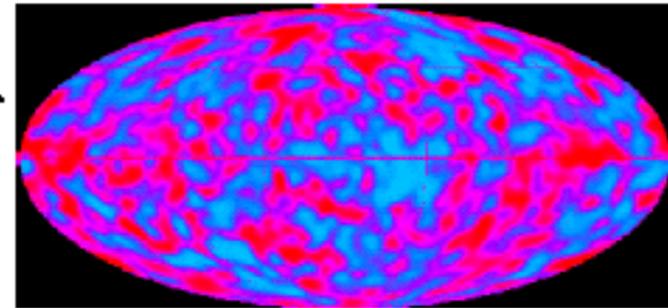


10^{-35} Mètre



Super cordes
(constituants
élémentaires
hypothétiques de
l'univers)

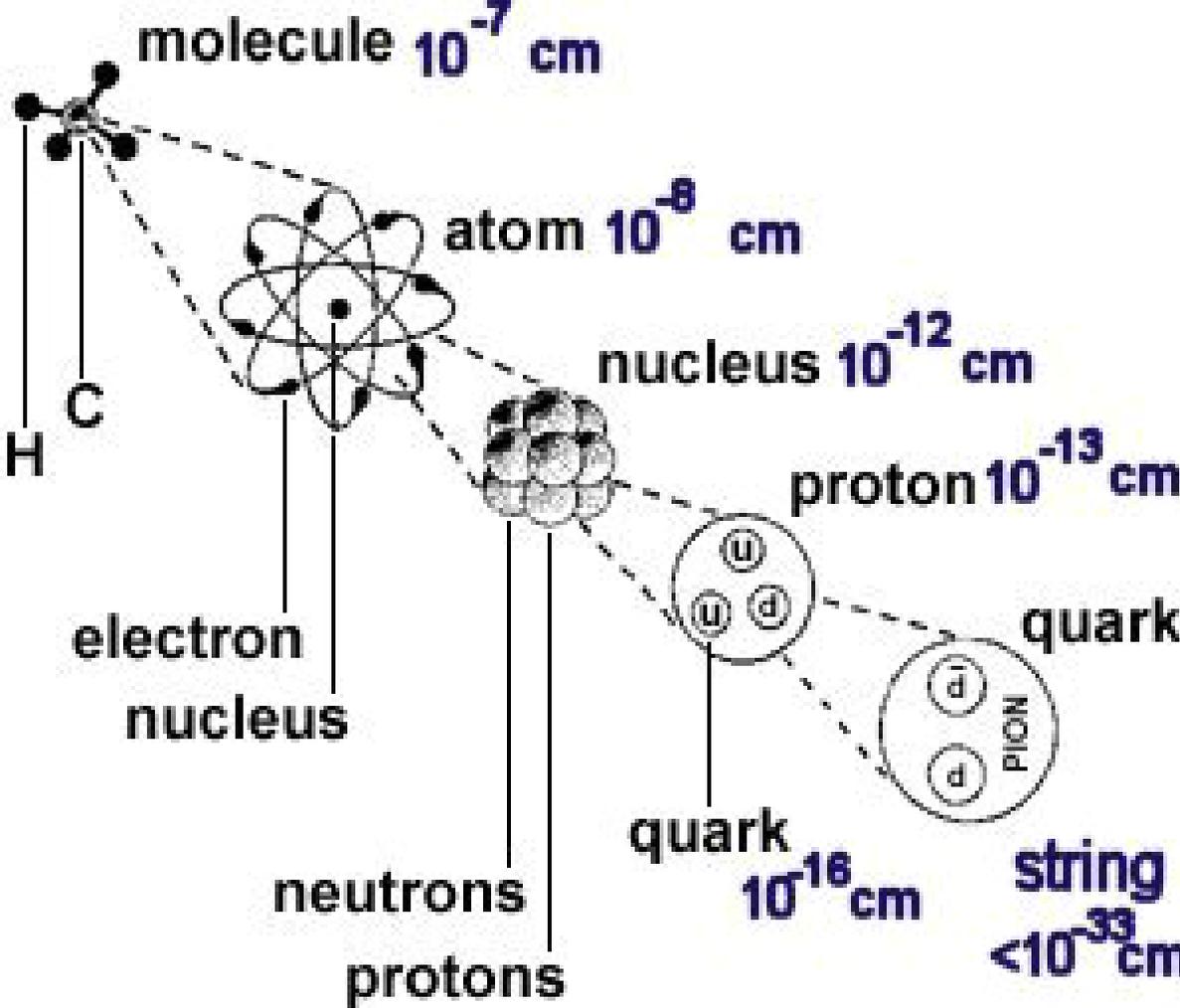
*La physique quantique couvre plus de
60 ordres de grandeur!*



