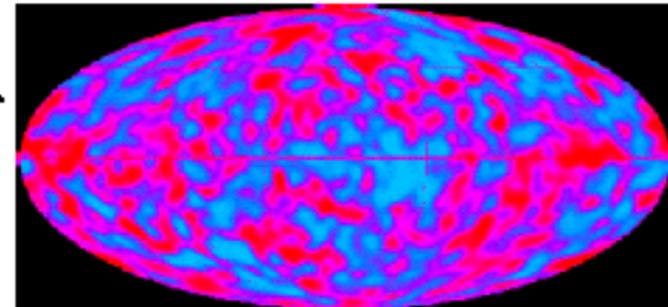


10^{-35} Mètre



Super cordes
(constituants
élémentaires
hypothétiques de
l'univers)

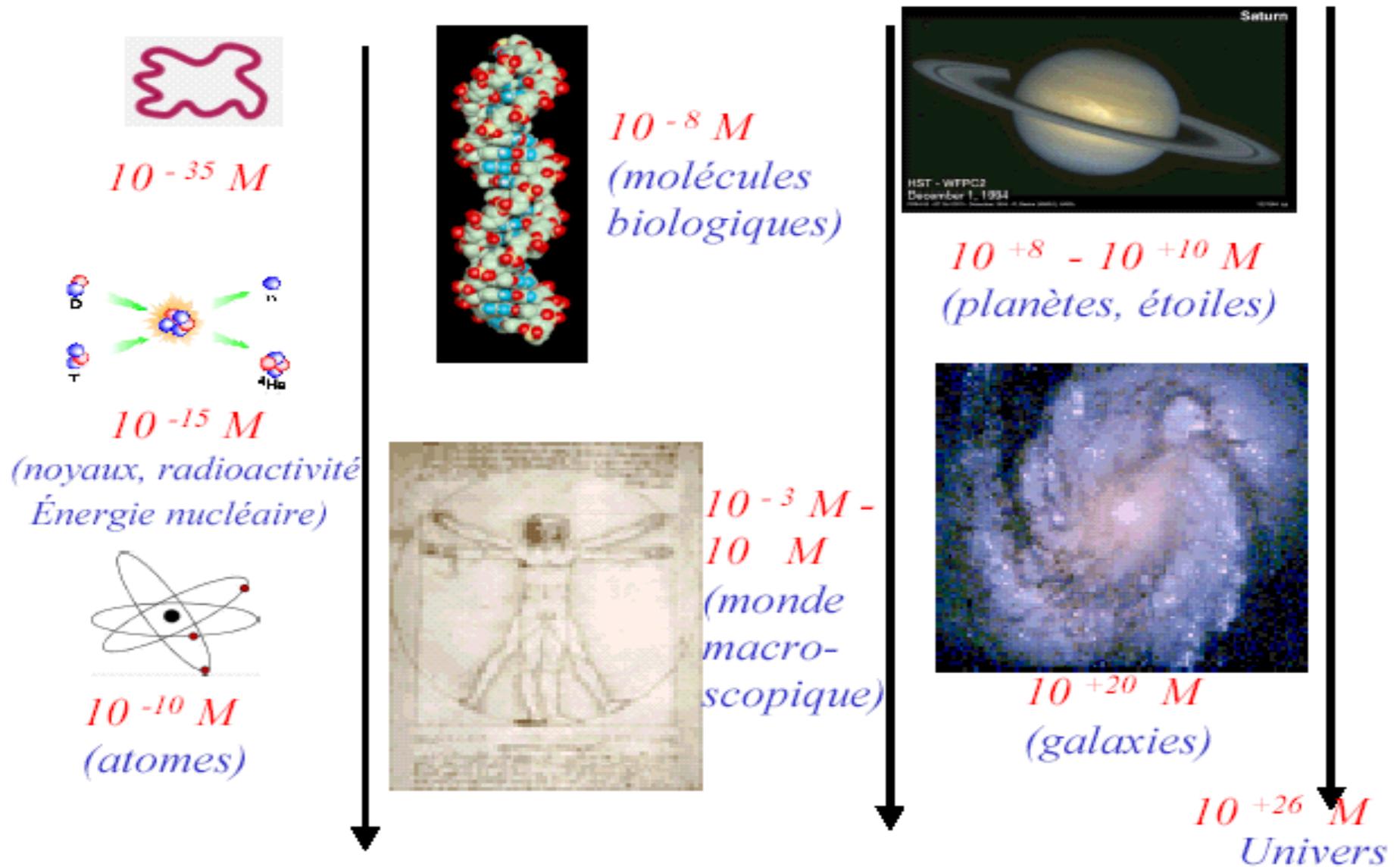
*La physique quantique couvre plus de
60 ordres de grandeur!*



10^{+26} Mètre



*Carte des fluctuations du
rayonnement thermique micro-
onde de l'univers*



Quelques caractéristiques de la physique quantique:

- Sa précision (électrodynamique quantique):



Moment magnétique de l'électron: $1,001159652188 \dots (q \hbar / m)$.

