

La mécanique quantique:

**une théorie physique
sans représentation de la réalité?**

Michel Bitbol

CNRS, Archives Husserl, Paris, France

Le débat en bref

- **Réalisme:** La théorie quantique a pour mission de **représenter** (de manière plus ou moins **complète**) une **réalité *sous-jacente*** aux phénomènes, ***indépendante*** des moyens de les connaître.
- **Empirisme:** La théorie quantique est un **dispositif formel** permettant de **décrire économiquement** l'ordre (statistique) des **phénomènes**

Une troisième voie

- **Transcendantalisme (Kant)**
- **Moins** qu'une représentation de la « réalité indépendante », mais **plus** qu'une recette descriptive
- Agnosticisme ontologique, mais explication épistémologique de la structure de la théorie



“Laissons notre imagination s’étendre jusqu’aux cieux ou aux limites extrêmes de l’univers; nous ne faisons pourtant pas un seul pas au-delà de nous-mêmes” D. Hume, *Treatise of human nature*, I, II, vi



Kant et la métaphysique

1. Rejet du rêve métaphysique standard d’accéder à une *réalité suprasensible*
2. Reconnaissance de la *fonction cognitive* de la quête métaphysique
3. Nouvelle définition de la métaphysique adaptée à l’âge scientifique



1. Contre la métaphysique classique

- *Le préjugé pré-critique (Dissertation de 1770)* “Il est évident que les pensées sensibles sont les représentations des choses telles qu’elles **apparaissent** et que les pensées intellectuelles sont la représentation des choses telles qu’elles **sont**”
- *Période critique.* Cet usage spéculatif de la raison est infondé: voir les antinomies, ou conflits de la raison avec elle-même.

2. La métaphysique comme guide

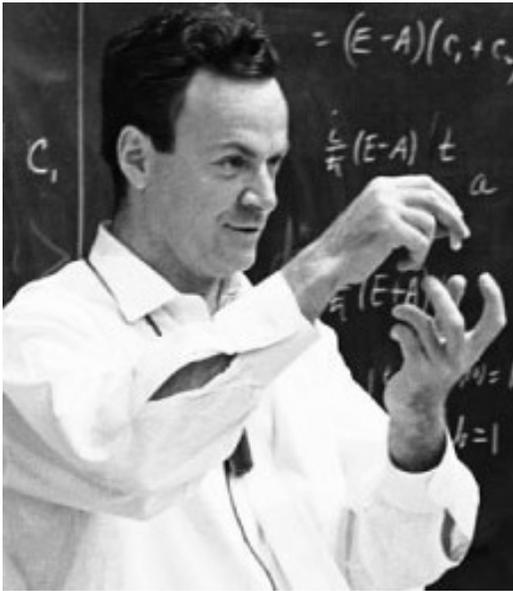
- **La métaphysique est le produit inévitable de l'élan de la raison**
 - Les sujets cherchent à **compléter** le système de la connaissance en élaborant des **explications** des phénomènes observés par des **processus réels cachés**
 - La raison n'aperçoit aucune limite à sa quête des **causes**; elle voudrait l'arrêter en posant une **cause première**.
- **La métaphysique peut servir de guide et d'impulsion à la recherche scientifique**
 - Kant, *Prolégomènes*: **Hume** “Perdit de vue le dommage qui résulte du fait d'ôter à la raison ses vues les plus importantes, d'après lesquelles il lui est possible de fixer à la volonté **le but suprême de tous ses efforts**”.
 - **Réalisme motivationnel** et **Idéaux régulateurs**



3. Une nouvelle définition de la métaphysique: réflexivité



- Kant, CRP: “La métaphysique est la science des limites de la raison humaine”
- “La métaphysique ne porte pas sur des objets mais sur la connaissance”
- *La métaphysique ne porte plus sur une réalité métempirique, mais sur les conditions de la connaissance empirique*

