

# Hasard quantique et réalité

## Faux hasard et vrai hasard : sauts quantiques, hasard quantique

### LE HASARD UNIVERSEL EST-IL ABSURDE ET AVEUGLE ?

Nous présenterons ici des informations sur un sujet plus que pointu : le hasard en sciences et particulièrement en physique et en cosmologie. C'est le physicien Richard Feynman qui, curieusement, disait que la nature est ce qu'elle est : absurde ! Depuis ces années 1980, beaucoup d'eau a coulé sous les ponts de la physique et de la cosmologie.

Nous tenterons ici de définir avec précision ce qu'est vraiment le hasard et surtout de bien identifier les différents types de hasard à la lumière des nouvelles découvertes et expériences scientifiques, depuis le théorème de Bell jusqu'aux travaux d'Alain Aspect, de Nicolas Gisin et d'autres. Car la notion populaire de hasard est souvent trop simpliste. Il faut plonger dans les récentes découvertes de la physique quantique pour comprendre que le hasard c'est plus qu'un tirage de dés, un lancer de pile ou face ou un tirage dans un chapeau, les yeux fermés.

C'est un sujet fondamental, parce qu'aujourd'hui tout le monde pense "hasard" croyant avoir ainsi réponse à tout, mais sans vraiment comprendre ce qu'est le hasard ou plutôt, de quels hasards on parle. Comme le dirait certainement Einstein: le hasard a le dos large... En fait, le hasard nous est, aujourd'hui, servi à toutes les sauces, sans que soit vraiment expliqué de quoi on parle...

### 1- IDENTIFICATION HISTORIQUE DU HASARD QUANTIQUE

Nous présentons ici les points essentiels concernant la notion de hasard en physique. Ceci est important, parce que la notion de hasard influence nos mécanismes de pensées, nos croyances, nos désirs, nos paroles et nos actions. Cette compréhension est fondamentale et devrait être considérée comme l'un des éléments les plus importants en physique moderne, en plus de la notion de singularité en relation avec l'origine de l'univers. Et c'est ici que l'infiniment petit et l'infiniment grand se rejoignent.

De plus, la compréhension de ce qu'est le hasard nous ramène à un questionnement fondamental sur la nature de la réalité et la nature de notre propre réalité, ce qui inclut, bien entendu, la conscience, car nous ne sommes pas simplement des chaises ou des blocs de granite.

### 2- LA DUALITÉ "ONDE - PARTICULE" DES CONSTITUANTS DE LA MATIÈRE

En 1905 Albert Einstein confirme - explication de l'effet photoélectrique - la nature corpusculaire (quantique) de la lumière dont la nature ondulatoire avait été prouvée expérimentalement par Thomas Young en 1801. On se retrouve donc avec une particule élémentaire (le photon) qui présente des caractéristiques ondulatoires et des caractéristiques corpusculaires, selon le type d'expérience effectué. Du jamais vu, jusqu'alors, dans le monde de la physique !

C'est une première, parce que jamais n'avait-on pu imaginer qu'un même objet - ici le photon - puisse exister parfois comme une onde, parfois comme une particule. Louis de Broglie en 1924 publie sa thèse de doctorat qui énonce que non seulement des photons, mais aussi les électrons, sont ondes et particules. Autrement dit l'atome lui-même. En fait les particules élémentaires expriment cette dualité de manifestation : parfois ondes, parfois corpuscules. Pourtant, essayons d'imaginer une boule de billard qui serait tantôt onde tantôt boule, ça ne va pas. Et pourtant tout dans l'univers, y compris nos corps physiques sont constitués de particules élémentaires ayant une double nature, onde-particule.

### 3- L'ATOME DE BOHR - SAUTS QUANTIQUES - ATOMES EXCITÉS

En 1913 (il y a un peu plus de 100 ans) Niels Bohr reformula la vision de l'atome planétaire de Rutherford (1911).

