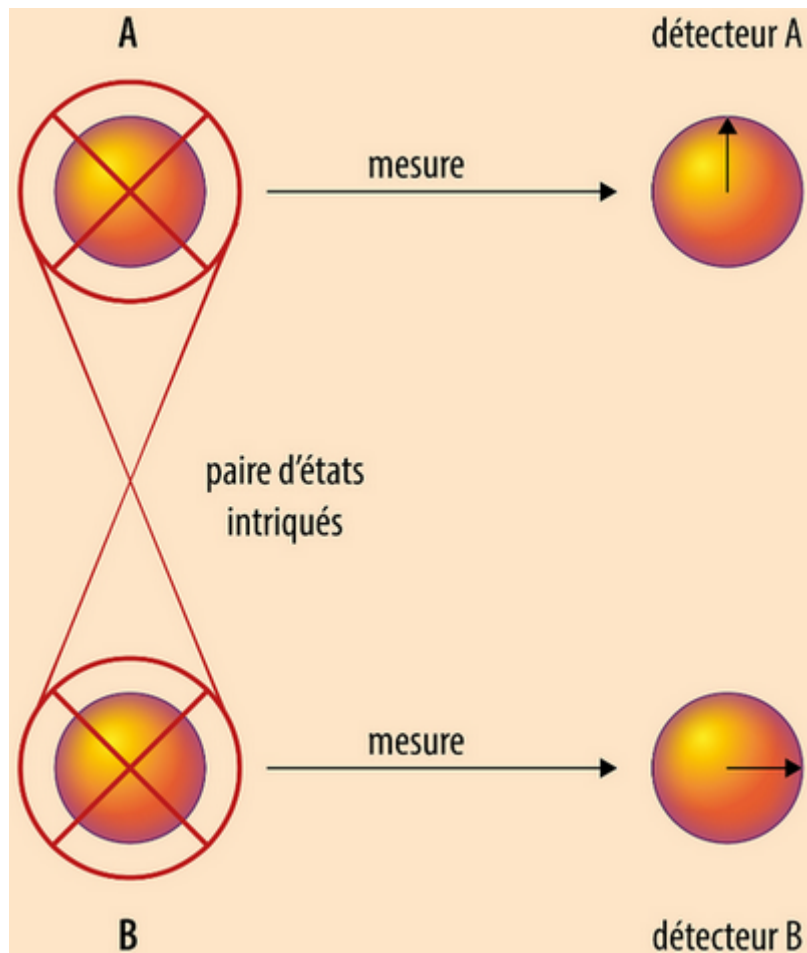
Par contre, si le détecteur A indique une polarisation nord, la fonction d'onde du système ( $N1X + E2Y$ ) devient uniquement N1X. Le détecteur B indiquera une polarisation du photon

numéro 2 obligatoirement est. Si le détecteur A indique une polarisation est, le détecteur B indiquera une polarisation du photon numéro 2 obligatoirement nord.

J'ai réalisé le petit schéma ci-dessous qui aide à mieux comprendre.



On voit donc que la polarisation du photon 2 est déterminée « à distance ». Les deux photons mesurés par les deux détecteurs, bien qu'éloignés, sont restés intriqués : la connaissance de la polarisation de l'un induit la valeur de la polarisation de l'autre.



### SUPERPOSITION COHÉRENTE D'ÉTATS

Si, en physique classique, l'état d'un système est parfaitement défini par la position et la vitesse de l'ensemble de ses composants – il ne peut être alors que dans un seul état à un moment et à un endroit donné – il n'en va pas de même en physique quantique. Un système quantique, tel qu'une simple onde-corpuscule, peut se trouver dans une superposition cohérente d'états, qui traduit la potentialité de tous ses états possibles. Sa présence à un endroit donné, son énergie deviennent alors probabilistes : ainsi, un atome peut être à la fois dans son état fondamental stable et dans un état excité (c'est-à-dire possédant une énergie supérieure, acquise par exemple par l'absorption d'un photon). Un photon peut être à un endroit et à un autre en même temps. On ne peut être certain qu'il est en un seul lieu que si l'on effectue

une mesure. Le processus de mesure impose alors à l'onde-corpuscule un état défini.