10^{+26} Mètre

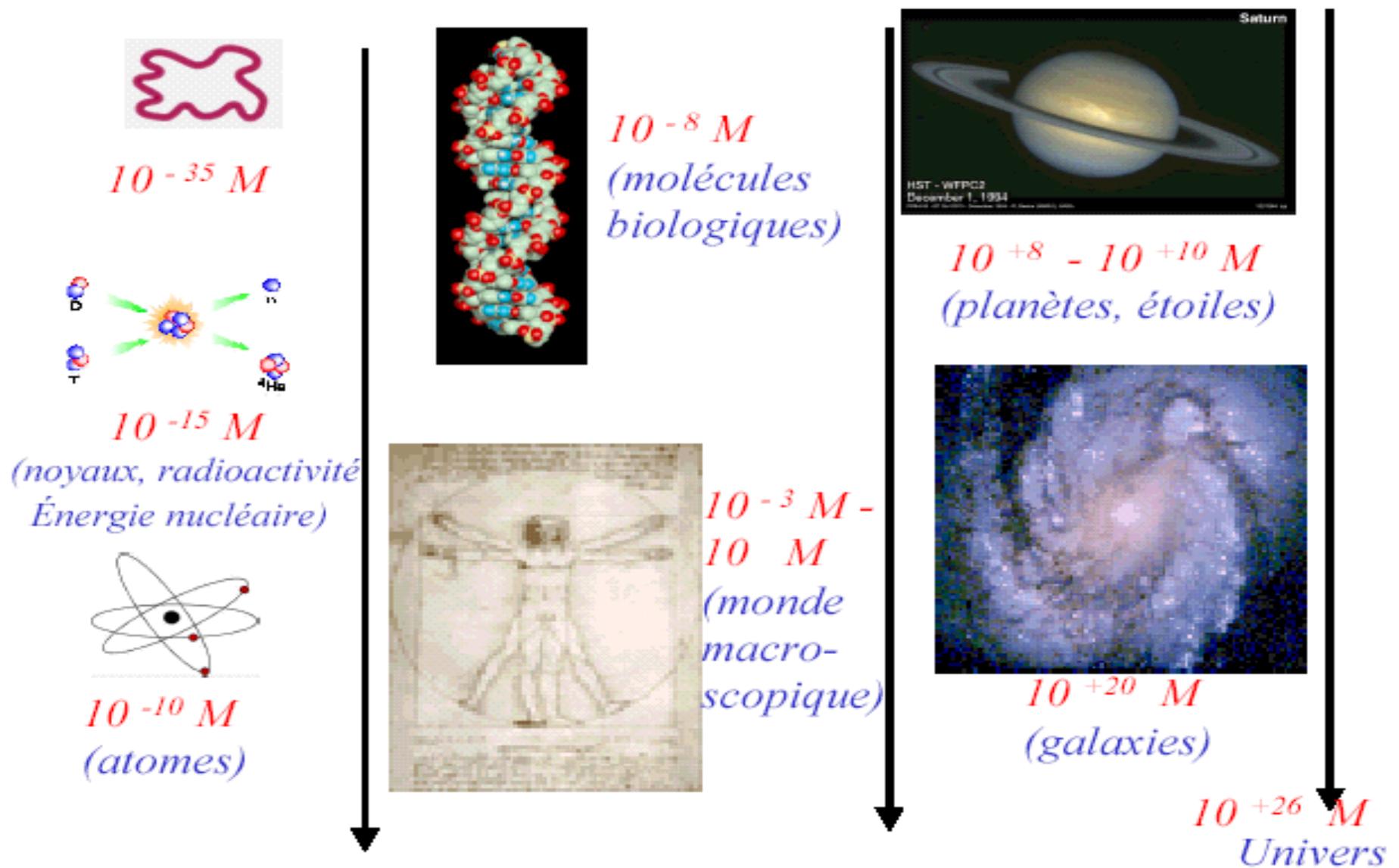


*Carte des fluctuations du
rayonnement thermique micro-
onde de l'univers*



Du côté de l'infiniment petit.....

Introduction au cours de physique quantique



Quelques caractéristiques de la physique quantique:

- Sa précision (électrodynamique quantique):



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

- Son unité:

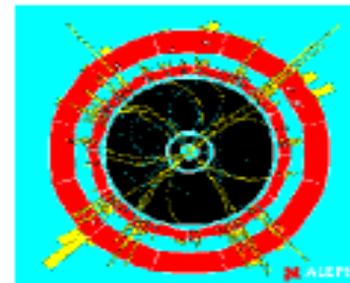
Unification dans le modèle standard de l'électromagnétisme et des interactions faible (radioactivité) et forte (énergie nucléaire)

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

- Son universalité:

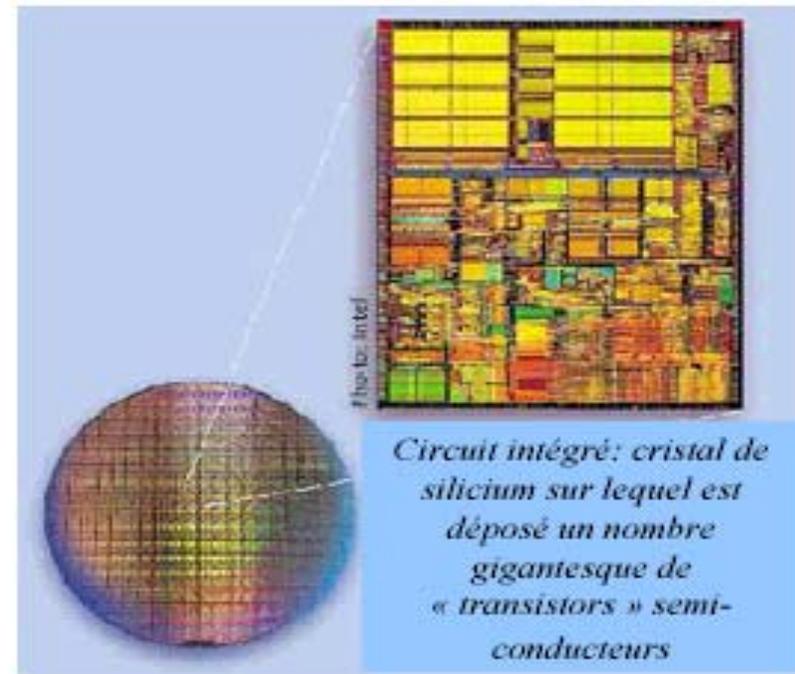
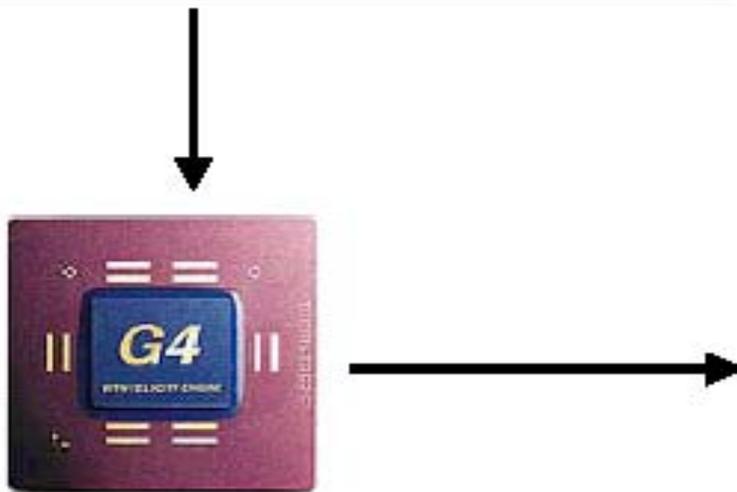
Les atomes, les molécules, les photons sont les mêmes partout dans l'Univers