Bohr dit que les électrons, autour du noyau, gravitent sur des "orbites" dont la distance au noyau est quantifiée. Ces orbites sont fixées "d'avance" et un électron ne peut pas tourner sur une orbite qui serait intermédiaire.

Que se passe-t-il lorsqu'un photon percute un électron ? L'électron absorbe le photon et cet électron possède maintenant une énergie additionnelle, celle du photon absorbé. La loi de Bohr dit que l'électron doit passer sur une orbite plus élevée (plus éloignée du noyau) parce que à chaque orbite correspond un niveau d'énergie. À l'orbite 1 (niveau fondamental) correspond un niveau d'énergie 1 (niveau fondamental). Si l'électron, en orbite au niveau 1, acquiert un surcroît d'énergie (ici, excitation par un photon), cet électron doit nécessairement passer à une orbite supérieure correspondant à ce niveau d'énergie. Il ne peut pas rester là où il est et il ne peut pas non plus aller n'importe où. L'électron doit aller sur l'orbite qui correspond à son niveau d'énergie, le niveau 2 par exemple, soit l'orbite numéro 2, au-dessus de l'orbite numéro 1. Mais il ne peut pas aller quelque part entre les deux ou un peu plus haut.

### 4- SAUTS QUANTIQUES

On dit que l'électron saute du niveau 1 au niveau 2. Et là, il y a quelque chose de "mystérieux" qui se passe et c'est à ce moment-là que le HASARD fait son entrée "officielle" en physique. En effet, on pourrait penser que pour passer de l'orbite 1 à l'orbite 2 (au-dessus), l'électron va suivre une trajectoire précise, à une certaine vitesse (nécessairement inférieure à la vitesse de la lumière "c" parce que l'électron a une masse), pour se retrouver sur l'orbite 2. Mais ce n'est pas le cas !

Que se passe-t-il ? L'électron passe de l'orbite 1 à l'orbite 2 instantanément. Temps pour faire le parcours = 0 ! Il n'y a pas de trajectoire, pas de "temps de route". L'électron disparaît de l'orbite 1 et réapparaît instantanément sur l'orbite 2 au moment exact où il est percuté par le photon. Cela semble impossible, mais c'est ainsi. Prendre conscience de la nature des sauts quantiques électroniques est quelque chose de peu banal, car cela nous conduit à une nouvelle prise de conscience de la réalité qui opère, dans certaines conditions, en ignorant totalement les contraintes d'espace-temps.

Ce n'est pas pour rien qu'Einstein (découvreur principal de la relativité restreinte qui est en fait la nouvelle physique de l'espace-temps) va avoir beaucoup de mal à digérer le

phénomène des sauts quantiques. (On retrouvera ce blocage chez Einstein, exposé en 1935, avec les corrélations (intrications) quantiques, nous le verrons plus loin.

Mais ce n'est pas tout. Une fois que l'électron excité (surchargé de l'énergie du photon) est sur son orbite numéro 2, il a une tendance naturelle à retrouver son état fondamental, soit le niveau d'énergie numéro 1. Il va donc libérer cette énergie, émettre le photon (de la lumière) et revenir à l'orbite plus basse (numéro 1). L'atome est désexcité, l'électron est retourné sur l'orbite inférieure. (Ici, pour simplifier, on parle simplement de 2 niveaux d'énergie, 2 orbites; mais le principe est le même pour toutes les orbites et tous les atomes, bien que plus complexe à calculer).

Pour passer du niveau 2 au niveau 1 (désexcitation), il n'y a pas de temps non plus : le transfert est instantané, comme on l'a vu avec le phénomène d'excitation. Plus encore : on ne sait pas quand l'électron va "décider" de redescendre du niveau 2 au niveau 1. Une fois sur l'orbite 2, il peut y rester cinq secondes, dix minutes, etc. On sait simplement qu'il va redescendre. Quand ? Dans quelle direction ? (L'atome est un volume). Cela reste indéterminé et ne peut être approché que par le calcul des probabilités (pour les sauts quantiques).