- Son unité:

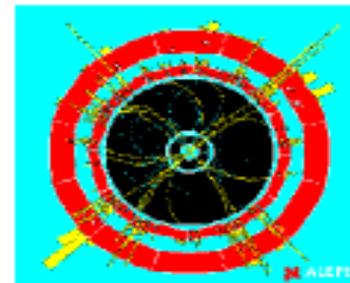
Unification dans le modèle standard de l'électromagnétisme et des interactions faible (radioactivité) et forte (énergie nucléaire)

Espoir d'inclure la gravitation (théorie des super-cordes?)

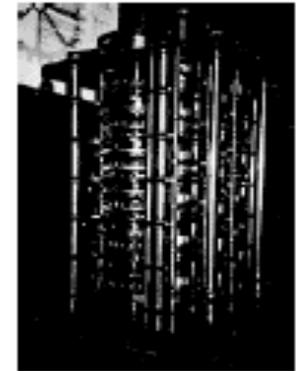
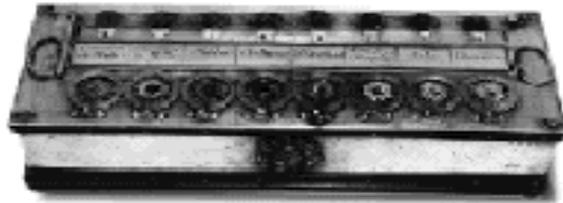
- Son universalité:

Les atomes, les molécules, les photons sont les mêmes partout dans l'Univers

- Relations entre infiniment petit et grand (cosmologie et particules)

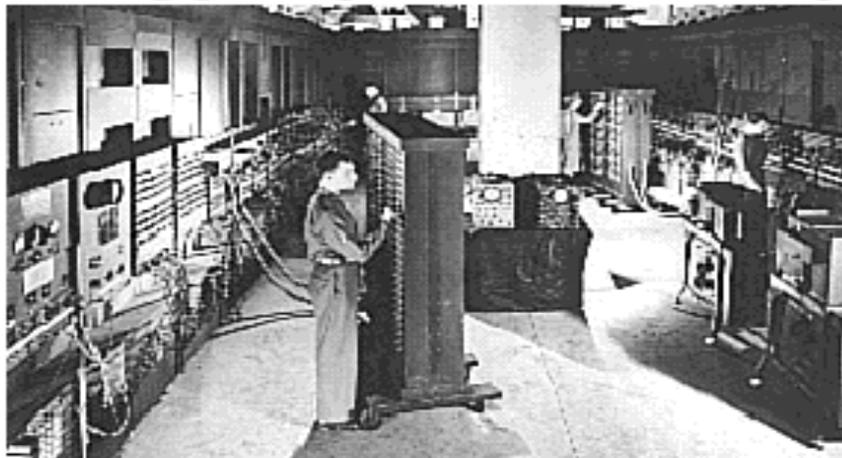


La technologie « classique » a conduit...



...de la machine mécanique de Pascal (1650)... ..à celle de Babbage (1840)...

..et au gigantesque calculateur électrique à lampes ENIAC (1948)....

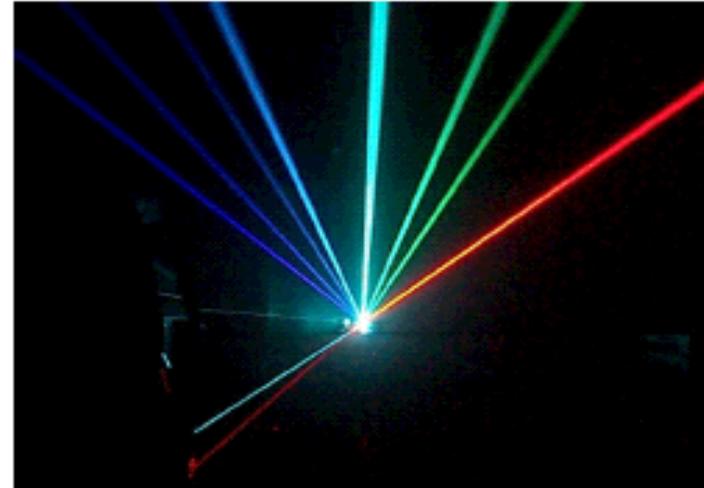
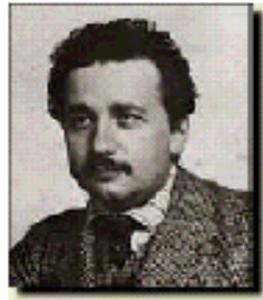