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

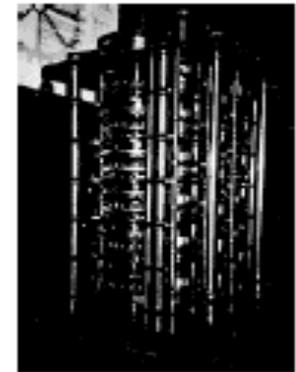
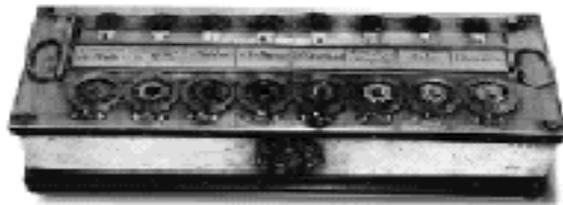




L'ordinateur moderne est un résultat de l'industrie du « transistor intégré »

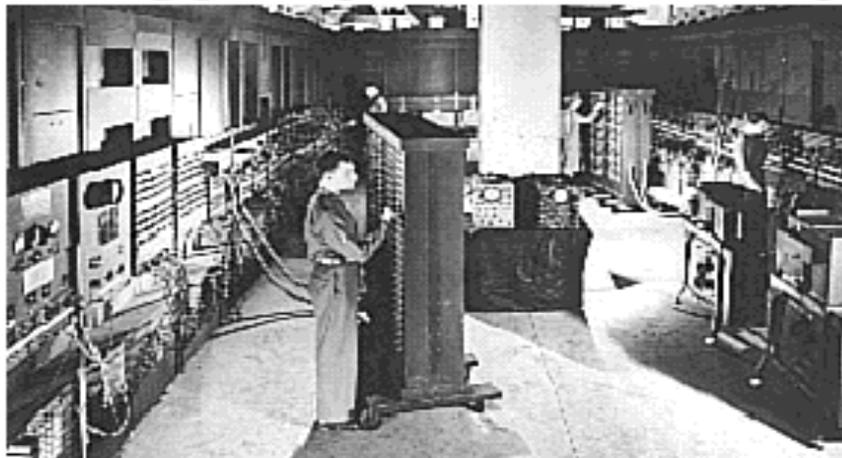


La technologie « classique » a conduit....



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

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

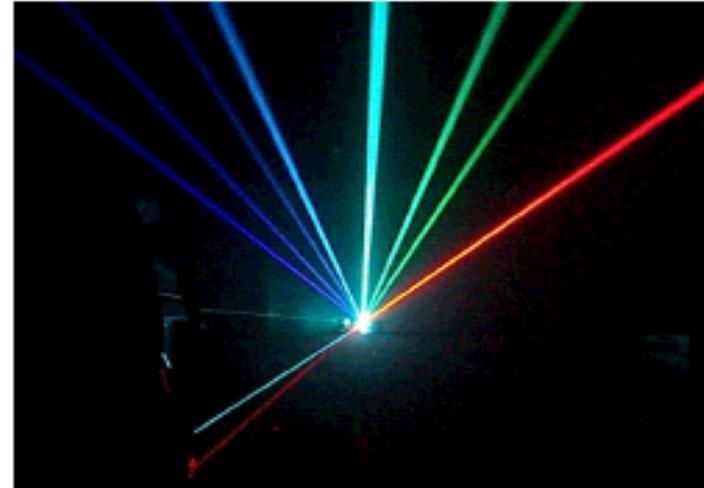
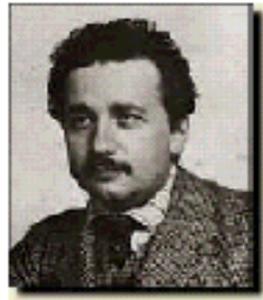


Léon Brillouin

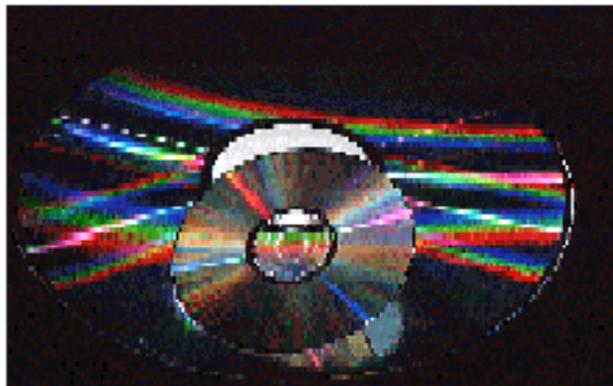
...atteignant une limite pratique que seule la technologie « quantique » du transistor intégré a permis de franchir



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

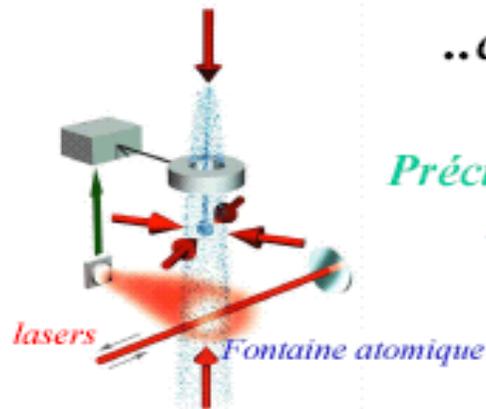


...a conduit à de très nombreuses applications...



