

En hommage à Suleiman Baraka



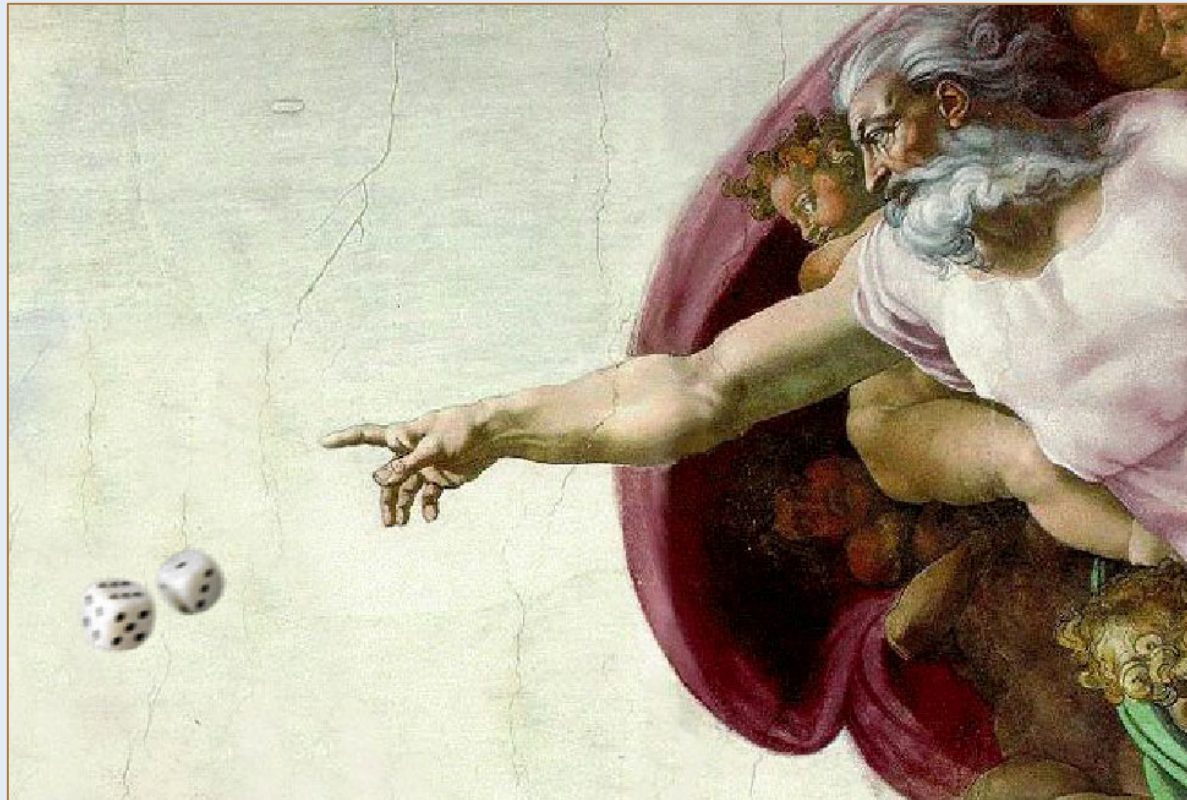
Suleiman Baraka, astronome palestinien, détient la chaire d'astronomie, d'astrophysique et de Sciences de l'Espace de l'UNESCO à l'université de Gaza. Alors qu'il vivait aux Etats-Unis où il était chercheur à la NASA, un de ses enfants fut tué lors des bombardements israéliens de 2009. Suleiman Baraka a alors choisi de revenir vivre dans la bande de Gaza, où il se consacre à la diffusion de l'astronomie auprès des jeunes Gazaouis.

« Pour moi, c'est un moyen d'éveiller l'imagination des enfants et d'échapper au blocus imposé par Israël. A Gaza, seul le ciel ne connaît pas de frontières. »

« Je veux changer l'image des Palestiniens et montrer que nous ne sommes pas des terroristes nés la kalachnikov à la main. Nous aimons lire, écouter de la musique, nous apprécions la beauté de la vie et de la science. »

Le hasard et la physique quantique

Jean-Marc Lévy-Leblond



Dieu joue-t-il aux dés ?



« Dieu ne joue pas aux dés » Einstein, 1926 (etc.)

1. Pourquoi la physique quantique fait-elle appel au hasard ?
2. Le monde quantique n'est pas uniquement soumis au hasard !
3. Le tardif surgissement du hasard en théorie quantique
4. Peut-on éliminer le hasard de la théorie quantique ?
5. Le hasard quantique est-il vraiment quantique ?

1. Pourquoi la physique quantique fait-elle appel au hasard ?

(plus précisément : à la théorie des probabilités)

