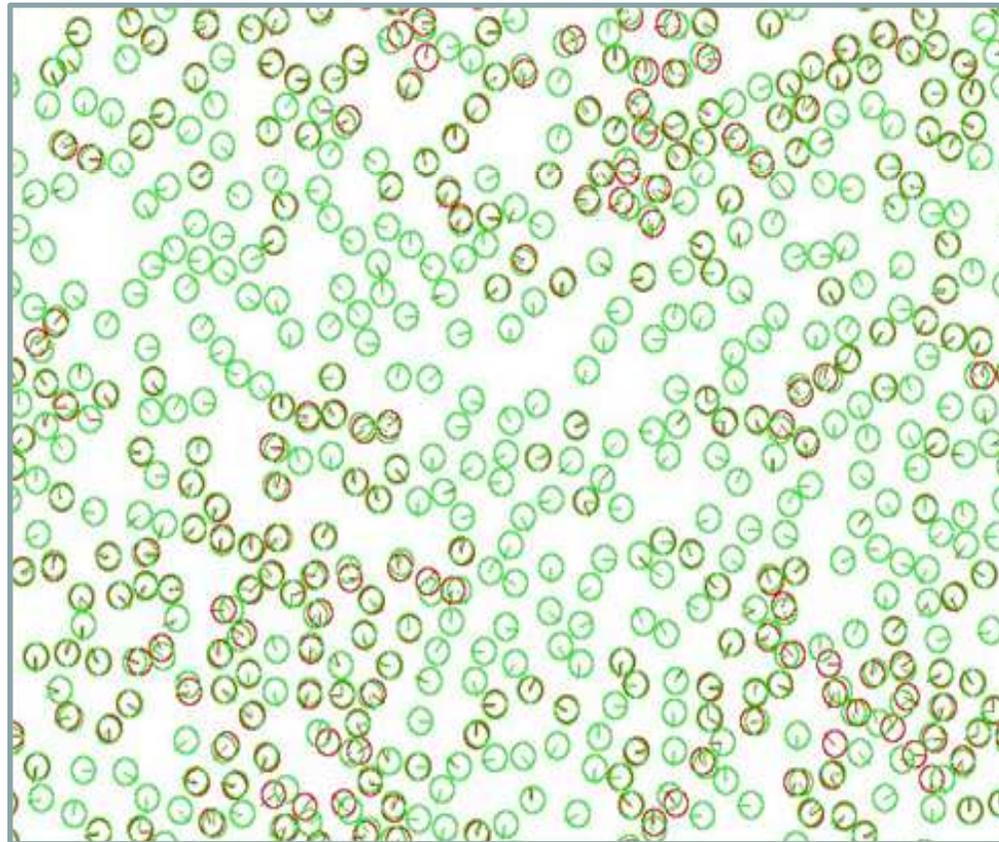


Approche atemporelle de la dynamique dans un billard

Philippe Guillemant

IRO CNRS

Séminaire IUSTI - 31 mars 2016



Contexte de la recherche: le temps et l'information

> 2000: *Le temps perd son sens physique* (Futur déjà réalisé)
L'information prend un sens physique (Densité d'information finie)

Recherche fondamentale:

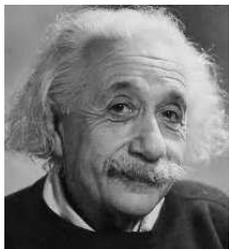
- Dynamique de l'information dans un billard à grand nombre de boules.
- Etude du nombre d'histoires possibles à conditions finales imposées (lorsque la densité tend vers 0).

Recherche technologique appliquée au big-data:

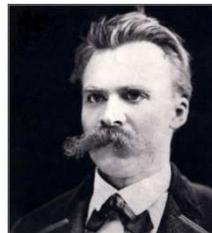
- Traitement de l'information favorisant la sérendipité des web robots (contrat CNRS)

Vulgarisation scientifique:

- Livres, conférences, articles, interviews, films...
- Le thème: une théorie du temps qui propose l'influence du futur sur le présent.



Einstein:
*la séparation entre
passé, présent et
futur est une illusion*

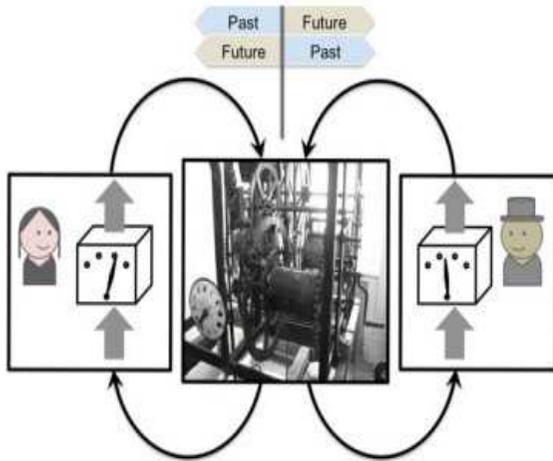


Nietzsche:
*C'est notre avenir
qui détermine notre
présent. Le futur
l'influence autant
que le passé*

Délires ou génies ?

Changement de notre conception du temps

Convergence entre les 2 meilleures théories physiques (RG+MQ):

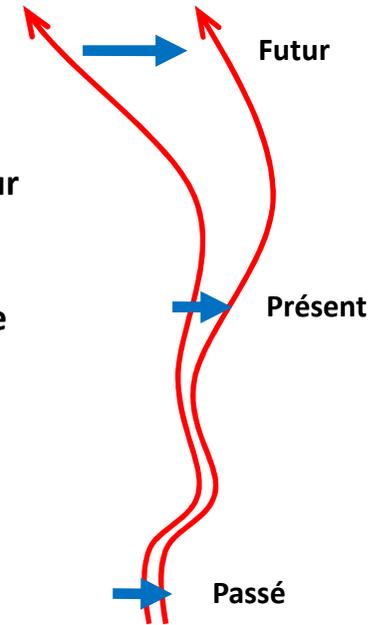


(1) La Relativité Générale manifeste un futur déjà réalisé

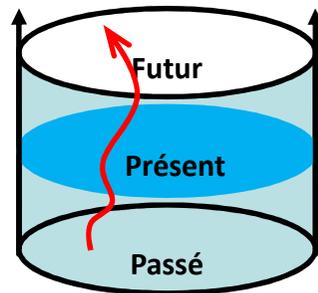
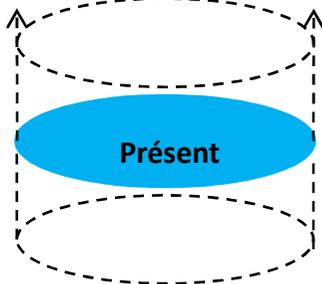
(2) La MQ étend sa non localité au domaine temporel

(3) La Gravité Quantique élimine le temps

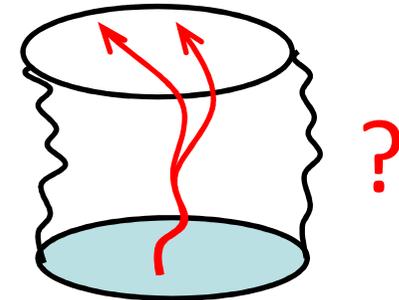
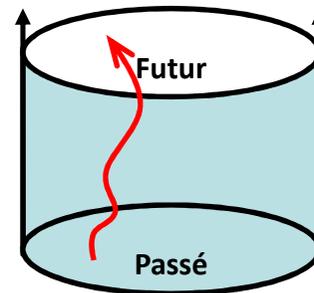
Qu'en est-il de la mécanique classique ?



Présentisme



Univers-bloc



Les équations imposent de conserver le déterminisme via le concept de multivers

Les différentes visions du temps

Fondamentales pour les mécaniciens quant au réalisme et à la portée de leurs simulations

La nécessité de prendre en compte la MQ impose en effet des futurs multiples

Si le futur est déjà là, les différentes solutions d'un calcul:

- représentent-elles des futurs multiples ? Ou sont-elles dues à l'imprécision ?
- si elles sont multiples, le futur « sélectionné » correspond-il à la plus probable ?
- existe-t-il deux ontologies: (1) solutions probables et (2) solution « sélectionnée » (réalisée)
- dans le cas (1) : est-il possible de fixer des conditions finales ?
- dans le cas (2) : est-il possible de changer une évolution déjà sélectionnée mais pas encore réalisée ?