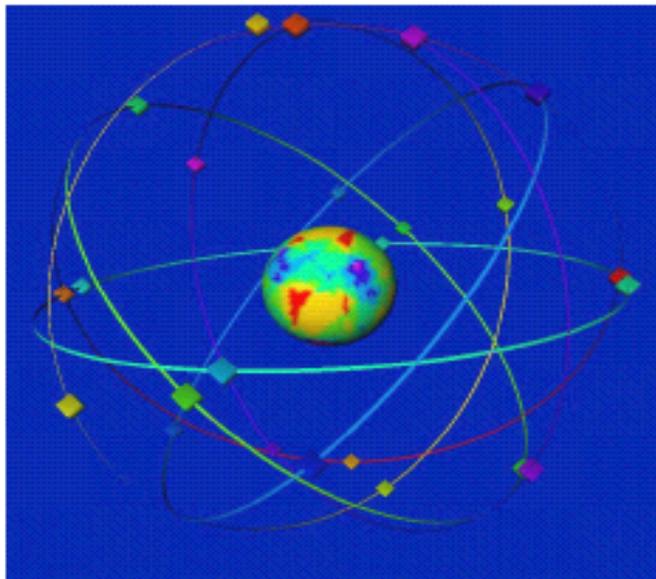
La mesure précise du temps, basée sur les principes de la physique quantique (horloges atomiques)...

..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

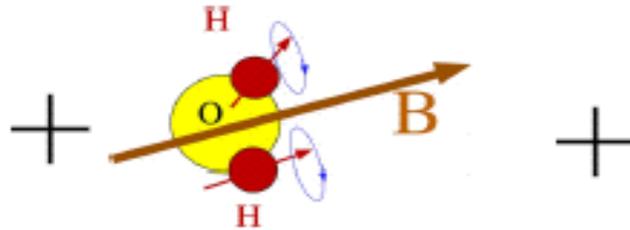


Repérage possible n'importe où à quelques centimètres près!

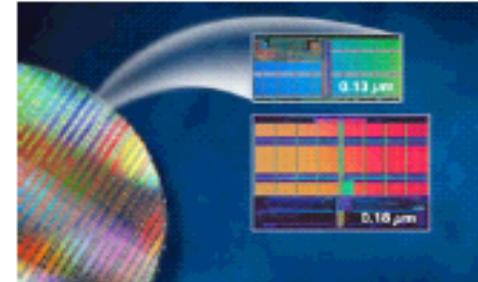
L'IRM est la combinaison de trois technologies à base quantique:



Aimants supraconducteurs

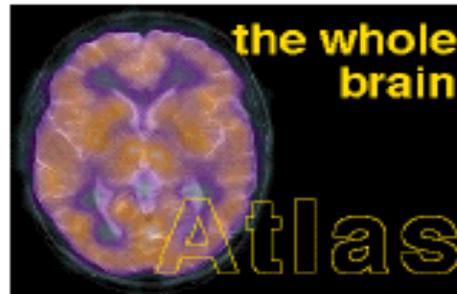


*Résonance magnétique
des protons (H) dans un
champ magnétique B*

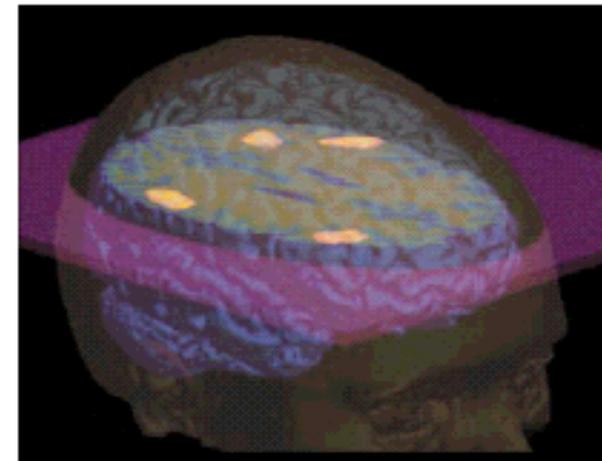


*Circuits intégrés semi-
conducteurs pour la
reconstruction des images*

→ *Imagerie par
résonance
magnétique
(IRM)*

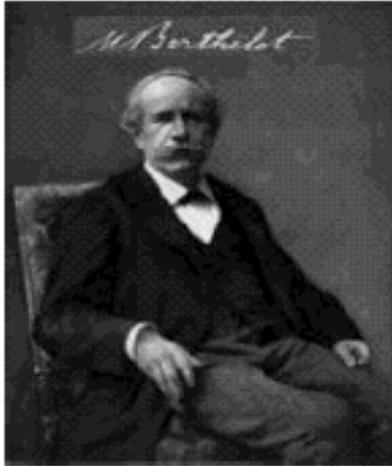


Images statiques...

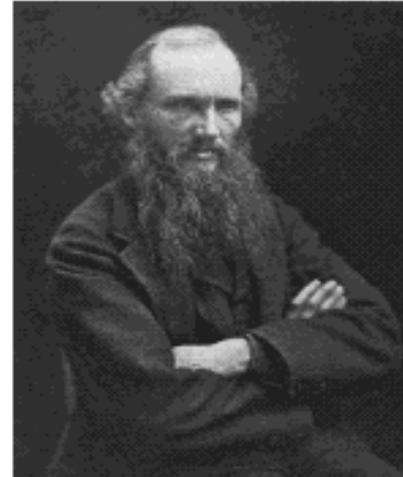


*...ou dynamiques
(le cerveau en action..)*

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



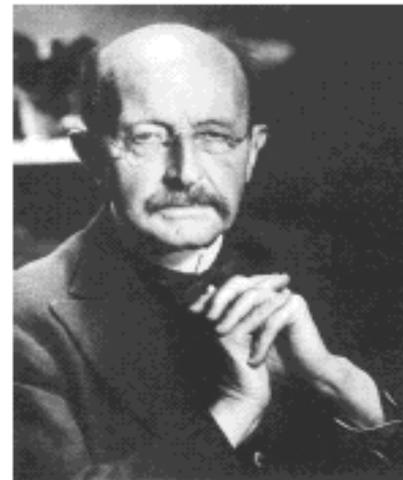
*Marcellin
Berthelot ne
croyait pas aux
atomes....*