L'expérience des fentes d'Young

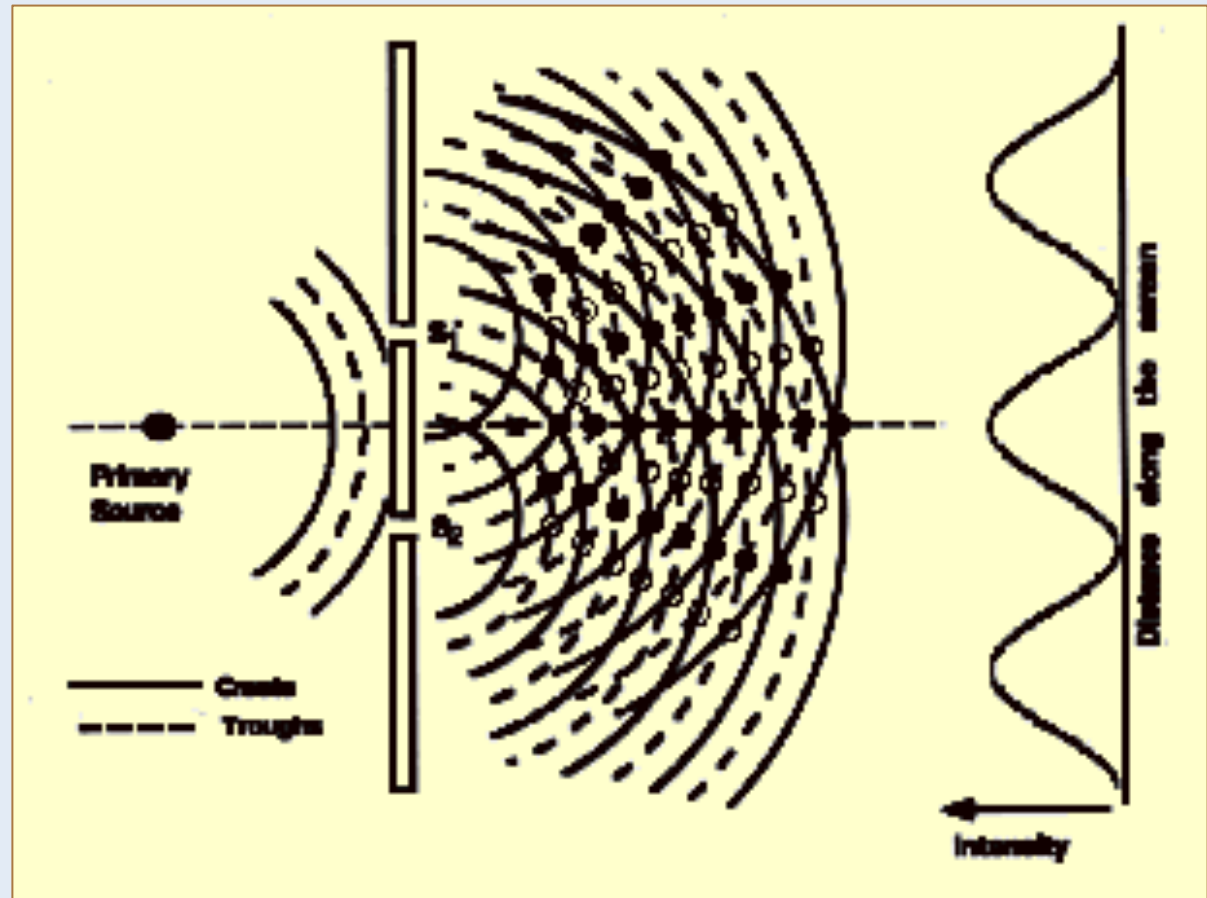
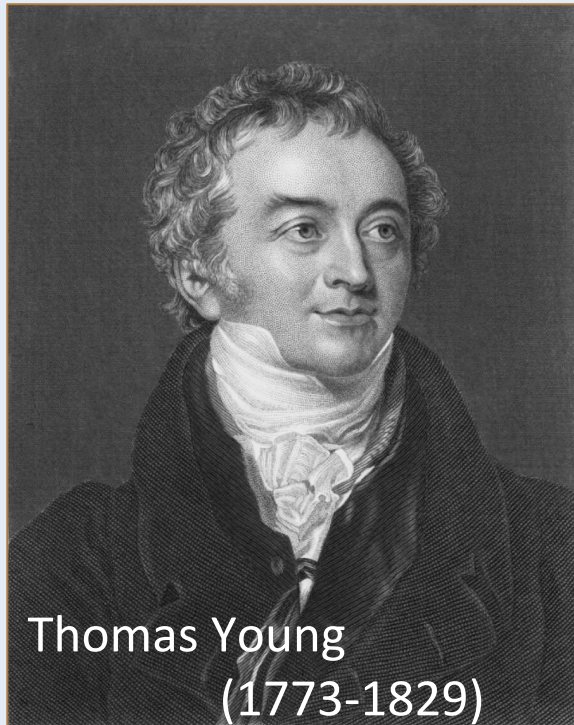


Figure d'interférences :
nature ondulatoire de la lumière !

L'expérience des fentes d'Young

Figure d'interférences :
nature ondulatoire de la lumière !



L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

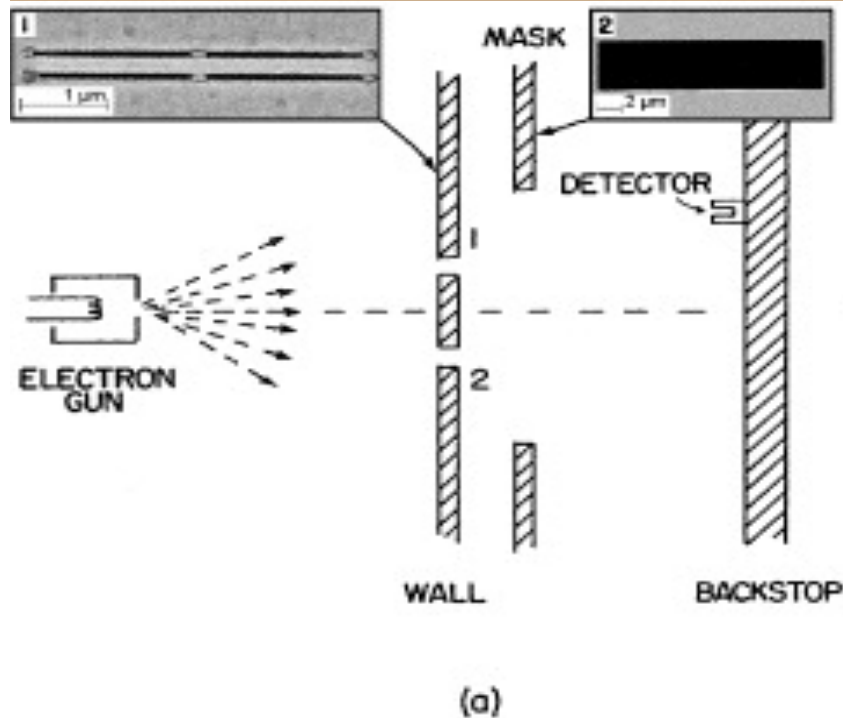


Figure 1 from “Controlled double-slit electron diffraction”
Roger Bach et al 2013 *New J. Phys.* 15 033018 doi:10.1088/1367-2630/15/3/033018