Léon Brillouin

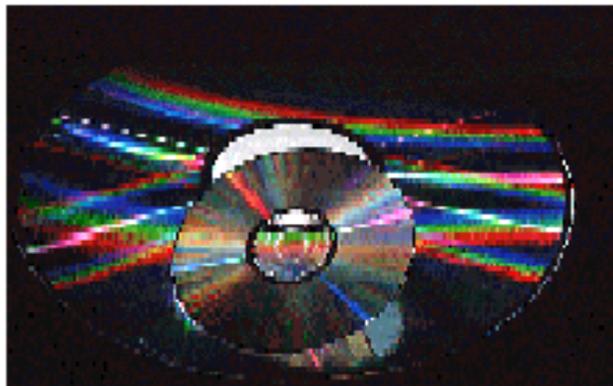
...atteignant une limite pratique que seule la technologie « quantique » du transistor intégré a permis de franchir



Le laser dont le principe remonte aux travaux d'Einstein sur l'émission stimulée (1917)...

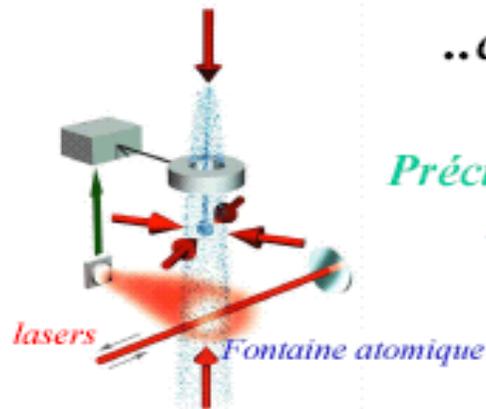


...a conduit à de très nombreuses applications...



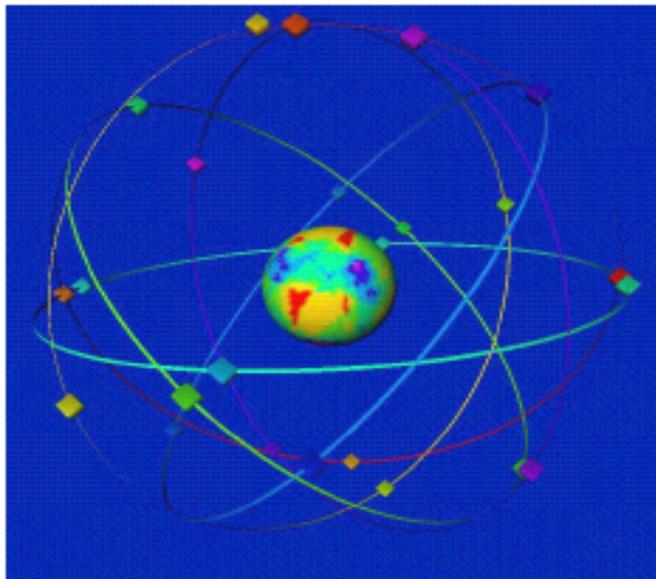
La mesure précise du temps, basée sur les principes de la physique quantique (horloges atomiques)...

..conduit à des applications pratiques importantes



Précision d'une seconde sur 10 Millions d'années!

Système de navigation GPS basé sur la triangulation à l'aide de satellites porteurs d'horloges atomiques

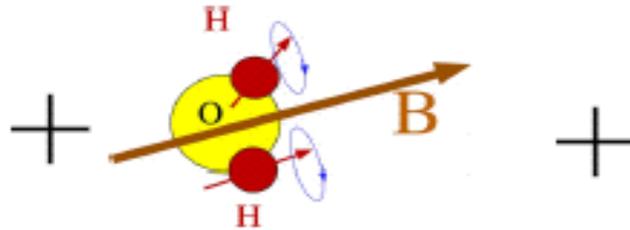


Repérage possible n'importe où à quelques centimètres près!

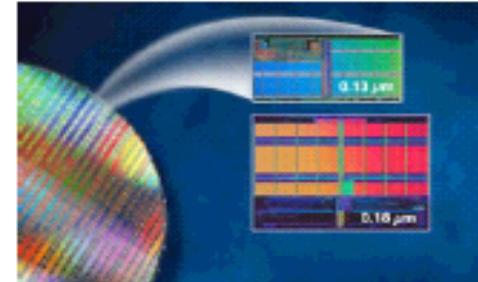
L'IRM est la combinaison de trois technologies à base quantique:



Aimants supraconducteurs

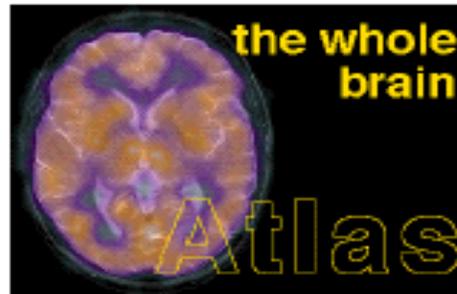


*Résonance magnétique
des protons (H) dans un
champ magnétique B*

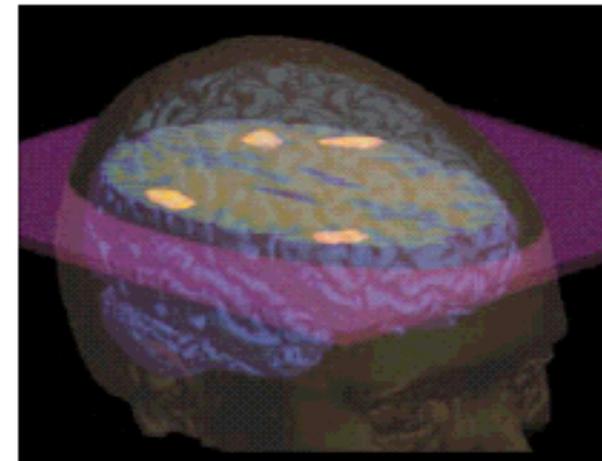


*Circuits intégrés semi-
conducteurs pour la
reconstruction des images*

→ *Imagerie par
résonance
magnétique
(IRM)*

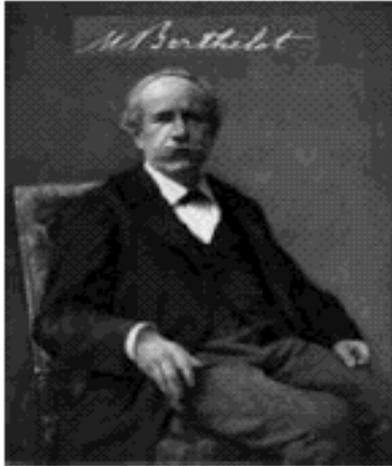


Images statiques...

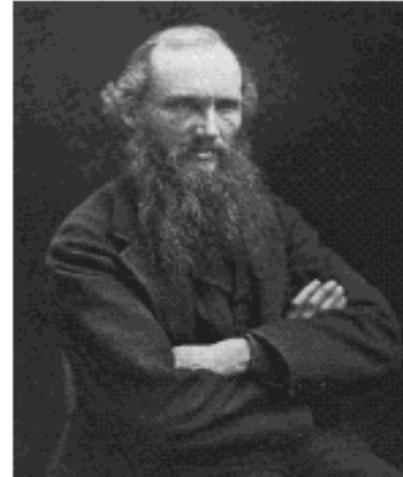


*...ou dynamiques
(le cerveau en action..)*

Il y a cent ans l'existence des atomes était controversée....



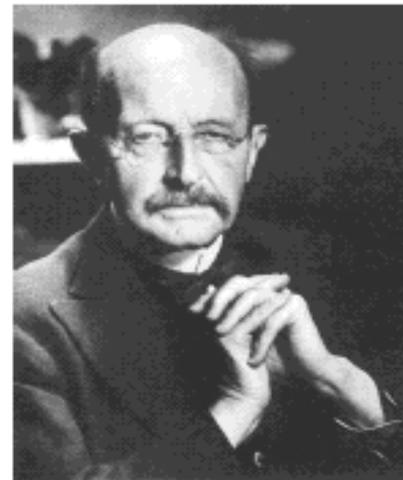
*Marcellin
Berthelot ne
croyait pas aux
atomes....*



*Lord Kelvin et
les « deux
petits nuages »
dans le ciel
bleu de la
physique de
1900*

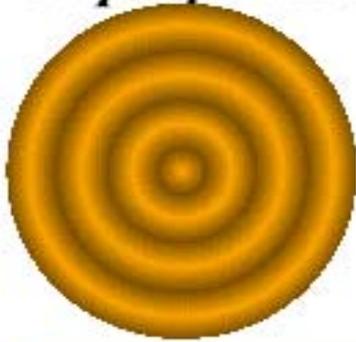


*Boltzmann, fondateur
de la thermodynamique
statistique était, lui, un
atomiste convaincu*



*Planck et la
quantification du
rayonnement
thermique (1900)*

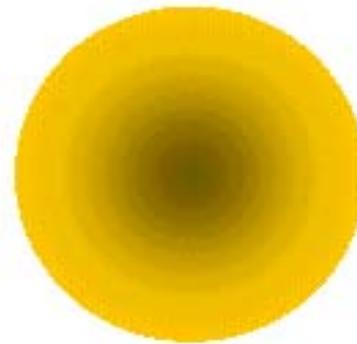
Superpositions d'états et fonction d'onde



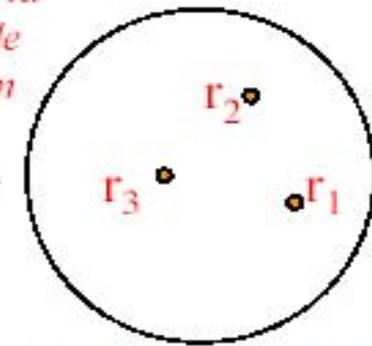
Dans l'atome d'H, l'électron est dans une superposition d'une infinité de positions possibles, à l'intérieur d'un volume sphérique dont le diamètre est de l'ordre de 1 Angström

$\Psi(r_2)$
 $\Psi(r_3)$
.
.