## 5- FAUX HASARD ET HASARD QUANTIQUE

Le saut quantique est un phénomène de HASARD dans le sens vrai du mot : on ne "connaît" aucune cause qui puisse expliquer ces "caprices" de l'électron lors des sauts quantiques. (On ne dit pas qu'il n'y a pas de causes; on dit seulement qu'on ne connaît pas de cause expliquant ce comportement surprenant, ceci est fondamental nous verrons). Par contre, si je lance un dé à six faces - non truqué - je sais que la probabilité qu'il donne le 5 (par exemple) est de un sixième ( $1/6$ ). Le résultat du lancer de dé est un certain nombre (compris entre 1 et 6) parce qu'il y a une somme de microcauses pratiquement impossibles à mesurer et à calculer qui vont déterminer le résultat, entre 1 et 6. Les microcauses qui déterminent le résultat du lancer de dé sont, entre autres : la force imprimée par la main sur le dé (son intensité et sa direction), la dureté ou la mollesse et l'humidité de la main sous le dé et autour du dé (!), les mouvements subtils de l'air, la respiration de celui qui lance, la température de l'air (donc sa pression), la nature du matériau dont est fait le dé, la nature du matériau sur lequel retombe le dé, etc. Ce sont là les causes qui déterminent le résultats. Mais, dans la pratique, elles sont inquantifiables, et trop complexes à calculer. On dit donc que c'est un tirage au hasard. Mais c'est du faux hasard, comme les loteries. Rien à voir avec le hasard quantique qui nous intéresse ici.

## 6- CONCLUSION SUR LES SAUTS QUANTIQUES

Pour les sauts quantiques de l'électron - d'un niveau 2 à 1, par exemple - l'instant de cette "transition" relève du pur hasard. Mais si j'ai rencontré mon ami Joseph à Tombouctou alors que je n'y suis qu'une seule fois dans ma vie et que lui aussi ne s'y est rendu qu'une seule fois - et sans qu'on se consulte - on dira : "On s'est rencontré par hasard". Et pourtant ce n'est pas du pur hasard comme l'est le hasard quantique. Notre rencontre fortuite est du faux hasard.

Le hasard quantique fait dire à Einstein en 1924 (onze ans plus tard, il n'avait pas encore digéré la chose et il ne la digérera en fait jamais vraiment) : "Je trouve très intolérable l'idée qu'un électron exposé à un rayonnement choisisse de sa propre initiative, non seulement le moment où il sautera, mais aussi qu'il choisisse sa direction. J'aimerais mieux être cordonnier, etc. Il écrira aussi, en 1926, concernant la mécanique quantique : "Une voix intérieure me dit que ce n'est pas encore la réalité... Moi, en tout cas, je suis convaincu qu'Il (Dieu) ne joue pas aux dés. Et Bohr lui répondra avec un sourire amusé : "Einstein, ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire." De véritables gentlemen ces deux- hommes !

"Erwin Schrödinger (le grand découvreur de la fonction d'onde, ( voir les pages précédentes) ne fera pas mieux. Il dira, entre autres choses : "Je ne puis concevoir des électrons sautant comme des puces !" Et aussi : " Si toutes ces fichues histoires de sauts quantiques devaient vraiment continuer, je regretterais d'avoir touché à la théorie quantique." D'ailleurs - et je ne veux pas ici écrire un livre, mais aller à l'essentiel - Schrödinger n'aura pas fini de souffrir avec le hasard et les probabilités (qui tentent de circonscrire le hasard par le langage mathématique). En effet, quand il pondra son extraordinaire équation de la fonction d'onde ( $\psi$ ) - voir pages précédentes - il s'en tiendra à une conception réaliste de cette fonction. Puisque les particules sont des ondes, une équation leur est nécessairement associée. Cela est vrai, on le sait pour les ondes sur l'eau, les ondes électromagnétiques (ondes radio et autres).