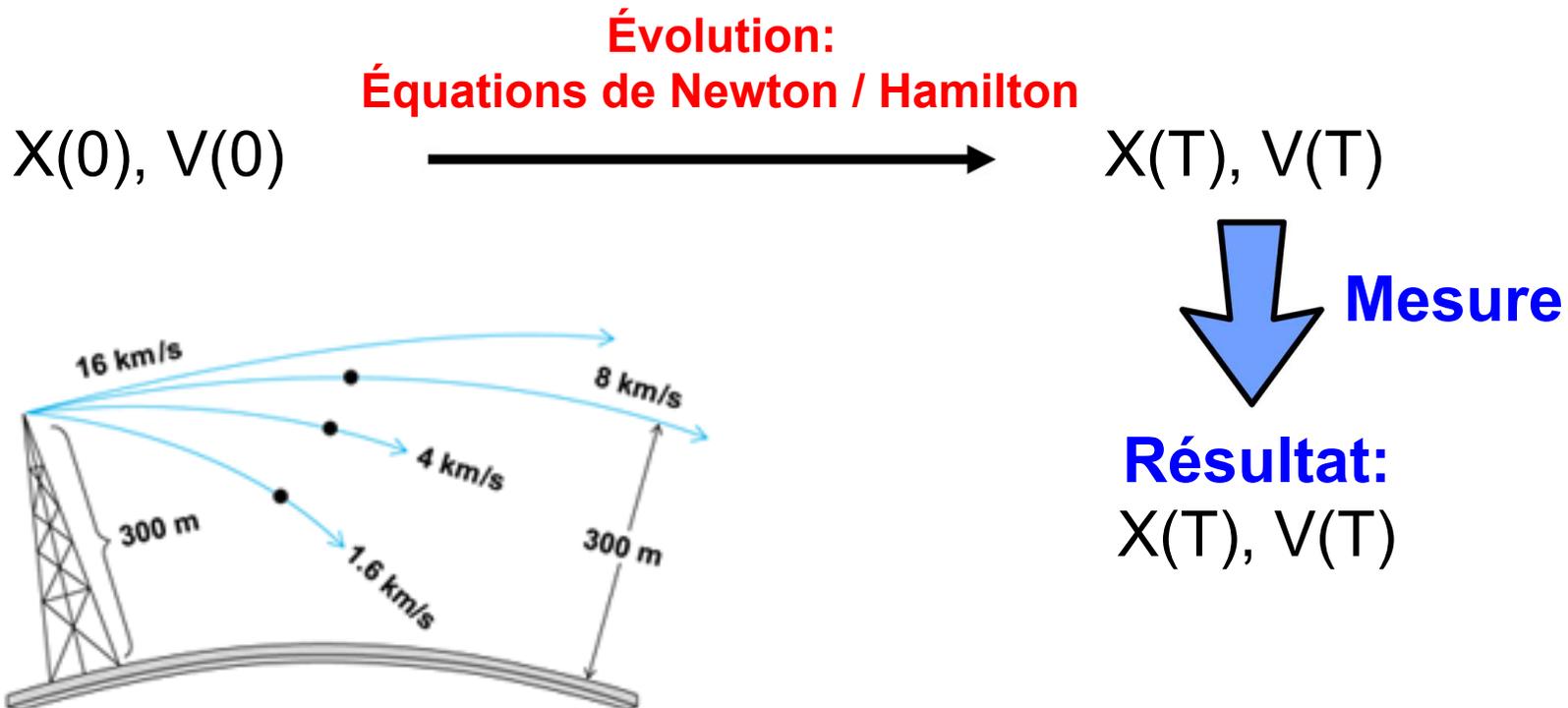


Richard Feynman
1918-1988

Redirection réflexive de l'attention pour « comprendre » la physique quantique

- “Je pense pouvoir dire sans me tromper que **personne ne comprend** la mécanique quantique” Feynman, 1965
- “Il se pourrait que nous ayons à apprendre ce que le mot ‘**comprendre**’ veut vraiment dire” Bohr, 1921
- **Compréhension « réaliste » ou réflexive?**
- La mécanique quantique ne fournit **aucune représentation unanimement acceptée** d’une réalité « extérieure ». **Pas** de compréhension « **réaliste** ».
- Elle fournit un système de **prévision probabiliste** de phénomènes techno-expérimentaux (**Empirisme**)
 - Savoir **Pourquoi** il en va ainsi débouche sur une **compréhension réflexive** de la mécanique quantique (**Transcendentalisme**)

Qu'est-ce que la mécanique CLASSIQUE? (sur un plan empirique)