Fonction d'onde Ψ obéissant à l'équation de Schrödinger



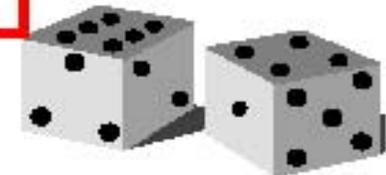
Mesure de la position de l'électron



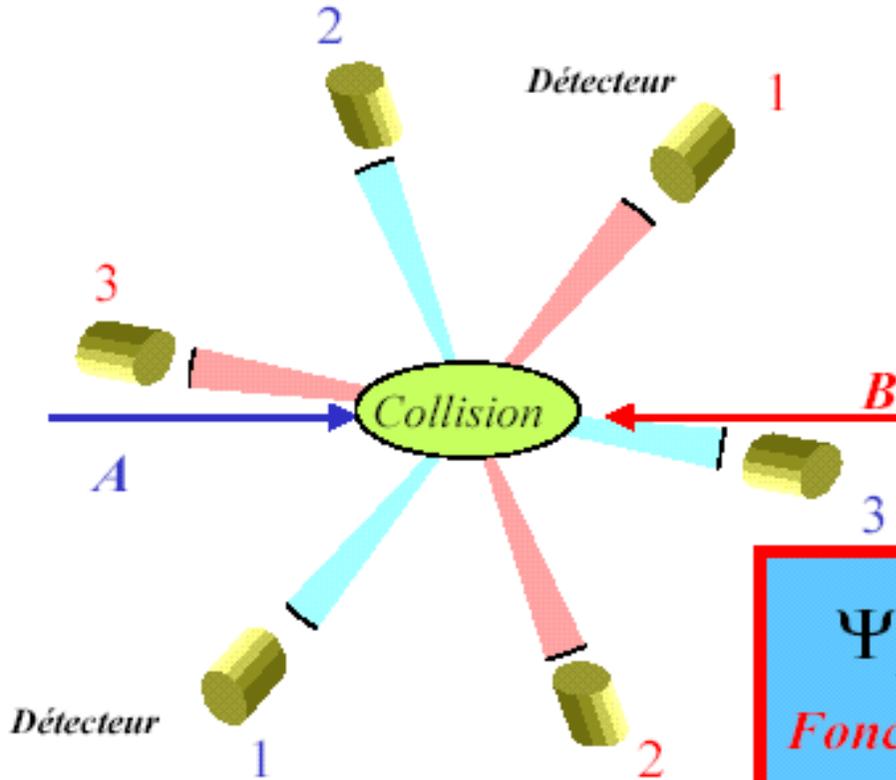
Résultat aléatoire

Probabilité $P(r) = |\Psi(r)|^2$

Dieu joue aux dés.... (Einstein n'aimait pas cela..)



Paradoxe **EPR** (**E**instein-**P**odolsky-**R**osen)