Physique en crise

- | | |
|---|---------------|
| ▪ Présentisme: incompatible avec RG+MQ mais se maintient par habitude + équations | DET / INDET ? |
| ▪ Multivers avec univers séparés par de l'espace (Tegmark, Inflation, Cordes...) | DET |
| ▪ Multivers avec univers séparés aussi par du temps (Rovelli, Gravité quantique...) | DET / INDET ? |
| ▪ Multivers avec univers superposés (Damour...) | DET / INDET ? |
| ▪ Univers bloc avec futur incomplètement configuré (Klein...) | DET / INDET ? |
| ▪ Univers bloc flexible (Guillemant...) | INDET |
| ▪ | |

(seules les 3 dernières sont compatibles avec des futurs multiples ou qui peuvent changer)

La question du déterminisme / indéterminisme est liée à l'information physique

L'information: une nouvelle grandeur physique

- (1) L'information a un coût énergétique: permet de sauvegarder le second principe (Démon de Maxwell) ↑
- (2) Principe de Landauer: manipuler des bits demande de l'énergie = $k T \ln(2)$: vérifié expérimentalement pour la première fois en 2012 (en France, ENS Lyon)
- (1) Théorie des cordes => aucune longueur inférieure à la longueur de Planck ($1,616 \cdot 10^{-35}$ mètres) n'a de sens physique
- (2) Théorie de la gravité quantique à boucle => Idem + la totalité de l'information associée à tout objet physique (discrétisation de la masse, énergie, temps,...).
- (3) Le principe d'incertitude d'Heisenberg s'interprète comme une limitation de la densité d'information physique de la phase d'une particule.



$$\Delta p \Delta q \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$I_{pq_det} = \text{Log}_2 \left(\frac{\Delta p_{\max} \Delta q_{\max}}{\Delta p \Delta q} \right)$$

En physique, l'hypothèse de la densité d'informations finie devient incontournable

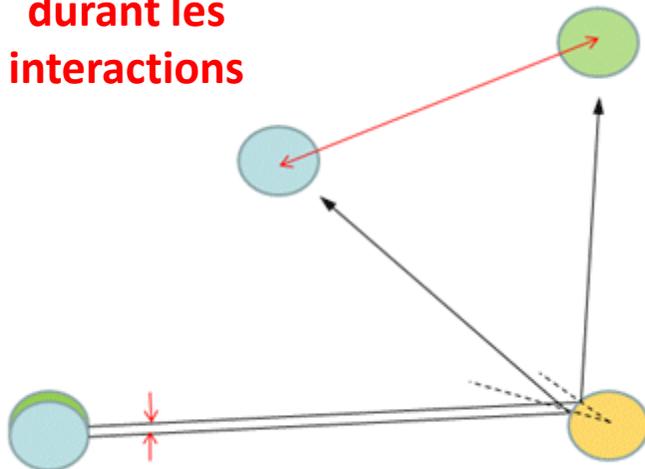
Un problème mal géré par la physique actuelle

Le nœud central de la relation **TEMPS + INFORMATION** est l'interaction

Bilan d'une interaction :

{ Conservation de l'énergie
Conservation de la quantité de mouvement
Pas de conservation de l'information !

**Perte d'informations
durant les
interactions**



D'où vient l'information manquante ?

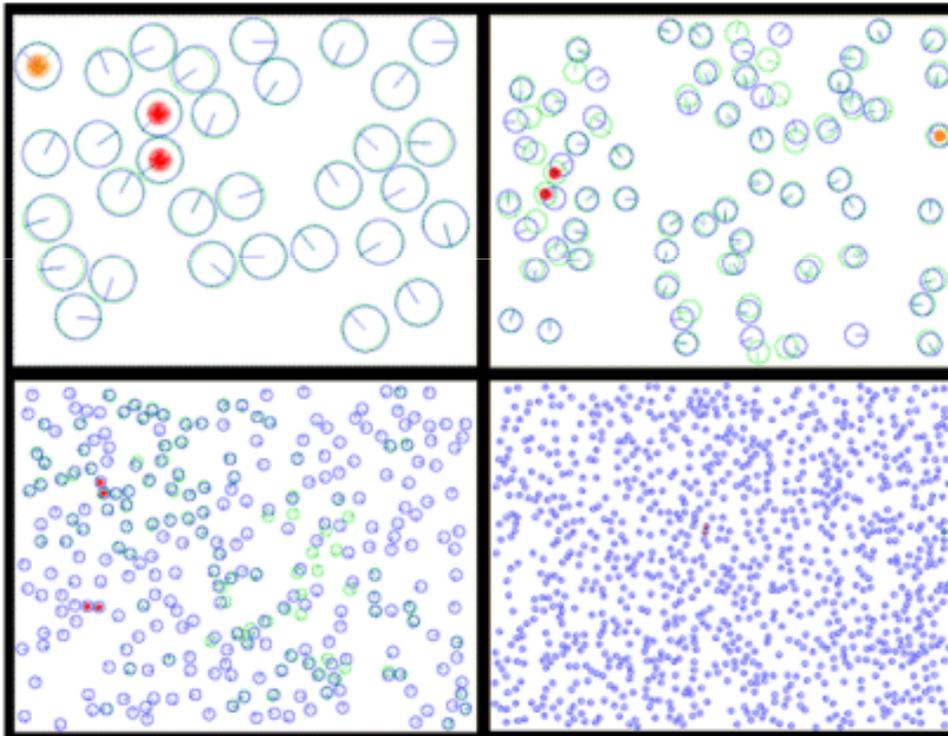
- de dimensions supplémentaires ?
- de l'extérieur de l'espace-temps ?
- du vide quantique ?
- du futur ?

Pour le savoir, il faut commencer par faire des calculs...

Première étape: analyse de la perte d'informations

Simulation de chocs dans deux billards superposés

avec étude asymptotique de l'influence d'un écart initial ε sur les positions



Procédé: Synchronisation des billards & calculs dispersifs

Conditions de l'étude

- Chocs élastiques
- Pas de dissipation
- Pas de rotation
- Conservation E et Q

Influence de 3 paramètres

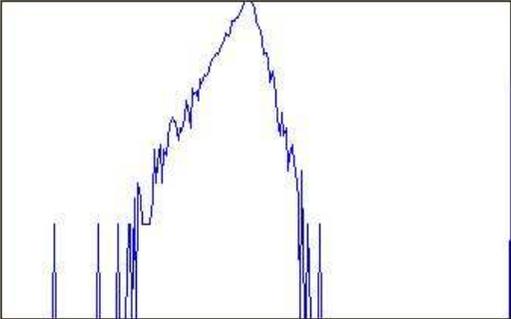
- Nombre de boules
8 à 512 et + (< 200.000)
- Rayon / Taux de vide
1 à 16 / 0.02 à 0.33
- Ecart initial sur positions
 $\varepsilon = 2^{-5}$ à 2^{-45} (10^{-14})

Copie d'écran

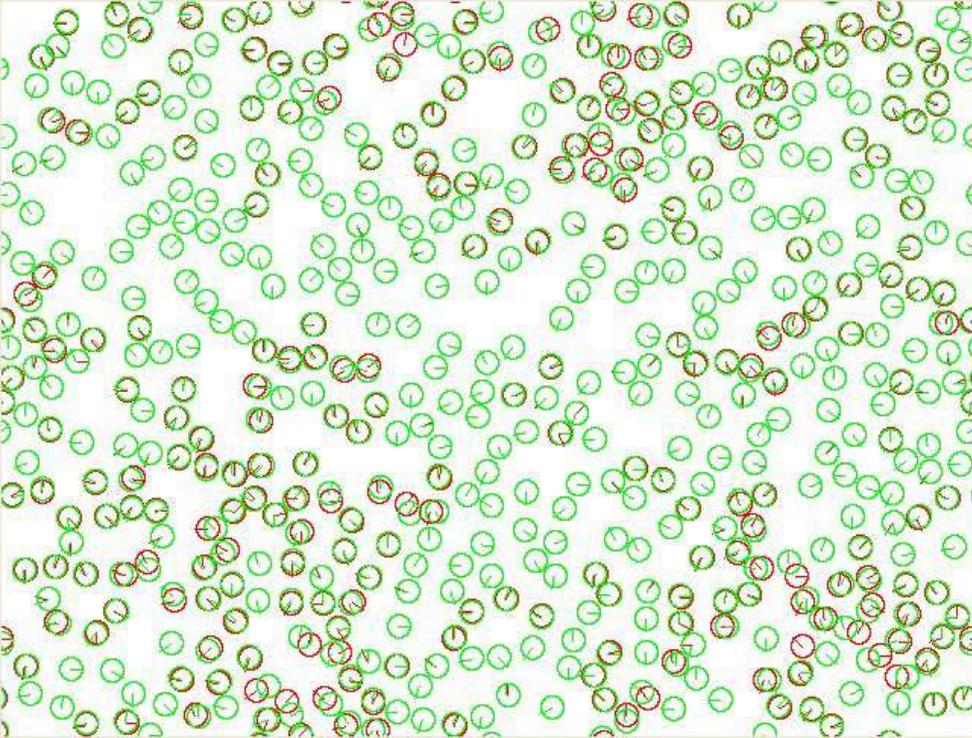
Démarrer Histogramme Dessiner Sauver Charger Quitter Relatif Expo = tous