- **HABILLER LE SQUELETTE MATHÉMATIQUE (RÉALISME):**

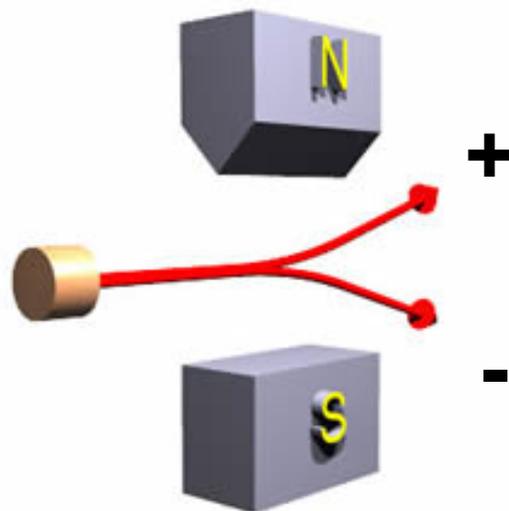
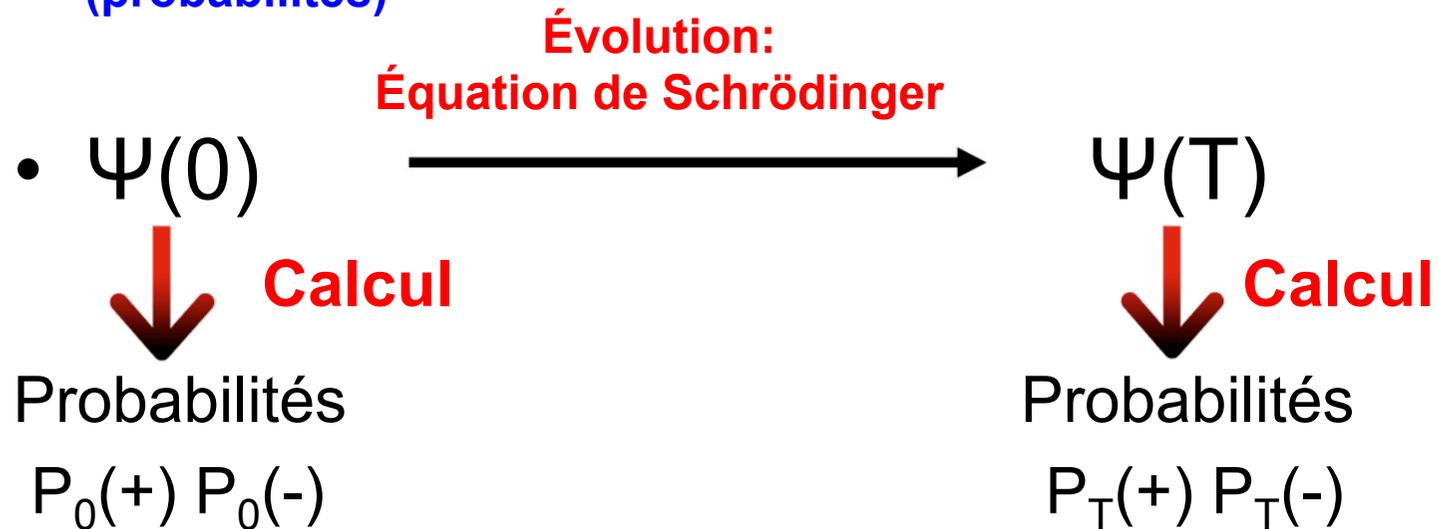
1. “**La réalité est faite de CORPS MATÉRIELS** dotés de position et vitesse, et qui s’attirent” (Newton)
2. “**La réalité est faite de pure ÉNERGIE.** Les **corps matériels** seulement *apparents*: **concentrations locales d’énergie**” (Ostwald, Duhem)

Qu'est-ce que la mécanique QUANTIQUE?

(sur le plan empirique)

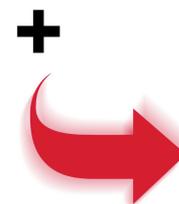


- **Histoire:** Sauts quantiques, onde-corpuscule, indéterminisme...
- **Un schéma pour prédire des résultats expérimentaux (probabilités)**



Mesure

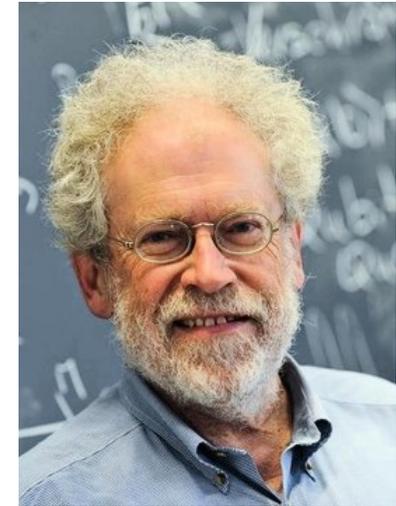
Résultat:



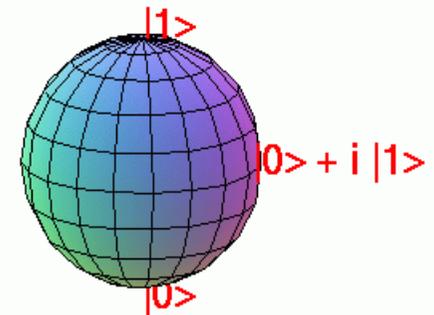
Redéfinir Ψ_+ pour de futurs calculs de probabilité

Si l'on habille ce squelette par une **représentation de la réalité** au-delà des phénomènes, **des paradoxes apparaissent**

