

Le concept de multivers – sujet 1

L'interprétation d'Everett de la physique quantique

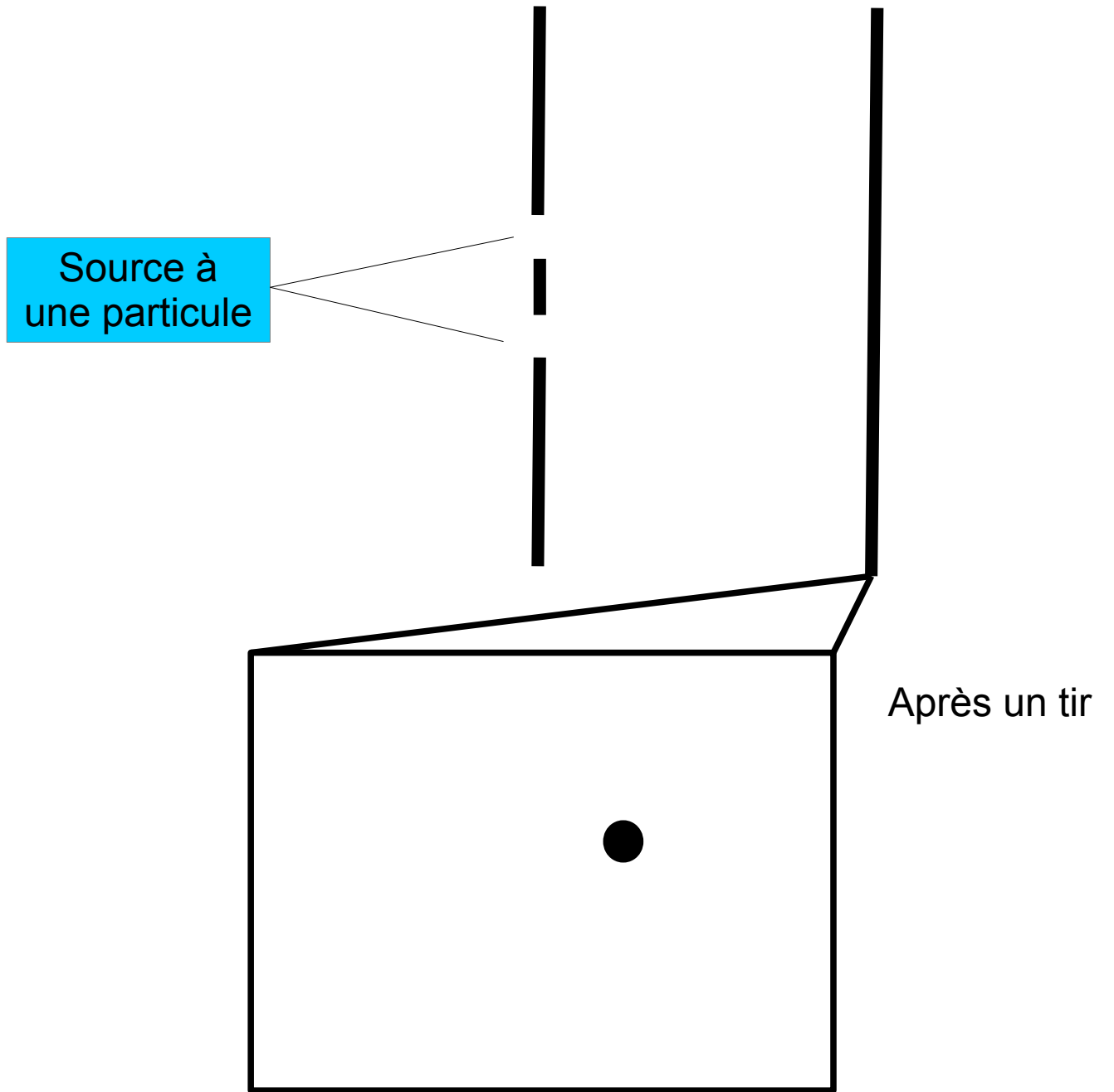
David Viennot – Maître de Conférences

Institut UTINAM (CNRS) / Observatoire de Besançon / UFC



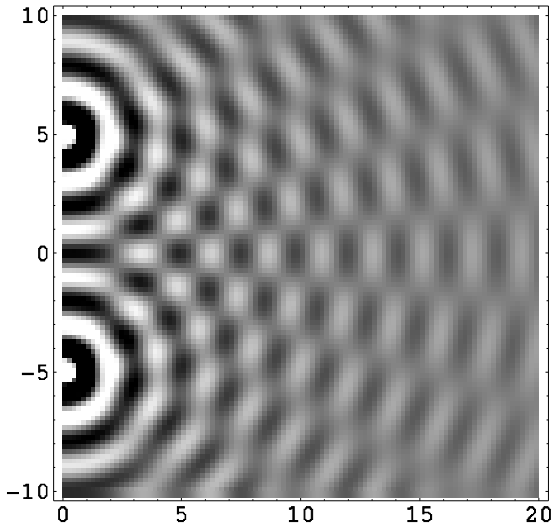
L'expérience des trous d'Young

L'expérience des trous d'Young

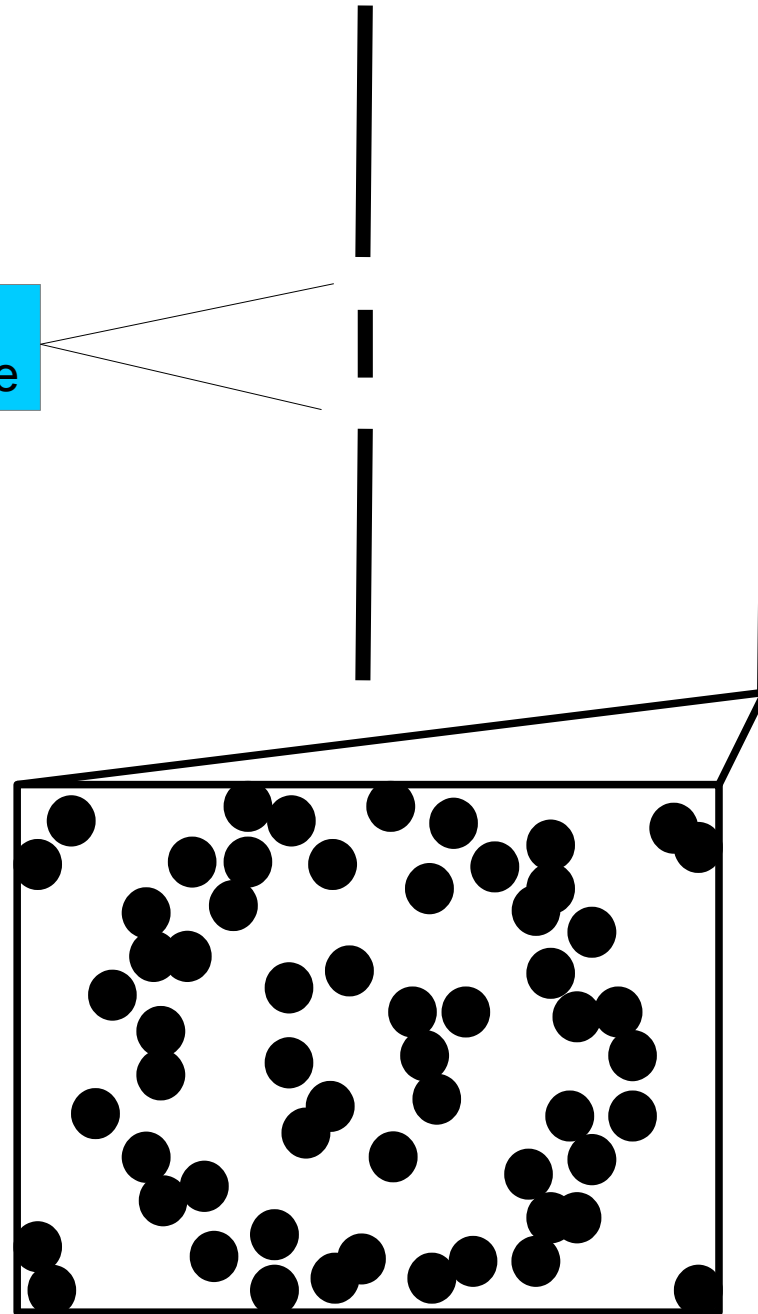


L'expérience des trous d'Young

Les interférences sont typiques des phénomènes ondulatoires