Le physicien Schrödinger a utilisé une image d'expérience de pensée, devenue célèbre pour mettre en avant le côté paradoxal d'objets dont on ne peut pas connaître l'état à tout moment. Il a imaginé un chat « quantique », enfermé dans une boîte sans fenêtre en présence d'un poison déclenché par un processus quantique. Tant que la boîte n'est pas ouverte, on ne sait pas si le processus quantique a déclenché le mécanisme, le chat est à la fois mort et vivant avec des probabilités dépendant du processus. Bien sûr, quand on ouvre la boîte le chat est soit mort, soit vivant. En regardant à l'intérieur, on fait une mesure qui nous permet de connaître l'état quantique du système.



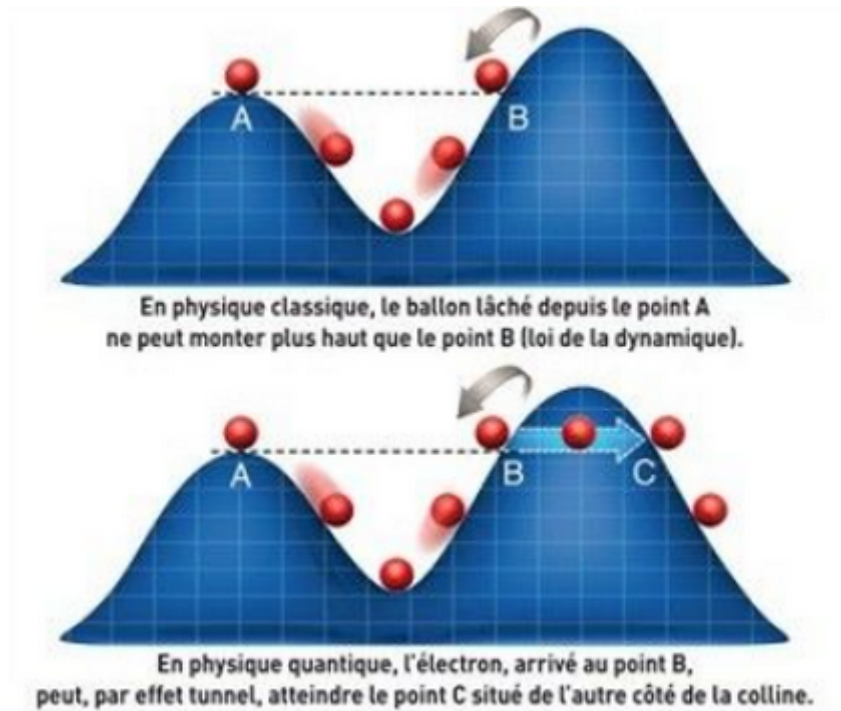
<https://resistancerepublicaine.com/wp-content/uploads/2022/10/le-chat-de-schrodinger.mp4>

### L'EFFET TUNEL

Comme tout le monde le sait, quand on fait une soirée chez soi et qu'on met la sono à fond, les voisins entendent la musique de façon atténuée, mais entendent quand même. Cela veut dire que certaines ondes de la musique ont traversé le mur comme s'il existait des petits tunnels, d'où l'expression « l'effet tunnel ».

Il en est de même pour la mécanique quantique et les ondes des objets. Un obstacle, une petite partie des ondes traverse ledit obstacle, et donc certains électrons se retrouvent de l'autre côté de l'obstacle.