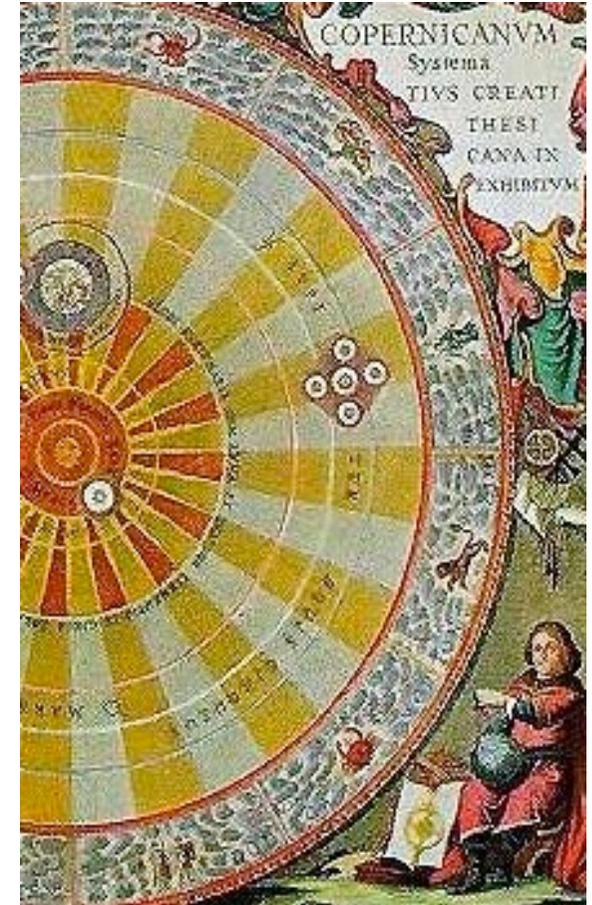
- **Réalisme.** Selon **Penrose**, les paradoxes quantiques viennent de ce que:
 - La réalité est **étrange** à l'échelle subatomique
 - La MQ n'offre pas une description **complète** de cette réalité ...
- **Empirisme.** La théorie quantique **facile à comprendre** si l'on accepte qu'elle ne révèle **RIEN** de la nature **INTRINSÈQUE** de la réalité. Théorie des *limites de l'information expérimentale disponible*
 - **Comment est-ce possible?** La MQ n'est -elle pas **efficace**?
 - **STATISTIQUES:** efficaces pour fixer le coût des **assurances** mais ne disent **rien sur la cause réelle des accidents**



Anton Zeilinger



- Dans l'esprit de la révolution copernicienne au sens de Kant, il y a une manière de **COMPRENDRE** le sens de ces paradoxes. Pas seulement de les **supprimer** comme dans l'empirisme.
- Les paradoxes de la physique quantique surgissent parce qu'on **CROIT** qu'elle peut être une représentation (plus ou moins complète) de la réalité, alors qu'elle n'explore que **la pluralité de nos RELATIONS possibles avec / dans la réalité...**
- *“(les déterminations des choses) expriment de simples **relations**, sans avoir pour fondement quelque chose d'intérieur (...) elles ne sont pas des choses en soi mais de simples phénomènes”* E. Kant, CRP



Acteurs, spectateurs, et être-en-relation



- **N. Bohr (1930):** “La nouvelle situation en physique nous a rappelé fermement l’ancienne vérité que nous sommes à la fois observateurs et **acteurs** dans le grand drame de l’existence”



- **W. Heisenberg (1955):** “Si l’on peut parler de l’image de la nature selon la science actuelle, on doit comprendre ces mots comme faisant référence à **l’image de nos RELATIONS avec la nature**”

Heisenberg et les 3 “régions du savoir” (Philosophie 1942)

Science classique de la nature

Etats de choses: génériques, et pouvant être rendus *indépendants* de l’acte de connaître

Objectivation maximale

Physique quantique

Etats de choses: individuellement *inséparables* de l’acte de connaître, mais prévisions / probabilités indépendantes de lui

Méta-objectivation

Sciences humaines

Etats de choses:

-*Uniques* / irréversibles (histoire)

-Partiellement *engendrés* par l’acte de connaître (psychologie)

Objectivation comme problème

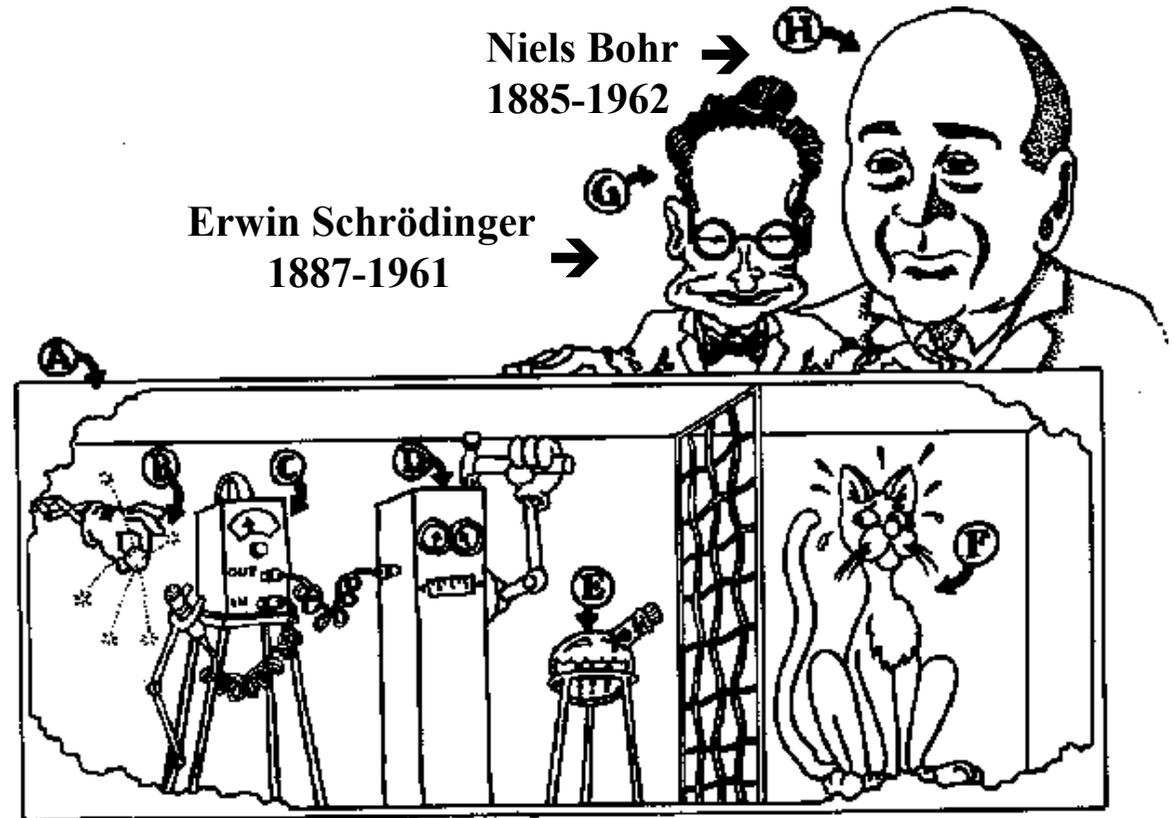
La physique quantique et la nouvelle science cognitive