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

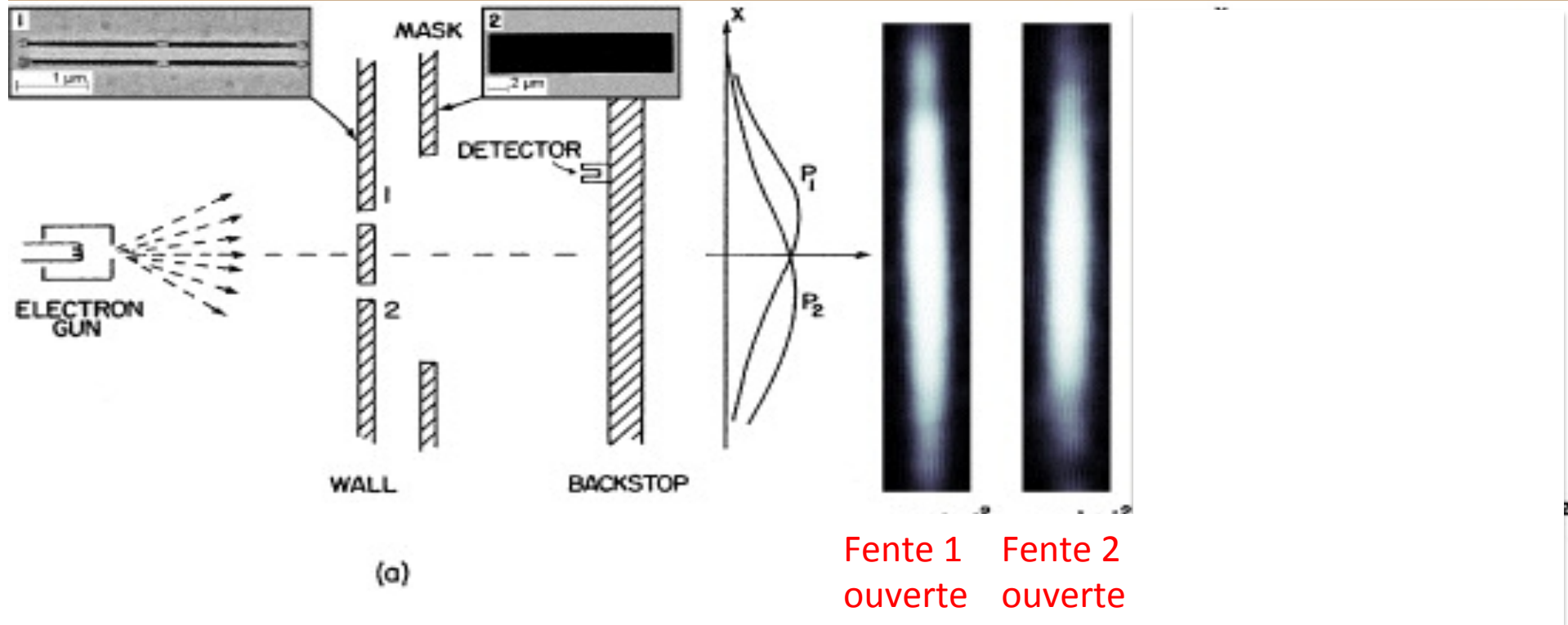


Figure 1 from “Controlled double-slit electron diffraction”
Roger Bach et al 2013 *New J. Phys.* 15 033018 doi:10.1088/1367-2630/15/3/033018