NC=6779 din=6.08524 dout=5.64434 log=128.602
NC=6779 din=2.50565 dout=6.64418 log=120.198
NC=6889 din=0.253081 dout=0.665714 log=120.263
NC=6889 din=0.457172 dout=0.125783 log=138.324
n=64 H=1 1 0 2
n=72 H=1 1 1 1
n=76 H=2 7 3 5
n=80 H=8 3 7 6
n=84 H=9 13 16 14
n=88 H=14 9 12 11
n=92 H=16 24 21 12
n=96 H=33 28 30 24
n=100 H=41 37 46 45
n=104 H=47 60 69 71
n=108 H=79 77 85 101
n=112 H=108 129 120 134
n=116 H=175 176 189 191
n=120 H=206 252 284 299
n=124 H=331 343 295 253
n=128 H=183 156 142 106
n=132 H=77 81 69 39
n=136 H=50 40 26 16
n=140 H=10 18 10 12
n=144 H=4 6 8 5
n=148 H=4 2 0 4
n=160 H=1 0 0 0

Clear Label8



Visu Lyapu NCHOCSB



Init Step Move1 Step2 Move2 Arriere

Vmax X=87 · Y=695 Memo Positions Label5

Etude 8 Rayon = 8

Stop si dispersion Auto Lance Opti Time

Creation aléatoire Creation ordonnée

Densité = 512

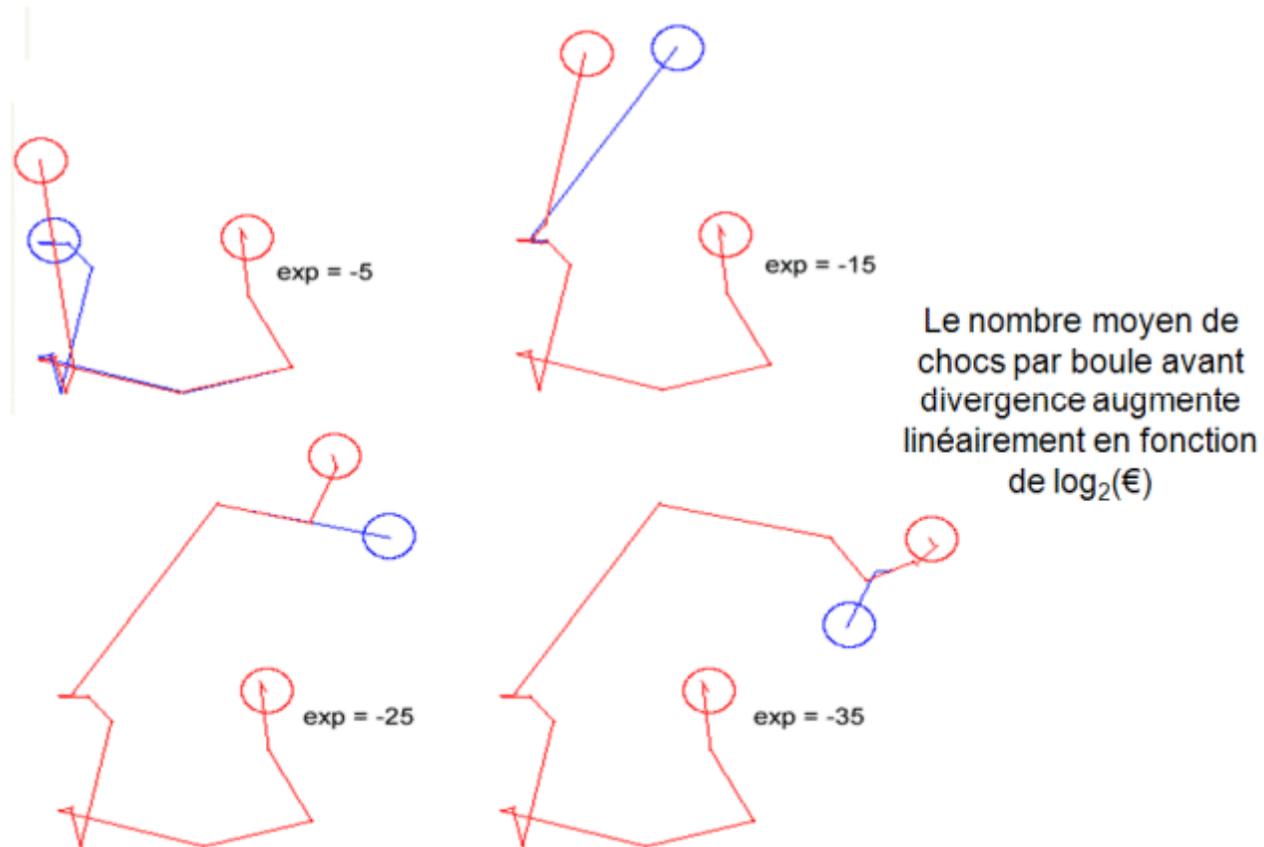
Seuil dispersion Epsilon

NLance

EC = 32768
ECO = 32768
QDMX = -53.5252
QDMX0 = -53.5252
QDMY = -19.0604
QDMY0 = -19.0604

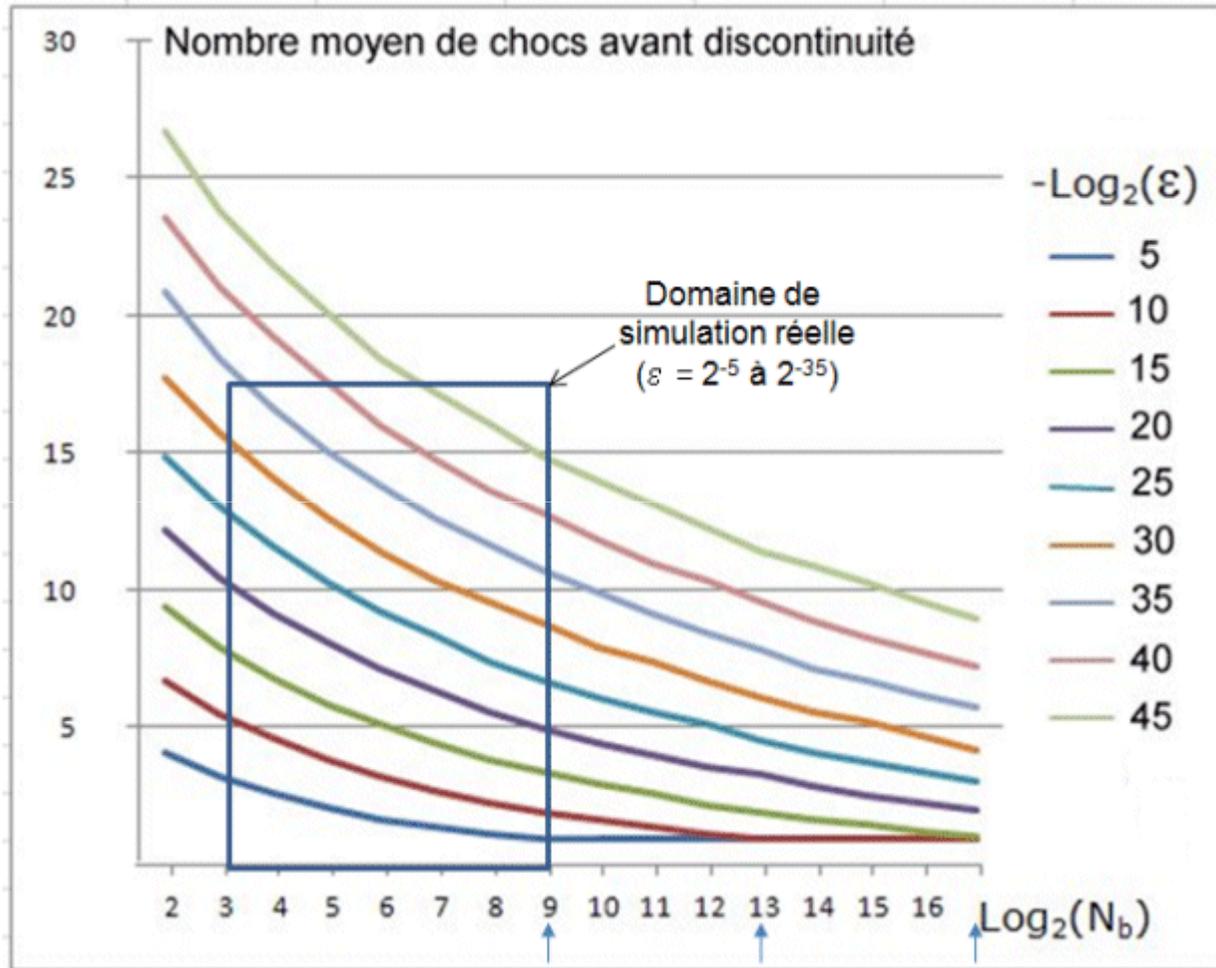
Influence de la précision sur les conditions initiales

Trajets d'une boule avant divergence selon ϵ



La diminution géométrique de l'incertitude ne fait que retarder additivement la divergence

