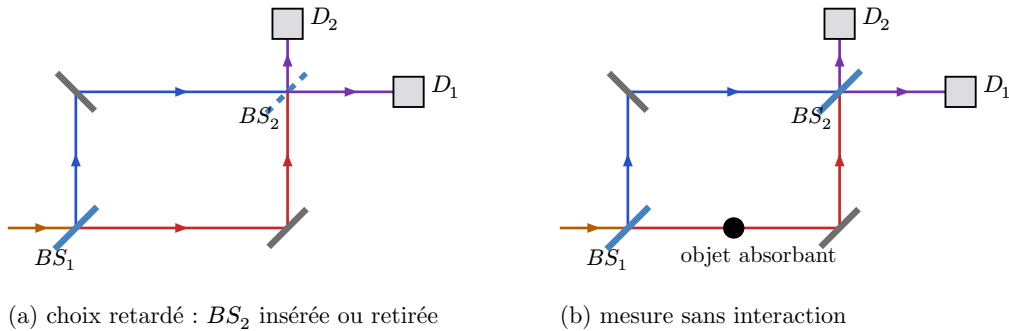


4.14 Photon unique : choix retardé et mesure sans interaction

Note historique. John Wheeler propose à la fin des années 1970 l'expérience du choix retardé : on décide de refermer ou non un Mach-Zehnder après que le photon a passé la première séparatrice. Elle est réalisée en 2007 par Jacques, Roch, Aspect, Grangier et leurs collègues. En 1993, Avshalom Elitzur et Lev Vaidman décrivent la mesure sans interaction (« test de la bombe »), réalisée en 1995 par Kwiat et ses collègues.

Choix retardé. Dans un Mach-Zehnder à photon unique, la seconde séparatrice est soit présente (on observe des franges), soit absente (on sait par quel bras le photon est passé). Quand le choix est fait après la première séparatrice, le résultat ne dépend que de ce choix final : le photon ne peut pas avoir « décidé » à l'avance s'il se comporte en onde ou en particule.

Mesure sans interaction. On place un objet absorbant dans un bras d'un Mach-Zehnder réglé pour qu'un des détecteurs reste sombre à vide. Si ce détecteur se déclenche, l'objet est présent alors que le photon n'a pas été absorbé : avec un interféromètre équilibré, cela arrive avec la probabilité $1/4$, contre $1/2$ pour l'absorption. Des cycles successifs (effet Zeno quantique) améliorent fortement cette efficacité.



à vide D_1 reste sombre ; avec l'objet : absorbé $1/2$, D_1 $1/4$, D_2 $1/4$

Fig. 45. – Mach-Zehnder à photon unique. (a) Choix retardé : la seconde séparatrice BS_2 est insérée ou retirée après le passage du photon dans BS_1 . (b) Mesure sans interaction : un objet absorbant dans un bras ; si D_1 , sombre à vide, se déclenche, l'objet est présent sans que le photon ait été absorbé.

Pour aller plus loin. V. Jacques et al., *Science* 315, 966 (2007) ; A. C. Elitzur et L. Vaidman, *Foundations of Physics* 23, 987 (1993).