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

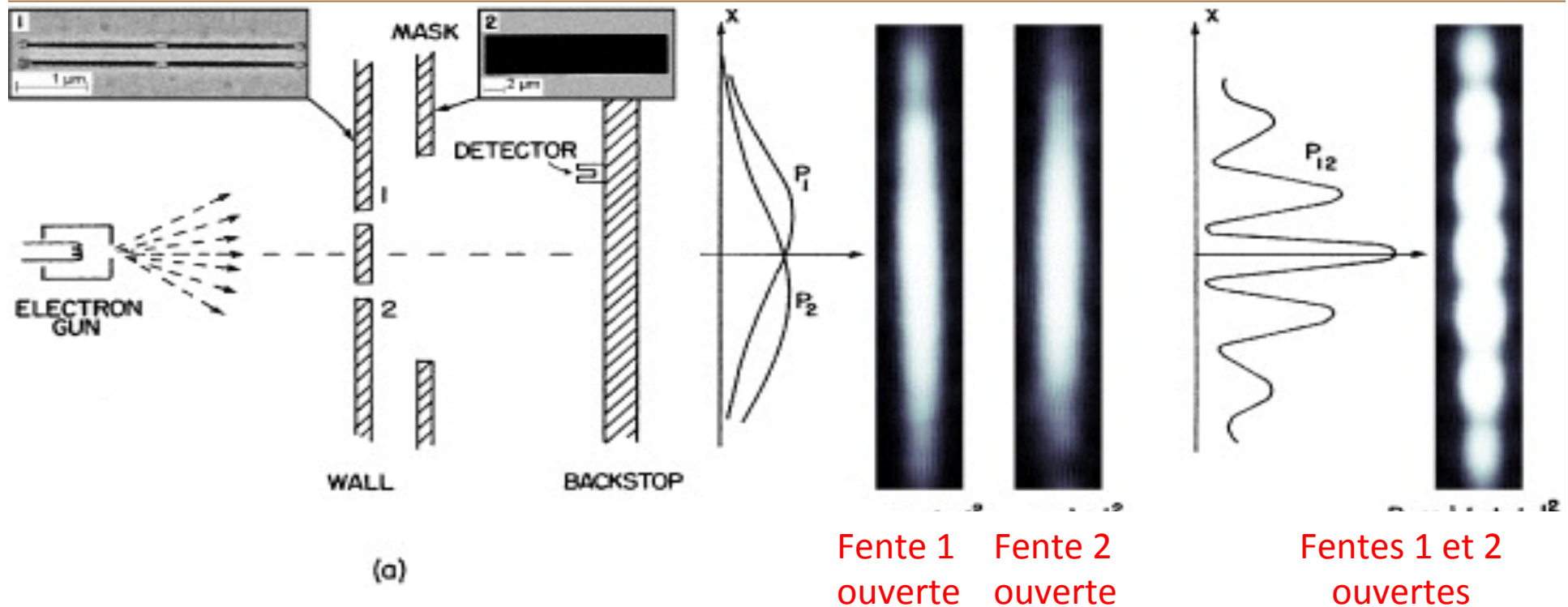


Figure 1 from “Controlled double-slit electron diffraction”
Roger Bach et al 2013 *New J. Phys.* 15 033018 doi:10.1088/1367-2630/15/3/033018

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

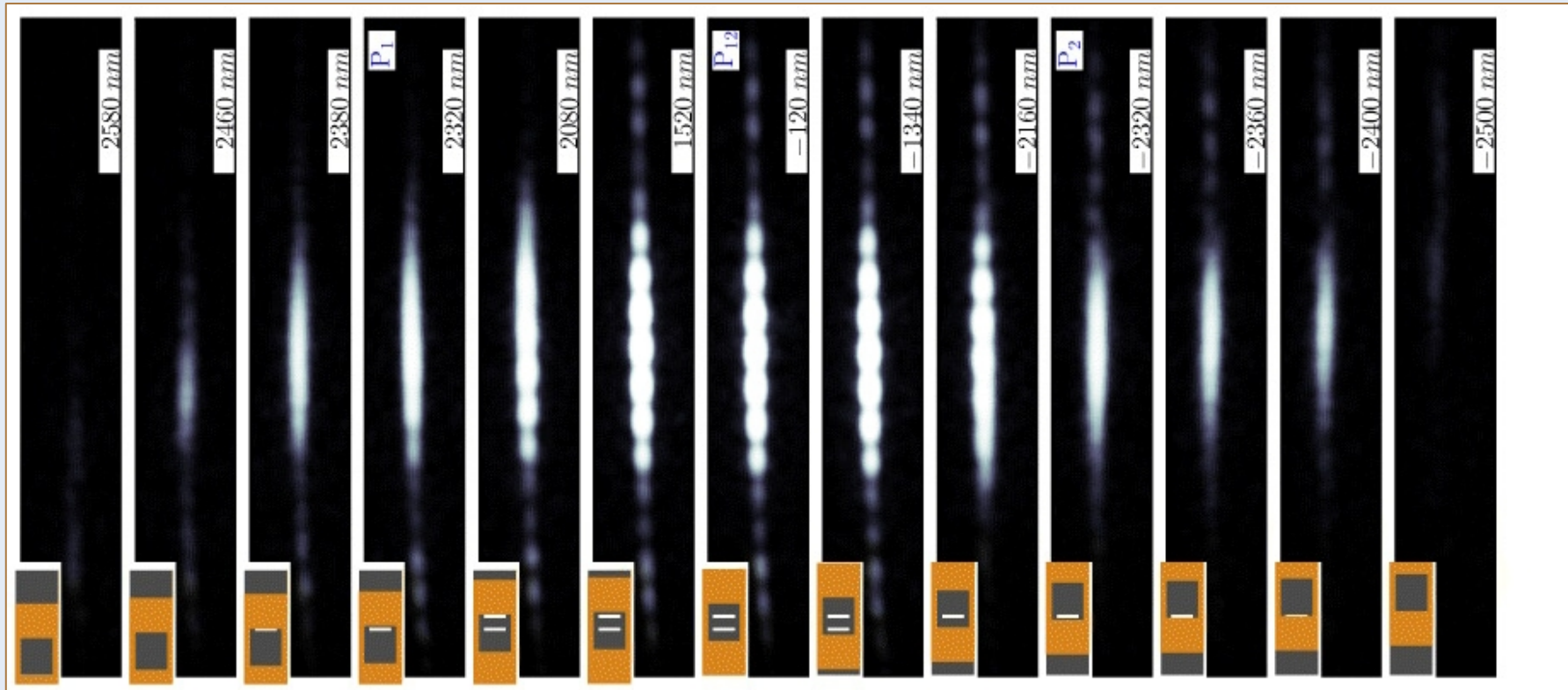


Figure 2 from “Controlled double-slit electron diffraction”

Roger Bach et al 2013 New J. Phys. 15 033018 doi:10.1088/1367-2630/15/3/033018

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

Les électrons passent un par un
et chacun arrive en un certain point !

Comment donc se constitue
la figure d'interférences ?