Francisco Varela,
1946-2001

- **Paradigme standard:** La réalité est **donnée là-dehors**. Un organisme en reçoit des **entrées** et agit sur elle (**sorties**). Entre les entrées et les sorties: **calcul symbolique** suivant une **représentation de la réalité**.
- **Paradigme de l'autonomie (F. Varela) + connexionnisme neuronal**
- **Dans le connexionnisme, un réseau neuronal** “ne représente pas la réalité, mais représente, si l'on tient à ce mot, le **PROCESSUS INTERACTIF** entre l'organisme et son environnement”. Schopman & Shawky, 1996
- **Souvenez-vous de Heisenberg!**

Clarification 1: Le chat de Schrödinger sans contradiction

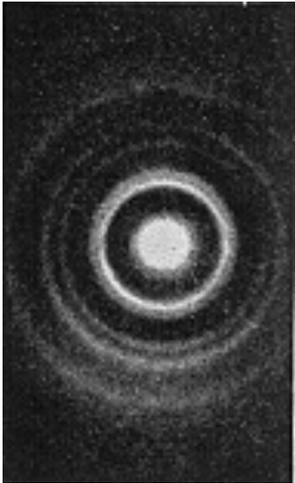


(William R. Warren, Jr., © 1985, reproduced with permission.)

“Paradoxe”?

- **Phrase 1:** “Le système atome + **chat** est dans l’**état**:
 $2^{-1/2}(|0\rangle | \text{vivant}\rangle + |1\rangle | \text{mort}\rangle)$ ”
 - **Phrase 2:** “On **trouve** que le **chat** est **SOIT** dans l’**état** ‘vivant’ **SOIT** dans l’**état** ‘mort’”.
1. Sans le mot “**état**”, les deux phrases ne comportent nulle contradiction.
 2. **Devons-nous attribuer un ETAT dans l’ABSOLU?**

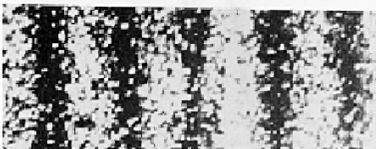
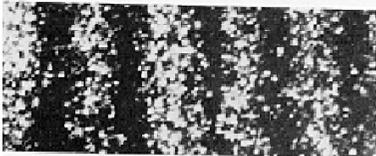
Clarification 2: La dualité onde-corpuscule sans ontologie



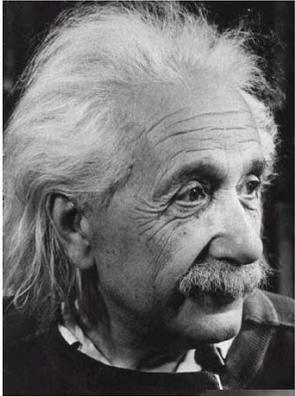
- Cette figure de diffraction des électrons ne prouve pas qu'ils **sont** des ondes
 - ✓ Explications non-ondulatoires des figures de diffraction



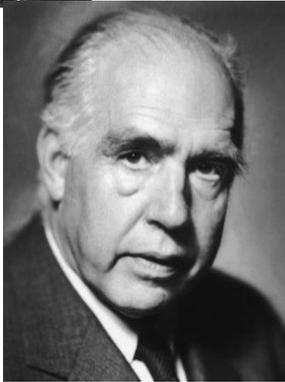
- Ces traces dans une chambre à brouillard de Wilson ne prouvent pas que les photons X **sont** des corpuscules
 - ✓ Explications non-corpusculaires des traces



Theorème: Une théorie valant pour des phénomènes **RELATIFS à des contextes mutuellement exclusifs** prédit des distributions **d'allure ondulatoire** de ces **phénomènes**