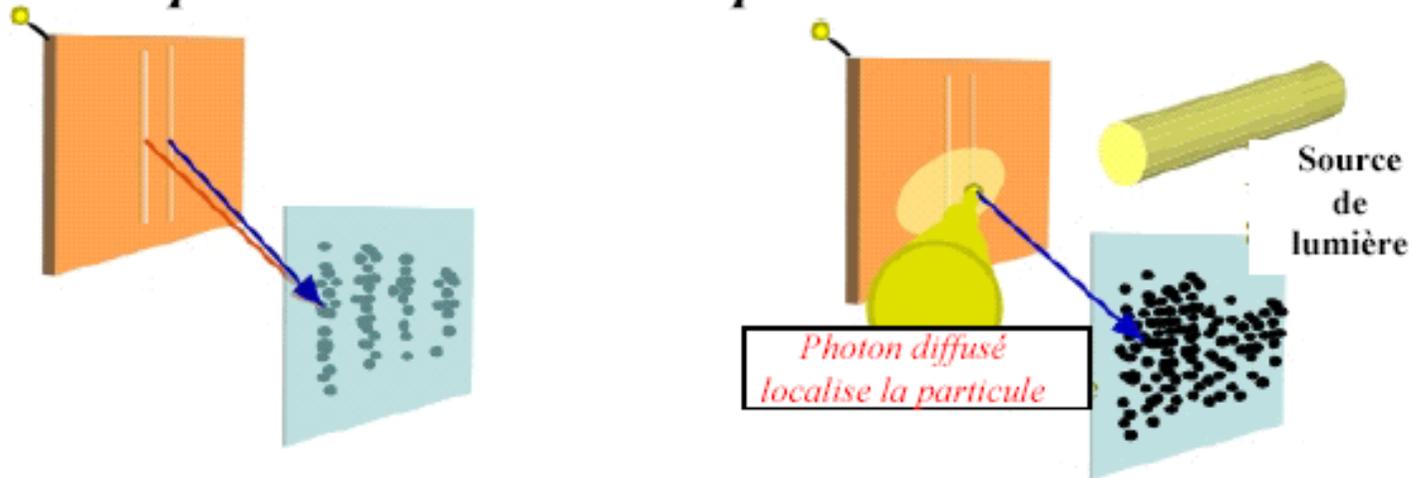


$$\Psi_{AB} = \Psi_A(1)\Psi_B(1) + \Psi_A(2)\Psi_B(2) + \Psi_A(3)\Psi_B(3)$$

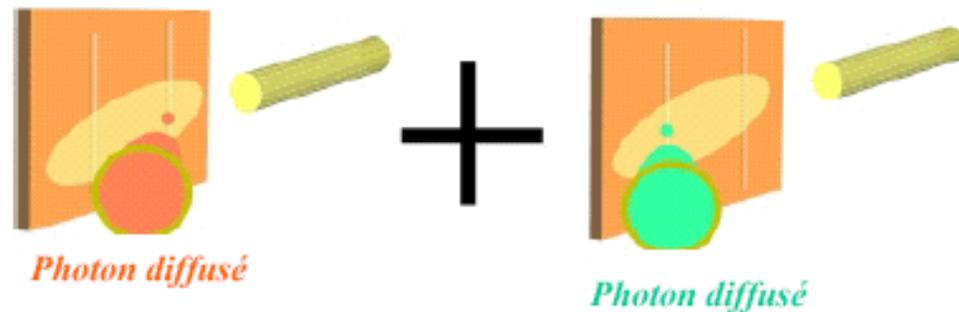
$\Psi_{AB} \neq \Psi_A \cdot \Psi_B$
*Fonction d'onde non-séparable:
pas de fonction d'onde
indépendante pour A ou B*

Intrication quantique et non-localité
Einstein n'aimait pas cela non plus....

Complémentarité onde-corpuscule....

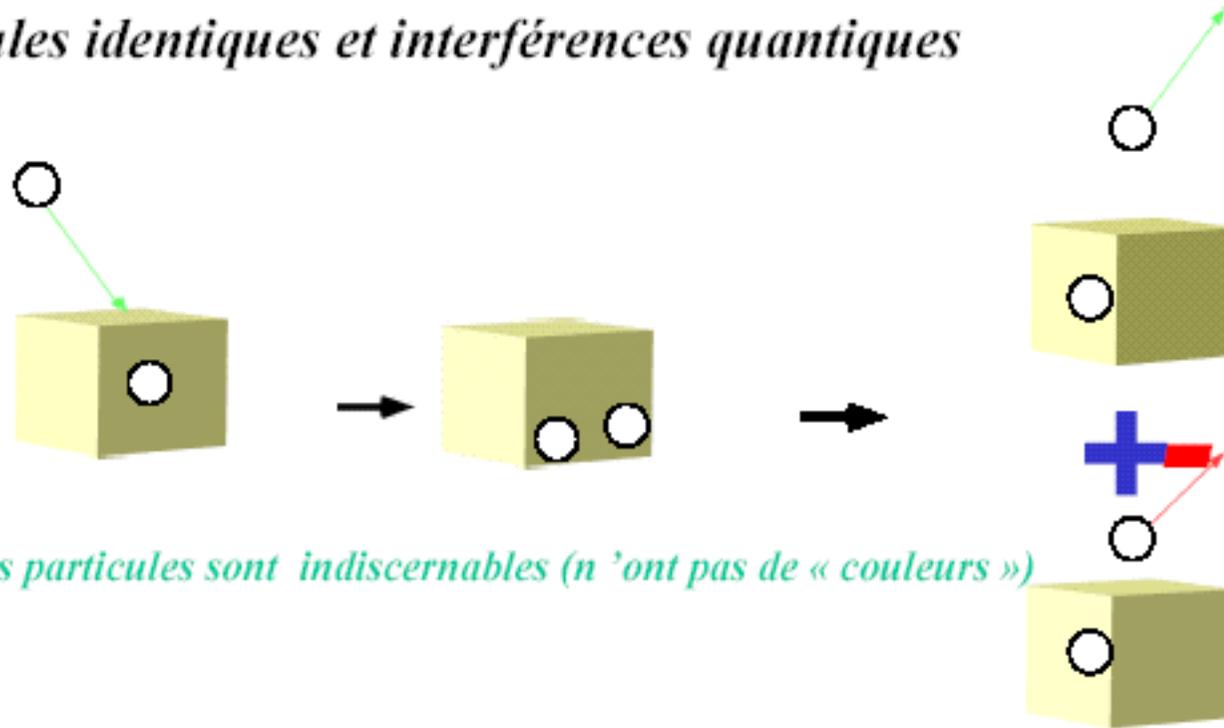


..et intrication entre la particule et le détecteur de trajectoire...



