



HAL
open science

Jouer à pile ou face dans l'Espace

Alexandre Gondran, Michel Gondran

► **To cite this version:**

Alexandre Gondran, Michel Gondran. Jouer à pile ou face dans l'Espace : ou qu'est-ce qu'une variable continue dont la "mesure" est discrète ? ou qu'est-ce qu'une variable à valeurs non prédéterminées ? ou encore qu'est-ce qu'une "mesure" contextuelle ?. 2017. hal-01441841

HAL Id: hal-01441841

<https://hal.science/hal-01441841>

Submitted on 20 Jan 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Jouer à pile ou face dans l'Espace
ou qu'est-ce qu'une variable continue dont la "mesure" est discrète ?
ou qu'est-ce qu'une variable à valeurs non prédéterminées ?
ou encore qu'est-ce qu'une "mesure" contextuelle ?

par Alexandre Gondran et Michel Gondran

Avez vous déjà joué à pile ou face dans l'Espace ? Vous devriez le demander à Thomas Pesquet qui est actuellement dans la station spatiale internationale (cf. figure 1). Il constaterait un petit problème une fois la pièce lancée dans l'air : elle ne retombera pas dans sa main mais restera à virevolter dans l'air. L'absence de gravité pose en effet un problème aux joueurs de pile ou face. Alors s'il veut quand même désigner celui ou celle qui va devoir sortir les poubelles et que la roulette



Figure 1: Thomas Pesquet tentant de jouer à pile ou face dans la station spatiale internationale où il séjourne de novembre 2016 à mai 2017 (photo @Thom_astro sur Twitter).

russe ne le tente pas trop, il va devoir définir les règles du jeu du *pile ou face dans l'Espace* : le lanceur frappera dans ses mains de telle sorte que la pièce se coince entre sa paume droite et sa paume gauche. Puis il demandera à son adversaire de choisir pile ou face. Le lanceur-frappeur retire alors ses mains. La pièce ne tombe toujours pas, elle reste immobile en apesanteur. La face de la pièce qui était située sur la paume droite du lanceur-frappeur désigne le vainqueur. On comprend bien dans cette expérience que l'orientation pile/face de la pièce n'est pas déterminée avant la "mesure" (le frappement de mains). L'orientation de la pièce est une variable à valeurs non prédéterminées (avant la "mesure"), contrairement à la masse, à la couleur, à la valeur ou à la taille de la pièce qui sont des variables à valeurs prédéterminées. On parle aussi de façon équivalente de "mesures" contextuelles, c'est-à-dire de la "mesure" d'une variable à valeur continue (orientation de la pièce) qui ne donne que des valeurs discrètes (pile ou face) dépendant du contexte (orientation des mains).

En mécanique quantique, l'orientation du spin d'une particule est également une variable à valeurs non prédéterminées avant la "mesure". Lors de la "mesure" du spin (on considérera l'exemple d'une particule à spin $1/2$ traversant un appareil de "mesure" de type Stern et Gerlach, c'est-à-dire un champ magnétique très puissant, cf. figure 2), on pourra constater uniquement deux résultats possibles : soit le spin up (c-à-d une déviation de la particule vers le haut par rapport à l'appareil de Stern et Gerlach) soit le spin down (c-à-d une déviation de la particule vers le bas). C'est bien l'analogue de la "mesure" par claquement de mains du pile ou face dans l'Espace. Dans les deux cas, il est possible de dire que l'orientation de la pièce (respectivement du spin) avant la "mesure" est dans une superposition de l'état pile et de l'état face (resp. de l'état up et de l'état down); mathématiquement une superposition d'états est simplement un état qui est combinaison linéaire de plusieurs états. Ceux sont des variables

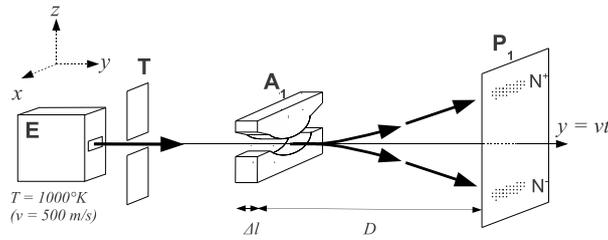


Figure 2: Atomes d'argent traversant un appareil de "mesure" de type Stern et Gerlach

à valeurs continues (toutes les superpositions sont possibles) mais dont la "mesure" ne produit que des valeurs discrètes.

Mais pourquoi faire l'expérience du pile ou face dans la station spatiale internationale et pas simplement sur Terre ? car les conclusions seraient les mêmes ?

En effet sur Terre, l'orientation de la pièce est encore une variable à valeurs non prédéterminées. L'intérêt de la "mesure" dans l'Espace est qu'il est possible de prolonger l'analogie du spin up/down d'une particule avec l'orientation pile/face d'une pièce. En effet pour la "mesure" du spin, il est possible d'orienter l'appareil de "mesure" (l'entrefer de l'appareil de Stern et Gerlach) dans n'importe quelle direction de l'espace; on notera classiquement la direction \hat{z} , pour la direction verticale et, \hat{x} et \hat{y} les deux autres directions horizontales.

Dans le jeu à pile ou face sur Terre, on ne "mesure" l'orientation pile/face que dans la direction verticale à cause de la gravité. En apesanteur, il n'y a plus de direction privilégiée et il est possible d'orienter notre appareil de "mesure" (c-à-d notre claquement de mains) dans toutes les directions possibles comme pour la "mesure" du spin. On a affaire à un pile ou face en 3 dimensions en quelque sorte. On peut schématiquement représenter notre expérience comme dans la figure 3, où l'on a 50% de chance d'obtenir l'orientation pile et 50% de chance d'obtenir l'orientation face et cela quelque soit l'orientation de l'appareil de "mesure". On a donc une superposition des états pile et face à 50/50.