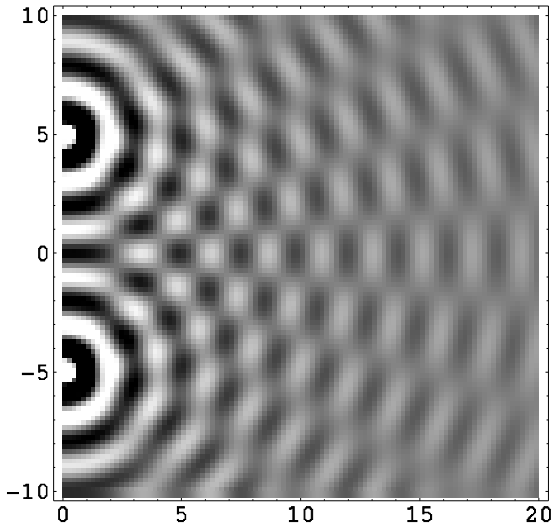


Source à une particule

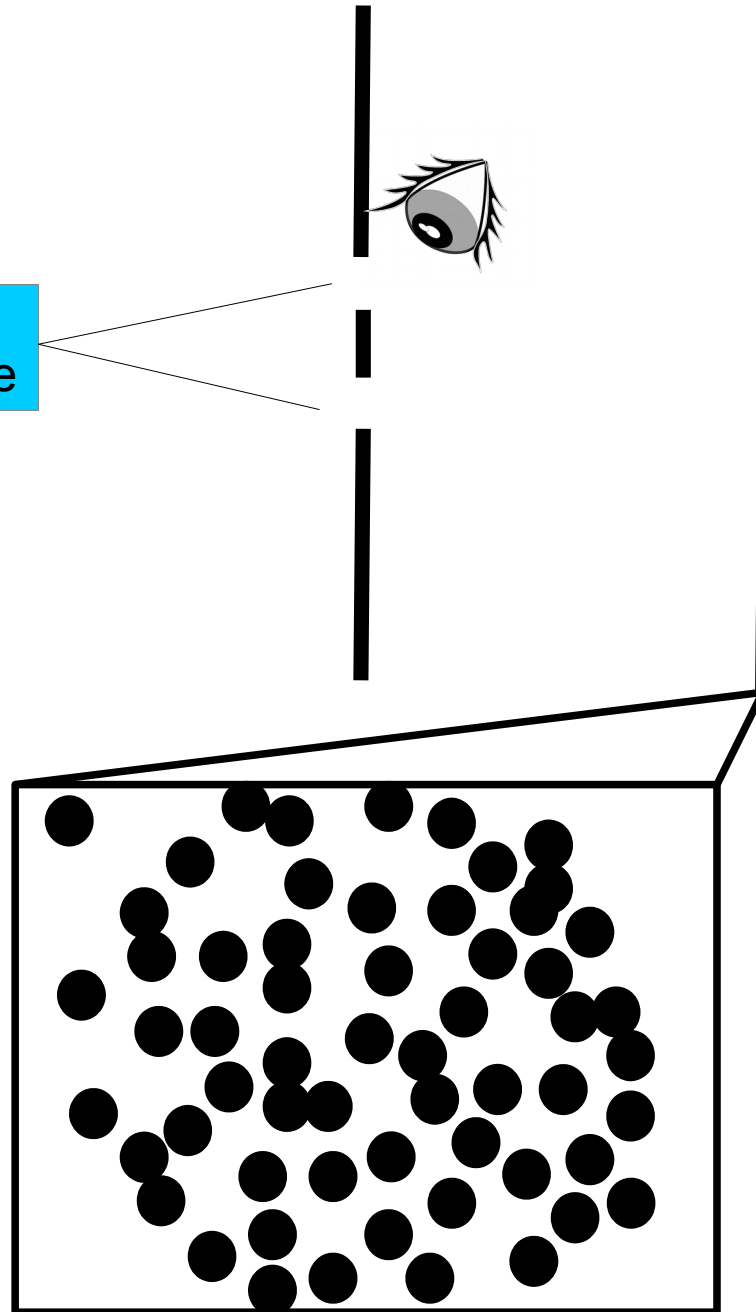


Après de nombreux tirs

Les interférences sont typiques des phénomènes ondulatoires



Source à une particule

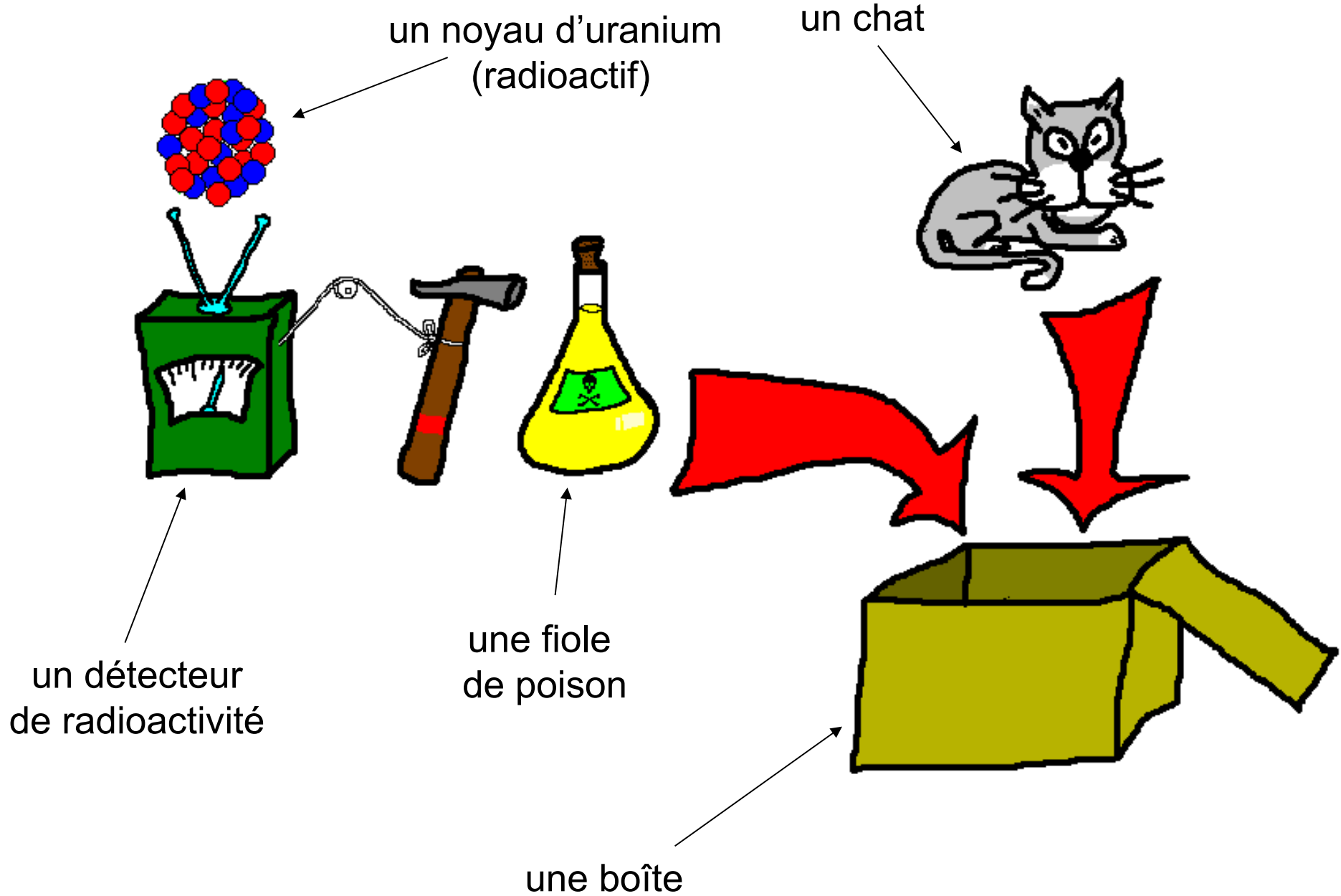


Après de nombreux tirs

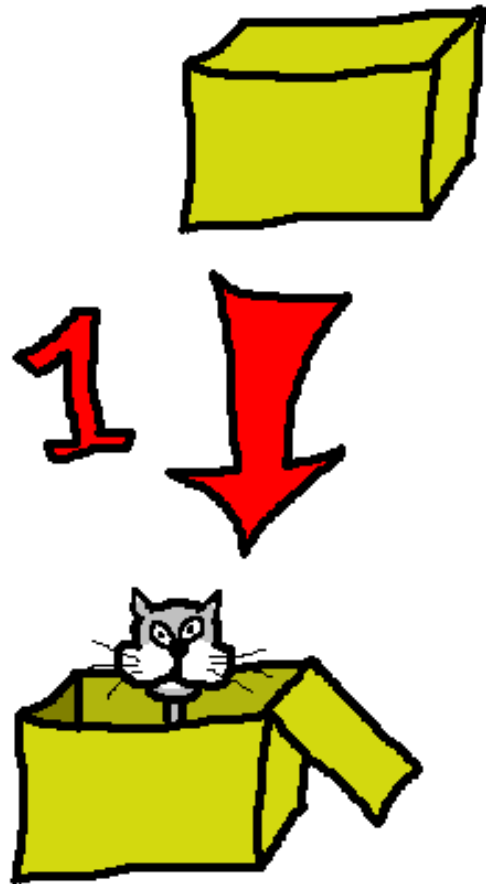
- Particule = « à la fois » un corpuscule (impacts ponctuels sur l'écran) et une onde (figure d'interférences) → dualité onde-corpuscule de de Broglie.
- Onde de de Broglie \sim loi de probabilité (impacts aléatoires, choix aléatoire du trou de passage en présence du détecteur) → indéterminisme de la physique quantique.
- Les ondes issues des deux trous sont superposées (figure d'interférences) en l'absence de détecteur → principe de superposition (pas de principe du tiers exclu).
- Mesurer/Observer supprime la superposition → principe de projection de Born.

