

COLLEGE DE FRANCE
CHAIRE DE PHYSIQUE MÉSCOPIQUE

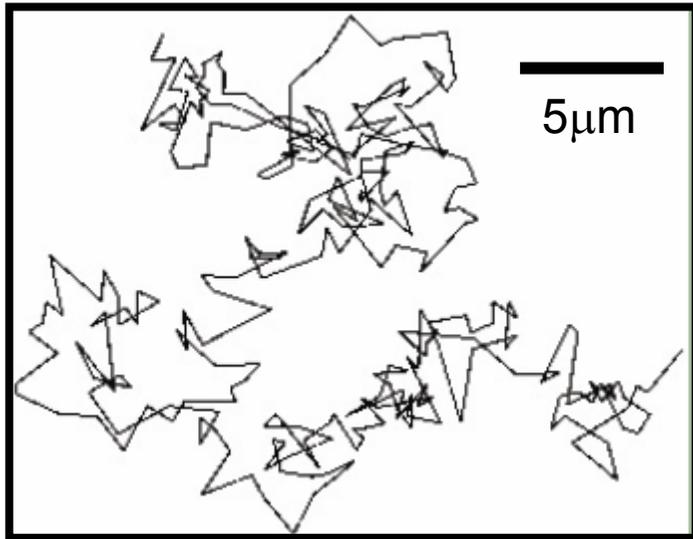
Michel Devoret

"DE L'ATOME AUX MACHINES QUANTIQUES"

Leçon inaugurale
31 mai 2007

"VOIR" LES ATOMES

HIER....



Mesure et analyse du mouvement brownien (1908)



Jean Perrin

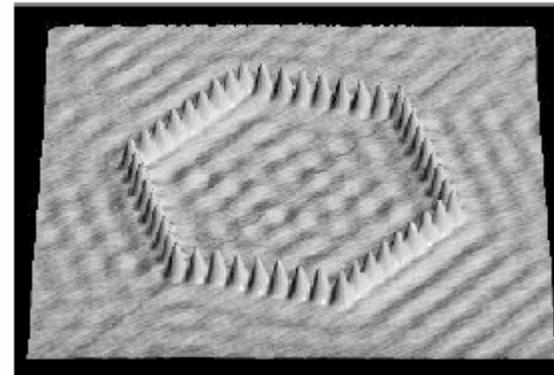


Albert Einstein



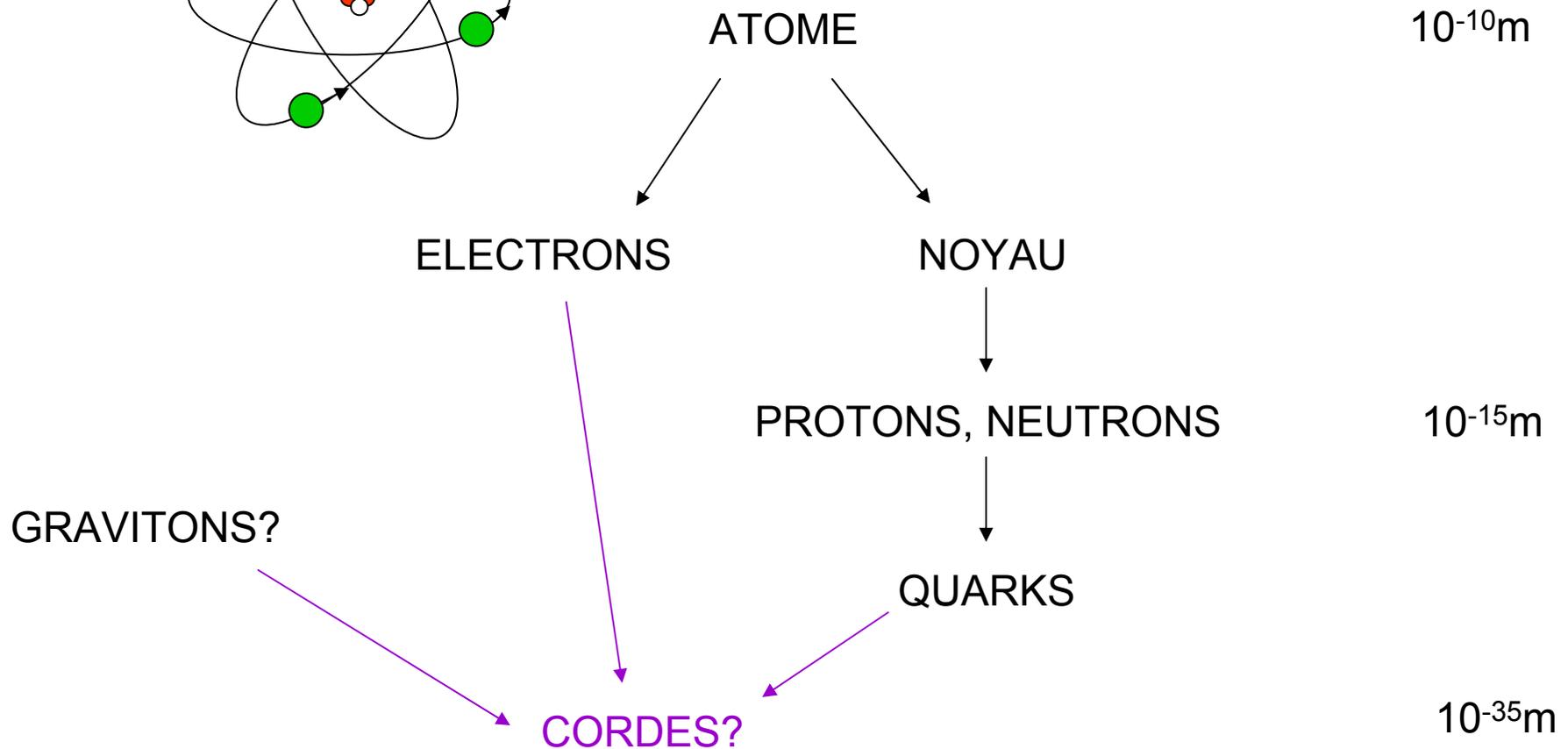
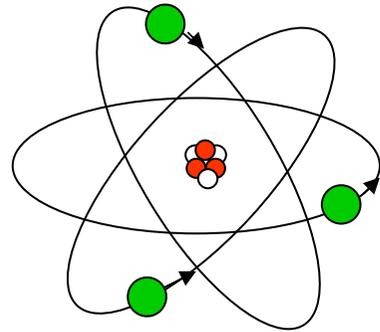
Paul Langevin

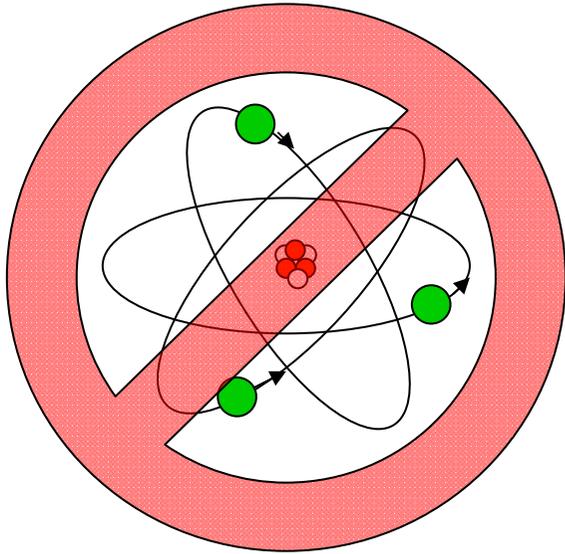
....AUJOURD'HUI



Atomes de fer disposés sur une surface de cuivre (Eigler *et al.*)

L'ATOME RENFERME À SON TOUR UN MONDE DE PARTICULES

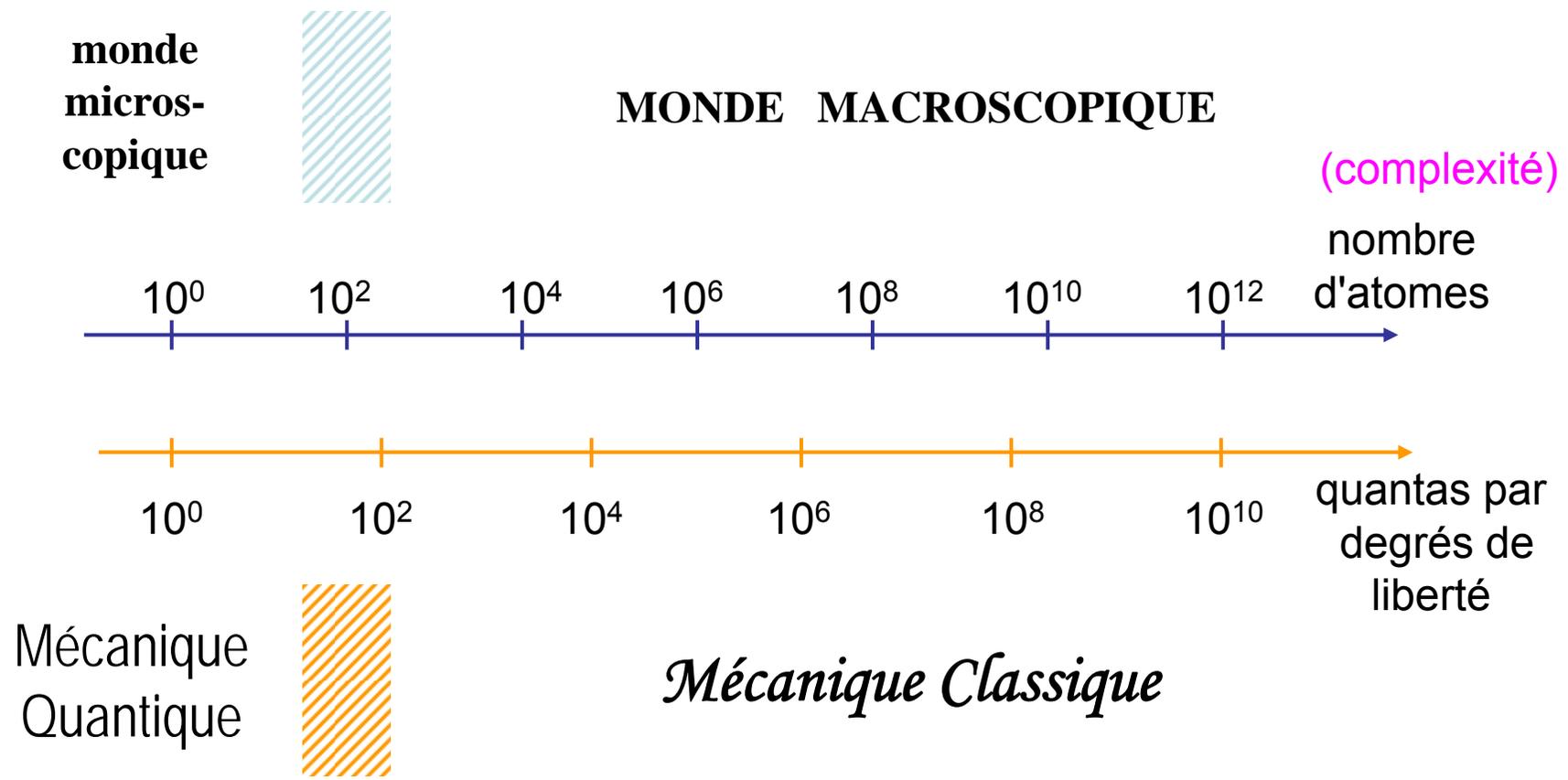




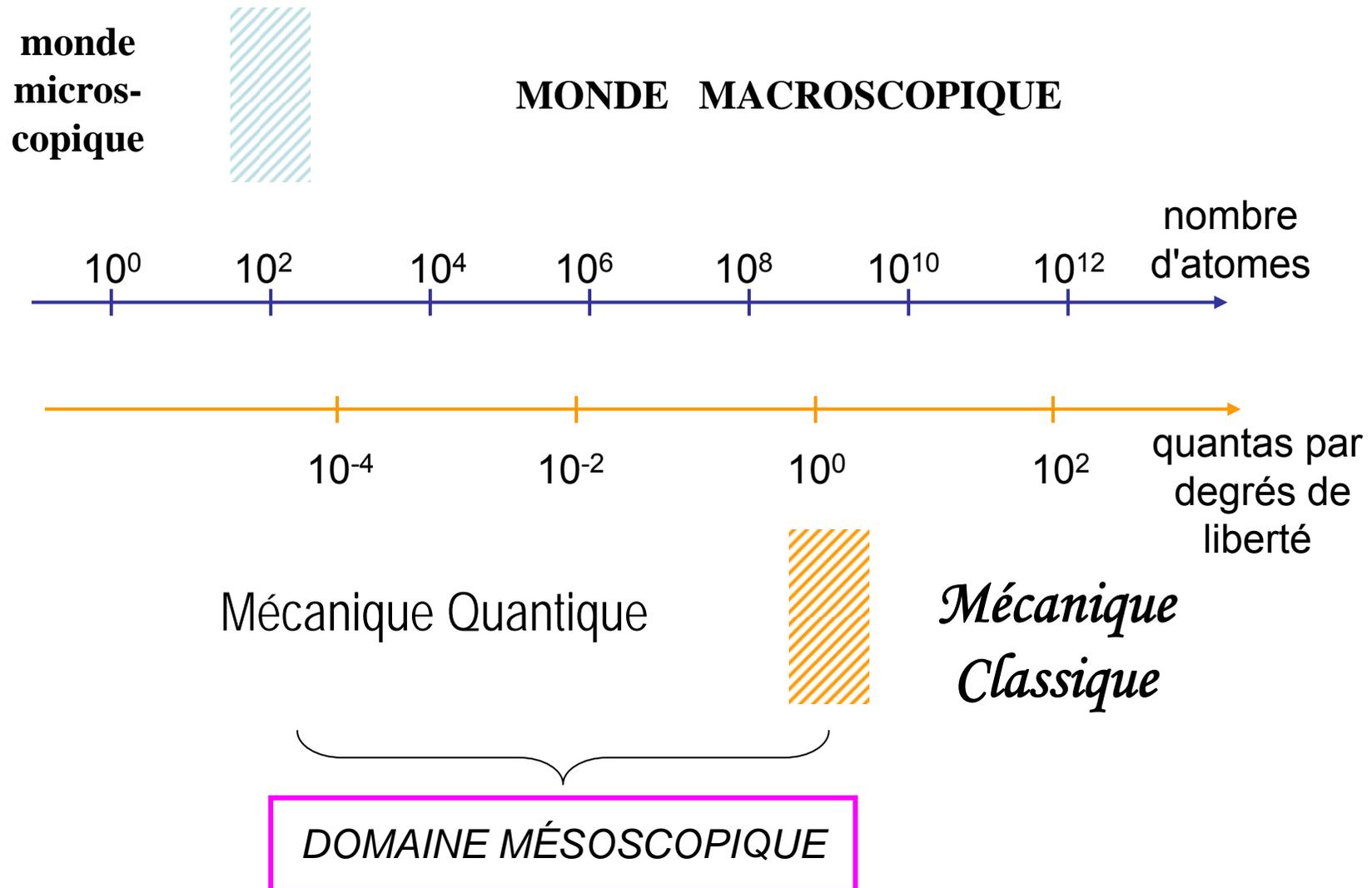
**MAIS LES ATOMES
NE SONT PAS
DES SYSTÈMES
SOLAIRES
MINIATURES!**

EN MÉCANIQUE QUANTIQUE, PAS DE TRAJECTOIRE, NI
MÊME D'ÉVÈNEMENT AU SENS HABITUEL DU TERME

DEUX MONDES



NOUVELLES FRONTIÈRES



POURQUOI S'INTÉRESSER AUX SYSTÈMES MÉSCOPIQUES?