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

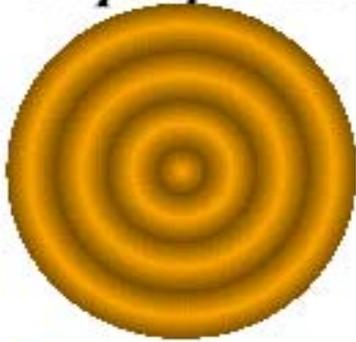


*Boltzmann, fondateur
de la thermodynamique
statistique était, lui, un
atomiste convaincu*



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

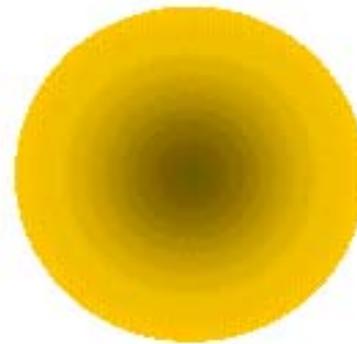
Superpositions d'états et fonction d'onde



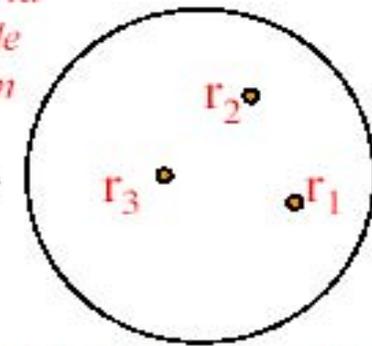
Dans l'atome d'H, l'électron est dans une superposition d'une infinité de positions possibles, à l'intérieur d'un volume sphérique dont le diamètre est de l'ordre de 1 Angström