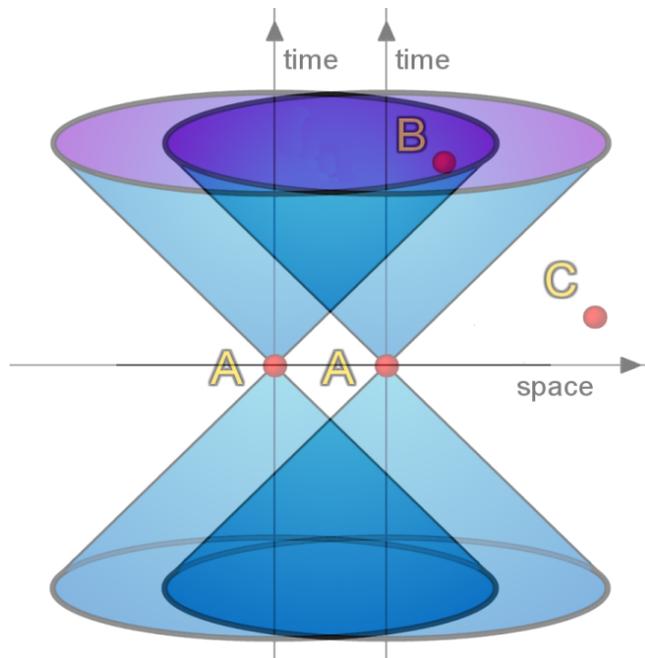
Clarification 3: les corrélations d'Einstein, Podolsky et Rosen (EPR)



- **Le problème d'Einstein:**

- ✓ Supposons que seules les coordonnées de **distance** entre les particules A et B sont définies (état intriqué).
- ✓ Si l'on mesure la position (3 coordonnées) de A, la position de B est **instantanément déterminée**.

NON-LOCALITÉ?



- **Réponse bohrienne:** La comparaison des positions de A et B vaut **relativement à** un observateur futur capable de les évaluer toutes deux.

- *Aucune détermination instantanée dans l'absolu:*
PAS BESOIN DE POSTULER LA NON-LOCALITÉ

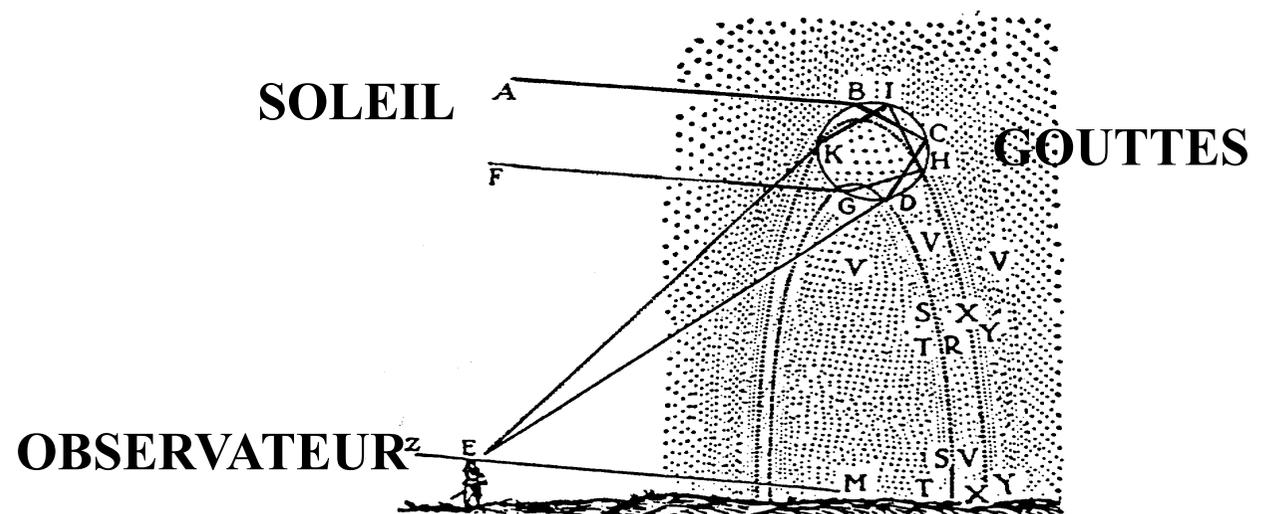
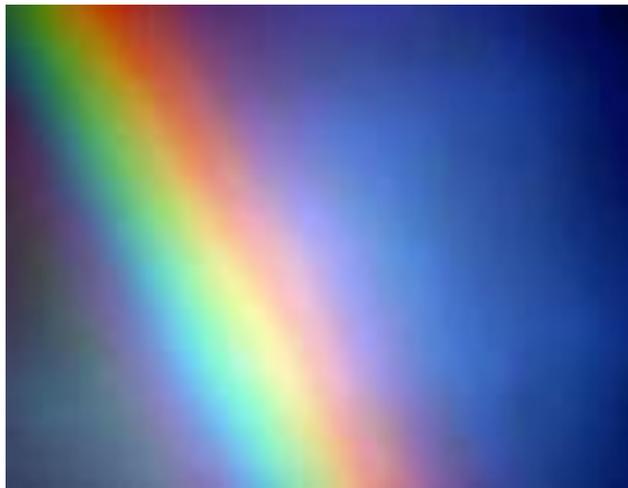
Smerlak & Rovelli 2007