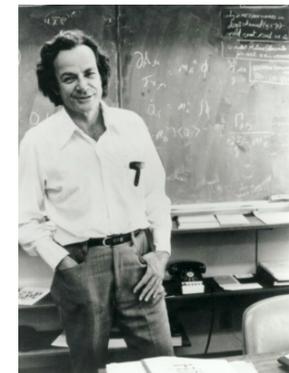
ATOOTS DES
SYSTÈMES MACROSCOPIQUES:
MODULARITÉ,
FLEXIBILITÉ,
ACCESSIBILITÉ

ATOOTS DES
SYSTÈMES QUANTIQUES:
ORDRE,
DISCRÉTISATION,
INTRICATION

SYSTÈMES MÉSCOPIQUES:
- QUASIPARTICULES PARTIELLEMENT CONFINÉES
- ATOMES ARTIFICIELS

KIT LEGO
QUANTIQUE

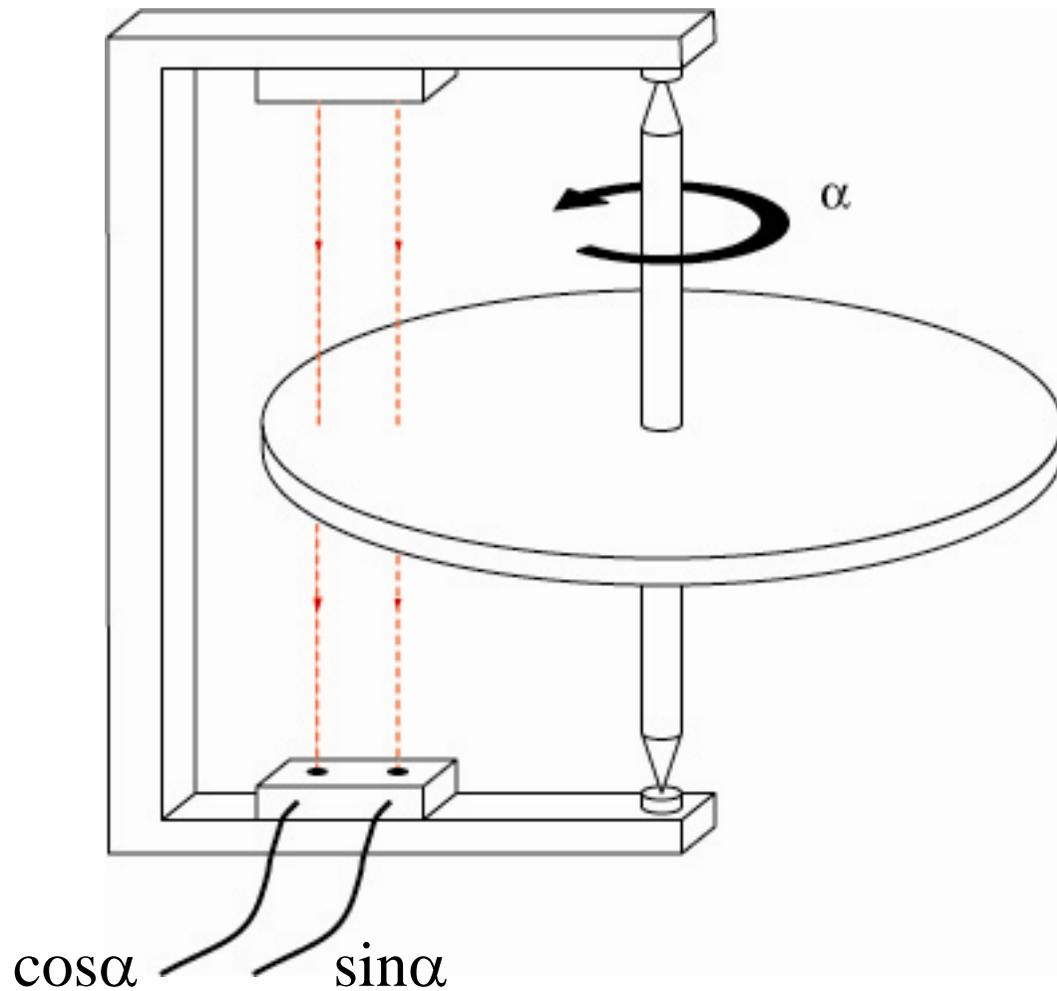
MACHINES
QUANTIQUES ?



- QUE SONT CES QUANTAS RESPONSABLES DE LA FRONTIÈRE CLASSIQUE-QUANTIQUE?
- DÉFIS DES SYSTÈMES MÉSCOPAIQUES: COMMENT LES RÉALISER, LES MESURER ET PRÉDIRE LEUR COMPORTEMENT ? LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE
- APPLICATIONS À LA MÉTROLOGIE ET AU TRAITEMENT QUANTIQUE DE L'INFORMATION: TRIANGLE MÉTROLOGIQUE ET CIRCUITS QUANTIQUES SUPRACONDUCTEURS

- **QUE SONT CES QUANTAS RESPONSABLES DE LA FRONTIÈRE CLASSIQUE-QUANTIQUE?**
- DÉFIS DES SYSTÈMES MÉSCOPQUES:
COMMENT LES RÉALISER, LES MESURER ET PRÉDIRE LEUR COMPORTEMENT ? LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE
- APPLICATIONS À LA MÉTROLOGIE ET AU TRAITEMENT QUANTIQUE DE L'INFORMATION: POMPE À ÉLECTRONS ET CIRCUITS QUANTIQUES SUPRACONDUCTEURS

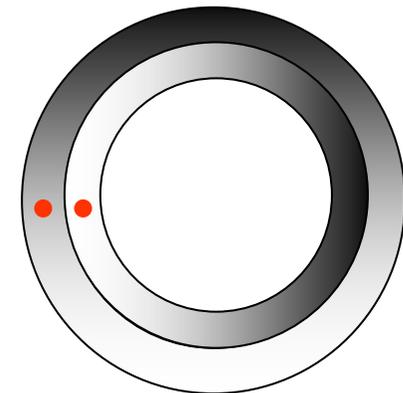
UN SYSTÈME COMPLEXE AVEC UN DEGRÉ DE LIBERTÉ LE PLUS SIMPLE POSSIBLE



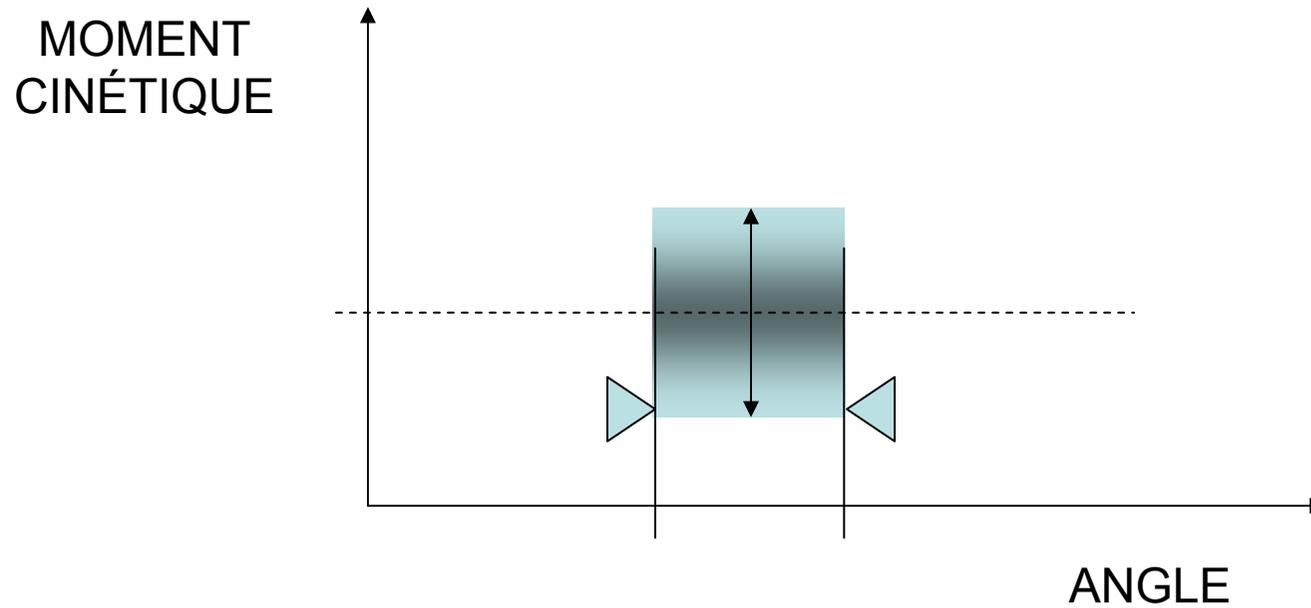
on mesure:

- i) position angulaire α
- ii) vitesse angulaire $d\alpha/dt$

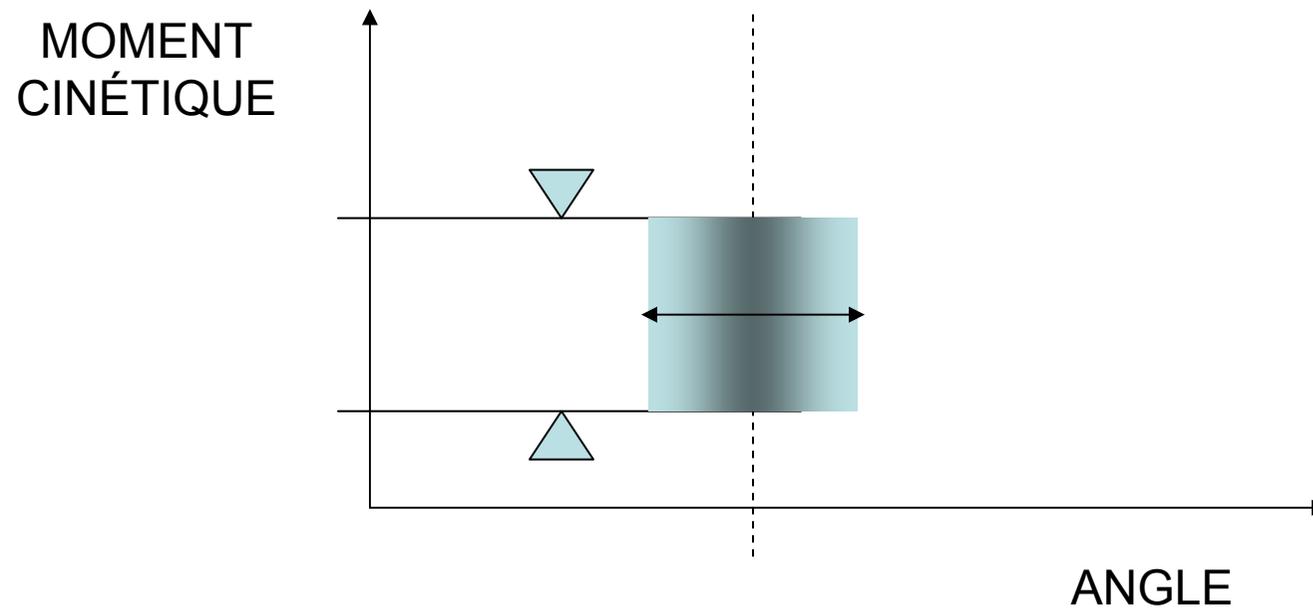
exemple:



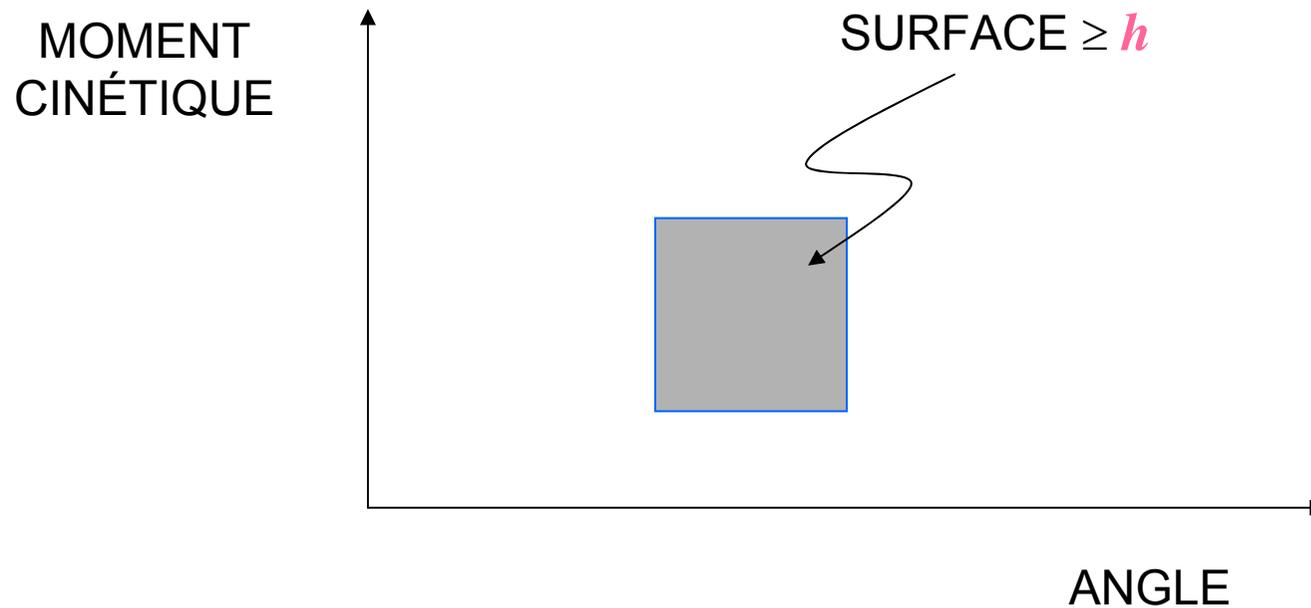
LES LOIS QUANTIQUES CONTINGENT L'INFORMATION



LES LOIS QUANTIQUES CONTINGENTENT L'INFORMATION



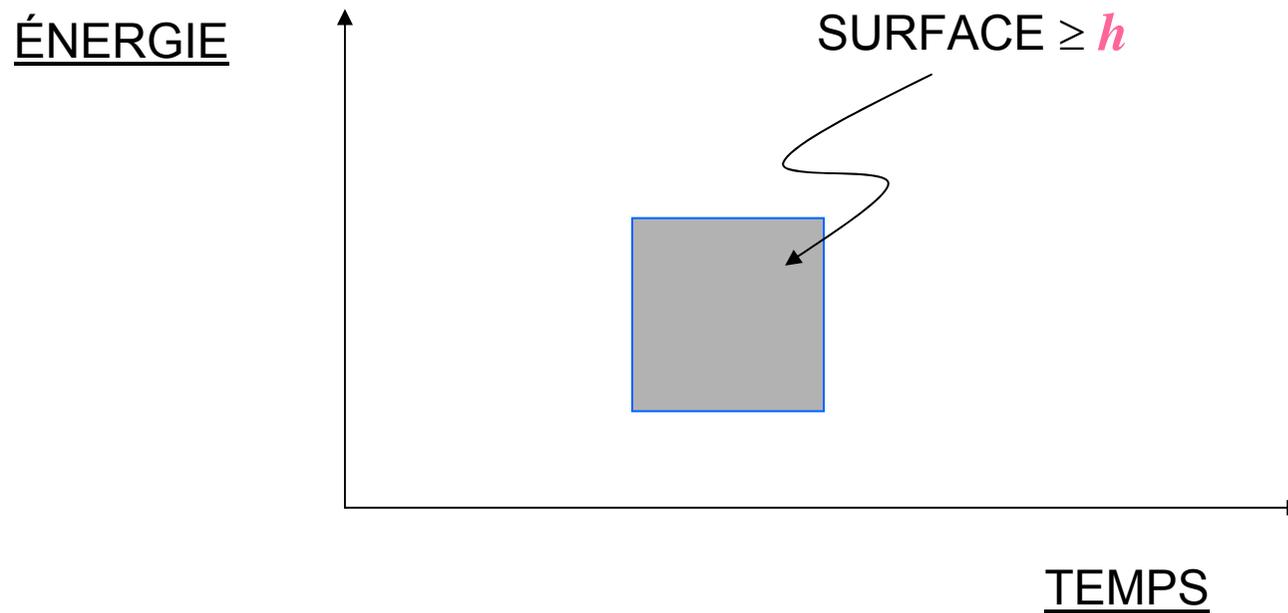
LA CONSTANTE DE PLANCK FIXE LE QUANTUM D'ACTION....



$$h \approx 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Mesure de l'angle d'un disque dur avec 16 bits
→ flou sur vitesse: millième de tour par milliard d'années

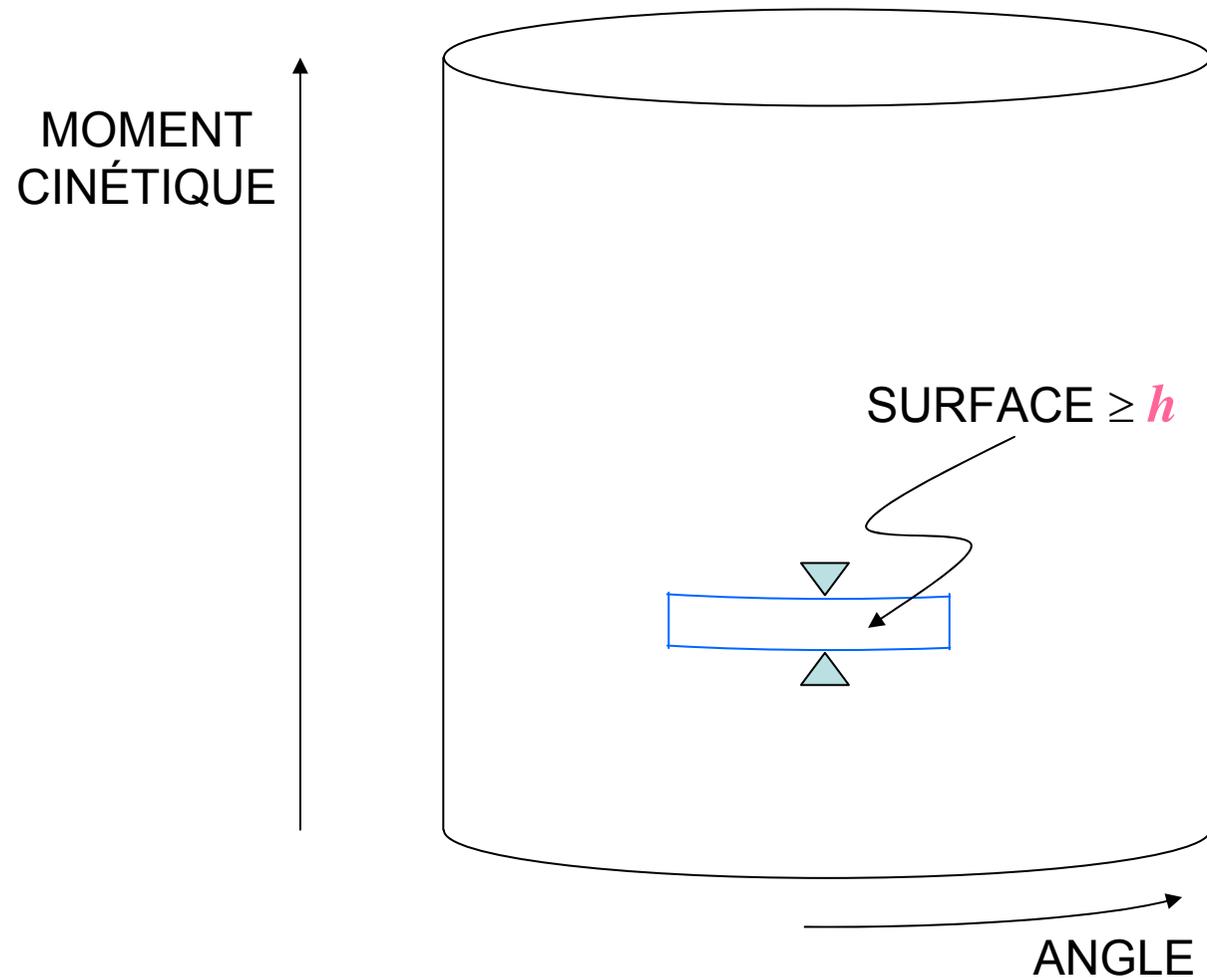
... LA VÉRITABLE QUANTITÉ INSÉCABLE DE LA NATURE



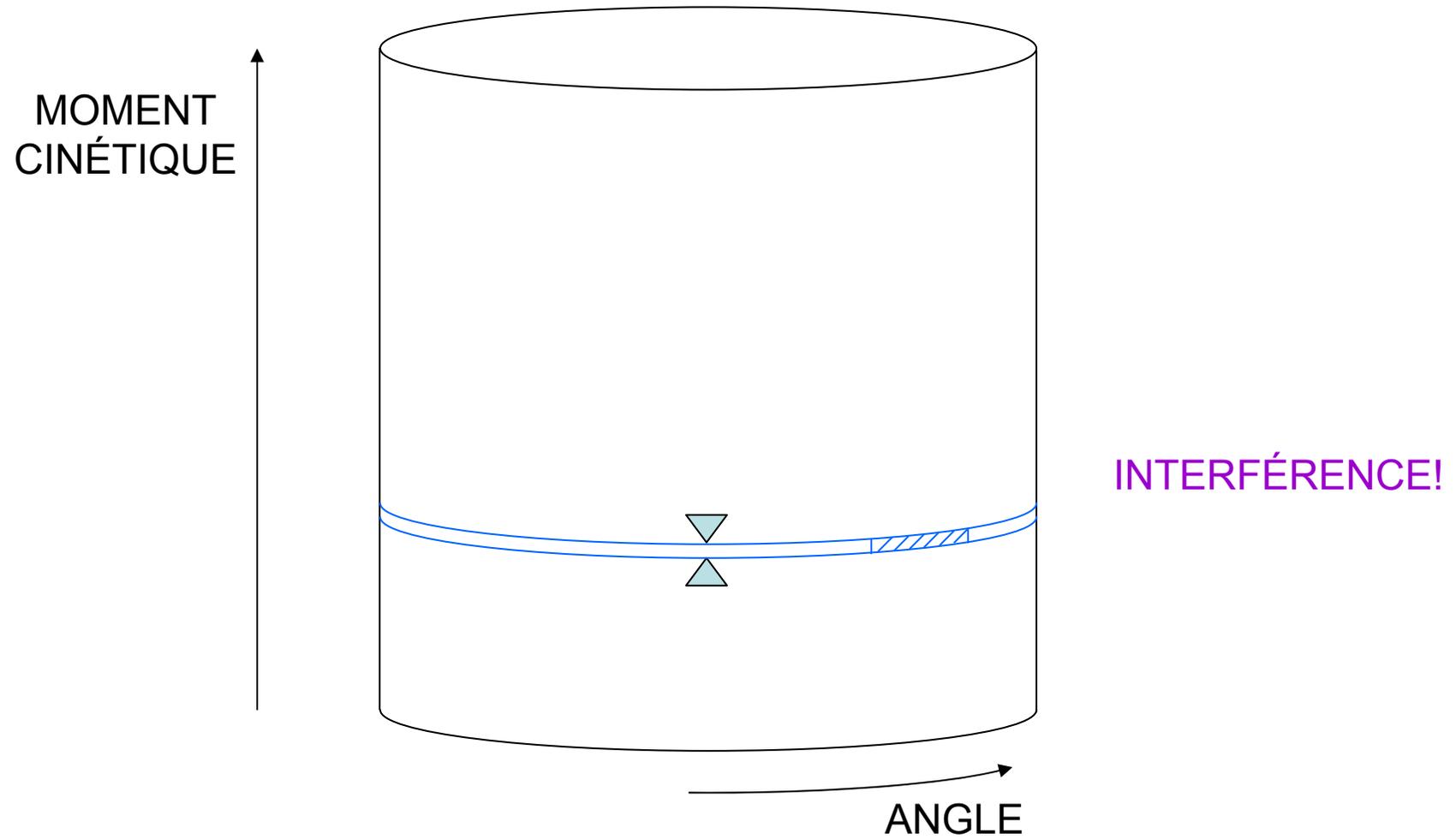
$$h \approx 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