La parabole du chat de Schrödinger et l'interprétation de l'École de Copenhague

La parabole du chat de Schrödinger

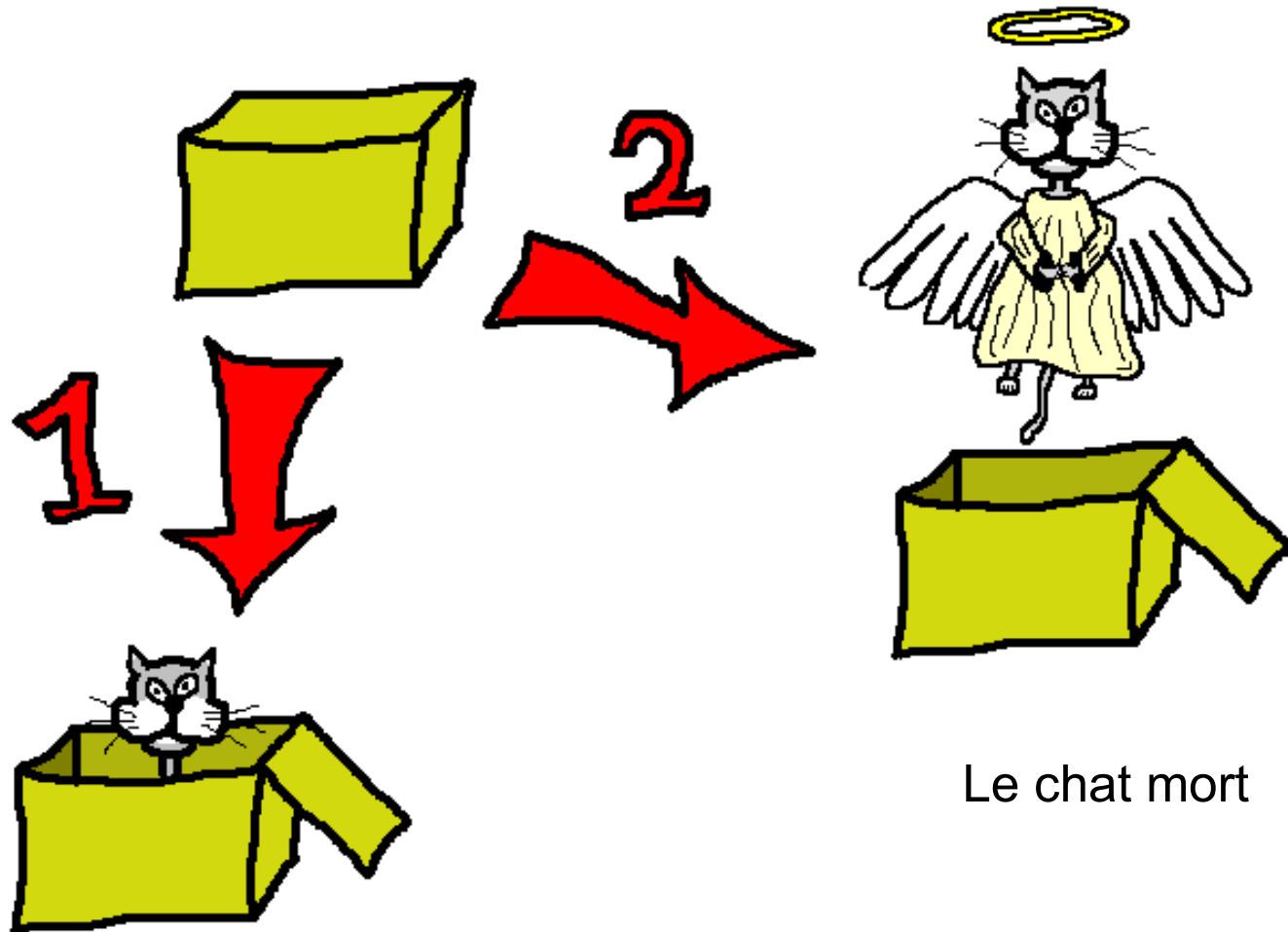


A l'ouverture de la boîte : 2 possibilités pour l'état du chat



Le chat vivant

A l'ouverture de la boîte : 2 possibilités pour l'état du chat



Le chat vivant

Le chat mort

Quel est l'état du chat lorsque la boîte est encore fermée ?



Quel est l'état du chat lorsque la boîte est encore fermée ?



Réponse classique : le chat est soit vivant soit mort, avec 1 chance sur 2*. L'information est cachée.

* : si la probabilité pour que l'uranium se désintègre est de $\frac{1}{2}$ pendant la durée de l'expérience

Quel est l'état du chat lorsque la boîte est encore fermée ?



~~Réponse classique : le chat est soit vivant soit mort, avec 1 chance sur 2*. L'information est cachée.~~

Violation des inégalités de Bell

Expériences d'Aspect (Institut d'Optique d'Orsay – 1980, 1982).

* : si la probabilité pour que l'uranium se désintègre est de $\frac{1}{2}$ pendant la durée de l'expérience

Quel est l'état du chat lorsque la boîte est encore fermée ?