*L'intrication supprime l'interférence
(plus de fonction d'onde pour la particule seule...)*

Particules identiques et interférences quantiques

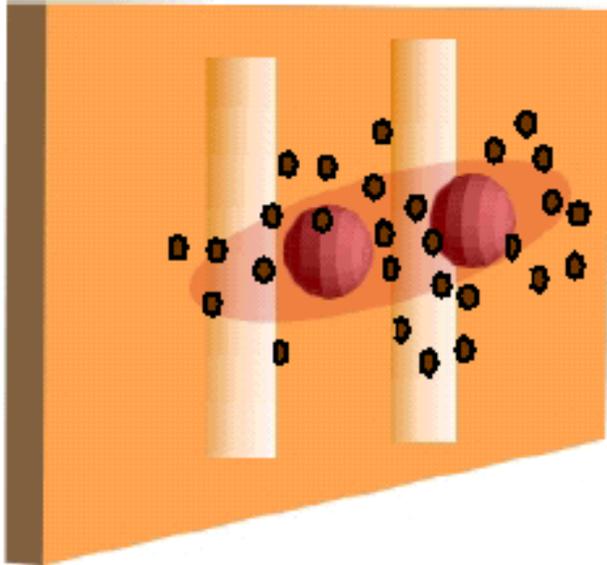


Attention: les particules sont indiscernables (n'ont pas de « couleurs »)

Fermions: les deux amplitudes s'annulent (signe -): impossible de mettre les deux particules dans le même état dans la boîte: Principe d'exclusion de Pauli

Bosons: les amplitudes s'ajoutent (signe +): Les particules ont tendance à s'accumuler de façon « grégaire » dans la boîte Statistique de Bose-Einstein

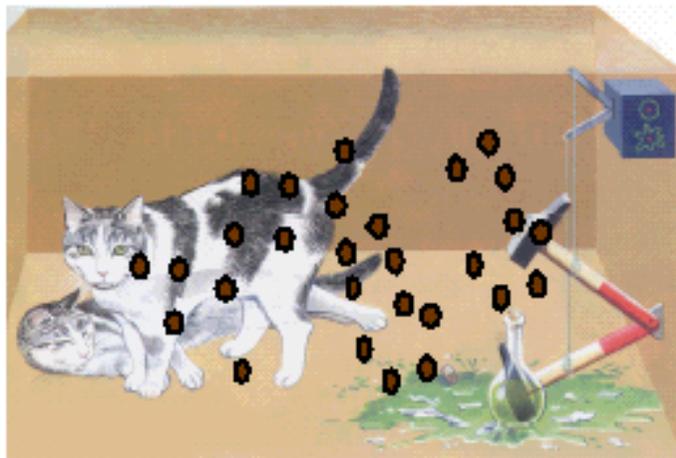
Pourquoi pas de superpositions d'objets macroscopiques?



Le paradoxe du Chat de Schrödinger



*L 'environnement (molécules ,
photons thermiques..)
s 'intrique avec le système et
détruit les superpositions
quantiques*



*(analogue à l 'observation du
chemin de la particule dans un
interféromètre)*

*Décohérence d 'autant plus
rapide que le système est
plus gros*

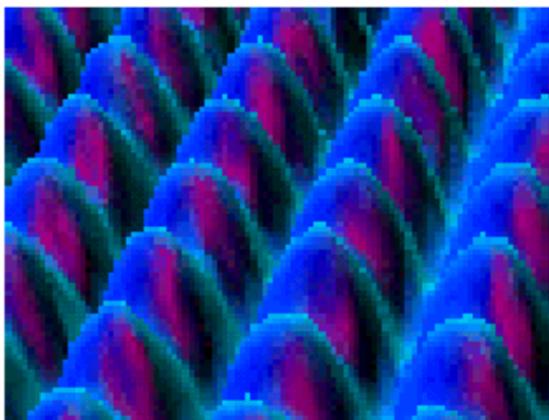
....Erwin Schrödinger, en 1952, estimait encore que la manipulation d 'objets microscopiques uniques était impossible....