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

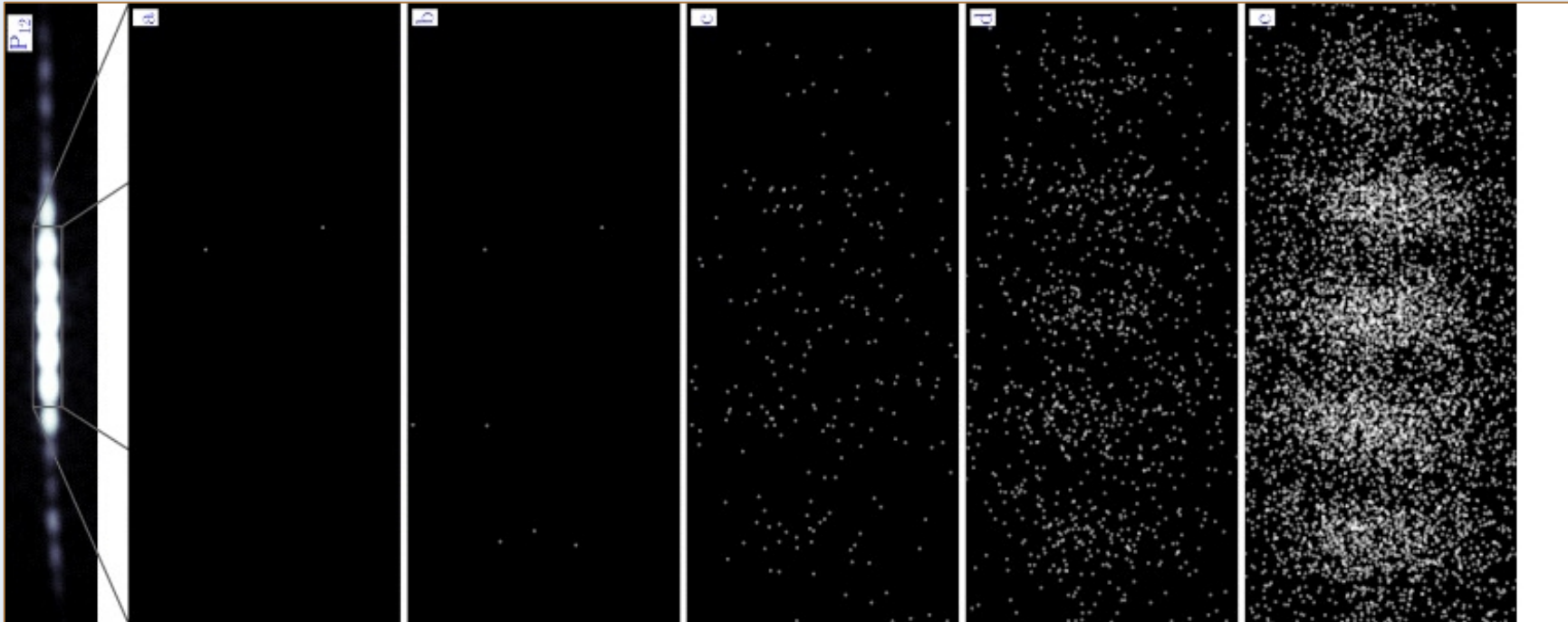


Figure 3 from “Controlled double-slit electron diffraction”

Roger Bach et al 2013 *New J. Phys.* 15 033018 doi:10.1088/1367-2630/15/3/033018

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

L'expérience des fentes d'Young avec des électrons

L'électron présente
des caractéristiques ondulatoires
(il peut interférer — avec lui-même)
et
des caractéristiques corpusculaires
(il peut être localisé ponctuellement)

Pour combiner ces deux aspects,
la physique quantique fait appel
à la **théorie des probabilités** :
la fonction d'onde permet de calculer
la probabilité de localisation

La probabilité quantique

En toute généralité,
pour un système quantique,
la *mesure* d'une grandeur
peut fournir diverses valeurs.

La théorie permet de calculer
leurs *probabilités* respectives.

2. La physique quantique n'est pas uniquement régie par le hasard !

- le hasard quantique n'implique **pas** que
“n'importe quoi peut arriver”

Contraintes liées aux lois de conservation (énergie, charge, etc.) et à la dynamique

Exemple : un électron ne peut pas se transformer en photon

- une grandeur physique ne peut **pas** prendre
n'importe quelles valeurs numériques

Exemple : les niveaux d'énergie des atomes

énergie fondamentale de l'atome d'hydrogène : 13,60569253... eV

- la théorie quantique permet de calculer avec certitude et
précision les valeurs de nombreuses grandeurs physiques

Exemple : le rapport gyromagnétique de l'électron : $2,00231930419922 \pm (1.5 \times 10^{-12})$

3. Le tardif surgissement du hasard dans la théorie quantique

- 1900 : Planck, hypothèse des quanta d'énergie (rayonnement)
- 1905 : Einstein, effet photoélectrique (quantification du rayonnement)
- 1913 : Bohr, niveaux d'énergie atomiques
- 1920s: Sommerfeld & al., "ancienne théorie quantique"
- 1924 : de Broglie, "ondes de matière"
- 1925 : Heisenberg, Jordan, Born, mécanique matricielle
- 1926 : Schrödinger, mécanique ondulatoire
- 1926 : Schrödinger, équivalence entre méca. ondul. & méca. matric.
- 1926 : Born, interprétation probabiliste de la fonction d'onde**

4. Peut-on éliminer le hasard quantique ?

Einstein, de Broglie, Schrödinger, etc., réticents quant à la nature fondamentale du rôle des probabilités en théorie quantique.