Influence du nombre de boules

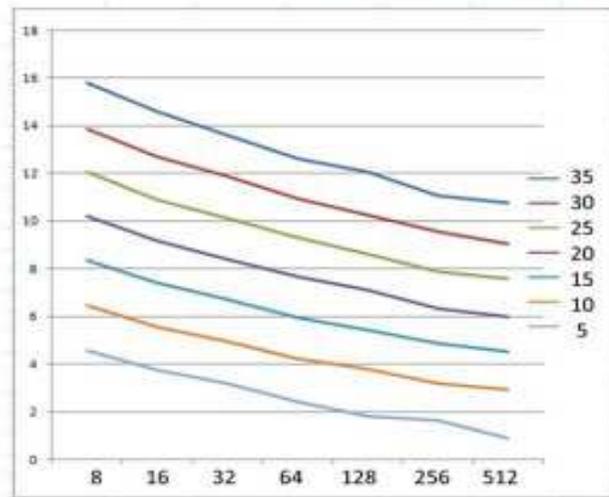


5000 boules & 15 chocs
=> Violation Heisenberg

Le nombre moyen de chocs avant bifurcation diminue presque linéairement en fonction du $\log(N_b)$

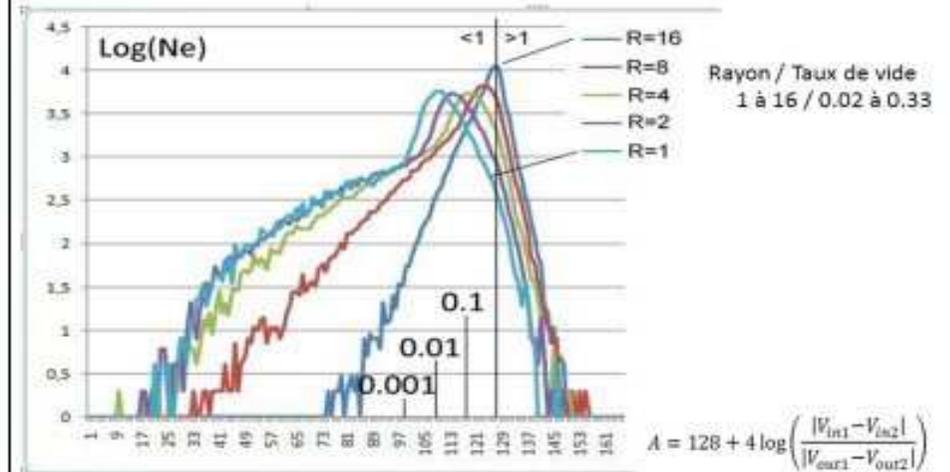
Procédé utilisé pour faire les calculs au delà de 1000 boules

Nombre de chocs moyen avant discontinuité / log(Nb)
Billard à rebonds



Série N = écart initial entre boules = 2^{-2N}
 Ordonnée = Nombre de chocs moyen avant que l'écart entre deux boules ne dépasse 1 rayon
 Abscisse = $\log_2(Nb)$

Variation de la distribution de dispersion des vitesses en fonction du taux de vide (ou rayon)



Modèle à deux boules avec fonction de dispersion

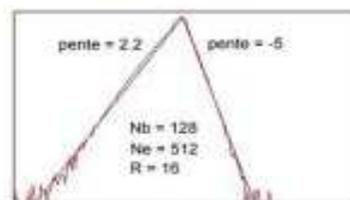
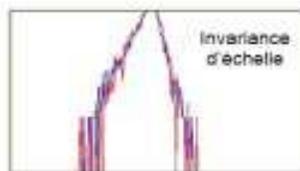


Distribution de dispersion des vitesses après un choc:

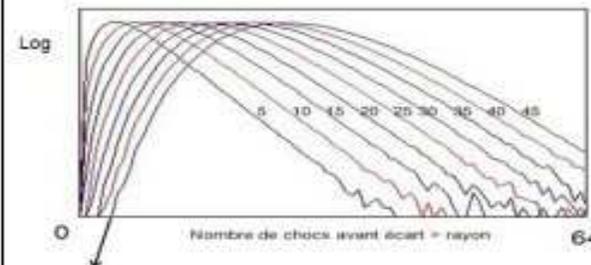


Validité et usage:

- Invariance / taux de vide
- Invariance d'échelle
- Modélisation linéaire



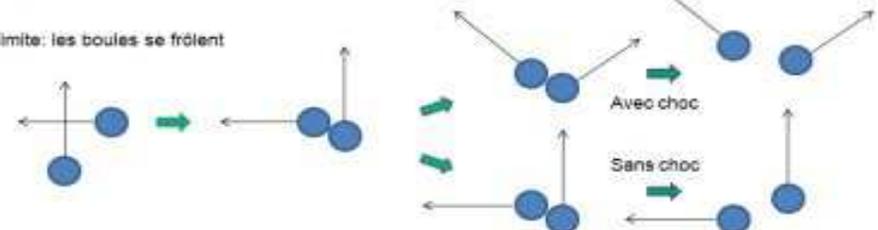
Calcul de la distribution des probabilités des délais avant divergence à partir de la fonction de dispersion



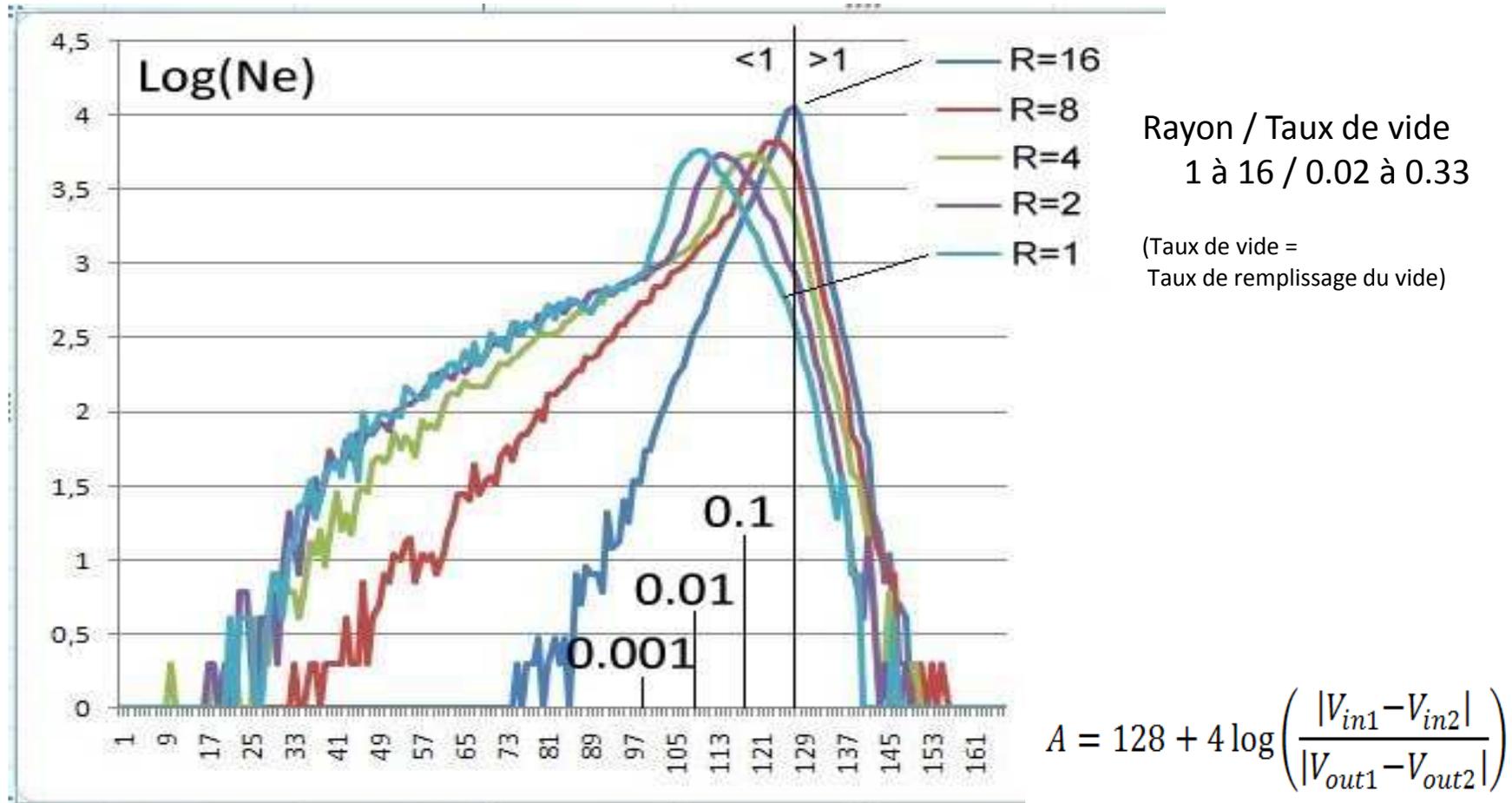
Influence de l'écart initial $\epsilon = 2^{-5}$ à 2^{-45}

Pourquoi la probabilité n'est jamais nulle pour un petit nombre de chocs ?