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

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



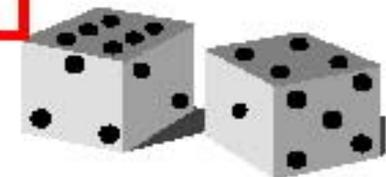
Mesure de la position de l'électron



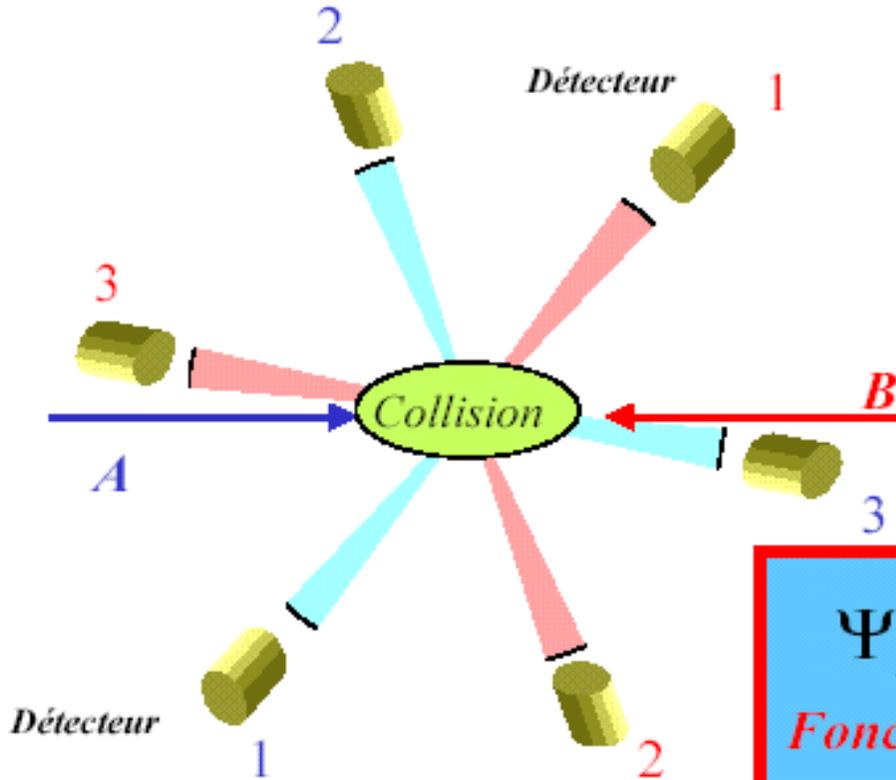
Résultat aléatoire

Probabilité $P(r) = |\Psi(r)|^2$

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



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

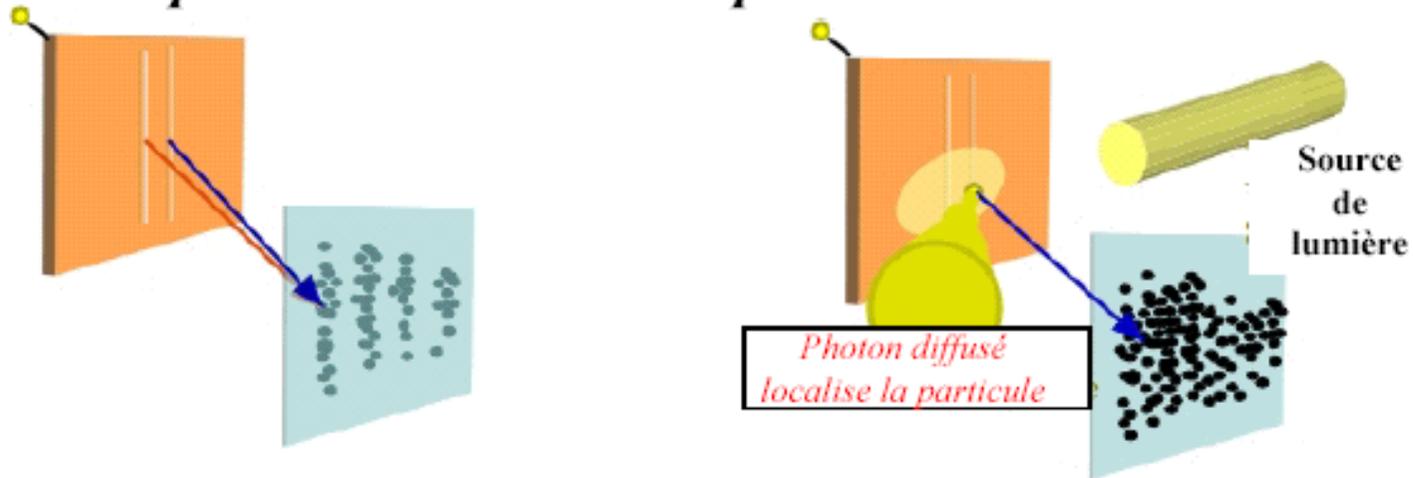


$$\Psi_{AB} = \Psi_A(1)\Psi_B(1) + \Psi_A(2)\Psi_B(2) + \Psi_A(3)\Psi_B(3)$$

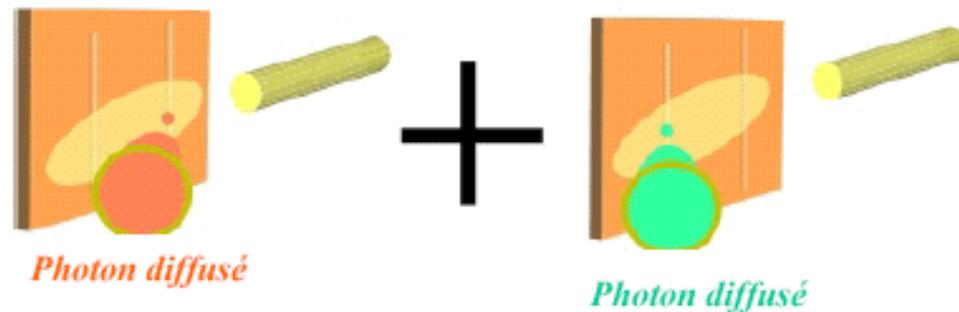
$\Psi_{AB} \neq \Psi_A \cdot \Psi_B$
*Fonction d'onde non-séparable:
pas de fonction d'onde
indépendante pour A ou B*

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

Complémentarité onde-corpuscule....

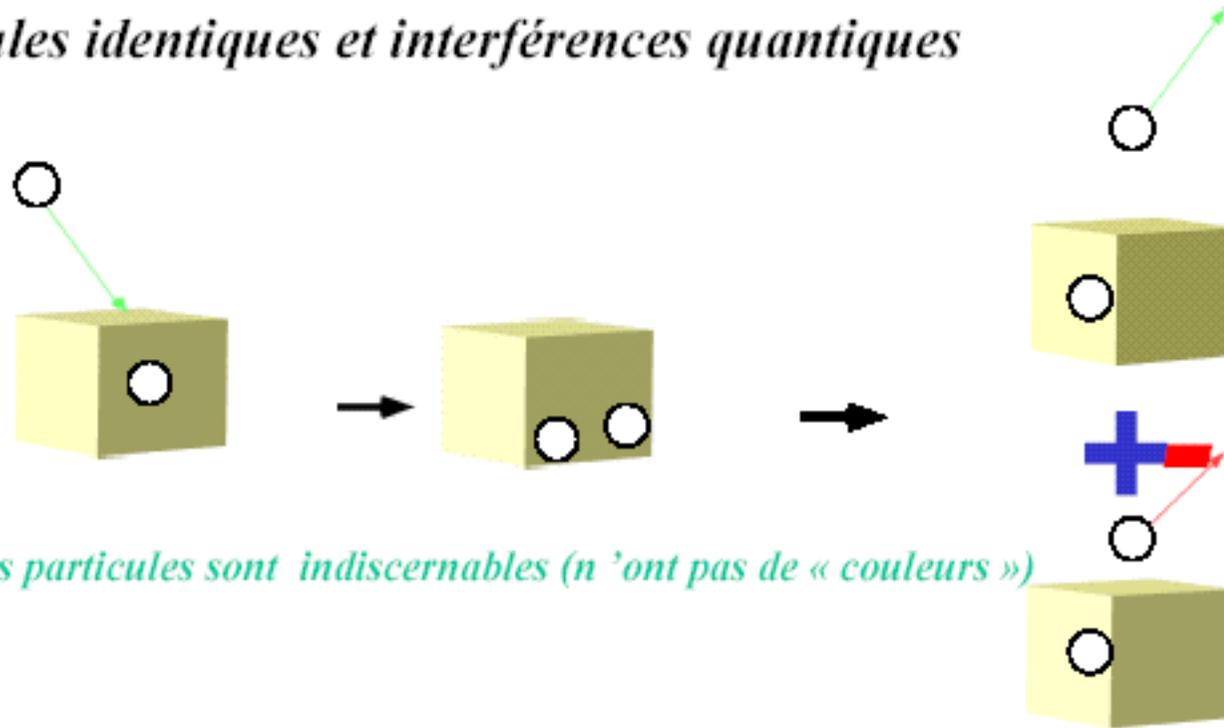


..et intrication entre la particule et le détecteur de trajectoire...



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

Particules identiques et interférences quantiques

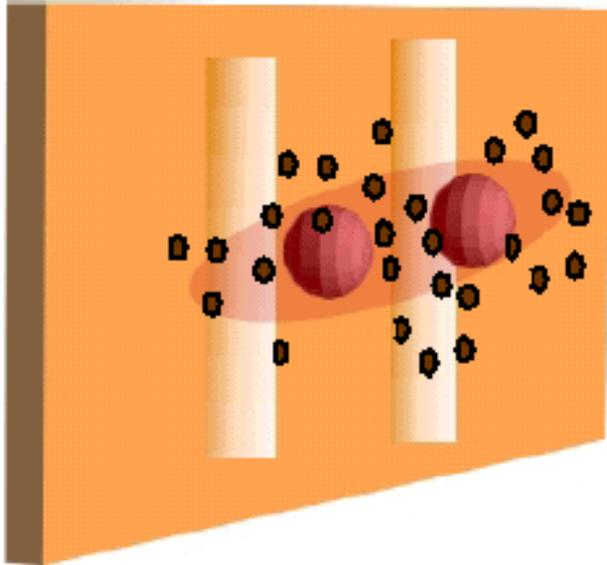


Attention: les particules sont indiscernables (n'ont pas de « couleurs »)