Clarification 4: Particules sans existence intrinsèque

- Statistique quantique: particules “**Indiscernables**” ...
- ✓ Schrödinger (1950): “**Les particules**, au sens naïf d’autrefois, **n’existent pas**”
- ✓ Joos (2003): “**Les particules n’existent pas**”

- **En théorie quantique des champs:**
 - Les particules **ne** sont **pas** le genre de chose qui **est** ou qui **n’est pas dans l’absolu**
 - Elles sont **relatives à** un “dispositif d’activation”. Leur nombre est une **observable**.

- **J-M. Lévy-Leblond et B. d’Espagnat: “Les particules ont le mode d’existence d’un **ARC-EN-CIEL**”**





Clarification 5: Indéterminisme

- **Born 1926:** interprétation **probabiliste** de la fonction d'onde
- **Heisenberg 1927:** “(...) La mécanique quantique établit l'échec final de la causalité”.



Incertitude	Sujet
Indétermination	Objet (réalité extérieure)
Imprécision / Imprévisibilité	Neutralité (Relation)



Qualités Primaires: Déterminisme, Qualités Secondaires: Probabilités

- **Locke** (1690): Les qualités secondaires ne sont “rien dans les objets eux-mêmes, mais des **capacités de produire diverses sensations en nous**”
- **Jérôme Fracastor** (1546): “Les qualités appelées primaires engendrent et altèrent tout, mais celles qui sont appelées secondaires (...) servent simplement à exciter nos sens”
- “(Les signes prémonitoires de contagion) ne doivent pas être considérées comme des pronostics, mais seulement comme des signes de **PROBABILITÉ**”
- Les sciences exactes (Maths, Astronomie) portent sur les **qualités primaires**. Les sciences d’anticipation approximative (Médecine, Météorologie) portent sur les **qualités secondaires**.

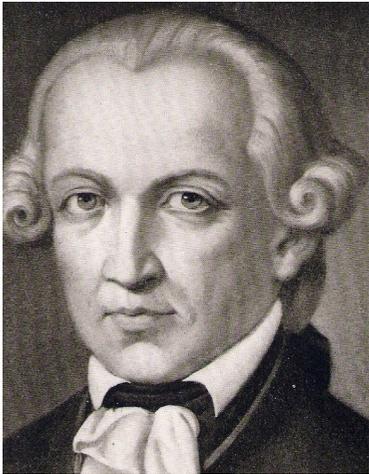


Girolamo Fracastoro
1478-1553

Ian Hacking, *The emergence of probability*

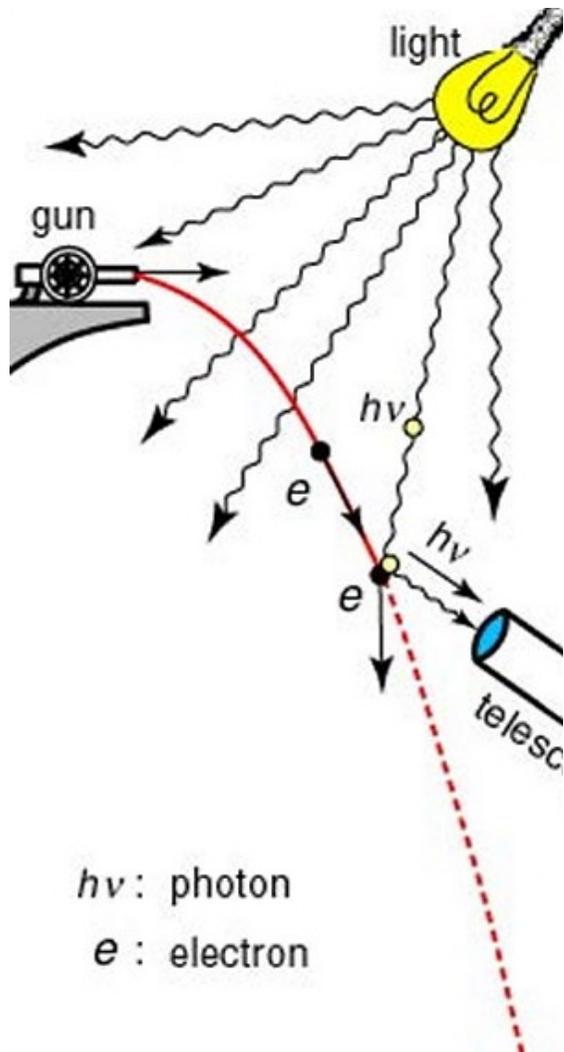
Qualités secondaires généralisées en mécanique quantique

- **Heisenberg** (1932): “Selon Démocrite, les atomes ont perdu les qualités comme la couleur, le goût, etc.; Ils occupent seulement un espace ... **En physique moderne, les atomes ne possèdent pas les qualités géométriques à un plus haut degré que la couleur, le goût, etc. ... Toutes les qualités de l'atome de la physique moderne sont dérivées**”



