

2.4

Notre première exploration des mondes possibles

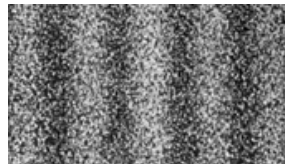
Afin de nous habituer à utiliser nos nouveaux outils d'exploration des mondes quantiques, nous allons dans un premier temps décrire à nouveau une expérience que nous connaissons bien maintenant : l'expérience de la double fente de Young.

Tous les chemins possibles coexistent...

Reprenons l'exemple des photons émis en direction d'un écran percé de deux fentes A et B. Derrière cet écran, se trouve un deuxième écran où nous pourrions observer les impacts de ces photons.



Après avoir accumulé suffisamment d'impacts de photons, nous constatons que ces derniers ne sont pas disposés de façon aléatoire ; ils sont rassemblés en *une alternance de bandes sombres et claires*. Nous pouvons faire en sorte que la source lumineuse soit suffisamment faible pour que les photons soient émis *l'un après l'autre*, mais le résultat est le même : une alternance de raies sombres et claires. Une expérience similaire, réalisée avec des électrons, eux aussi émis l'un après l'autre, conduit à une conclusion identique :



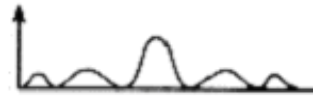
On peut se demander pourquoi les impacts s'organisent de cette façon alors que chaque particule, photon ou électron, est envoyée une par une. On

s'attendrait en effet à observer plutôt une tache lumineuse derrière chacune des fentes.

C'est-à-dire ceci (pas d'interférences) :



Plutôt que cela (interférences) :

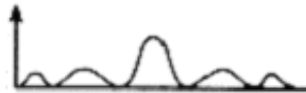


Considérons un photon émis par la source lumineuse. Nous savons qu'après son émission, les deux chemins possibles qu'il peut emprunter passent respectivement par les fentes A et B, avant de rencontrer l'écran où son impact est enregistré.

Le nouvel objet que nous avons défini (« somme de tous les chemins possibles ») permet de calculer la probabilité de l'impact en chaque point de l'écran à partir d'une formule qui ressemble à :

$$[\text{chemin A} + \text{chemin B}]^2$$

Cette formule permet aux physiciens de modéliser parfaitement les résultats observés :



En revanche, si nous refusons de considérer que la Nature explore tous les chemins possibles, alors nous devons calculer la probabilité pour chaque chemin séparément. Nous obtenons alors une formule qui ressemble à :

$$[\text{chemin A}]^2 + [\text{chemin B}]^2$$

Nous pouvons alors représenter le profil de probabilité suivant qui est celui que l'on obtiendrait si les photons se comportaient selon la physique classique, c'est à dire *comme de petites billes matérielles ne pouvant emprunter qu'un chemin à la fois* :



Comme ce résultat n'est pas conforme à l'expérience où nous observons une alternance de franges sombres et claires, nous voilà donc obligés de convenir que *la Nature a bien exploré tous les chemins possibles pour chacun des photons*.

On note que le développement de la formule [chemin A + chemin B]² comparé à [chemin A]² + [chemin B]² comporte un terme supplémentaire reposant sur [chemin A]×[chemin B] qui est un *terme d'interférence*.¹

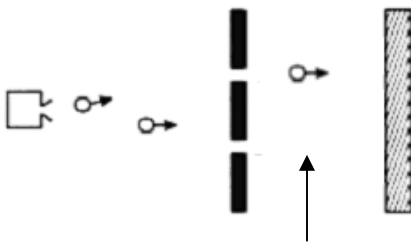
Ce terme d'interférence, si on le calcule, est différent en chaque point de l'écran : il est lié aux longueurs des chemins qui sont différentes selon que la particule passe par le chemin A ou le chemin B. Nous décrirons de façon plus précise le terme d'interférence dans la troisième partie.

Les bandes sombres et claires sont appelées des *franges d'interférences*. Retenons que l'alternance des franges sombres et claires est *la marque de fabrique* de la superposition des chemins possibles explorés par la Nature. C'est la trace qu'a laissée la Nature au cours de son exploration systématique des différents chemins possibles.

... Mais nous n'empruntons jamais qu'un chemin à la fois

Remarquons tout d'abord que dans ce chapitre nous avons jusqu'alors considéré uniquement l'émission du photon par sa source lumineuse et son impact sur l'écran. Nous nous sommes bien gardés de chercher à savoir (en supposant que ceci ait un sens) quel chemin, A ou B, chacun des photons avait emprunté. Le but était de nous convaincre dans un premier temps que la Nature explorait bien tous les chemins possibles.

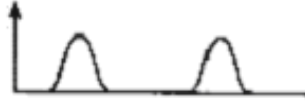
Nous plaçons maintenant un détecteur permettant de préciser le chemin de chacun des photons.



Enregistrement du chemin du photon par un observateur

¹ En effet, comme chacun sait, le développement de $(x + y)^2$ est $x^2 + y^2 + 2xy$.

Après avoir accumulé de nombreux impacts de photons nous obtenons le profil que voici :



Le simple fait d'avoir cherché à déterminer le trajet suivi par chacun des photons a profondément modifié le résultat de l'expérience. Nous constatons en effet l'absence de franges d'interférences sur l'écran. Les photons n'empruntent qu'un chemin à la fois et s'accumulent derrière chaque fente comme le feraient de petites billes. Pour l'observateur de ce système, tout se passe comme si le fait de connaître le chemin du photon faisait passer le système observé de l'état « chemin A *et* chemin B » à l'état « chemin A *ou* chemin B ». Ce résultat n'est pas pour nous surprendre. Le deuxième principe que nous avons défini nous dit qu'un observateur n'emprunte que l'un des chemins possibles qui devient alors *sa réalité*. En effet, comme nous ne pouvons être dans un état superposé, la Nature décide (aléatoirement) pour chaque photon détecté quel sera notre chemin futur : observateur ayant observé le photon passant par le chemin A *ou* observateur ayant observé le photon passant par le chemin B.

Nous verrons que ce résultat n'est pas lié à une perturbation quelconque du trajet du photon du fait de l'opération de mesure mais bien à *l'information acquise par l'observateur* à propos du système.