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

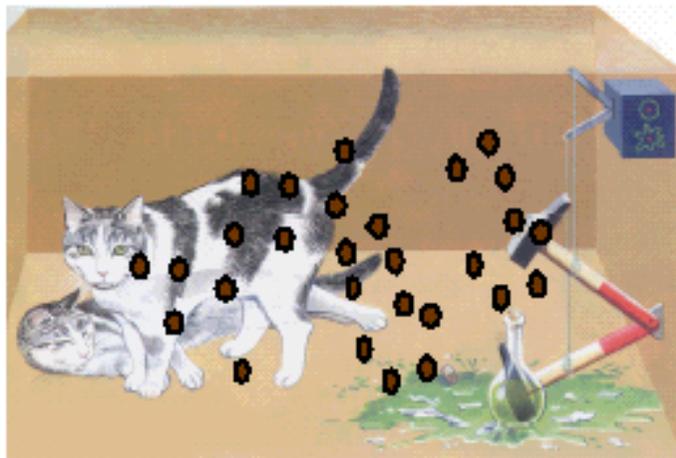
Pourquoi pas de superpositions d'objets macroscopiques?



Le paradoxe du Chat de Schrödinger



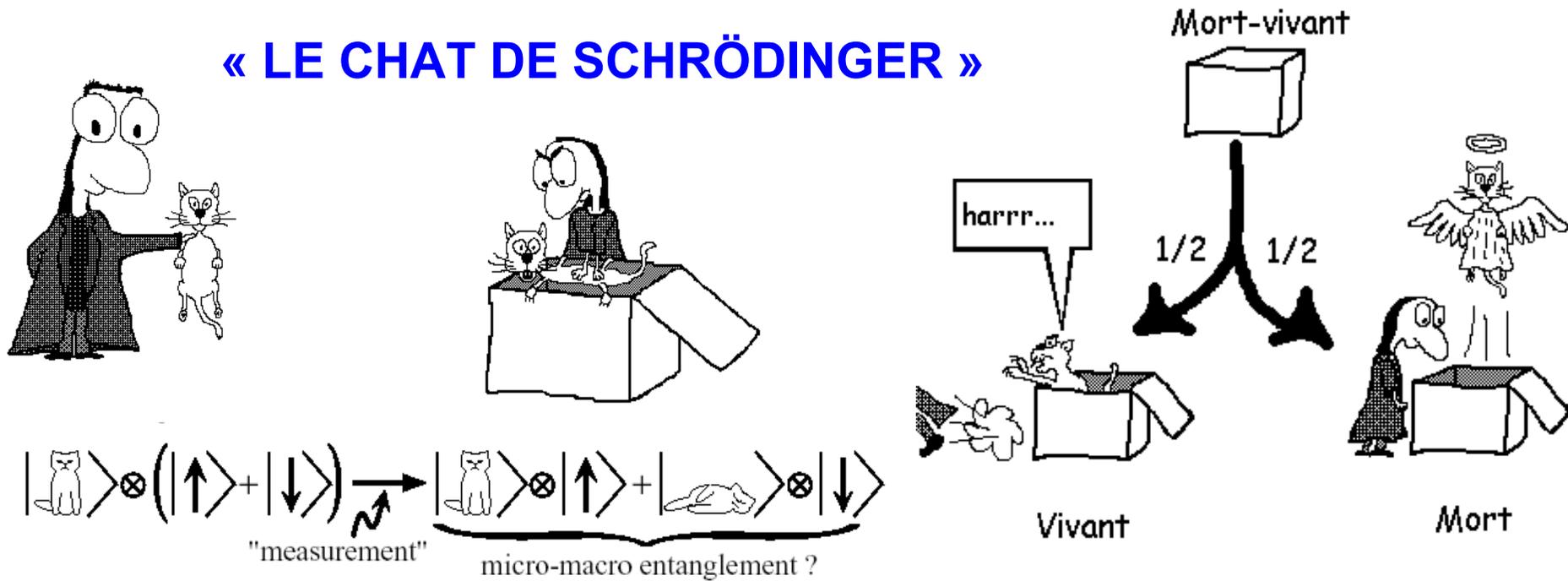
*L 'environnement (molécules ,
photons thermiques..)
s 'intrique avec le système et
détruit les superpositions
quantiques*



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

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

« LE CHAT DE SCHRÖDINGER »



La cohérence d'un état intriqué est extrêmement sensible au couplage à l'environnement. La décohérence marque la frontière entre le monde quantique (où des superpositions d'états existent) et le monde classique (où les superpositions ne sont jamais observées). C'est Erwin Schrödinger en 1935 qui mit le doigt sur le problème de cette frontière classique/quantique en concevant, dans un esprit provocateur, une expérience de pensée préparant un chat dans une superposition cohérente des états mort et vivant.

Grâce à un travail important de recherche, qui a été effectué depuis, on comprend mieux aujourd'hui les mécanismes qui mènent à la décohérence d'une telle superposition d'états macro- ou mésoscopiques (et qui transforment donc le chat de Schrödinger en un chat qui est soit mort, soit vivant).

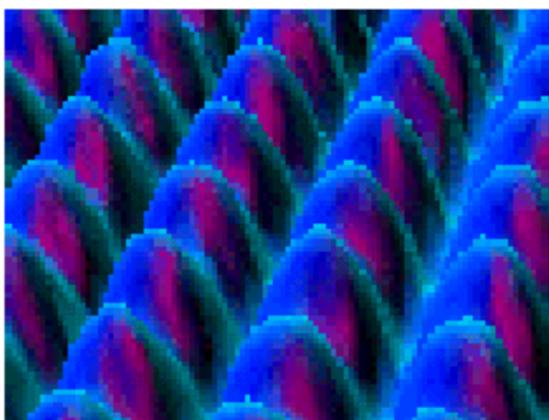
....Erwin Schrödinger, en 1952, estimait encore que la manipulation d 'objets microscopiques uniques était impossible....