« Je suis fermement convaincu que le caractère essentiellement statistique de la théorie quantique contemporaine est uniquement dû qu'au fait que cette théorie travaille sur une description incomplète des systèmes physiques. » Einstein, 1949

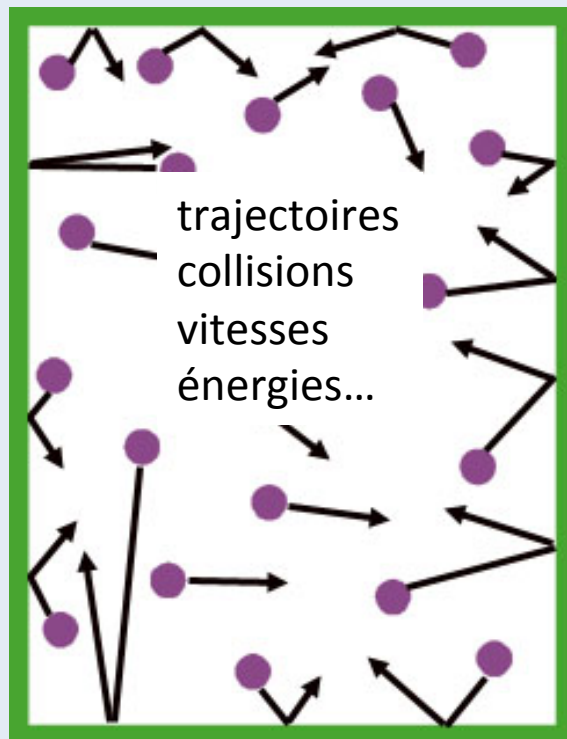
« ...dans une description physique complète, la théorie quantique statistique jouerait un rôle à peu près analogue à celui de la mécanique statistique dans le cadre de la mécanique classique... » Einstein, 1949

La mécanique statistique :

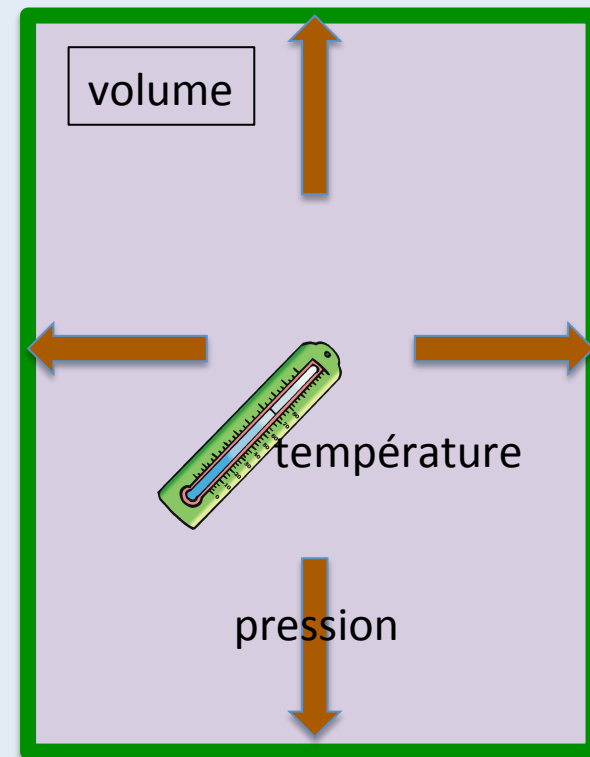
de la mécanique classique à la thermodynamique

Exemple : la théorie cinétique des gaz

point de vue
microscopique



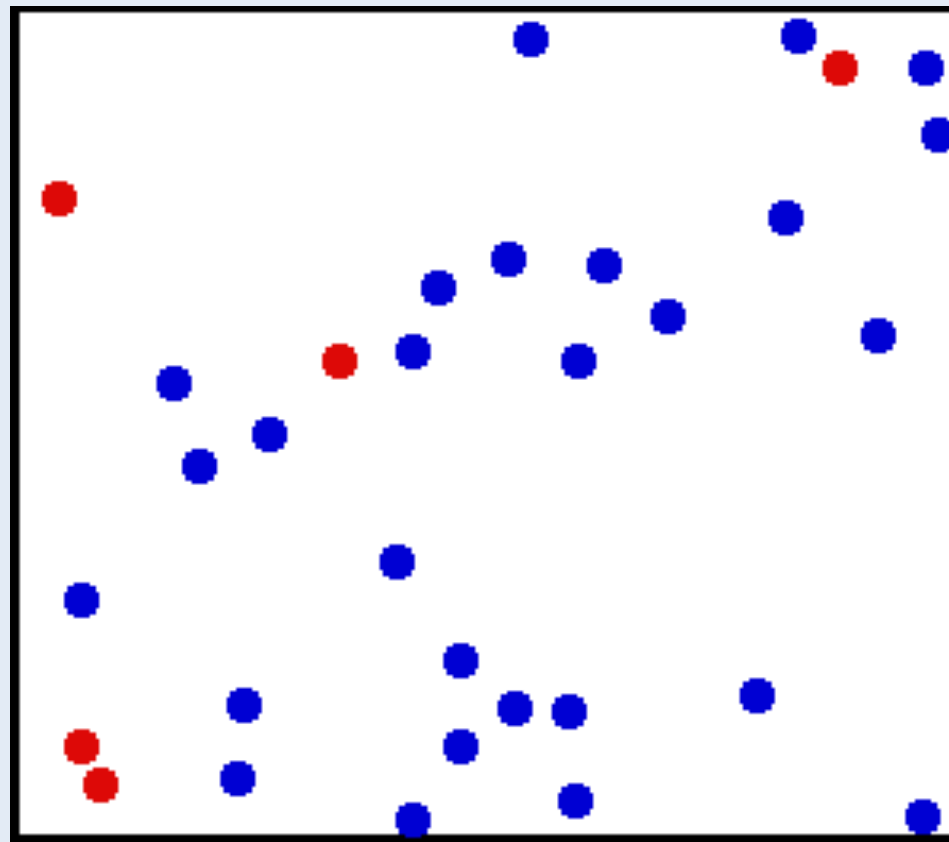
point de vue
macroscopique



La mécanique statistique :