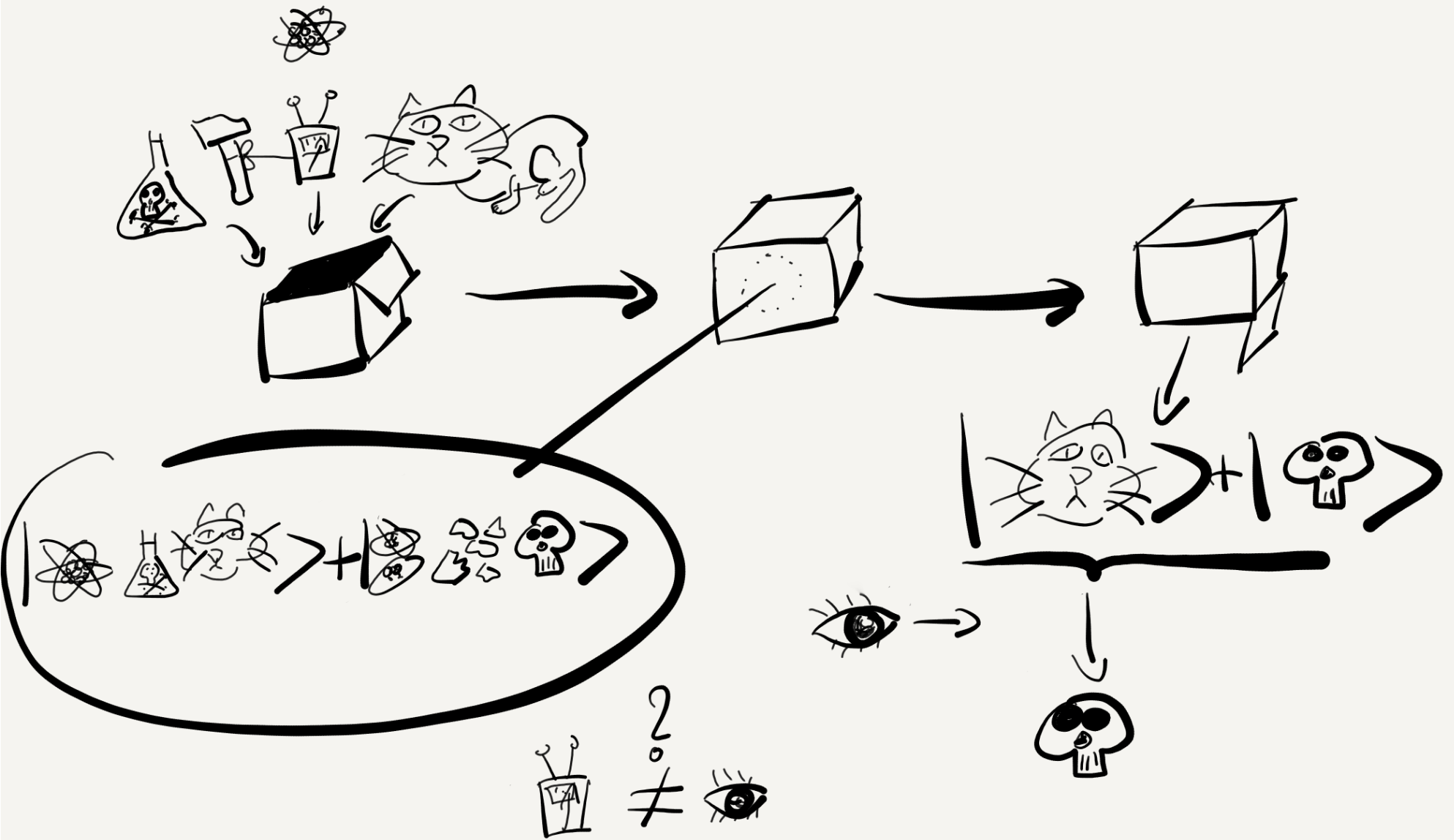
Réponse de la mécanique quantique :

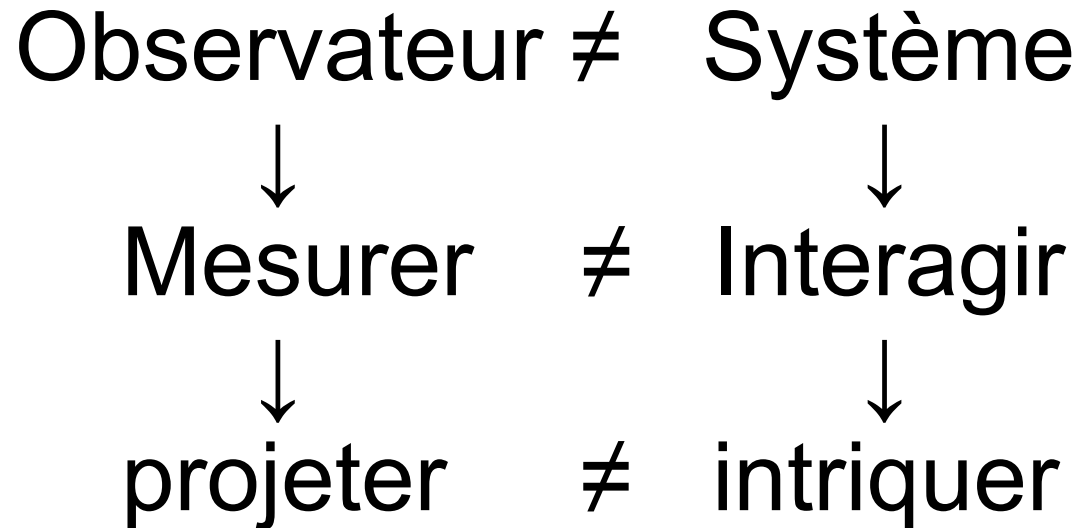
1) il n'y a pas d'information cachée dans la boîte.
(en accord avec les inégalités de Bell)

2) Tant que le chat est dans la boîte fermée, il est à la fois mort et vivant.

Les limites de l'interprétation de l'École de Copenhague

La parabole du chat de Schrödinger





Rien dans les lois de la physique quantique ne permet de définir de façon claire la démarcation entre systèmes interagissant et observateurs mesurant !