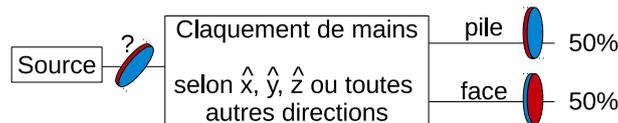


Figure 3: Mesure de l'orientation d'une pièce de monnaie par claquement de mains.

Si après avoir mesurée la pièce dans l'état pile selon la direction \hat{z} , on refait une "mesure" selon cette même direction, comme représenté dans la figure 4 : on re-claque des mains toujours dans la direction \hat{z} , il est évident que la "mesure" de l'orientation donne de nouveau pile.

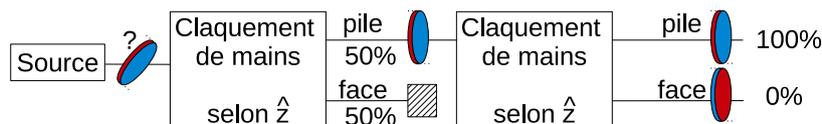


Figure 4: Deux "mesures" successives de l'orientation de la pièce avec des appareils de "mesure" orientés dans la même direction.

On fait maintenant une seconde "mesure" mais selon la direction \hat{y} . La première "mesure" a été un claquement de mains vertical : la pièce a été forcée de s'orienter selon pile ou face verticalement (on

suppose que l'on ait trouvé pile par exemple); après cette "mesure" elle ne vrille plus mais reste orienté verticalement. Maintenant on effectue une seconde "mesure" en claquant des mains horizontalement cette fois-ci (cf. figure 5). La pièce est forcée une nouvelle fois de s'orienter mais verticalement cette fois-ci. Étant donné qu'elle est sur la tranche selon l'orientation horizontale, elle a 50% de chance d'être mesurée pile et 50% d'être mesurée face. On procède à une dernière expérience pour bien

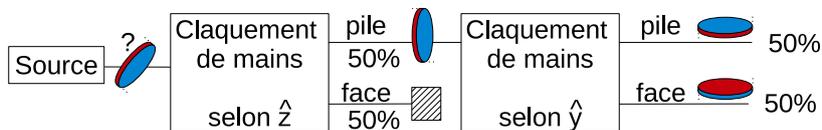


Figure 5: Deux "mesures" successives de l'orientation de la pièce avec des appareils de "mesure" orientés dans des directions perpendiculaires.

comprendre le comportement d'une variable à valeurs non prédéterminées. Comme le montre la figure 6, après les deux premières "mesures" selon \hat{z} puis \hat{y} , on effectue une troisième "mesure" de nouveau selon \hat{z} . La pièce après la seconde "mesure" flotte horizontalement dans l'air, le troisième

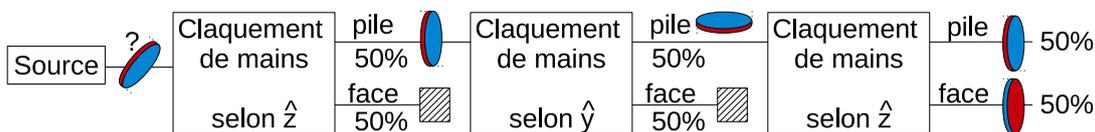


Figure 6: Trois "mesures" successives de l'orientation de la pièce avec des appareils de "mesure" orientés respectivement selon \hat{z} puis \hat{y} puis de nouveau \hat{z} .

claquement de mains redresse de nouveau la pièce. La première "mesure" selon cette même direction avait donné pile, mais il y a maintenant 50% de chance pour qu'elle redonne pile et 50% pour qu'elle donne face. Cette dernière expérience montre bien qu'une variable à valeurs non prédéterminée d'un même objet peut être mesurée selon la même direction et ne pas donner la même valeur. Les quatre expériences (figures 3, 4, 5 et 6) sont caractéristiques des variables à valeurs non prédéterminées avant la "mesure". Le spin d'une particule (ou la polarisation d'un photon) suit ces mêmes schémas.

Différence entre le pile ou face classique (pile ou face dans l'Espace) et le pile ou face quantique (Stern et Gerlach)

La principale différence concerne les expériences 3 et 4 (figures 5 et 6) où au moins une seconde "mesure" est réalisée dans une orientation perpendiculaire à la première. Pour ces expériences, le résultat de la seconde "mesure" (figure 5) donne 50% de chance d'obtenir pile et 50% de chance d'obtenir face, car la seconde "mesure" est perpendiculaire à la première. Si elle n'était pas perpendiculaire, c'est-à-dire orientée de 90° par rapport au premier claquement de mains, mais simplement orientée de 45° , par exemple, alors la seconde "mesure" donnerait à tous les coups le même résultat que la première "mesure". En effet, le claquement de mains ne peut pas retourner la pièce mais simplement la redresser dans l'axe des mains. On obtient 50/50 de pile ou face car l'orientation des deux appareils de "mesure" est de 90° et donc la pièce est sur la tranche lors de la seconde "mesure". Dans le pile ou face quantique, pour chaque orientation entre les deux appareils de "mesure" correspond une fréquence d'apparition up/down différente. Toutes les fréquences d'apparition up/down sont possibles. On retrouve bien la fréquence 50/50 lorsque l'orientation entre les deux appareils de "mesure" est perpendiculaire.