de la mécanique classique à la thermodynamique

Exemple : la théorie cinétique des gaz

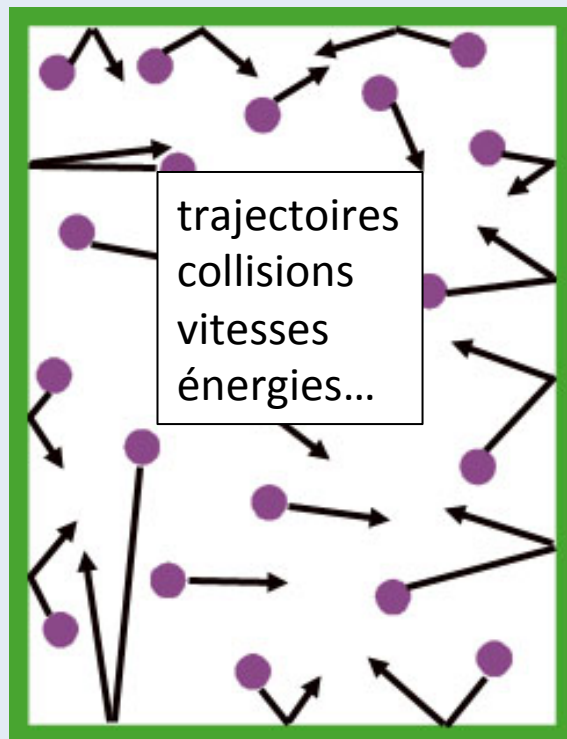


La mécanique statistique :

de la mécanique classique à la thermodynamique

Exemple : la théorie cinétique des gaz

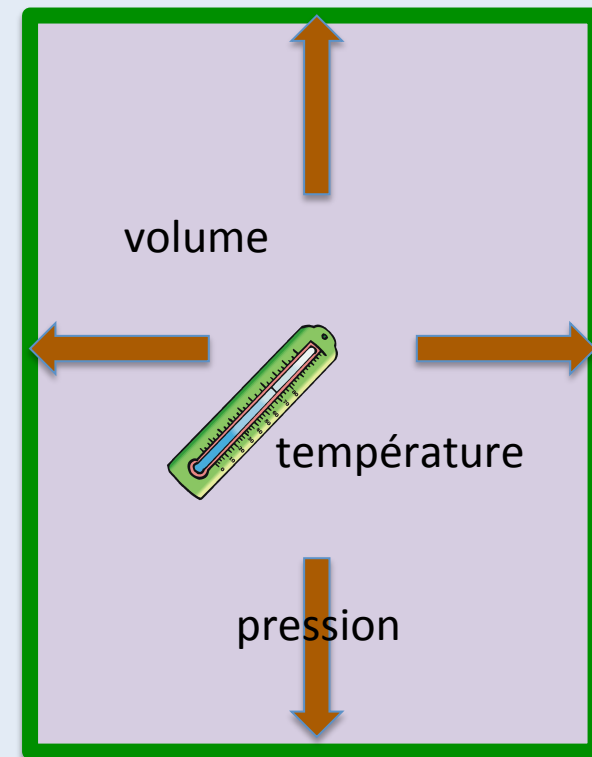
point de vue
microscopique



probabilités
statistique,
moyennes,
etc.

A blue arrow points from this text towards the macroscopic view diagram.

point de vue
macroscopique

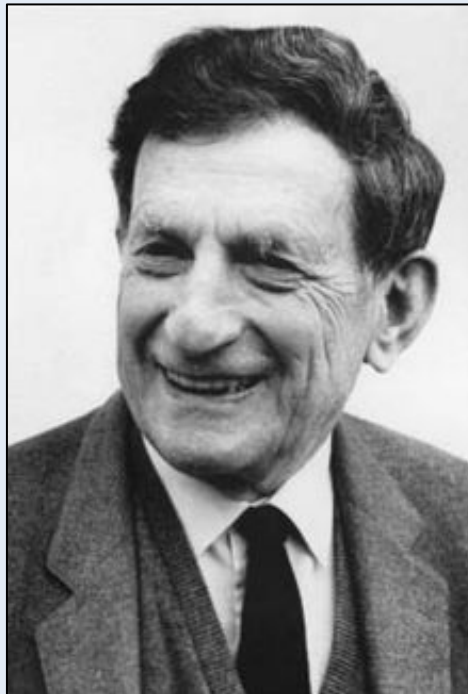


Une physique quantique sans hasard ?

La théorie de de Broglie-Bohm



Louis de Broglie
(1892-1987)



David Bohm
(1917-1992)