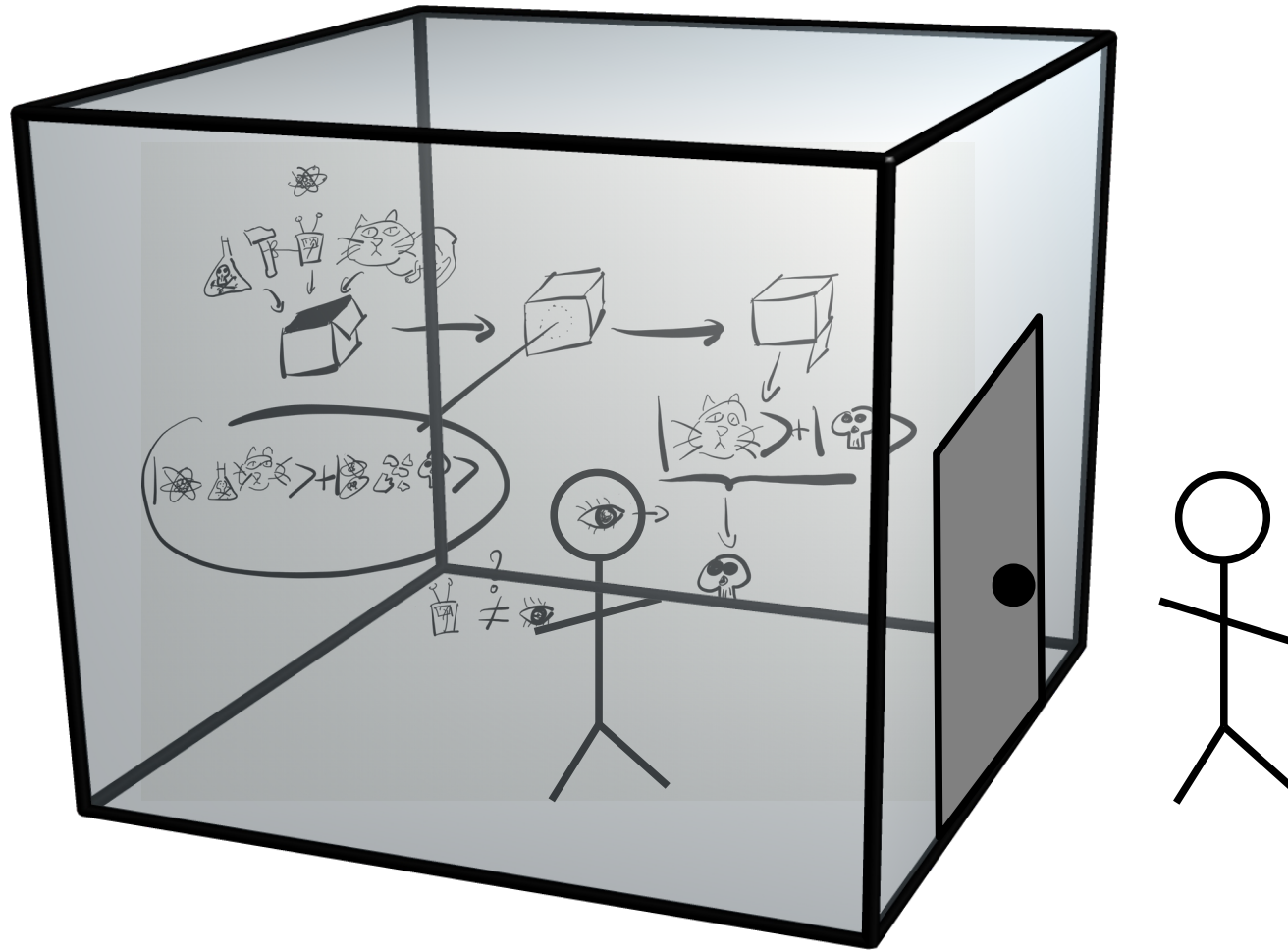
Effet de la taille du système ?

→ par les effets thermodynamiques (décohérence) ?

→ par les effets de la gravité (gravité quantique) ?

Autre ?

La parabole de l'ami de Wigner

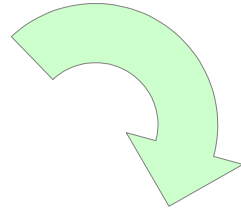


Le problème de l'objectivité

La source est censée produire des particules toutes dans le même état.



prémisse subjective impossible à vérifier (le mesurer perturberait la particule par la projection de Born)



Source à une particule

Les ondes passent par les deux trous à la fois.