CONVERSION
ÉNERGIE \rightarrow TEMPÉRATURE: $10\text{mK} \times 1\text{ns}$

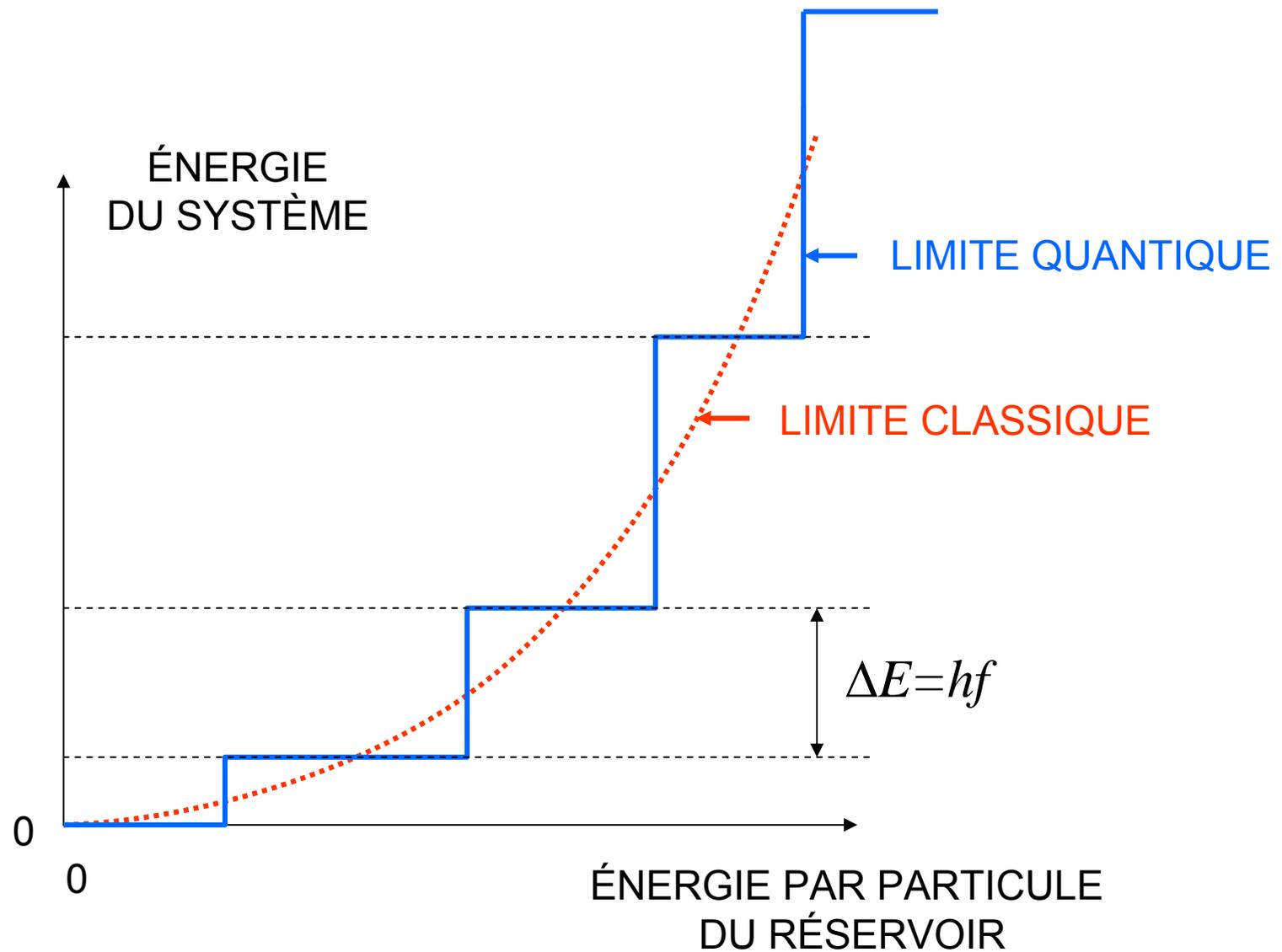
DISCRÉTISATION D'UN SYSTÈME CYCLIQUE



DISCRÉTISATION D'UN SYSTÈME CYCLIQUE

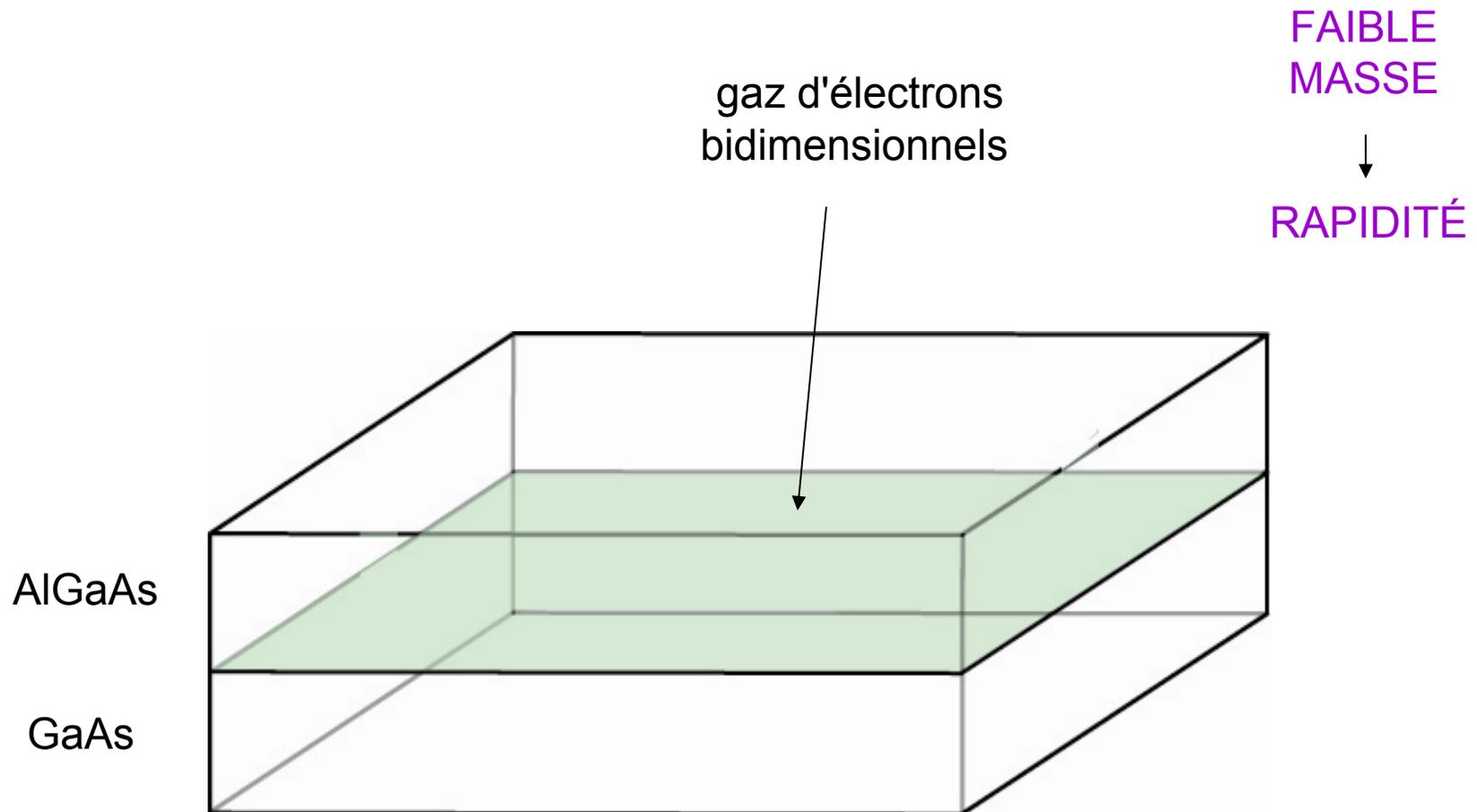


QUANTIFICATION DE L'ÉNERGIE

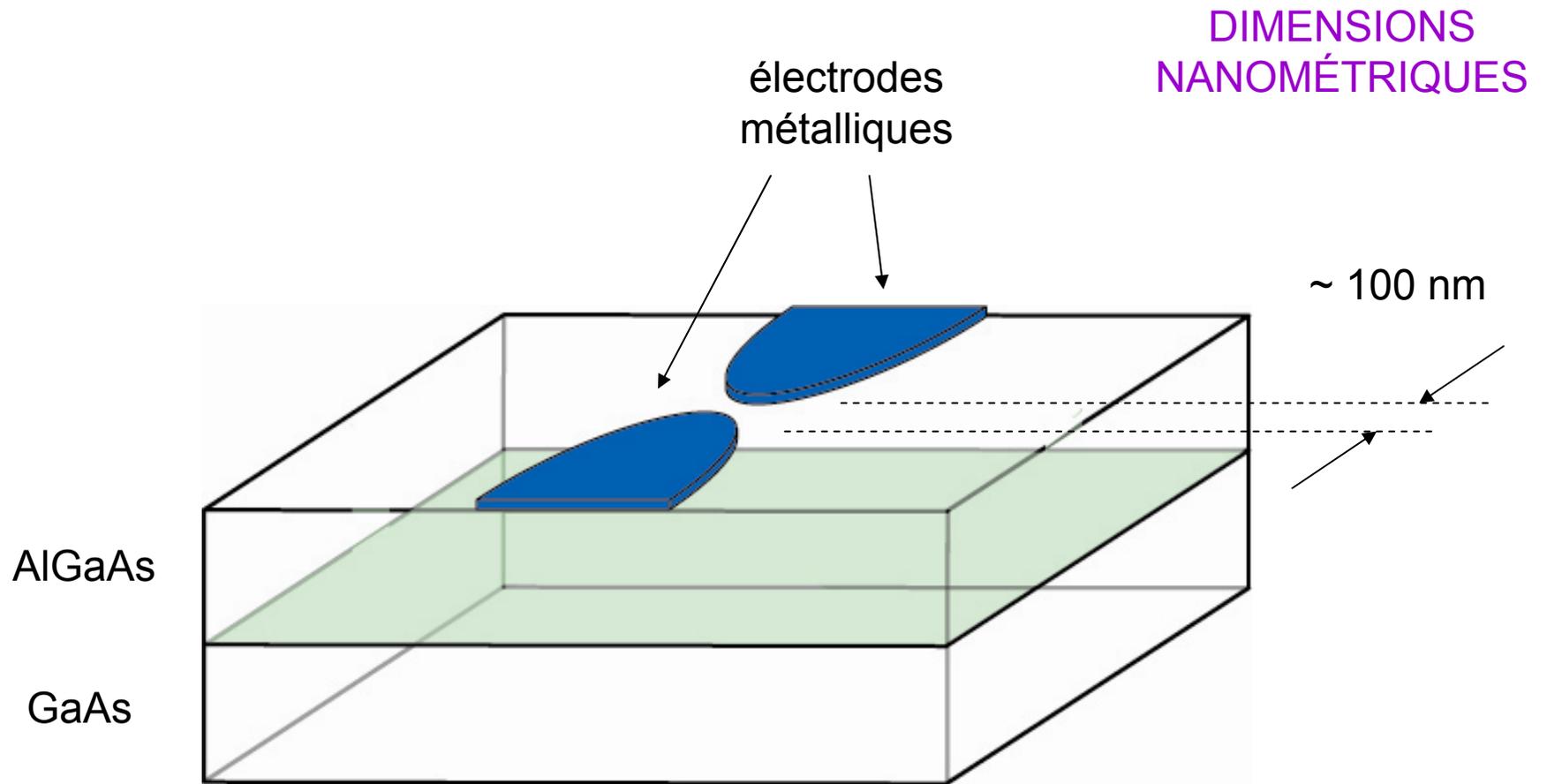


- QUE SONT CES QUANTAS RESPONSABLES DE LA FRONTIÈRE CLASSIQUE-QUANTIQUE?
- **DÉFIS DES SYSTÈMES MÉSCOPQUES:
COMMENT LES RÉALISER, LES MESURER ET PRÉDIRE LEUR
COMPORTEMENT ? LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE**
- APPLICATIONS À LA MÉTROLOGIE ET AU TRAITEMENT QUANTIQUE DE L'INFORMATION: TRIANGLE MÉTROLOGIQUE ET CIRCUITS QUANTIQUES SUPRACONDUCTEURS

LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE

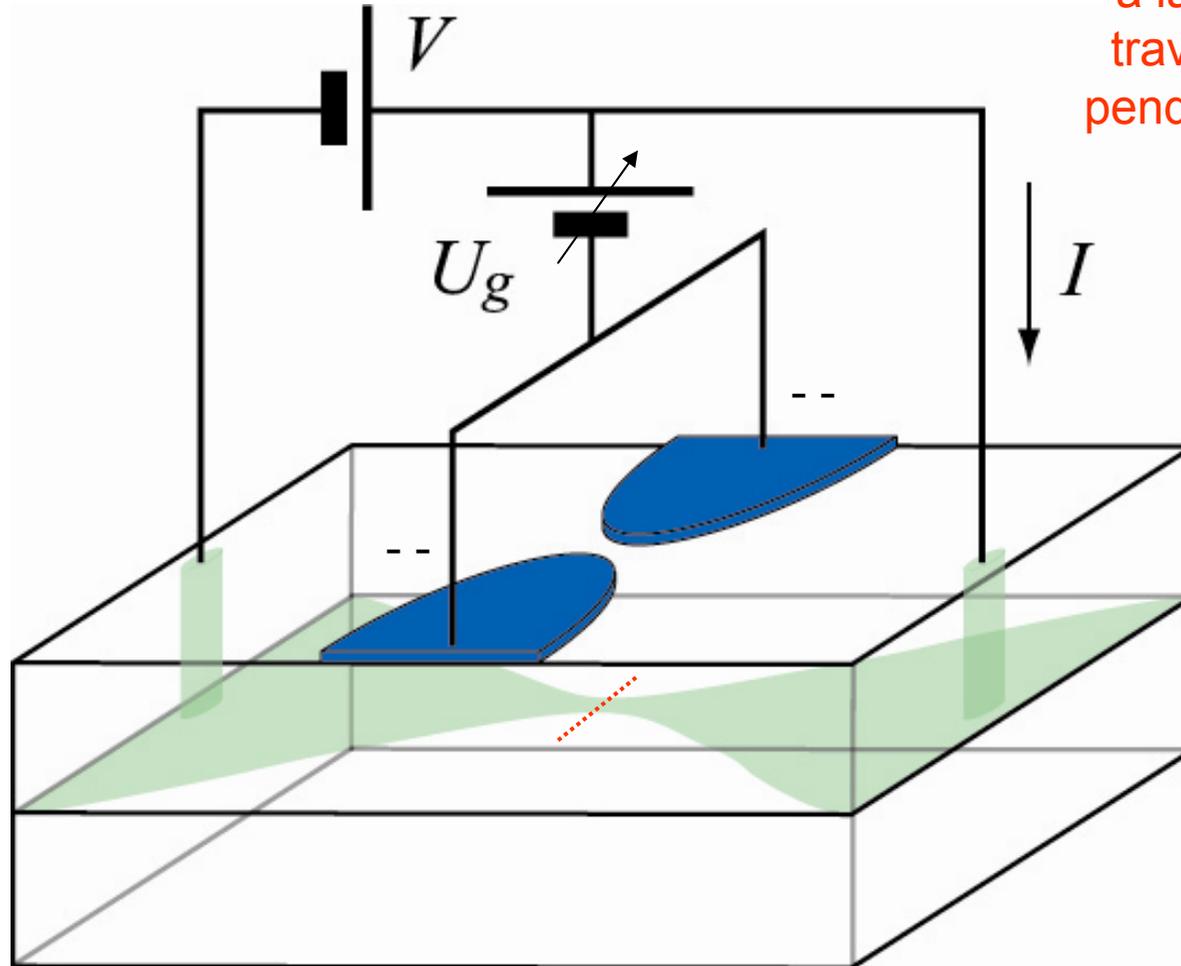


LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE

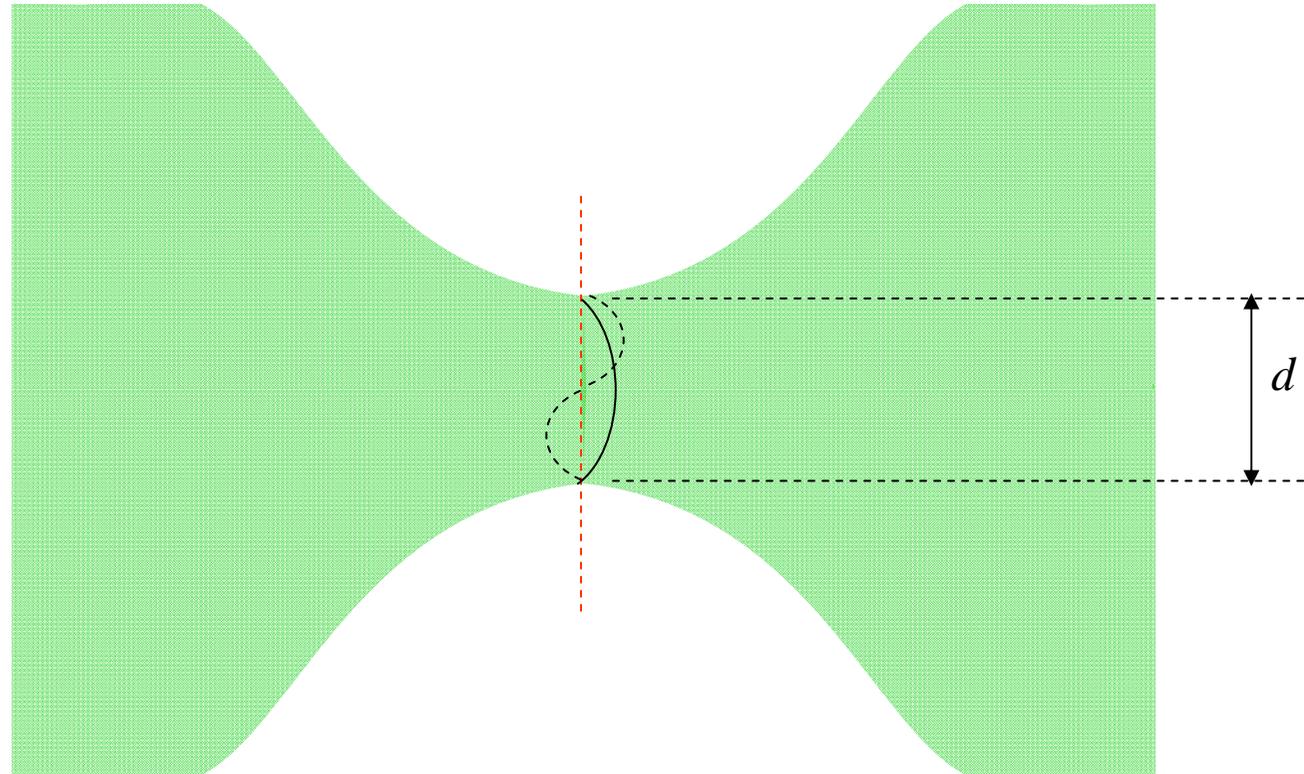


LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE

on s'intéresse
à la charge ayant
traversé le contact
pendant une durée T



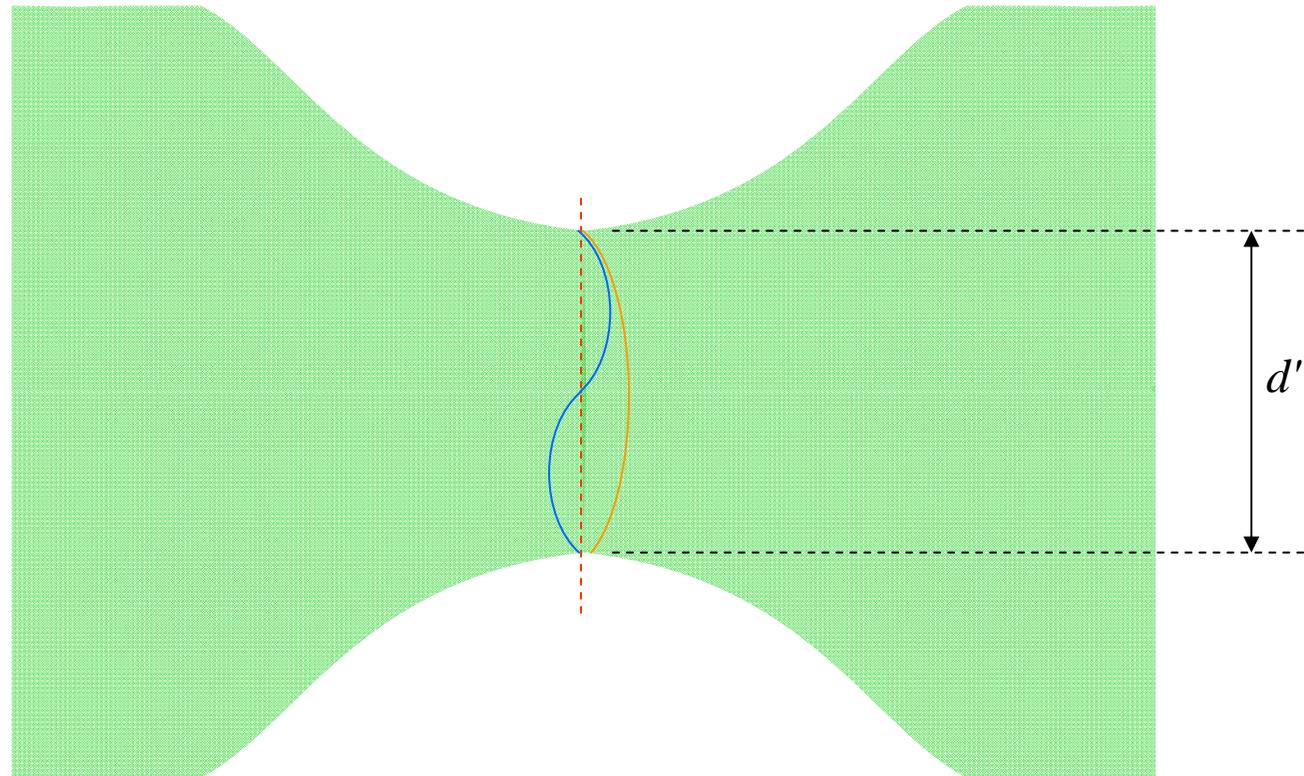
MODES ÉLECTRONIQUES DU CONTACT



BASSES
TEMPÉRATURES

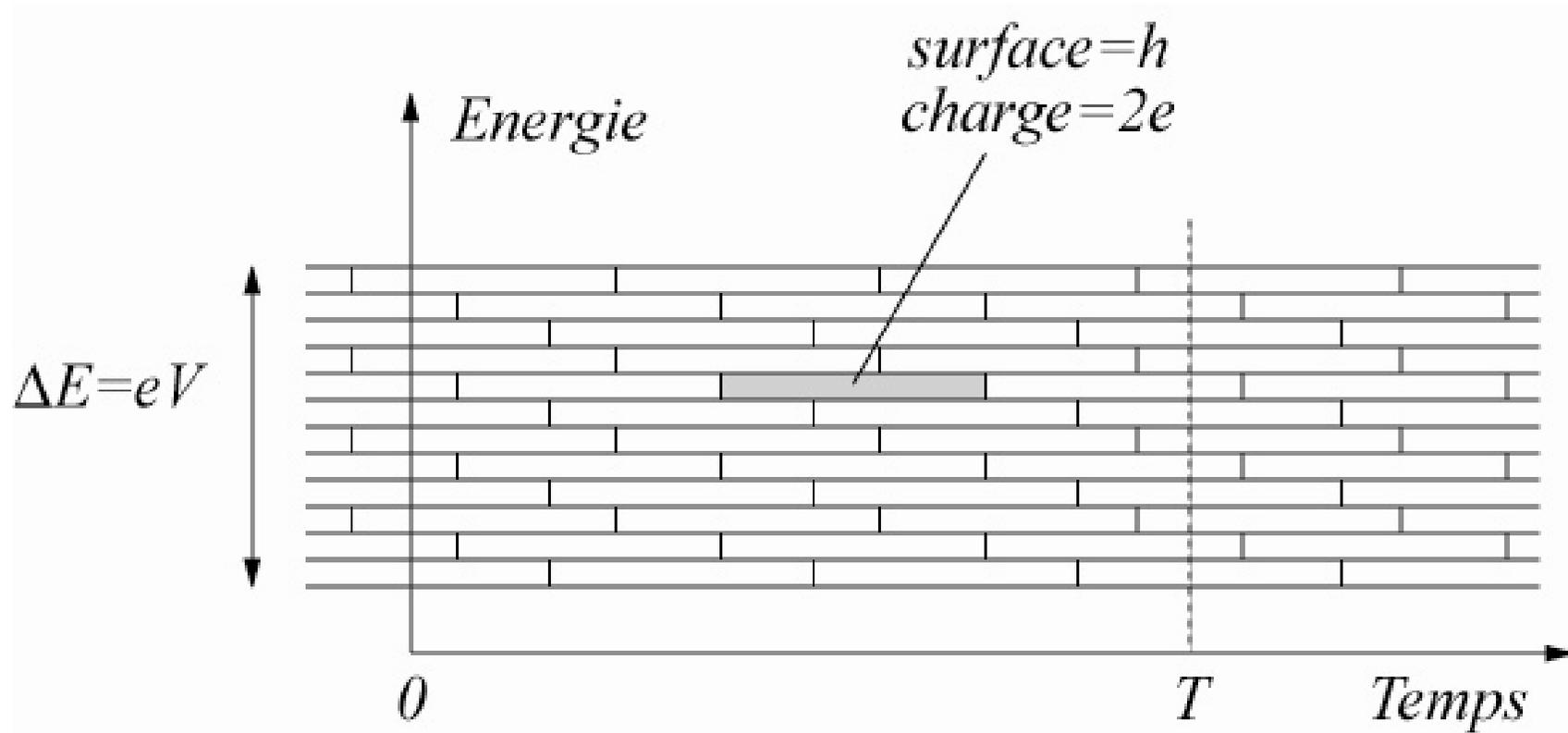
$$k_B T \ll \frac{h v_F}{d}$$

MODES ÉLECTRONIQUES DU CONTACT



ANALOGUE À UN GUIDE D'ONDE

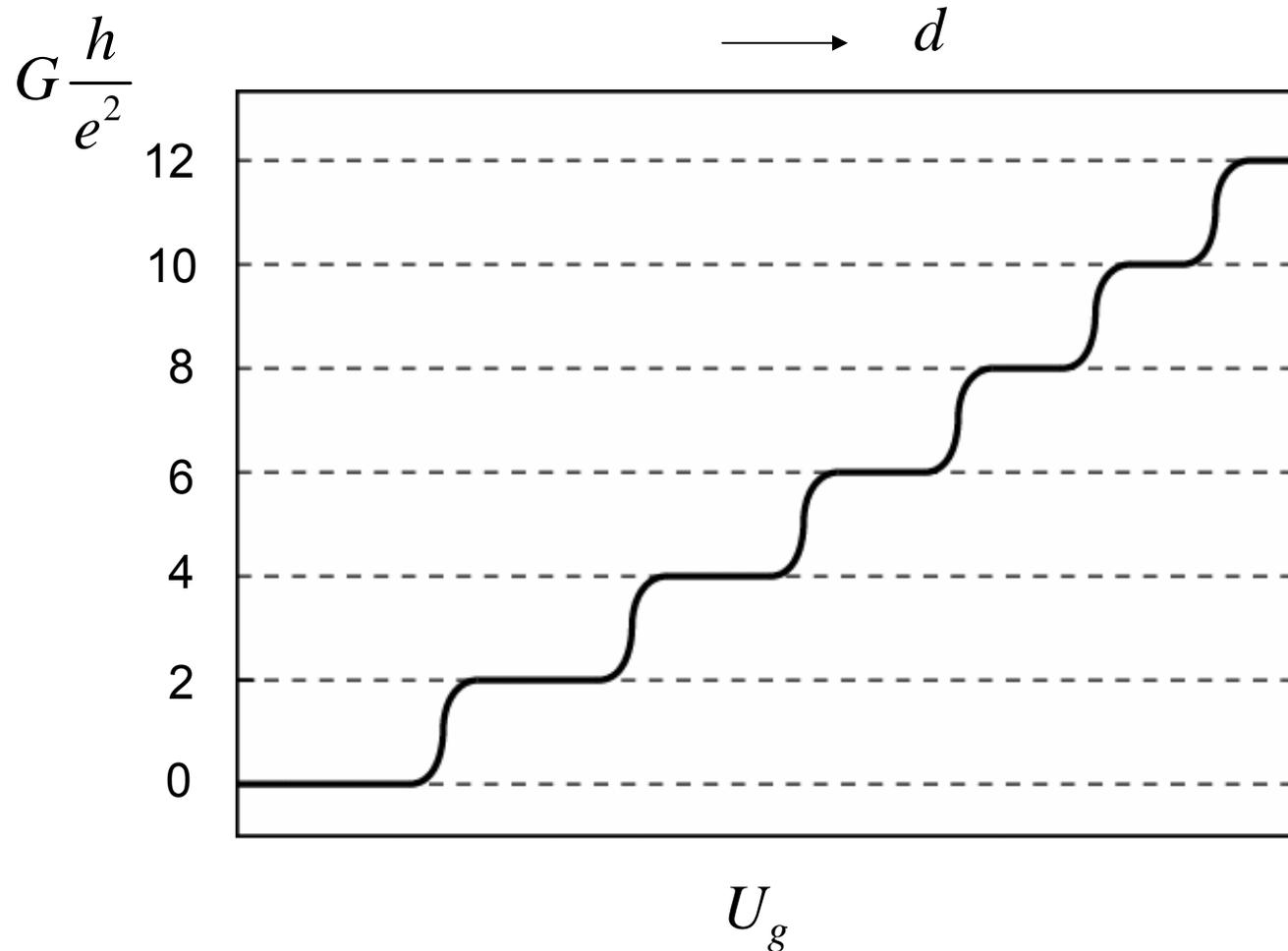
DES ELECTRONS ET DES OHMS



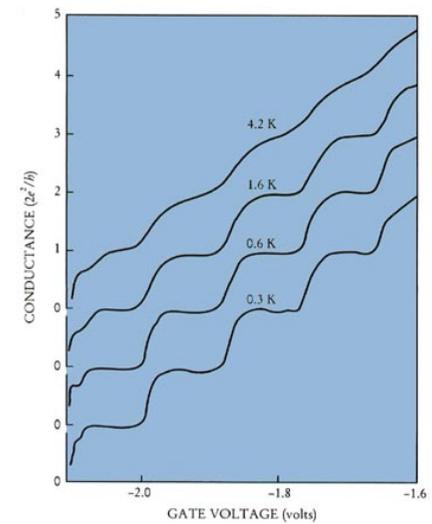
nombre de paquets:
$$N = \frac{ET}{h} = \frac{eVT}{h}$$

conductance:
$$G = \frac{I}{V} = \frac{2eN}{TV} = 2 \frac{e^2}{h} \approx \frac{2}{26 \text{ k}\Omega}$$