Cas limite: les boules se frottent



Influence du taux de vide sur la distribution de la dispersion des vitesses



Le rapport moyen entre les incertitudes avant/après choc décroît fortement avec le rayon

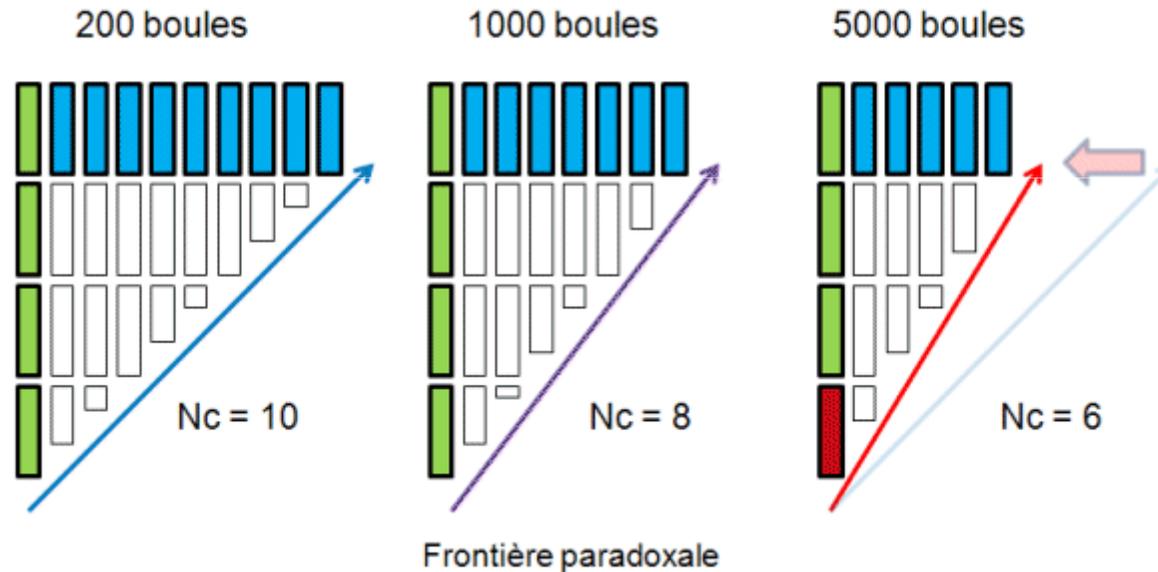
Paradoxe du déterminisme

La mécanique 3D a besoin de beaucoup plus d'informations qu'elle ne permet d'en calculer

$$P_i \sim 3N_c + \log(N_b)$$

Condition du paradoxe: $P_c N_c N_b < 2 (P_i + P_c) N_b \Rightarrow N_c < 2 (P_i + P_c) / P_c$

Exemple avec $P_c = 10$ bits & $P_i = 40$ bits ($\epsilon = 2^{-30}$)

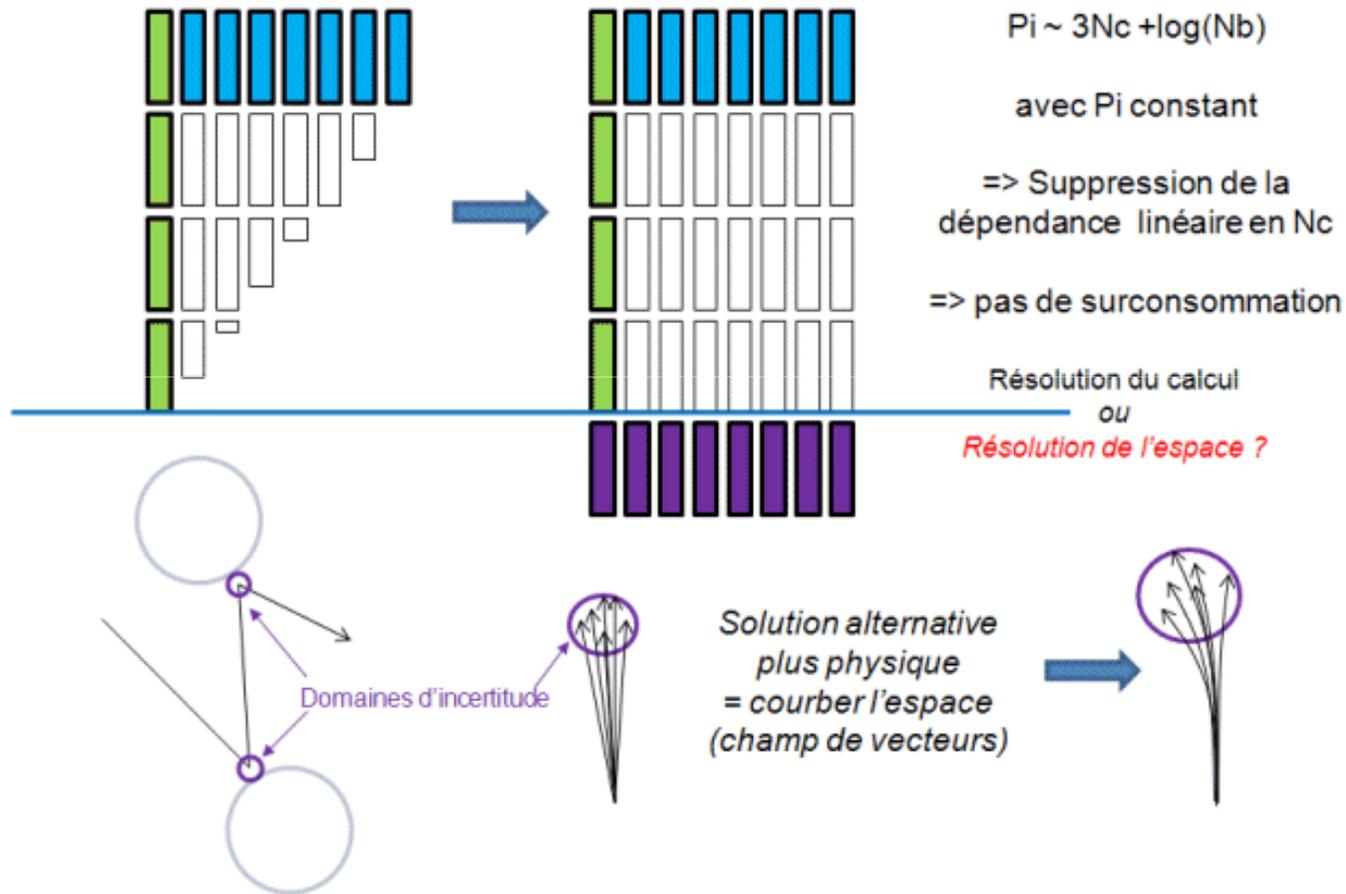


D'autant plus dérangeant que:

Le paradoxe est fortement aggravé lorsque le taux de remplissage du vide $\rightarrow 0$

Faisons comme si la M.Q. n'existait pas

La solution: rajouter de l'information en chaque point

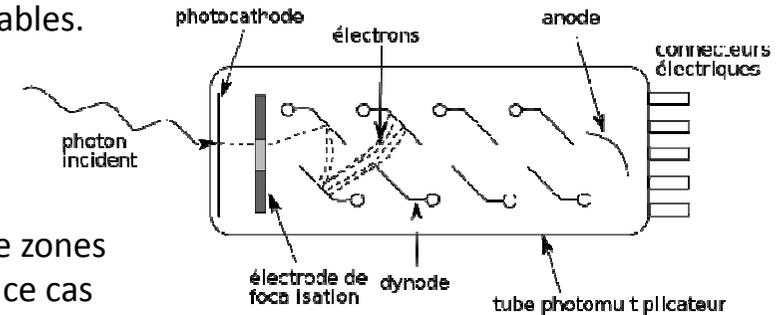


Rajouter de l'information sous l'échelle de précision (ou de Planck) résout effectivement le problème mais rajoute un paramétrage qui fabrique des futurs potentiels multiples innombrables !!!

Une approche expérimentale est-elle possible ?

Contrairement à la transition **quantique -> classique** (décohérence), la transition **classique -> quantique** est encore mal comprise et peu explorée. On sait empiriquement que les interactions peuvent en être responsables. Le souci c'est la décohérence qui contrecarre la formation d'états quantiques à l'échelle macroscopique. Mais le calcul du temps de décohérence ne tient pas compte du phénomène inverse.