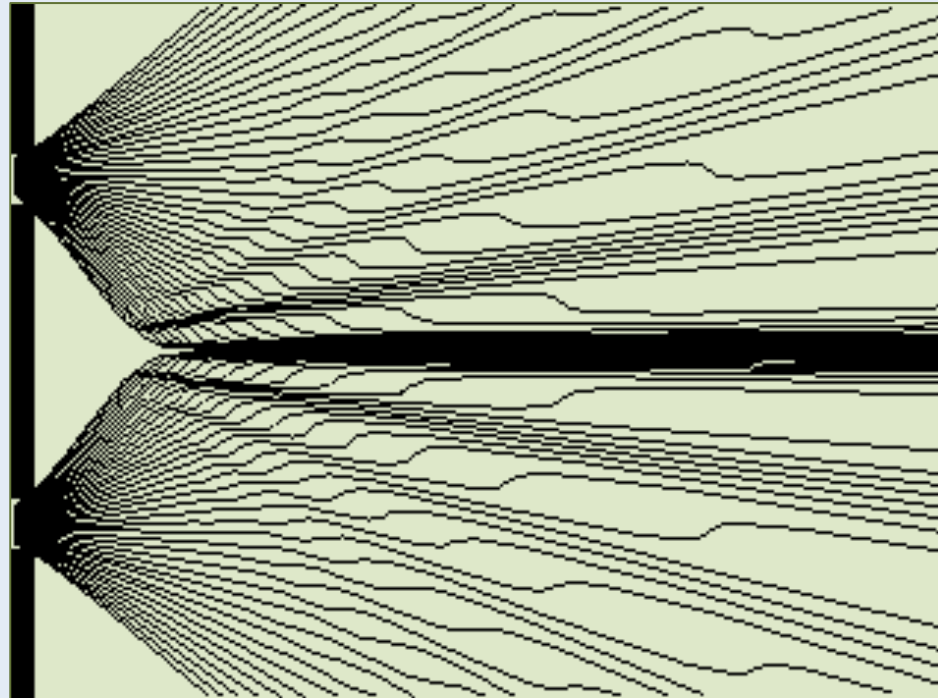


John S. Bell
(1928-1990)

4. Une physique quantique sans hasard ?

La théorie de de Broglie-Bohm

mécanique classique
(particules, trajectoires)
+
“onde pilote”
ou
“potentiel quantique”



Mais théorie non-locale
(action à distance instantanée,
problème avec relativité einsteinienne)

5. Le hasard quantique est-il vraiment quantique ? le point de vue minoritaire

mécanique
newtonienne



mécanique
classique
statistique

mécanique
quantique
statistique

5. Le hasard quantique est-il vraiment quantique ?

le point de vue majoritaire

mécanique
quantique
(statistique)

MAIS

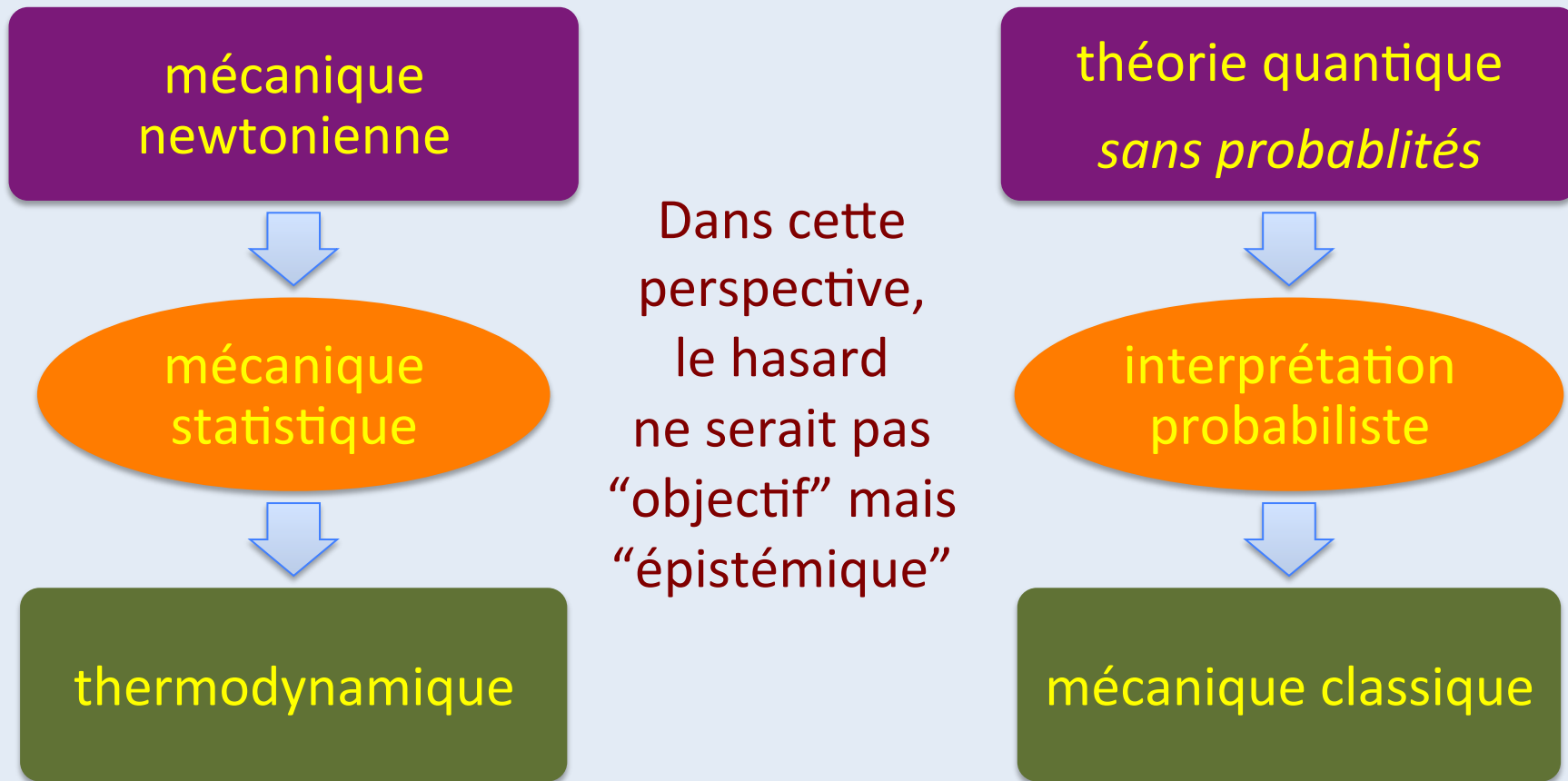


mécanique
classique
(déterministe)

Dans cette perspective,
le hasard est constitutif
de la réalité (“objectif”)
et serait masqué au niveau
macroscopique

5. Le hasard quantique est-il vraiment quantique ?

un autre point de vue



Le concept de hasard en physique :
un joint (épistémique) flexible
entre structures théoriques hétérogènes ?