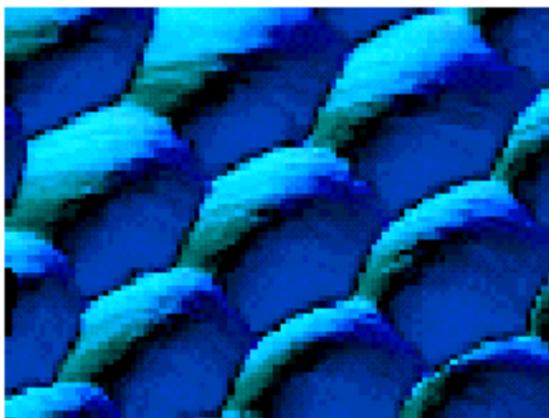
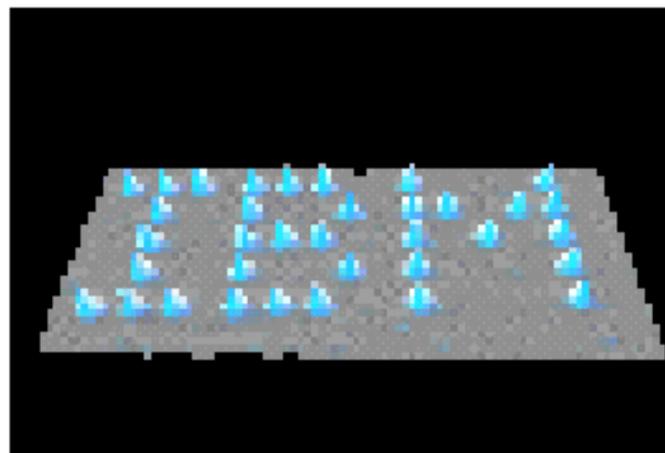
«we never experiment with just one electron or atom or (small) molecule. In thought-experiments we sometimes assume that we do; this invariably entails ridiculous consequences.... »

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

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

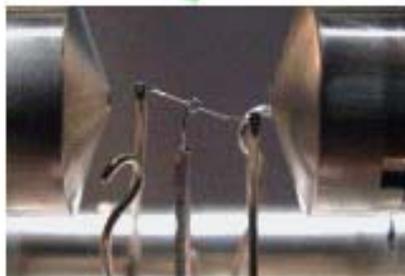
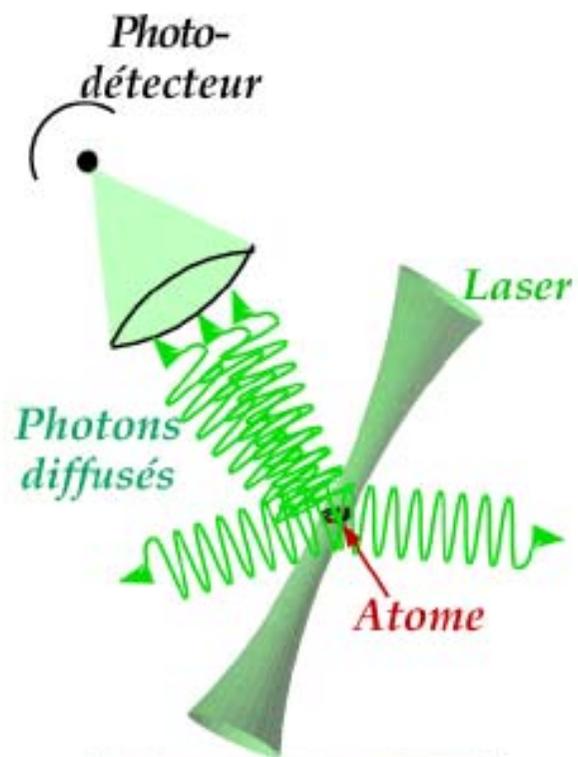


Nickel

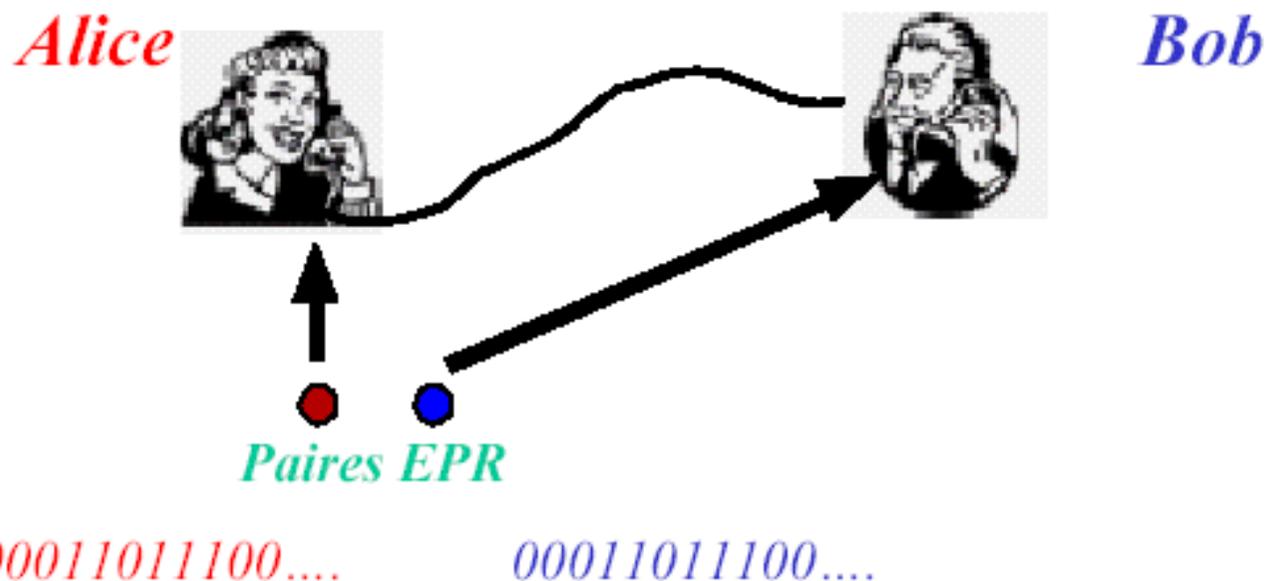


Platine

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*