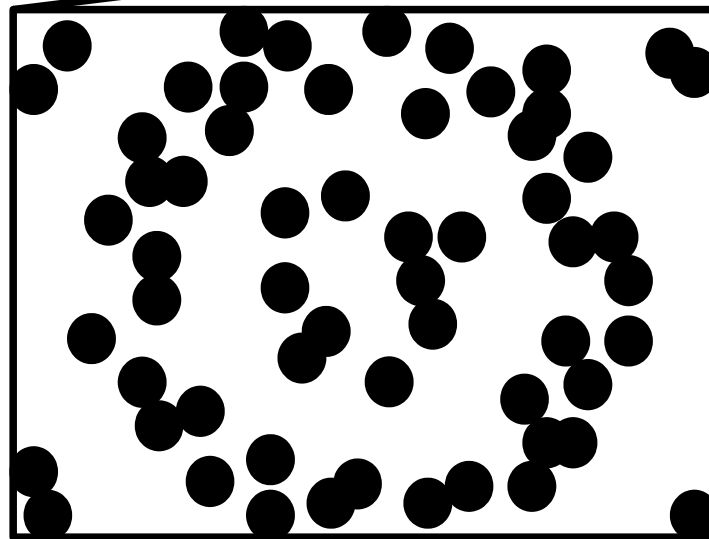


interprétation objective

figure d'interférences

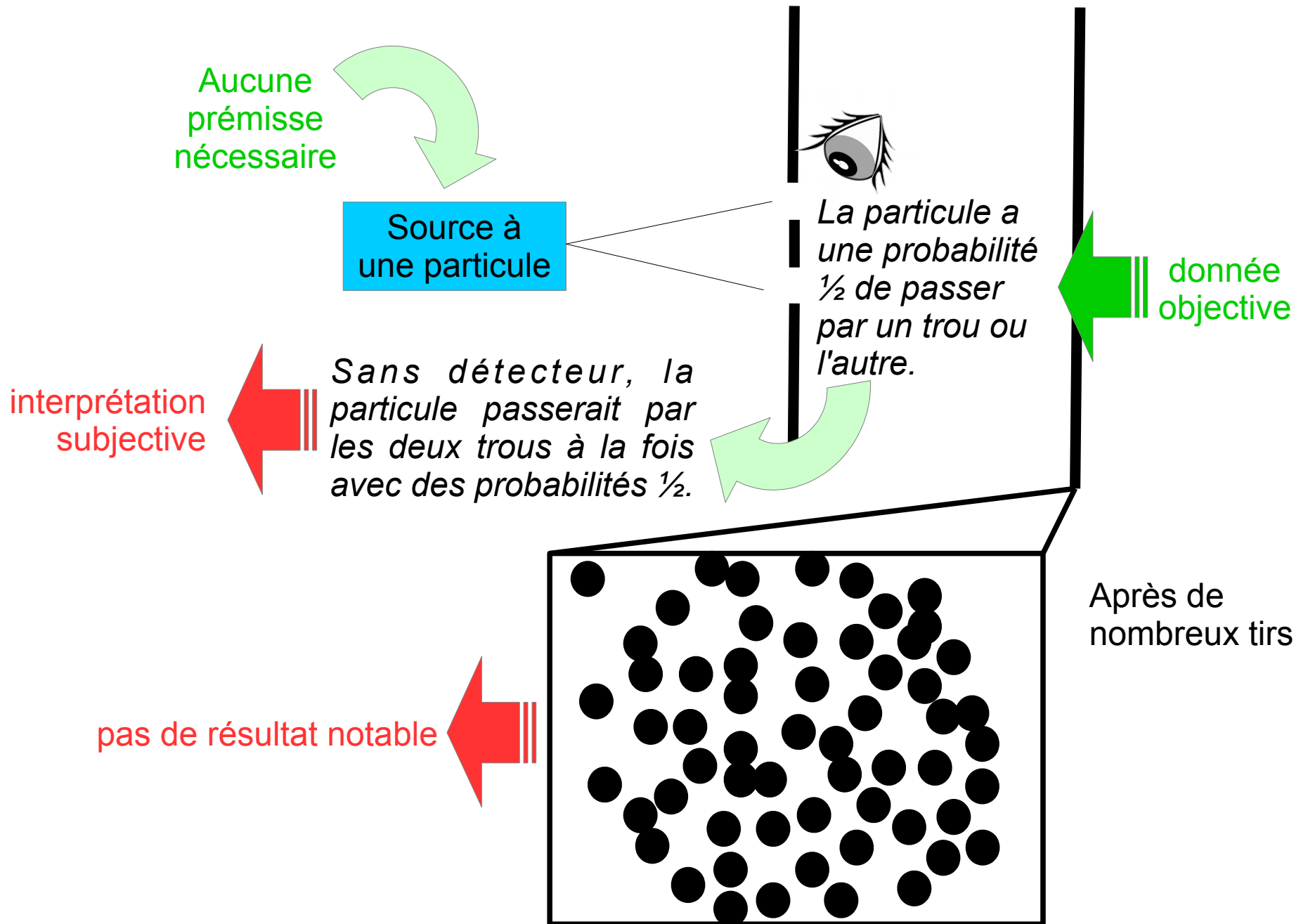


résultat objectif



Après de nombreux tirs

Le problème de l'objectivité





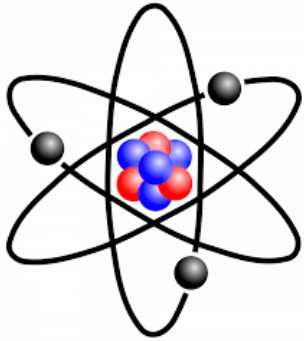
On lance le dé N fois.



On lance N dés 1 fois.

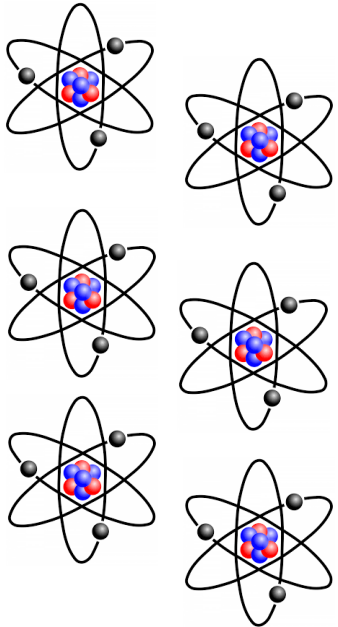
On obtient N_{\square} fois le résultat 


$$N_{\square} / N \xrightarrow{N \rightarrow \infty} P(\square) = 1/6$$



On mesure l'atome N fois. 

Après la première mesure l'état de l'atome change (projection de Born), les mesures suivantes ne sont donc plus significatives.



On mesure N atomes identiques (dans le même état) 1 fois. 

Impossible à réaliser objectivement (théorème de non-clonage).



Dans l'expérience du chat de Schrödinger il n'y a qu'un atome, mais quand même des probabilités.

Que comptent les probabilités quantiques ???

L'interprétation des mondes multiples d'Everett

Quel est l'état du chat lorsque la boîte est encore fermée ?

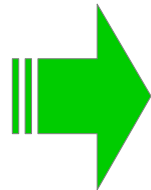


Réponse de la mécanique quantique :

1) il n'y a pas d'information cachée **dans** la boîte.
(en accord avec les inégalités de Bell)

2) Il existe deux « branches de réalités » (deux « mondes »), l'une dans lequel le chat est vivant, l'autre dans lequel il est mort.

~~Principe de
projection de
Born~~



Quand l'on ouvre la boîte, on découvre dans quel « monde » on se trouve.

Mondes multiples \neq Univers parallèles

Un seul espace-temps commun à toutes les branches.

Un espace-temps pour chaque univers parallèle.

Une copie de tout contenu matériel dans chaque branche.

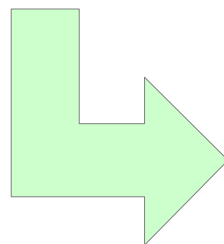
Aucune corrélation entre les contenus matériels d'un univers à l'autre.

Une fois les branches séparées par un événement, impossibilité de passer de l'une à l'autre.

Divers processus physiques envisageables pour passer d'un univers à l'autre.

Les branches sont des structures émergentes.