Antoine Suarez a proposé de modéliser avec le billard la formation de zones de cohérence quantique à l'intérieur d'un photomultiplicateur (dans ce cas les boules de billard sont des électrons)

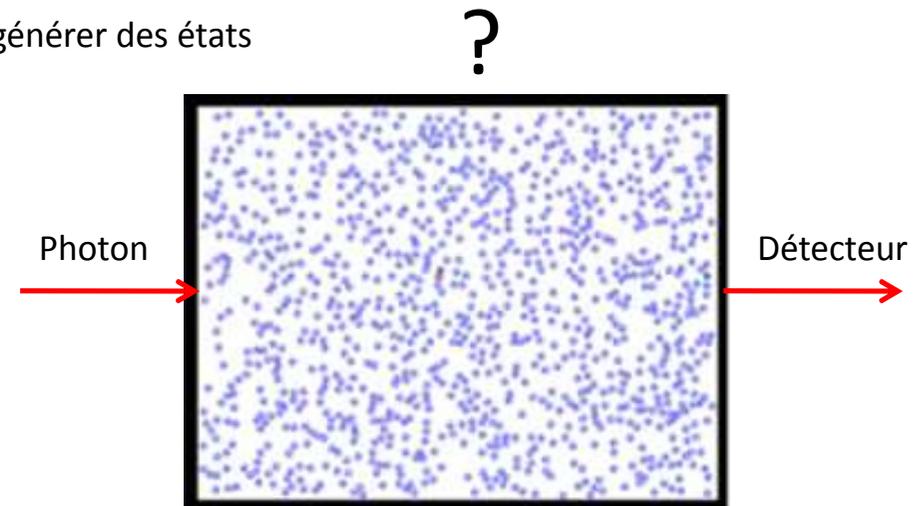


L'un des défis technologiques de la physique actuelle = générer des états quantiques à température ambiante.

Pas vraiment de théorie consensuelle là-dessus.

On ne sait pas si ces états existent sans être détectables ou n'existent pas.

Exemple naïf: Boite billard isolée ?
Nanoparticules ?



Il serait intéressant qu'une équipe ou un thésard du labo y réfléchisse...

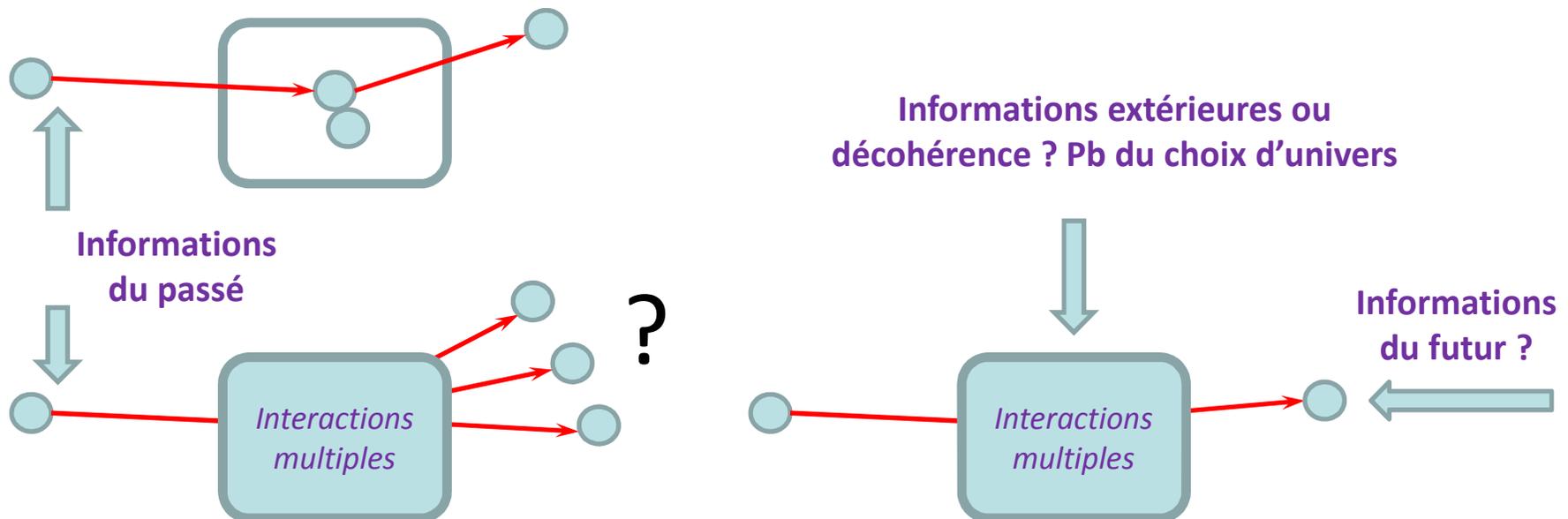
Réflexions théoriques suscitées par les résultats

Billard isolé:

- Perte d'informations physiques => Régime quantique macroscopique
- Sinon, où la mécanique va-t-elle chercher les informations manquantes ?

Billard non isolé (décohérence):

- Perte compensée par l'environnement (thermique) MAIS...
- Il n'en reste pas moins qu'un hasard fondamental entre en jeu (vide quantique ? futur ?)