QUANTIFICATION DE LA CONDUCTANCE



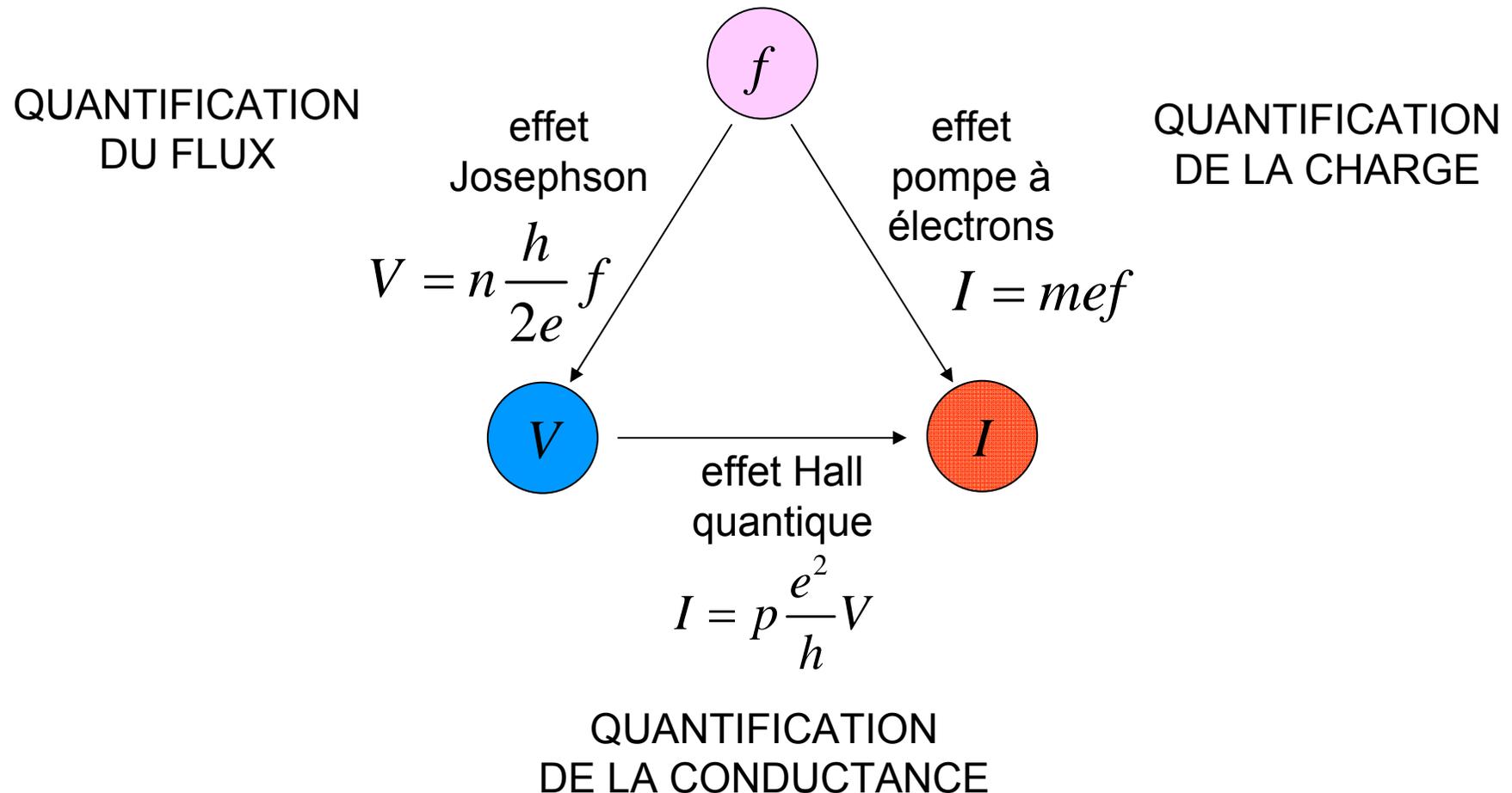
van Wees *et al.*
1988



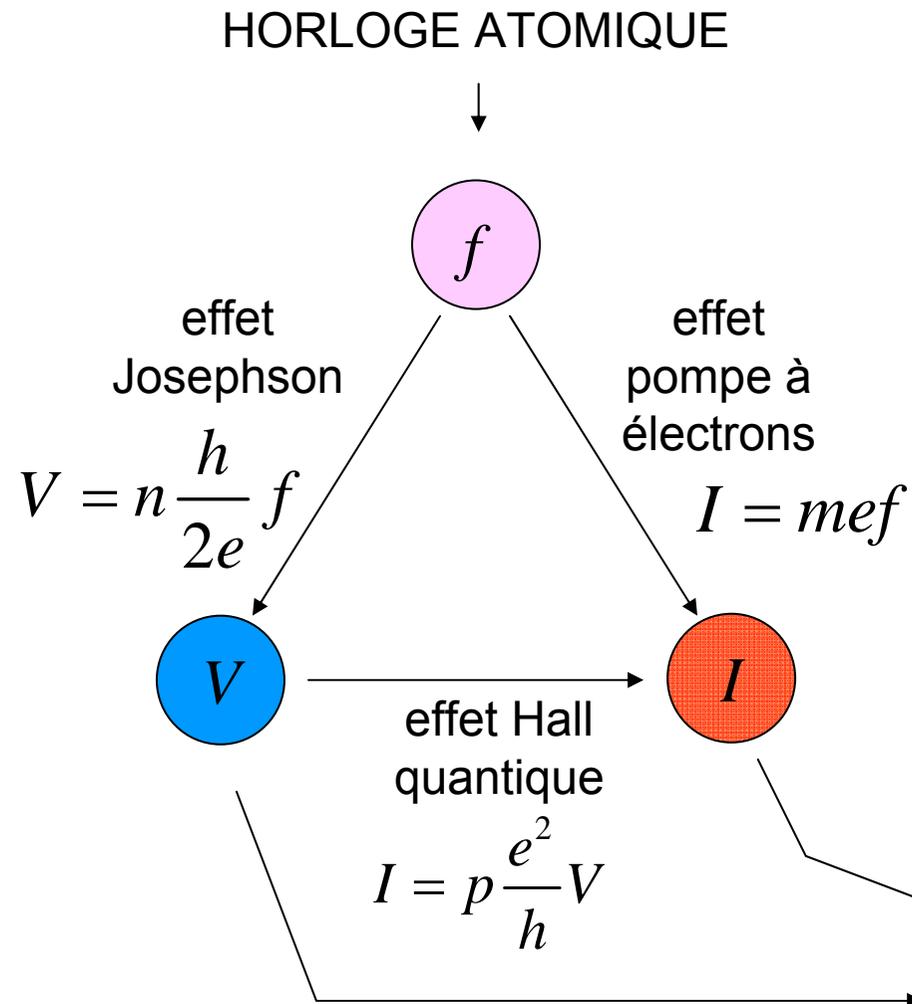
ON ACCÈDE À UN PHÉNOMÈNE QUANTIQUE
AVEC UN SIMPLE VOLTMÈTRE!

- QUE SONT CES QUANTAS RESPONSABLES DE LA FRONTIÈRE CLASSIQUE-QUANTIQUE?
- DÉFIS DES SYSTÈMES MÉSCOPHIQUES: COMMENT LES RÉALISER, LES MESURER ET PRÉDIRE LEUR COMPORTEMENT ? LE CONTACT PONCTUEL QUANTIQUE
- **APPLICATIONS À LA MÉTROLOGIE ET AU TRAITEMENT QUANTIQUE DE L'INFORMATION: TRIANGLE MÉTROLOGIQUE ET CIRCUITS QUANTIQUES SUPRACONDUCTEURS**