Mais quand Max Born va reprendre la fonction d'onde de Schrödinger et en faire une "simple" formule mathématique pour un calcul de probabilité de présence d'une particule au moment de la mesure, Schrödinger ne va pas l'avalier. Lui y voit une onde réelle. Max Born, Heisenberg et Bohr y voit une onde de probabilité (le carré du module de la fonction d'onde). Et Max Born dira : "La prouesse de Schrödinger se réduit à quelque chose de purement mathématique. Sa physique est lamentable." (Pas très gentleman ce Max, contrairement à Albert et Niels et même Erwin).

Toute cette histoire de sauts quantiques a donc mis le feu aux poudres de la compréhension du monde vue par la physique et mis le feu aux poudres de l'interprétation du monde par la physique, en fait, à la science en général.

Je me permets deux petites remarques avant de passer au point de la page suivante : "Incertitude en physique quantique".

- Quand le cosmologiste George Lemaître - le véritable découvreur du big-bang dès 1927 - montrera à Einstein (au congrès de Solvay) sa découverte de l'expansion-contraction de l'univers faite à l'intérieur des équations de la relativité générale (Einstein 1915), ce dernier dira à Lemaître : "Vos mathématiques sont excellentes, mais votre physique est épouvantable !" (Un peu moins gentleman, cette fois-ci). - Lisez la déclaration de Max Born à Schrödinger : les deux sont très ressemblantes ! Et pourtant, c'est bien Lemaître qui avait raison et Einstein reconnaîtra "La plus grande erreur de toute ma vie" : une équation qu'il avait trafiquée" avec sa constante cosmologique de façon à empêcher l'univers de se dilater (en fait à l'espace de se dilater). Là, c'est Einstein qui avait décidé de jouer au Dieu cosmique...

- Seconde remarque. Concernant la déclaration de Max Born (ci-dessus) on doit réfléchir au rôle des mathématiques en physique, aujourd'hui plus que jamais. Les mathématiques ne sont qu'un langage, un formalisme pour le physicien. Une simple démonstration mathématique d'une théorie n'est pas encore une confirmation scientifique de la théorie. Aujourd'hui, quelques physiciens en mal de célébrité ou de je ne sais quoi (en mal de prouver leurs croyances, peut-être) veulent se cantonner à des preuves mathématiques sans soumettre la théorie à la confirmation expérimentale reproductible.

**IMPORTANT** : Que ce soit pour la théorie des cordes (supercordes), la théorie des multivers (multiunivers), etc. ce n'est plus de la physique si on en reste seulement aux démonstrations mathématiques. C'est d'ailleurs le cosmologiste George Ellis qui déclare haut et fort (et avec raison) : "Les multivers ne sont pas de la science !" Et aussi : "Sincèrement, je pense qu'il est dangereux de faire passer pour de la science une idée qui n'est pas vérifiable et qui s'appuie sur une physique qui n'est pas testée." Et George Ellis de dire aussi : "L'infini est une notion qui appartient aux mathématiques, pas à la physique. Je pense que les physiciens qui parlent d'une infinité d'univers (multivers) ont tendance à l'oublier."

En effet, avec l'infini, on peut dire tout ce que l'on veut; parce que dans un domaine où la durée événementielle est infinie, la probabilité qu'un événement se produise est mathématiquement égale à 1, s'il s'est déjà produit une fois. Autrement dit, l'événement est certain de se reproduire encore et encore ! Ces histoires de multivers (pour éliminer un big-bang originel ?), ce n'est pas de la science; c'est - au mieux - de la philosophie déguisée en science par un usage abusif des mathématiques. (Voir l'article et les déclarations du cosmologiste George Ellis dans *Ciel et Espace*, juillet 2013).

*Marc Saint Hilaire*

<https://sites.google.com/site/maitresaintgermain/alphascience>