Pb de choix d'univers => Nécessité d'une approche atemporelle de la dynamique

Suite en cours d'étude: fixer des conditions finales

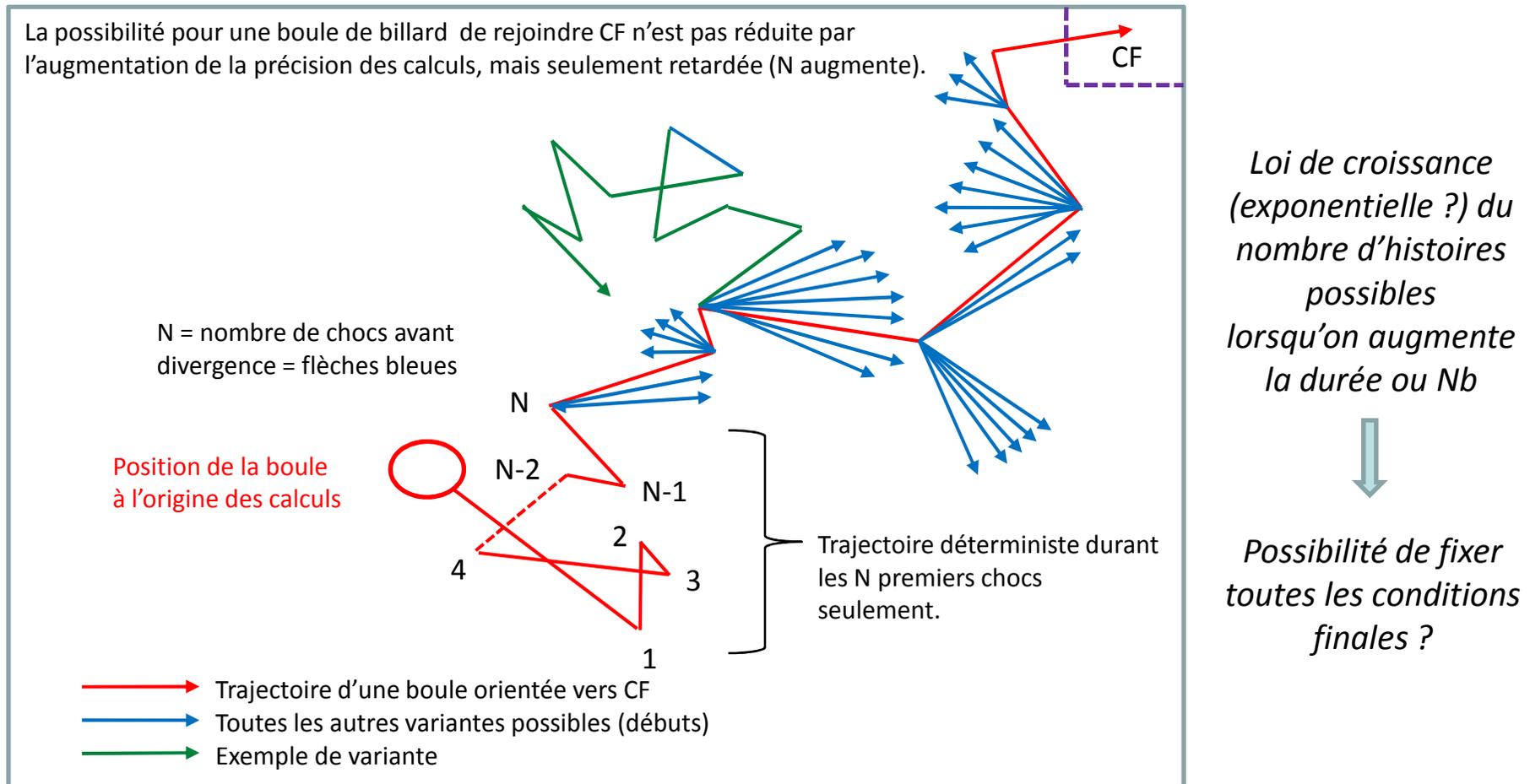


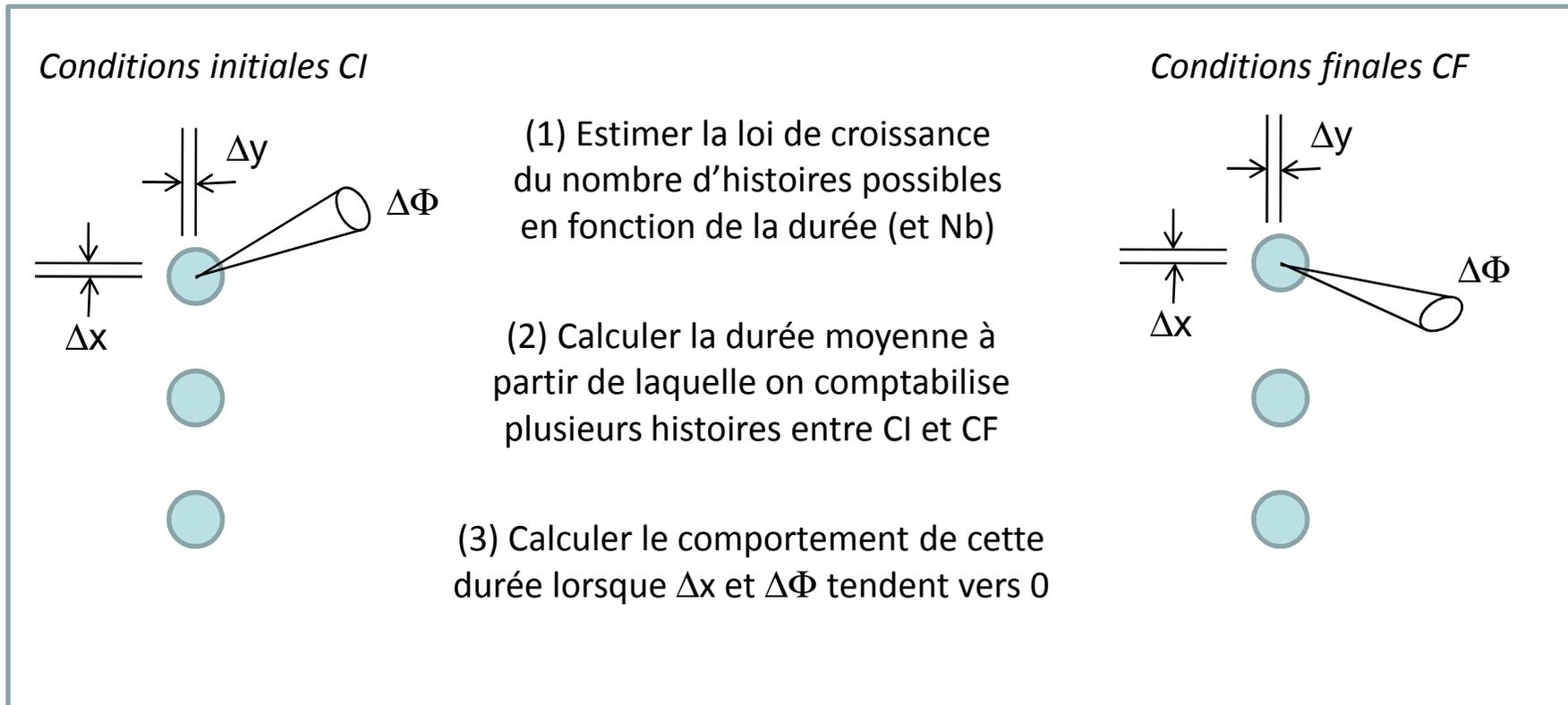
Figure 12: Le fait d'augmenter la précision des calculs ou la résolution de l'espace ne restreint pas le champ des possibles de la trajectoire d'une boule de billard mais ne fait que retarder le moment où elle finit par rejoindre certaines conditions finales CF.

Trop trivial si on ne fixe pas toutes les conditions finales

Calcul du nombre d'histoires possibles

Histoires distinctes à CI et CF fixes, précision et durée variables

Ce qui serait intéressant (non trivial):

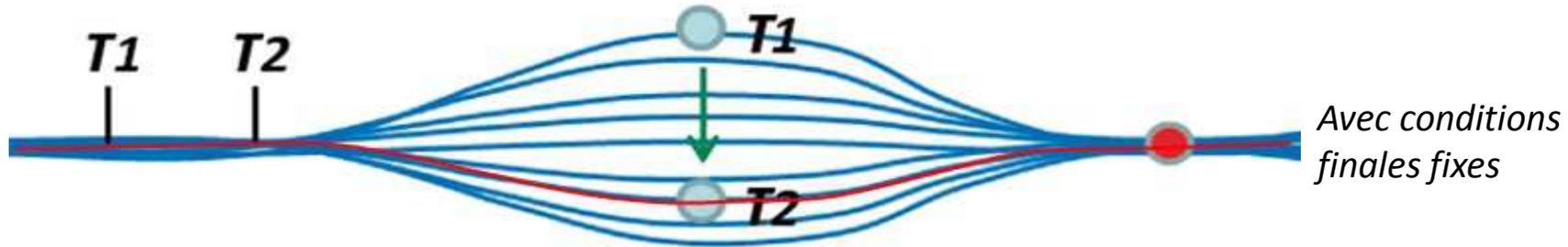


Pb: temps de calcul énorme même avec seulement 3 boules

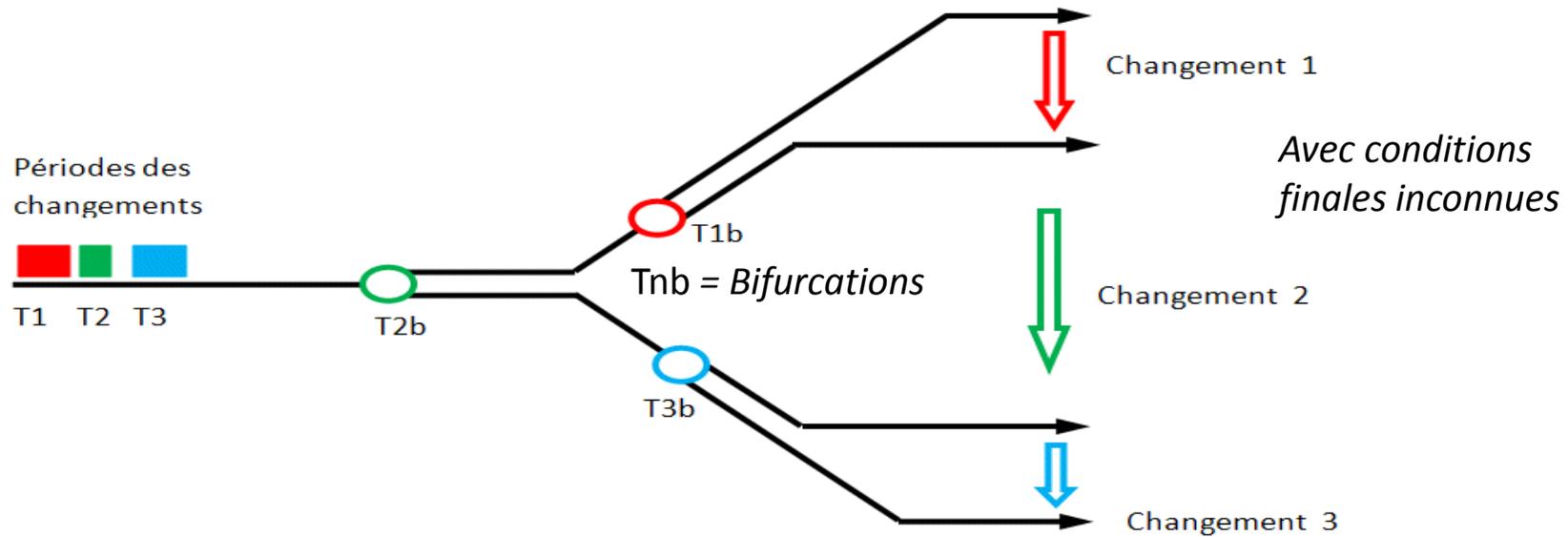
=> **Recherche d'une méthode analogue à l'utilisation des fonctions de dispersion**