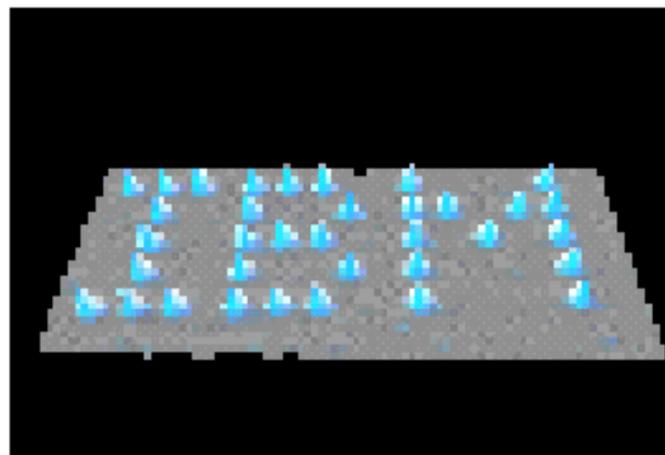
«we never experiment with just one electron or atom or (small) molecule. In thought-experiments we sometimes assume that we do; this invariably entails ridiculous consequences.... »

(British Journal of the Philosophy of Sciences, Vol 3, 1952)

*Toucher les atomes par microscopie
à balayage par effet tunnel (STM)*

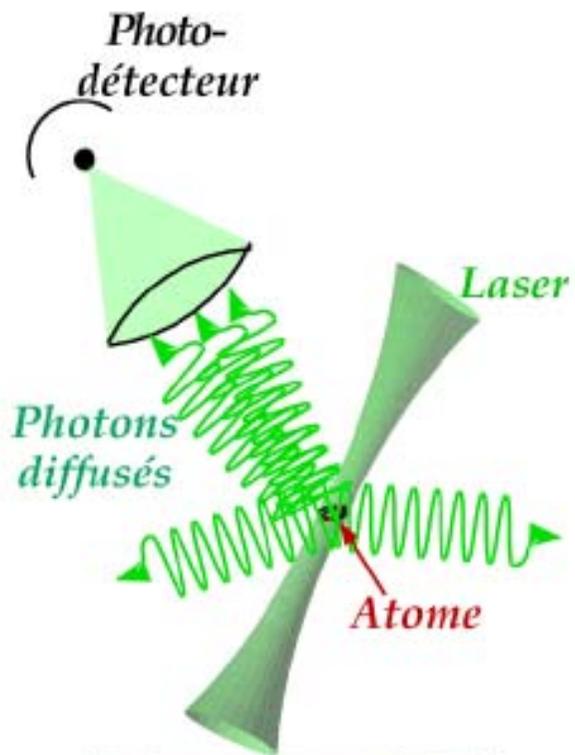


Nickel

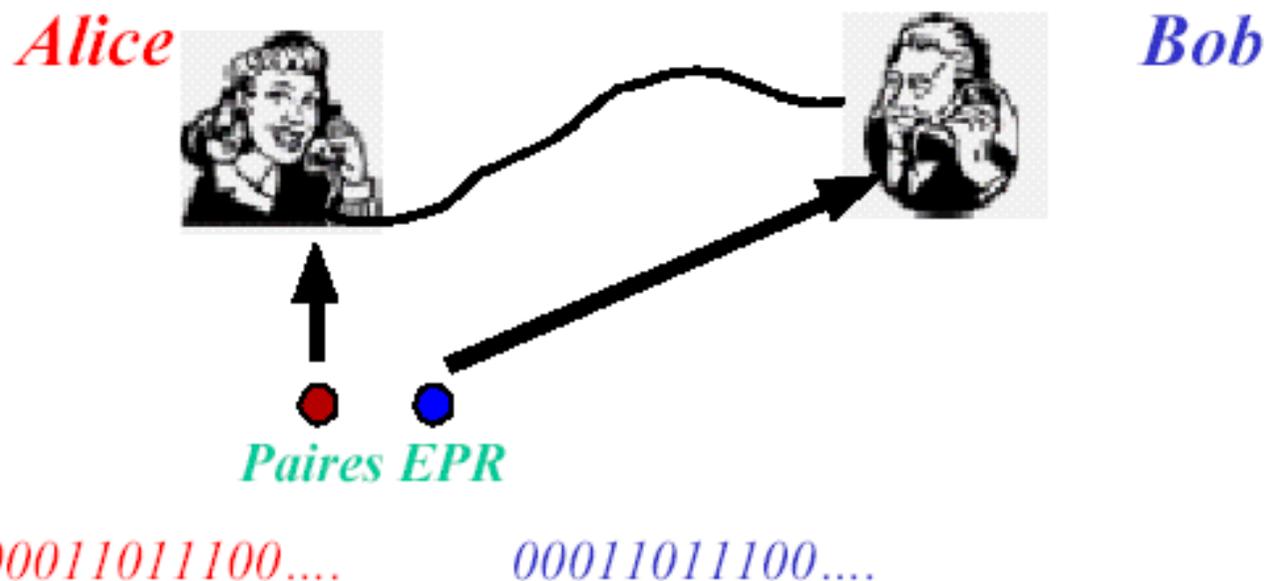


Platine

Voir des atomes piégés



Cryptographie quantique



*Le partage de paires intriquées de particules par **Alice** et **Bob** leur fournit une « clé » aléatoire commune et **inviolable** pour coder et décoder des messages échangés de façon publique*