La « naissance » d'un univers est un processus exceptionnel.



chaque événement à l'échelle quantique fait émerger de nouvelles branches correspondantes à ses dénouements possibles.

- Problème de la dichotomie système/observateur, parabole de l'ami de Wigner.



Plus besoin de dichotomie, la structure en branches de réalité parallèles représente une intrication globale de « l'Univers » incluant possibles systèmes et observateurs.

- Problème de l'objectivité



Prémisse subjective → interprétation subjective
(particules identiques) (2 branches de réalité)

Donnée objective → interprétation objective
(1/2 chance de passage) (1 seule branche accessible)

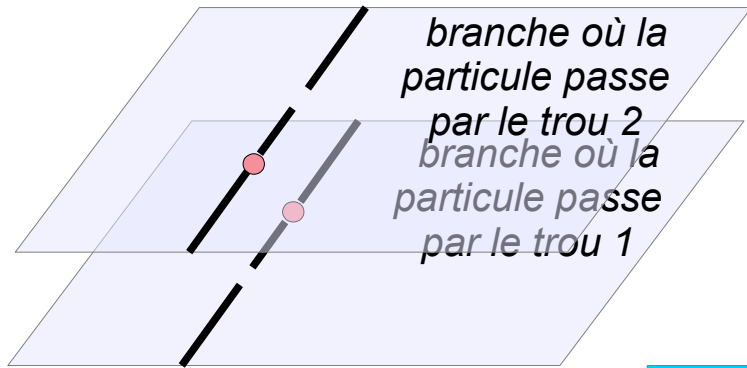
- Problème de la signification des probabilités quantiques.



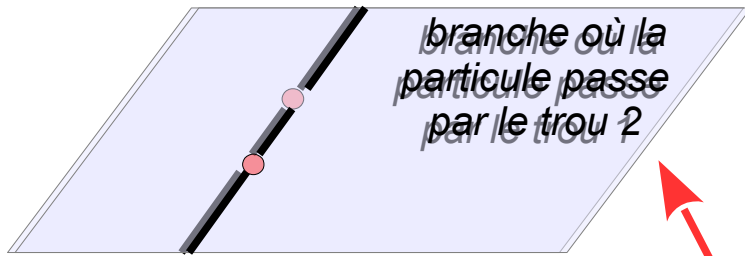
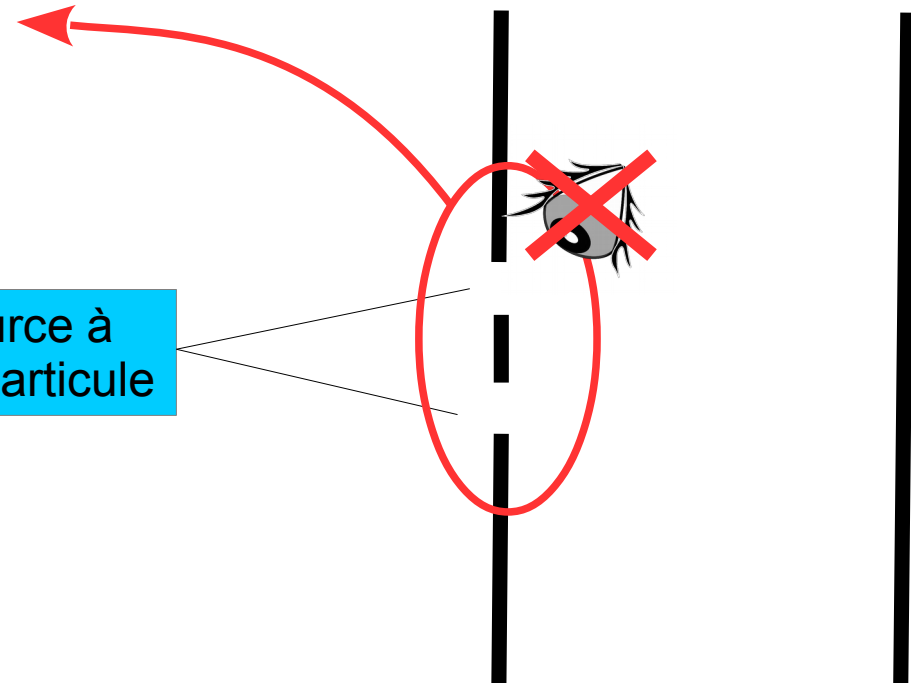
On compte les branches de réalité :
 $N_{\text{☠}}$ branches avec le chat mort
 $N_{\text{♥}}$ branches avec le chat vivant

$$\rightarrow P(\text{☠}) = N_{\text{☠}} / (N_{\text{☠}} + N_{\text{♥}}) = 1/2$$

Mais un nouveau problème...

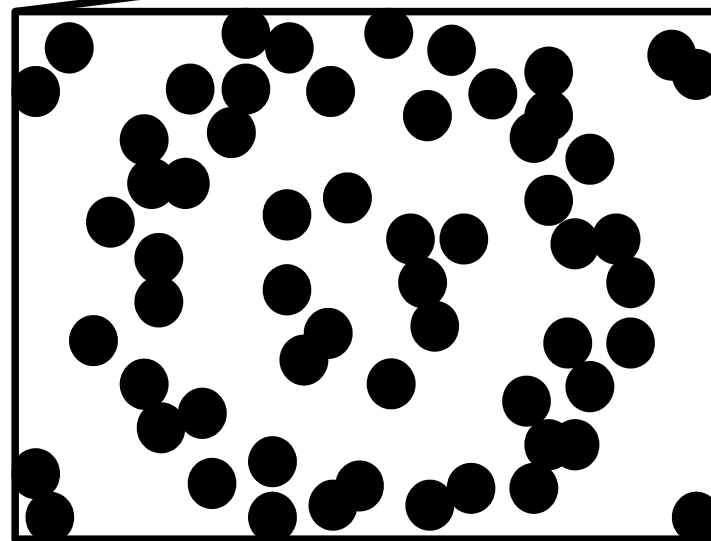


Source à
une particule



Tant qu'aucun événement (observation/mesure) ne vient les séparer, les branches indistinguables interfèrent les unes avec les autres.

figure
d'interférences



Après de
nombreux tirs