- **Kant** (1783): “Je vais plus loin (que Locke) et tiens pour simples **apparences** les autres qualités également, qui sont appelées **primaires**, comme l’extension, l’espace... **Toutes les propriétés qui constituent l’intuition d’un corps appartiennent simplement à son apparence**”.
- **Hypothèse**: *probabilités en mécanique quantique dérivent (1) du fait que la théorie concerne des traits **secondaires/relationnels**, et (2) de l’incompatibilité mutuelle de ces relations.*

Indéterminisme et Perturbation



- **Observer et Perturber** (de manière incontrôlable)
- **DEUX conséquences possibles :**
 - **Indivisibilité (contextualité)** des phénomènes quantiques (Bohr)
 - **Acausalité** (Heisenberg): Pas de connaissance exacte de l'état initial. Donc, le principe de causalité (connectant l'état initial et final) est *inapplicable*
- *Lien entre contextualité et acausalité:* Echo du lien entre **qualités secondaires** et **probabilité**

Au-delà de la “perturbation”

- “On parle parfois de ‘perturbation des phénomènes par l’observation’. De telles expressions sont susceptibles d’engendrer une confusion, puisque des mots comme ‘phénomène’ et ‘observation’ sont utilisés ici d’une manière incompatible avec le langage courant et leur définition”
Bohr, 1954

THE UNDIVIDED
UNIVERSE



D. BOHM & B.J. HILEY

- Représenter la réalité microscopique comme un domaine de qualités primaires afin de généraliser le modèle des qualités secondaires?!
1. Prendre au sérieux la représentation des qualités **primaires** = développer une ***théorie à variables cachées***.
 2. Prendre au sérieux la généralisation des qualités **secondaires** = tenir la mécanique quantique pour un formalisme de ***prévision des phénomènes***.

ÉLÉMENTAIRE et donc UNIVERSELLE

- C'est justement **parce que** la théorie quantique **ne** cherche **pas** à **dévoiler la nature de la réalité** qu'elle est si **universellement efficace**
- Application de la théorie quantique aux **sciences humaines** (Théorie de la décision, linguistique etc.)
- Exemple: interroger des personnes sur le sens d'un mot polysémique. Variation selon les contextes propositionnels. Violation des inégalités de Bell!

CLARTÉ			
LUMIÈRE	"Le paysage apparaissait sous la clarté de la lune"	LUNE	90% (10%)
INTELLIGIBILITÉ	"Les concepts présentés étaient d'une parfaite clarté"	CONCEPTS	80% (20%)



*Jean Cavailles,
1903-1944*

Conclusion Provisoire

- “Si toute loi physique n’est qu’un **pari d’action**, le scandale de la **probabilité** cesse : loin d’être un substitut inadéquat pour notre pouvoir de connaître, **elle est le type même, le ressort de toute activité scientifique**” *Jean Cavailles, 1939*
- Il est facile de reconnaître que les lois physiques sont des paris d’action quand nulle interprétation de ces lois comme représentations d’une réalité **indépendante, détachée, “primaire”** n’est unanimement acceptée ...
Un inventaire des **relations-avec/dans-la réalité**

Un problème avec le *Telos* de la science occidentale?

- Suspendre les représentations de la réalité n'est pas bien accepté
 - “Cela trahit l'idéal de la science” (I. Stengers)
 - “La mécanique quantique est le scandale du siècle” (R. Thom)
- **Paradoxes** avec le rêve d'une “Représentation fidèle de la réalité”, ou **intelligibilité** quand ce rêve est suspendu?
- **Wittgenstein**: *“Le traitement philosophique d'un problème est comme le traitement d'une maladie”*



Ludwig Wittgenstein
1889-1951



PASCAL et la (re)naissance des probabilités au 17^{ème} siècle

“la fin des choses et leurs principes sont pour (l’homme) invinciblement **cachés** dans un **secret** impénétrable”

Que peut faire l’homme, si ce n’est “apercevoir quelque **apparence** du **milieu des choses** dans un désespoir éternel de connaître ni leur principe ni leur fin?”

“Nous sommes sur un milieu vaste, toujours **incertains** et **flottants** **entre l’ignorance et la connaissance**”

Blaise Pascal
1623-1662

- Nous ne pouvons rien faire de plus que:
 - Nous **Situer** au milieu de la réalité, sans la comprendre comme du dehors
 - Nous adapter à l’universelle **incertitude**
 - Prédire les **apparences**, sur un mode **probabiliste**, à partir du “milieu des choses”

Une connaissance PROFONDE de la SURFACE des choses Un oxymore ZEN?



Dôgen
1200-1253 CE

- Adhérer au “c’est ainsi” (*Tathatā* en Sanskrit, *Nyoze* en Japonais)
- “Cet univers entier n’a jamais rien de caché derrière les phénomènes” (**Dôgen**)
- “Leur aspect d’**ainsité** est leur nature, que l’on peut connaître **en profondeur**” (**Dôgen**)