Approche atemporelle de la dynamique en général

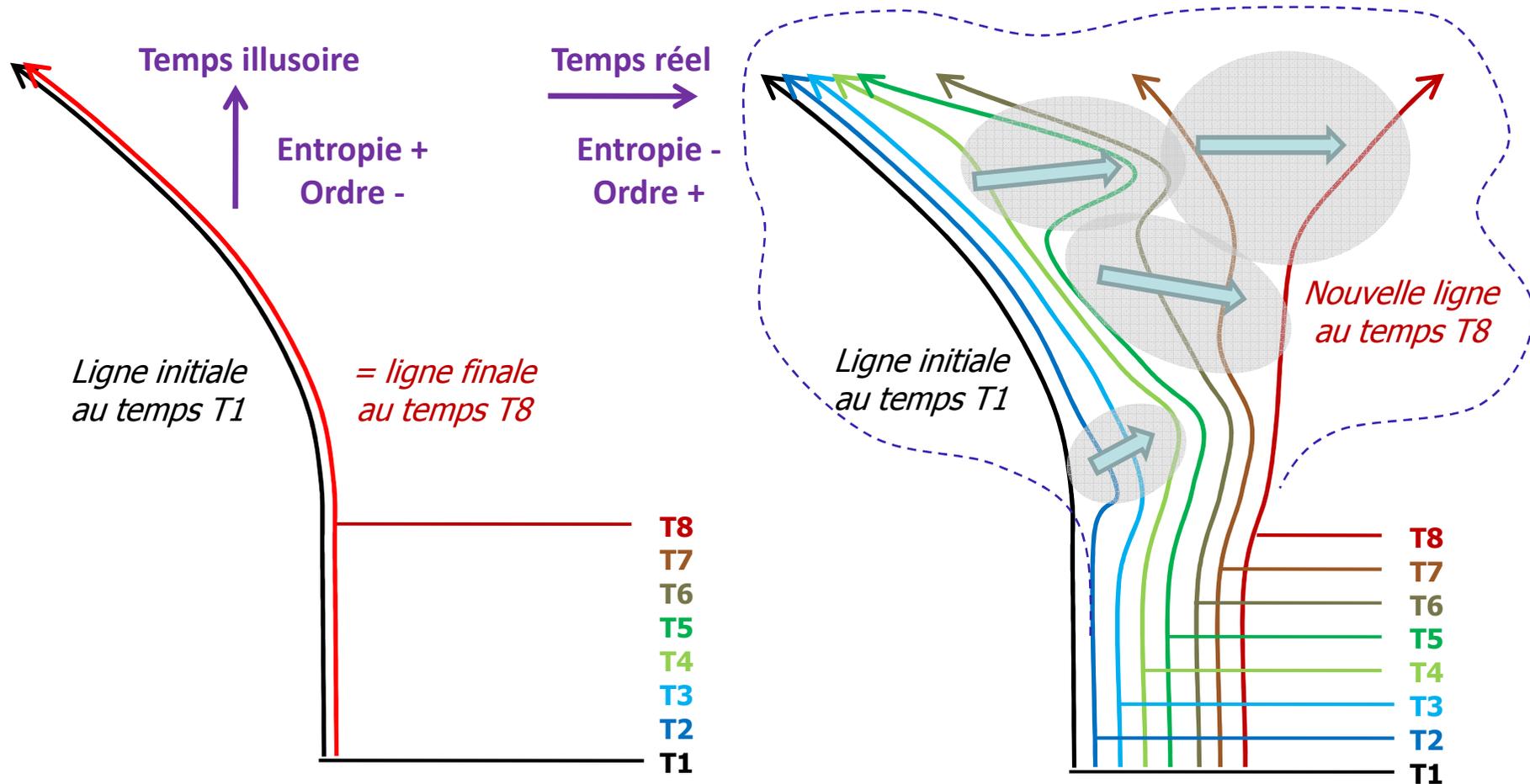
Entre T1 et T2 : Commutation de lignes temporelles



A tout moment le futur reste parfaitement déterminé



Nouvelle conception du temps à valider



Conséquence inévitable : rétrocausalité macroscopique \Leftrightarrow influence du futur sur le présent

Contrairement à celle du multivers (univers séparés), il s'agit d'une théorie falsifiable

Contrat de recherche sur la sérendipité des web-robots

Plusieurs types de robots à l'étude:

- Robots d'affichage publicitaire
- Robots de recherche
- Robots de dialogue

Plusieurs types de tirages au sort sont testés:

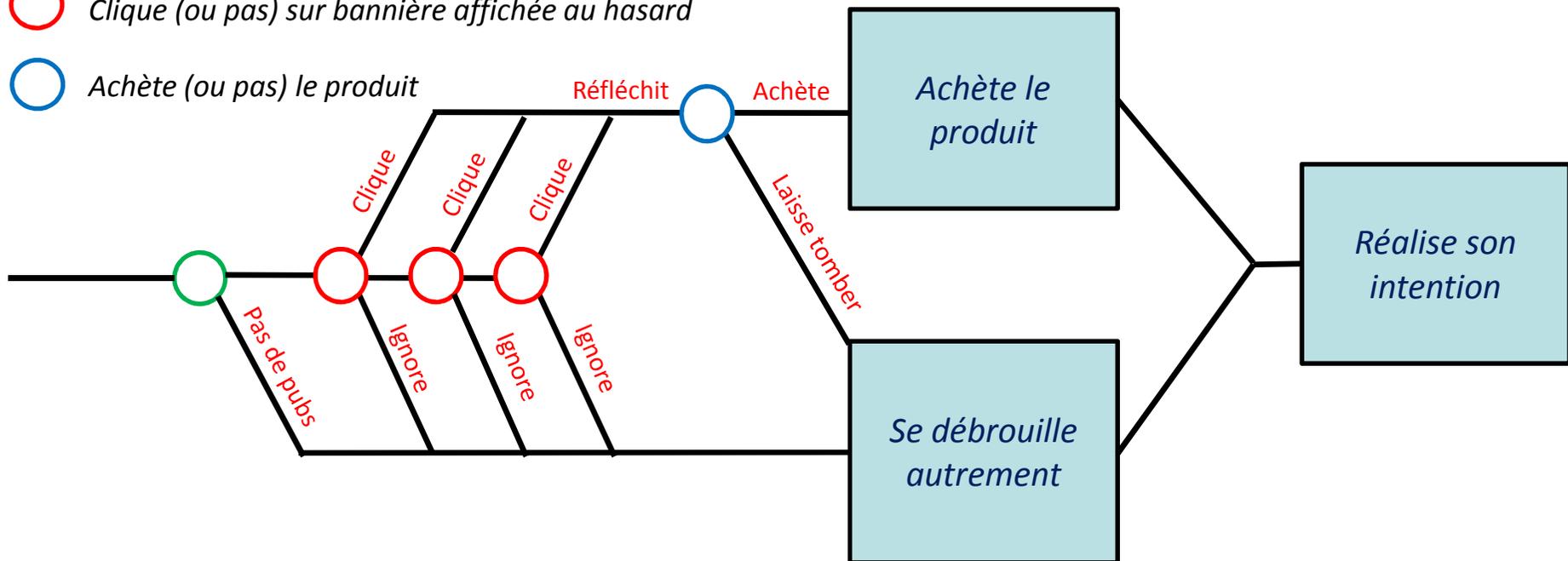
- potentiellement sensibles au futur
- peu sensibles au futur
- individuellement couplés

-  Est sélectionné (ou pas) pour la campagne
-  Clique (ou pas) sur bannière affichée au hasard
-  Achète (ou pas) le produit

Hypothèse à tester:

Influence du futur sur le résultat du tirage

Conditions techniques: méthode à 3 points temporels



Conclusions

Nous avons examiné la pertinence d'un modèle d'évolution atemporelle d'un billard (généralisable) qui procède par commutations de lignes temporelles entre des conditions initiales et finales fixes.

Un tel modèle conduit à introduire une sorte de « **hasard** » comme paramètre de choix des bifurcations.

Cette éventualité peut déjà conduire à des applications technologiques
(hasard adapté à l'influence de conditions finales)

En l'absence de **sur-modèle** permettant de décrire le déterminisme d'un paramétrage atemporel, son interprétation (hasard ?) ne relève pas du champ de la physique (incomplète pour décrire la réalité ?).

- (1) La physique reste temporelle et ne peut décrire qu'un espace-temps figé.
- (2) La physique devient atemporelle mais on en est très loin du point de vue théorique (équations)

Une recherche expérimentale est-elle possible ?

Les mécaniciens quantiques ont vocation à travailler sur la décohérence (quantique vers classique).
Les mécaniciens classiques (thermiciens) sont bien placés pour travailler sur le processus inverse:

La transition d'état classique vers quantique est une transition de phase

Annexe

Projet de recherche sur la dynamique de l'information dans un billard

Nous avons montré dans une publication: <http://arxiv.org/abs/1311.5349> que la dynamique de l'information dans un billard isolé présentait un problème vis-à-vis de l'hypothèse d'une densité d'information physique finie, et notamment que quelque soit la précision des calculs, au dessus d'un certain nombre de boules la quantité d'information calculable pour décrire les trajectoires devenait inférieure à la quantité d'information sur les conditions initiales.

Notre projet est de proposer en conséquence une approche atemporelle de la dynamique du billard, en vue de trouver une alternative à l'augmentation démesurée de l'information portant sur les conditions initiales:

-Il s'agit dans un premier temps, de montrer qu'à partir d'une certaine durée* et quelque soit la précision, il est possible de fixer à la fois les conditions initiales et finales d'un billard (à cause de l'augmentation à priori exponentielle du nombre d'histoires possibles en fonction de la durée* et du nombre de boules).

-Dans un deuxième temps, de montrer qu'au-delà de cette durée*, il commence à apparaître une multiplicité de trajectoires à histoires distinctes entre des conditions initiales et finales imposées.

Le but de cette recherche est de justifier l'introduction d'un paramétrage des bifurcations permettant de restaurer le déterminisme en rendant unique l'histoire qui va effectivement se réaliser parmi les possibles, sans faire appel à une précision ou quantité d'information démesurées. Cette recherche se justifie par les avancées de la physique d'autres branches qui aboutissent à la même conclusion: **nécessité d'une approche atemporelle de la mécanique.**

**durée mesurée en nombre moyen de chocs par boule*