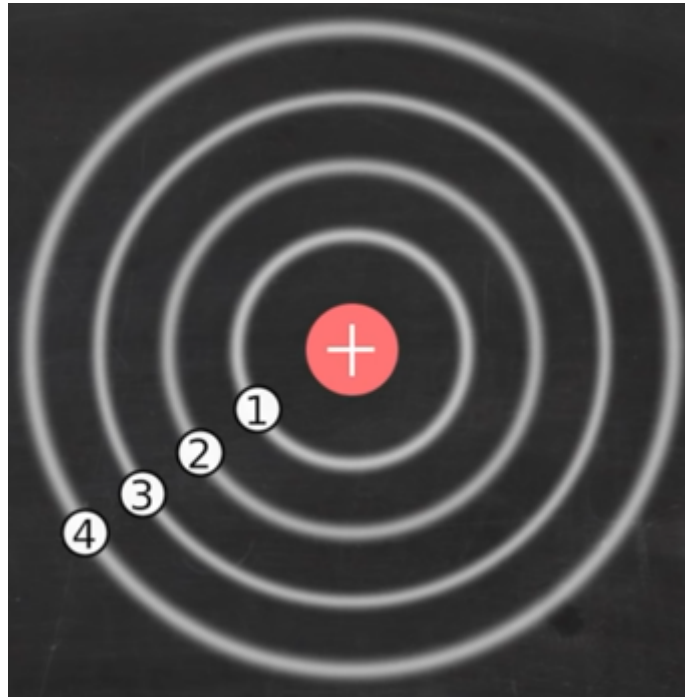




## QUANTIFIER L'ÉNERGIE QUANTIQUE

L'énergie joue une place également importante. Dans le macroscopique, l'énergie des objets peut varier à volonté et nous en avons la maîtrise. En mécanique quantique (parfois appelé mécanique ondulatoire), les choses sont différentes, l'électron ne peut pas varier son énergie en tournant autour du proton. Pour simplifier, on peut dire qu'il a quelques orbites sur lesquels il peut tourner et être présent partout sur l'orbite, mais il ne peut pas avoir une graduation d'énergie régulière. Elle sera, dirons nous, par paliers.

Les orbites sont ainsi numérotées de 1 à 4 afin de connaître les différentes énergies de l'électron, la position 1 étant l'énergie la plus faible.



## FORMULATION MATHÉMATIQUE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

La mécanique quantique, y compris ses propriétés probabilistes, repose sur des formulations mathématiques. Il n'y a pas de philosophie ni d'improvisation contrairement à ce que l'on pourrait croire.

$$\frac{E_0}{\hbar} = \frac{d(\hbar\omega)}{d(\hbar k)} = \frac{dE}{dp}, \quad E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}, \quad \frac{dE}{dp} = \frac{pc^2}{E} = \frac{m_0 v c^3}{m_0 c^2} = v, \quad u = \frac{pc}{E} = \frac{\hbar c \omega}{\hbar c k} = \frac{m_0 c^2}{m_0 c^2} = 1$$

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left( \Delta \psi = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right), \quad \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} E \psi, \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \left( \frac{1}{\hbar} \right)^2 p^2 \psi = -\frac{1}{\hbar^2} p^2 \psi, \quad E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

$$\Psi(x, y, z, t) = \psi(x, y, z, t) e^{-i(E/\hbar)t}, \quad \Psi(x, t) = A e^{-i(\hbar k)(Et - p_x x)}, \quad E = \hbar^2 k^2 / 2m = p_x^2 / (2m), \quad |\Psi|^2 = \Psi \Psi^*$$

$$-U\psi = 0, \quad \psi(0) = \psi(l) = 0, \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0, \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + k^2 \psi = 0, \quad k^2 = 2mE/\hbar^2, \quad \psi(x) = A \sin kx, \quad \int_0^l \sin^2 \frac{n\pi}{l} x dx = \frac{l}{2}, \quad A = \sqrt{2/l}, \quad \psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

$$e^{ikx} + B e^{-ikx}, \quad \psi_2(x) = A_2 e^{ikx} + B_2 e^{-ikx}, \quad \psi_1(x, t) = \psi_1(x) e^{-i(E_1/\hbar)t} = A_1 e^{-i(\hbar k)(Et - p_x x)} + B_1 e^{-i(\hbar k)(Et + p_x x)}$$

$$U = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2, \quad \psi(x, t) = \sum_n c_n \psi_n(x) e^{-i(E_n/\hbar)t}, \quad \psi(x, t) = \sum_n c_n \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x e^{-i(E_n/\hbar)t}$$

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2, \quad \psi(x, t) = \sum_n c_n \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x e^{-i(E_n/\hbar)t}, \quad \psi(x, t) = \sum_n c_n \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x e^{-i(E_n/\hbar)t}$$

$$E_1 = \frac{1}{2} \hbar \omega, \quad E_2 = \frac{3}{2} \hbar \omega, \quad E_3 = \frac{5}{2} \hbar \omega, \quad U_n + \Delta U_n = \int dV \psi_n^*(r_1) \psi_n(r_2) \frac{e^2}{r_{12}} \psi(r_2) \psi(r_1),$$

$$E_{23} = -B \sum_n \cos(2\theta_n - 2\theta_{n+1}), \quad V = 2S^2 \sin(\theta_n + \theta_{n+1}), \quad M = -\partial E / \partial \theta = [\chi_n + \chi_{n+1} + \dots]$$

$$E_c(\theta) = -K_{12} \cos(\theta), \quad \frac{d^2 d}{dt^2} \approx \sum f(Q)$$

Voilà, ami passionné d'astronomie et des sciences, je te laisse digérer ces quelques explications. La mécanique quantique n'est pas intuitive. Il faut relire plusieurs fois



les textes pour commencer à la comprendre.

Nous terminerons la prochaine fois par la troisième partie.

Bye bye !

**Professeur Têtenlair**