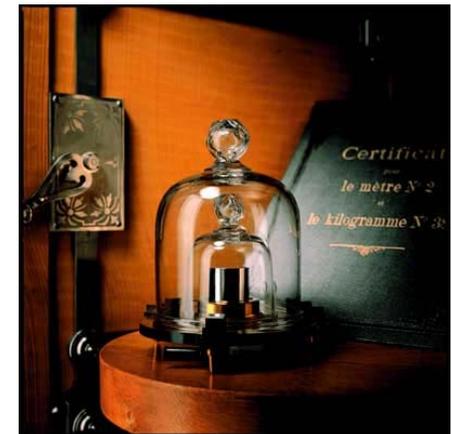
LE TRIANGLE DES EFFETS MÉSCOPHIQUES MÉTROLOGIQUES



LE TRIANGLE DES EFFETS MÉSCOPHIQUES MÉTROLOGIQUES



refonte
du système SI



CONSTANTES UNIVERSELLES ET CONSTANTES MICROSCOPIQUES

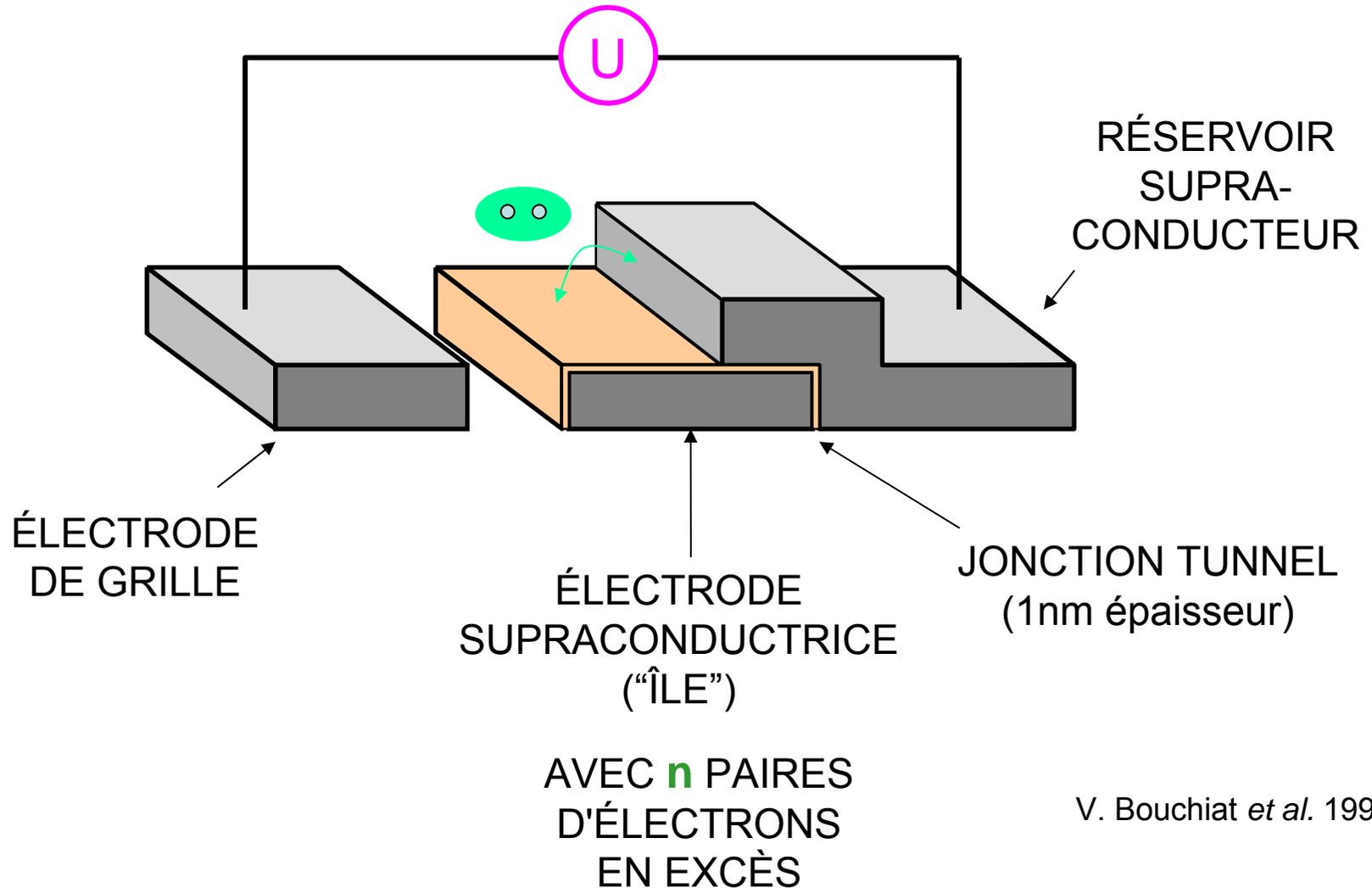


d'après S. Harris

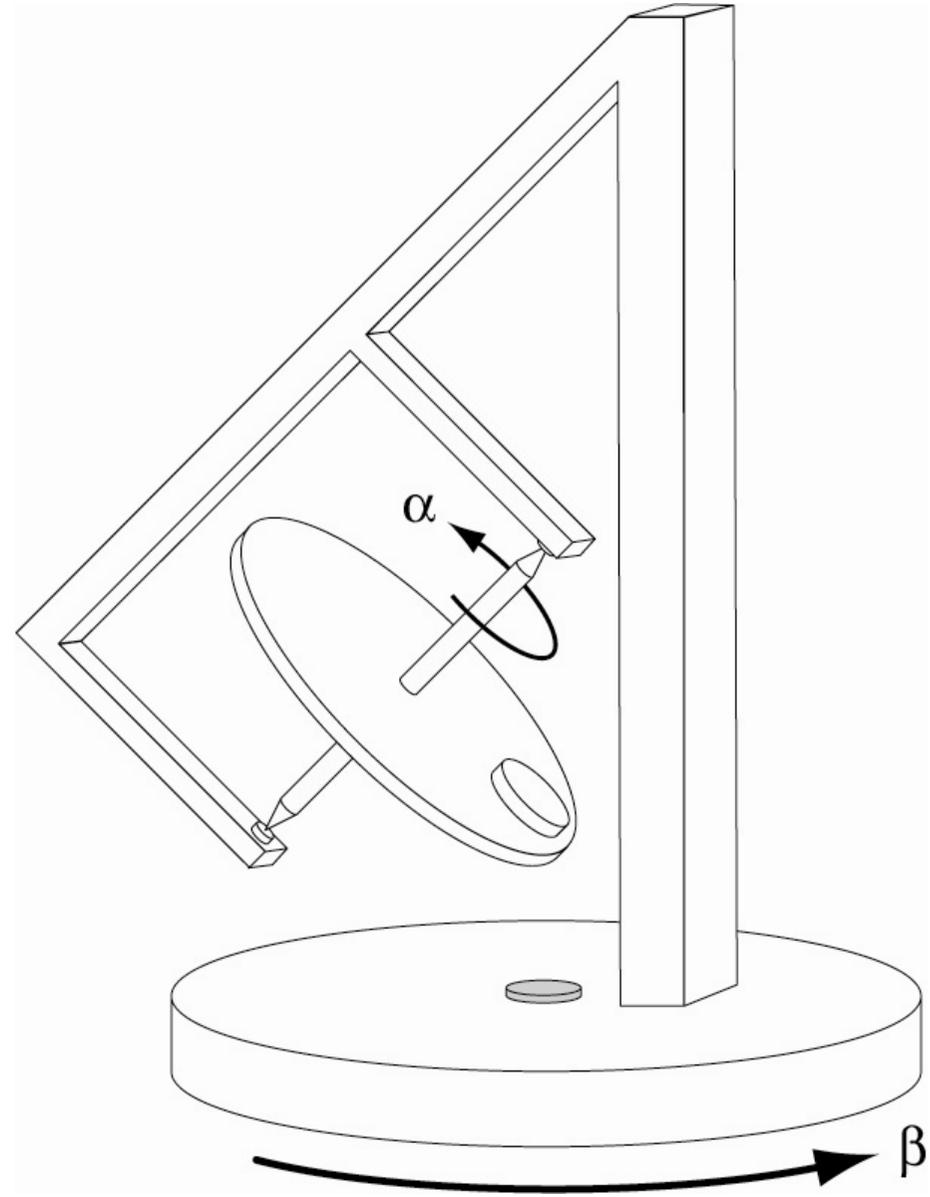
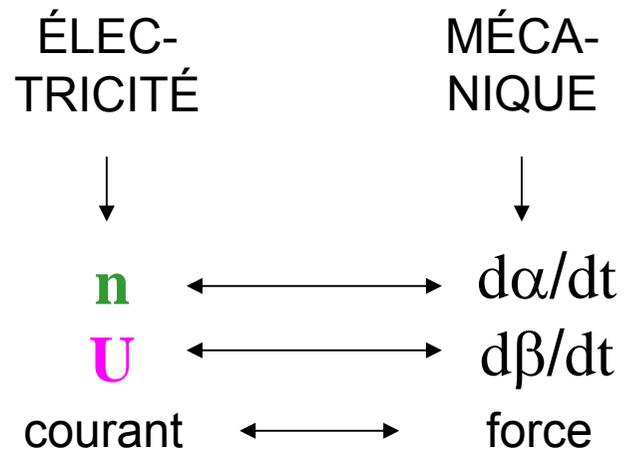
DANS LE TRIANGLE
MÉTROLOGIQUE,
LES CONSTANTES
QUANTIQUES
UNIVERSELLES
ÉMERGENT
DE MANIÈRE
ROBUSTE

**ATOMES
ARTIFICIELS ?**

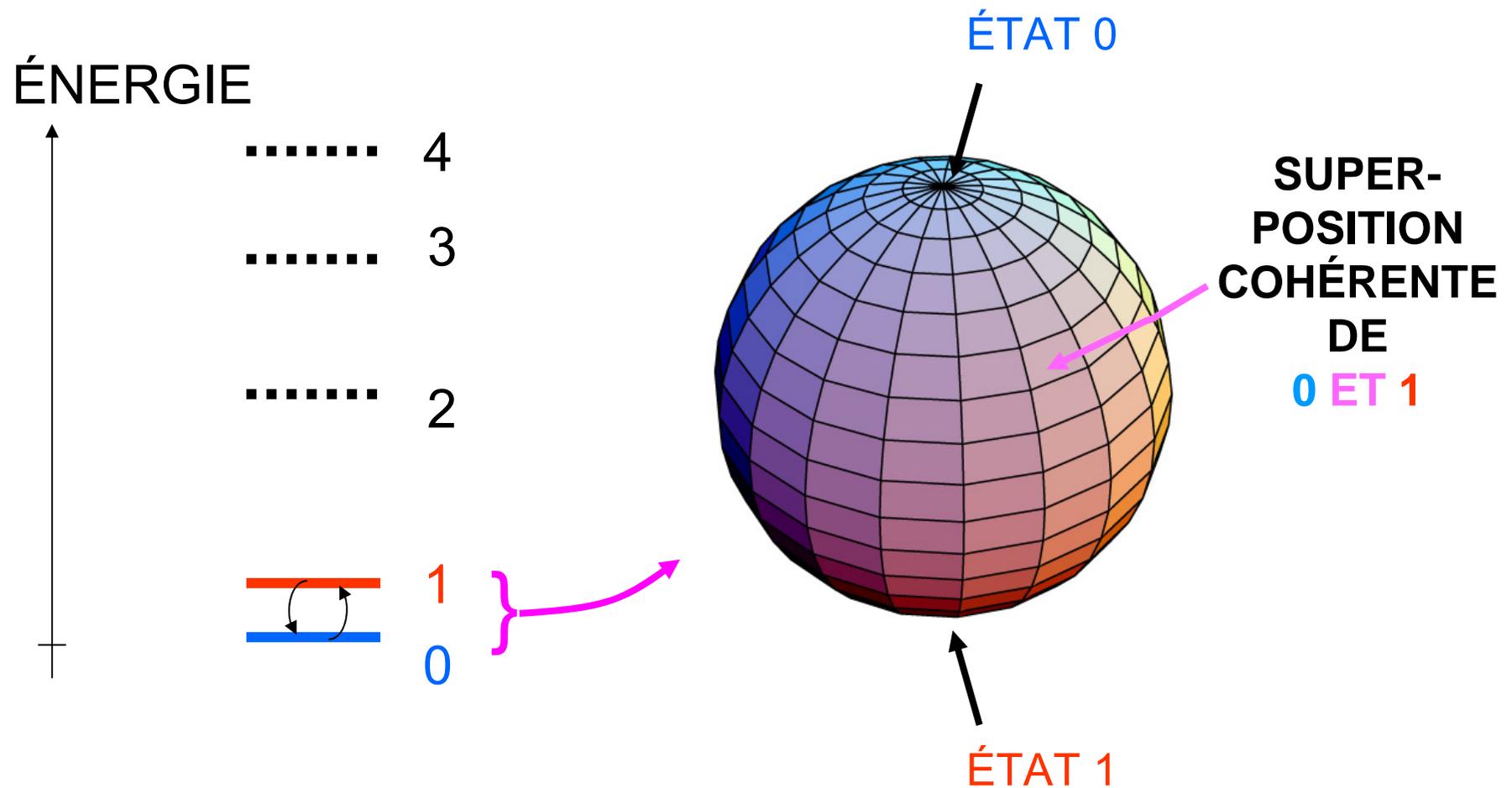
UN ATOME ARTIFICIEL: LA BOÎTE À PAIRES DE COOPER



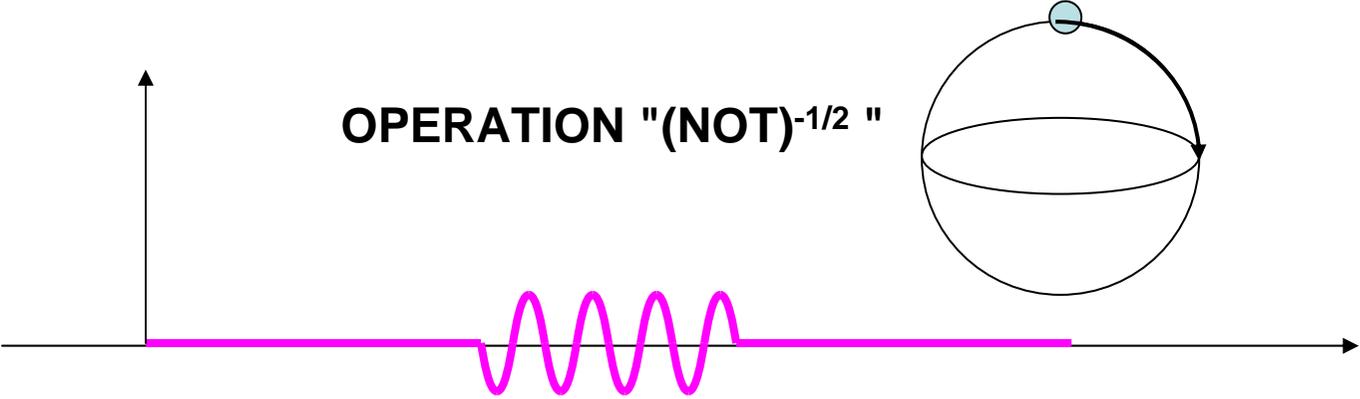
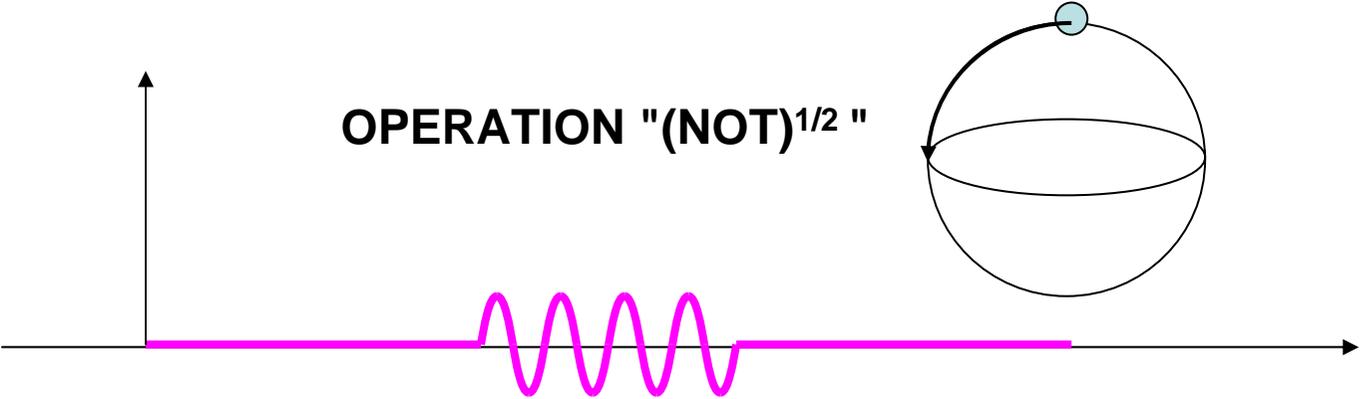
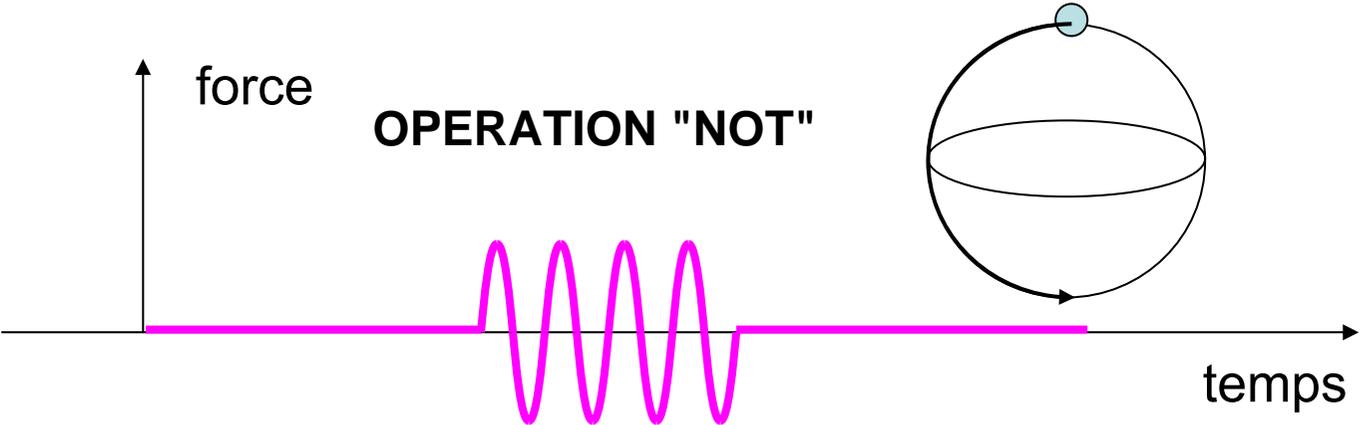
ANALOGUE MÉCANIQUE



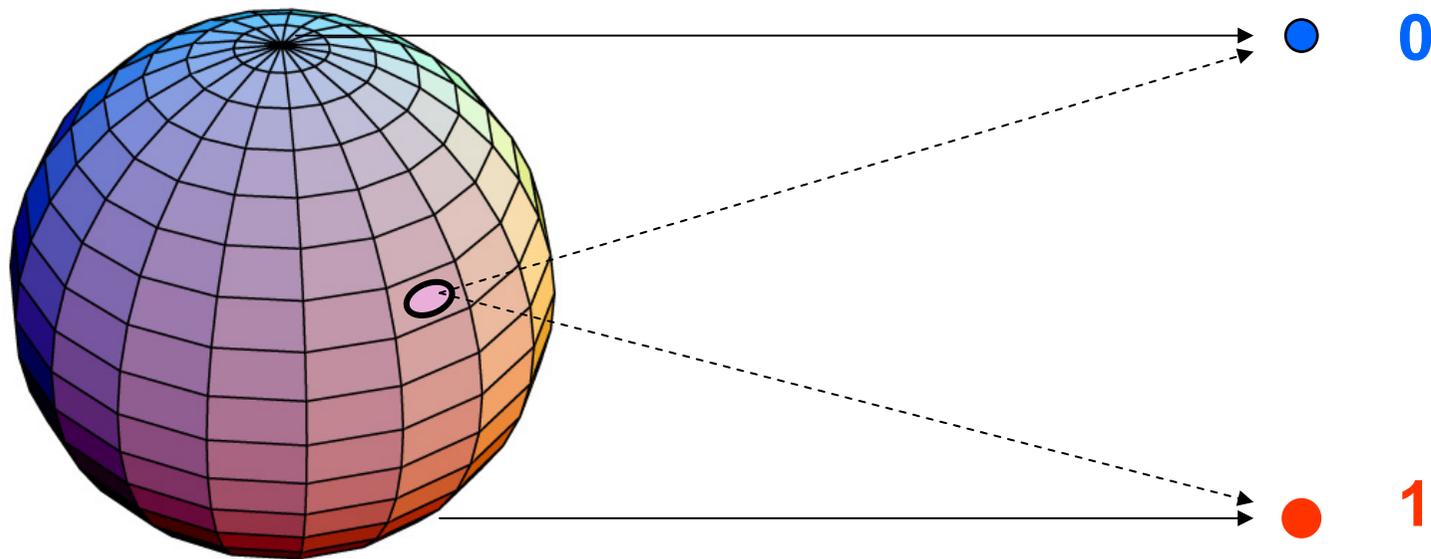
QUBIT : UNITÉ ÉLÉMENTAIRE D'INFORMATION QUANTIQUE



ÉCRIRE UNE SUPER- POSITION

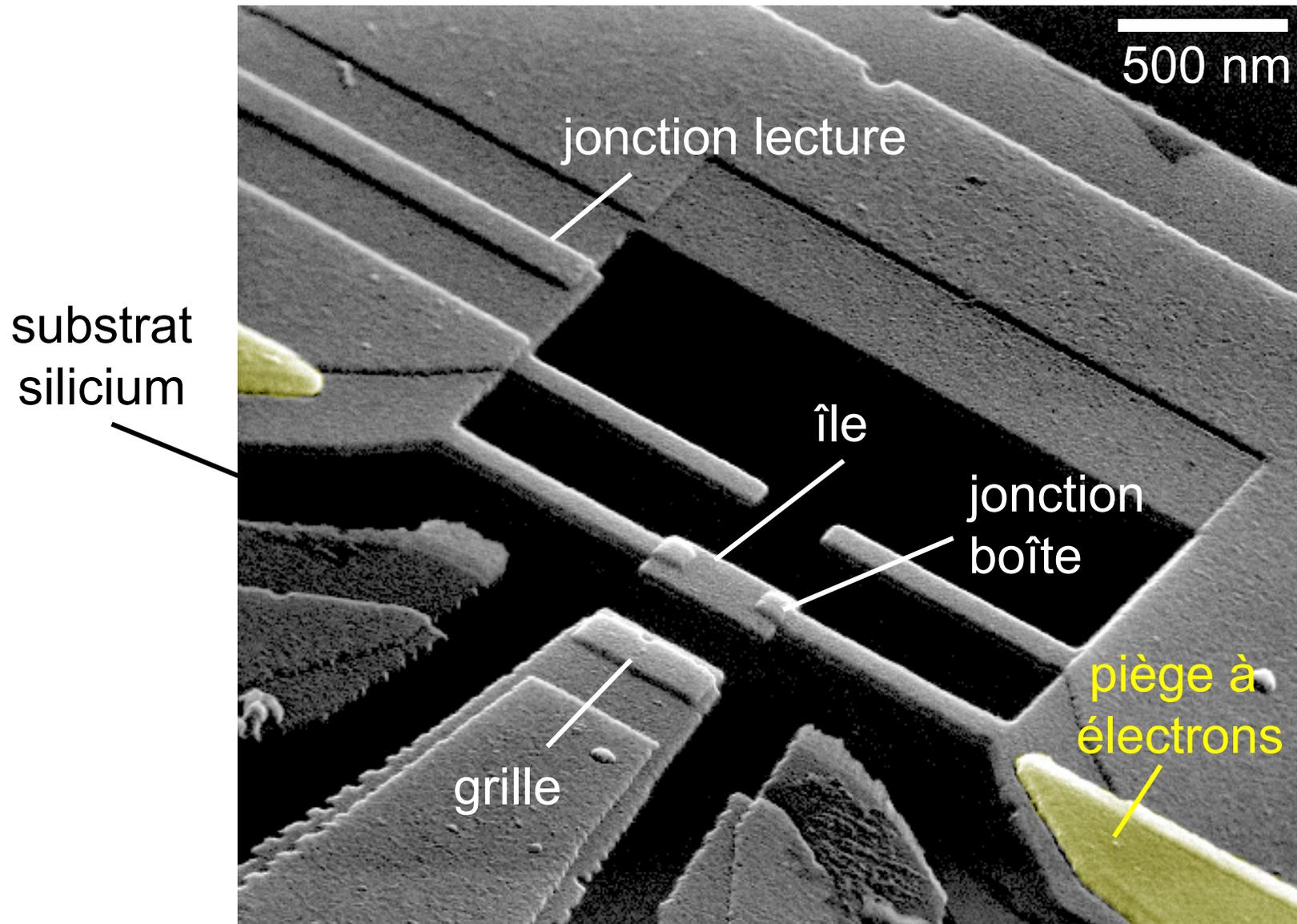


LE PRINCIPE DE CONTINGENTEMENT DE L'INFORMATION REPREND SES DROITS

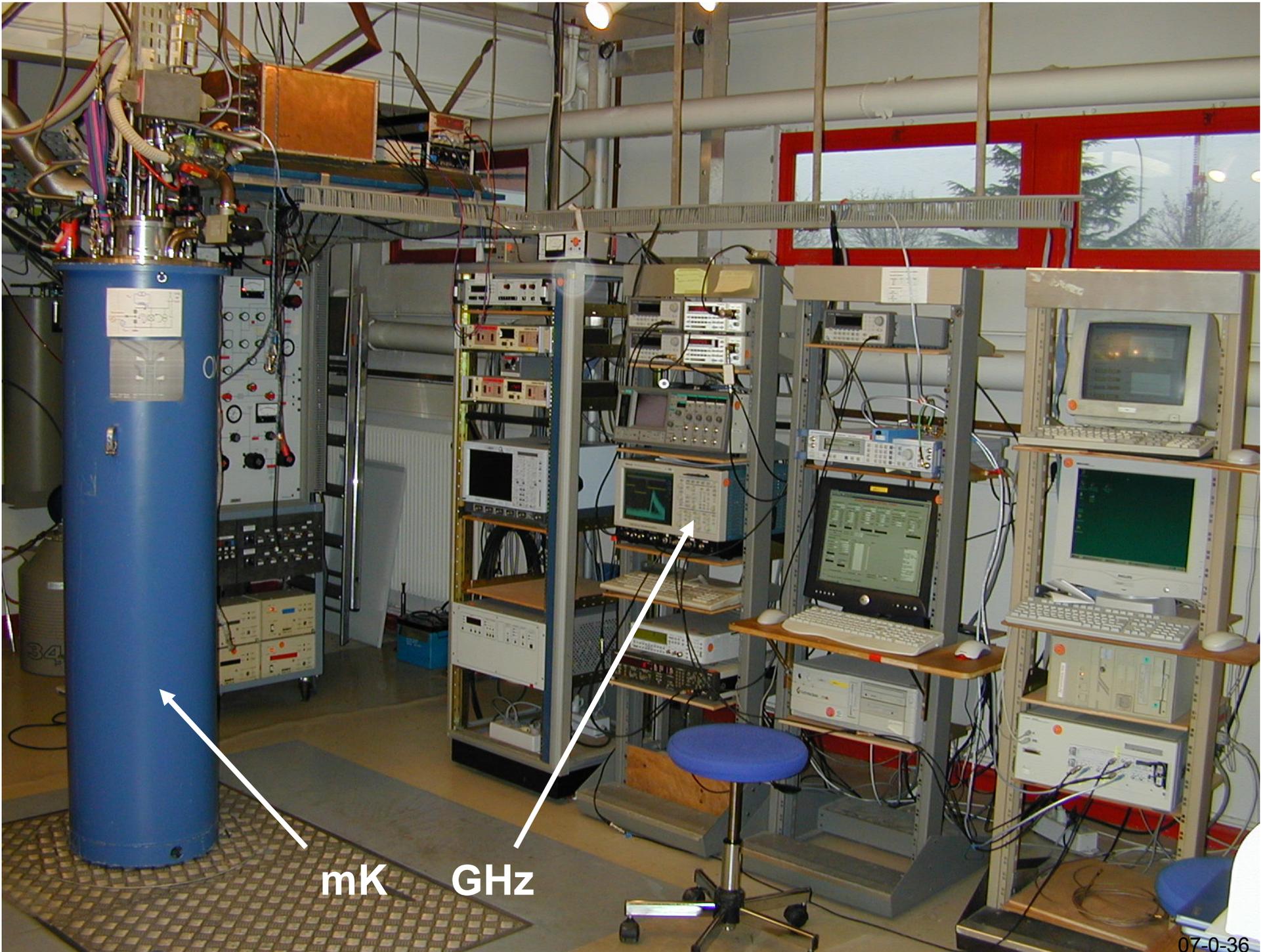


PENDANT LA LECTURE,
L'INFORMATION QUANTIQUE
SE RÉDUIT
À 0 OU 1

NANO-CIRCUIT RÉALISANT 1 QUBIT



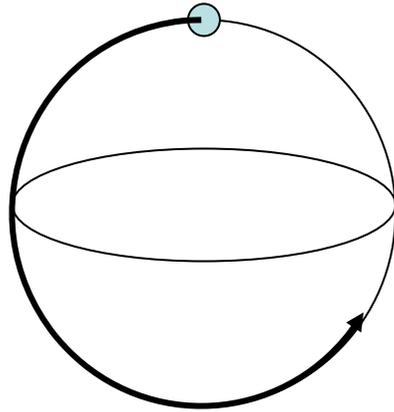
Vion *et al.*, 2002



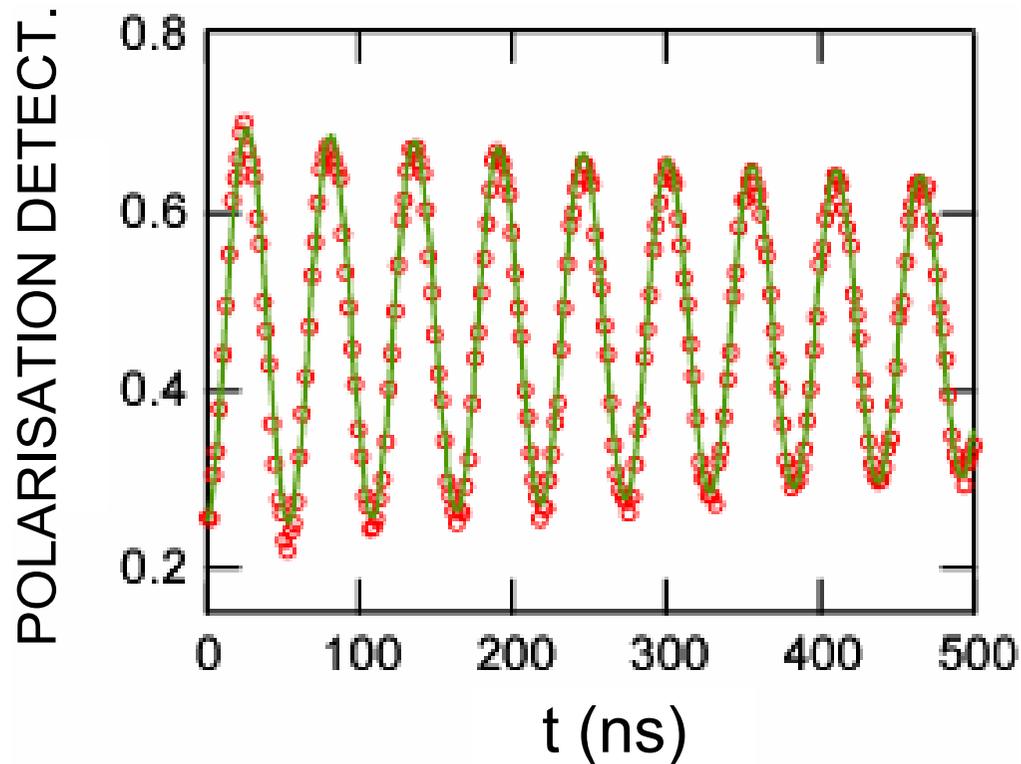
mK

GHz

MANIPULATION D'UN QUBIT



- REMISE À ZERO
- IRRADIATION PENDANT t
- MESURE



Oscillations de Rabi
de la physique atomique
et de la résonance
magnétique
observées
sur un seul
spin!

(Siddiqi *et al.*, 2006)

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

NOUVEAUX DÉFIS : FABRICATION À L'ÉCHELLE DU NANOMÈTRE,
MESURES DES QUANTAS INDIVIDUELS, THÉORIE DES SYSTÈMES
NI SIMPLES, NI SYMÉTRIQUES

NOUVEAUX EFFETS QUANTIQUES : CHARGES
FRACTIONNAIRES, FORT COUPLAGE CHARGE-CHAMP,
MANIPULATION LOCALE DE SPINS ÉLECTRONIQUES ET NUCLÉAIRES,
BRUIT NON-GAUSSIEN, INTRICATION DE VARIABLES COLLECTIVES....

APPLICATIONS: REDÉFINITION DES UNITÉS DE BASE, DÉTECTION DE
PARTICULES ET DES FAIBLES FORCES, TRAITEMENT DE L'INFORMATION

LES SYSTÈMES MÉSCOPHIQUES PRÉFIGURENT
LES MACHINES QUANTIQUES IMAGINÉES PAR RICHARD FEYNMAN

DÉCOUVRIR UN NOUVEL AXE DE COMPLEXITÉ
VERS LEQUEL LA MÉCANIQUE QUANTIQUE PRÉSENTERAIT
DES ANOMALIES?

MERCI À :

Université d'Orsay

John ELAND
Sydney LEACH
Maurice CHAPPELLIER

CEA-Saclay

Anatole ABRAGAM
Neil SULLIVAN
Maurice GOLDMAN
André LANDESMAN

U.C. Berkeley

John CLARKE

TU Delft

Hans MOOIJ
Cees DEKKER
Sander TANS

Freiburg

Hermann GRABERT

Groupe Quantronique

Daniel ESTEVE	Vincent BOUCHIAT
Cristian URBINA	Sophie GUERON
Emmanuel TURLOT	Frédéric PIERRE
Hugues POTHIER	Ronald CRON
Philippe JOYEZ	Abdel AASSIME
Pief ORFILA	Audrey COTTET
Philippe LAFARGE	Anne ANTHORE
Denis VION	Patrice BERTET

Yale

Irfan SIDDIQI	Rob SCHOELKOPF
Rajamani VIJAY	Dan PROBER
Frédéric PIERRE	Steve GIRVIN
Chad RIGETTI	Doug STONE
Etienne BOAKNIN	Luigi FRUNZIO
Michael METCALFE	Vlad MANUCHARIAN

U.C. Santa Barbara : John MARTINIS

Recherche effectuée grâce au soutien de:



W.M.
KECK

