

ANNEXE 1 : Prix Nobel 2013 de physique et boson de Higgs

"Le Prix Nobel de Physique 2013 a été décerné conjointement à François Englert et Peter W. Higgs pour la découverte théorique du mécanisme qui contribue à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques et qui a été récemment confirmée par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences Atlas et CMS du Grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN."

Communiqué de l'académie royale suédoise des sciences, le 8 octobre 2013

ANNEXE 2 : Bob et ALICE ... et les prodiges et vertiges de l'analogie.

Lorsque l'on veut expliquer de façon imagée la théorie quantique, on utilise fréquemment deux personnages fictifs dénommés Bob et Alice. C'est, par exemple, le cas lorsque l'on évoque le phénomène de l'intrication quantique, phénomène très surprenant caractérisé par le fait que deux particules quantiques dites « intriquées » demeurent intimement liées quelle que soit la distance qui les sépare. Il se trouve que nous surnommions Bob - ce n'est guère original - l'un de nos collègues américains, Robert Stanek, qui appartenait à l'équipe ATLAS de l'Université de Chicago. Notre ami nous a malheureusement quitté au mois de mars 2025 et c'est un peu lui rendre hommage que de lui attribuer le rôle principal dans un dialogue imaginaire au cours duquel il convie une étudiante, récemment recrutée dans son laboratoire, à réaliser une expérience sur le lac Michigan.

Bob : *Alice, le temps est très clément, aujourd'hui, et le lac est très calme. Je t'invite à venir tôt cet après-midi pour réaliser, avec moi, une petite mais cruciale expérience. Tu apporteras un ballon.*

Alice : *Je viendrai avec un ballon de volley-ball.*

Bob : *OK.*

Quelques heures plus tard.

Bob : *Alice, j'ai réservé 2 barques et j'ai apporté, moi aussi, un ballon : il s'agit d'un ballon de « médecine ball », plus lourd que le tien. Tu le prends également et tu montes sur cette barque. Moi, je vais donc sur la mienne sans ballon. Installons-nous...*

C'est parfait. Je recule ma barque...

Je suis prêt : Tu peux m'envoyer ton ballon de volley.

Alice : *Que dis-tu Bob ? Parle plus fort, tu es trop loin.*

Bob parlant plus fort : *Tu peux envoyer ton ballon de volley.*

Alice : *OK... C'est fait !*

Bravo Bob, tu es très adroit, tu l'as bien capté !

Bob avec son humour habituel : *Tu n'allais tout de même pas dire à ton chef qu'il est un gros maladroit ! Tu es une physicienne, dis-moi alors ce que tu as constaté dans cette expérience.*

Alice : *J'ai remarqué que mon bateau avait un peu reculé, et le tien aussi lors de la réception. Cela s'explique par le fait que mon bateau a réagi, par le recul, à la force que j'ai déployée en envoyant le ballon, et le tien également quand tu l'as attrapé. Il devrait être possible de calculer l'écartement engendré par cet exploit sportif !*

Bob : *Je ne t'en demande pas tant, mais maintenant, Alice, expédie-moi le ballon de « médecine ball ».*

PLOUF !! Le ballon tombe à l'eau.

Alice : *Désolé Bob, il est plus lourd et tu es trop loin, je n'ai pas eu assez de force. Bob, rapproche-toi.*

Bob se rapproche, récupère le ballon, le redonne à Alice, puis s'éloigne, mais pas trop.

Bob : *Je suis prêt. Alice, tu peux m'envoyer le ballon.*

Alice : *OK. Je te l'envoie...
Bravo Bob, tu es même adroit avec un ballon plus lourd !*

Bob : *GRRRR.
Alice, qu'as-tu remarqué ?*

Alice : *L'écartement des bateaux a été plus grand que le précédent.*

Bob : *Et alors, que peux-tu en déduire ?*

Alice : *Je constate deux choses :*

- *La portée est plus courte lorsque le ballon est plus lourd. C'est une simple question de force physique de l'expéditrice.*
- *Le ballon plus lourd a créé un écartement des bateaux plus grand que celui du ballon léger.*
- *Tout se passe comme si le ballon (léger ou lourd) était le médiateur de la force qui a fait bouger les deux bateaux.*

Bob : *Bravo Alice, très bien observé et très bien interprété. Mais l'orage menace, revenons au quai et mettons-nous à l'abri : nous allons parler ... THEORIE QUANTIQUE !*

Voici maintenant ce qu'explique Bob à Alice.

Le modèle standard de la physique des particules est fondé sur la théorie quantique et la théorie de la relativité restreinte. A ce jour, toutes les particules du modèle ont été mises en évidence dans des expériences. Les interactions physiques entre les particules résultent de 3 forces élémentaires: la force électromagnétique, la force nucléaire forte, la force nucléaire faible. Nous pourrions y ajouter la force gravitationnelle, mais celle-ci est négligeable dans le monde de l'infiniment petit, sauf démonstration contraire, à venir peut-être.

Lorsque deux particules dites « de matière » (les Fermions: les quarks, les leptons) interagissent, la force impliquée est véhiculée par une particule médiatrice dite « particule de force » qui est un

Boson de jauge. Ce boson médiateur est l'équivalent du ballon échangé entre Bob et Alice. Nous voici donc dans une explication faisant appel à ... l'analogie : attention, danger !

La théorie et les expériences avaient montré que les 4 types de force avaient des intensités et rayons d'action très différents : intensité la plus grande et portée très courte pour l'interaction forte (environ $2,5 \cdot 10^{-15}$ m), intensité la plus faible (environ 10^5 fois moins intense que la force forte) et portée la plus petite pour l'interaction faible (environ 10^{-18} m), portées quasiment infinies pour l'interaction électromagnétique, et également pour la gravitation dans l'hypothèse où elle pourrait être perçue comme telle avec des particules, ces deux forces étant, respectivement, environ 100 fois et 10^{40} fois plus faibles que la force forte.

Quelles étaient alors les particules médiatrices ? L'analogie avec les portées plus ou moins grandes des ballons selon leurs masses avait été utilisée.

Pour l'interaction électromagnétique, il était bien connu que le boson médiateur était le photon : sans masse, donc portée infinie, ça marchait.

Pour l'interaction faible, la très courte portée laissait prévoir une particule massive. Les études théoriques allaient plus loin en prévoyant 3 particules lourdes : un boson neutre, le Z^0 , et deux bosons chargés, le W^+ et son antiparticule le W^- . Ils furent effectivement découverts dans des expériences au CERN à des masses très voisines des prévisions théoriques : le Z^0 et les W sont, respectivement, 97 fois et 86 fois plus lourds que le proton. Là encore, l'analogie du ballon était satisfaisante. Notons que ces découvertes valurent, en 1984, le Prix Nobel de physique à Carlo Rubbia et à Simon Van der Meer.

Mais que se passa-t-il pour l'interaction forte pour laquelle la portée était encore très courte? Les médiateurs étaient les gluons ... dénués de masse et postulés par le théoricien John Ellis, du CERN, en 1976. Leur existence fut effectivement confirmée expérimentalement, en 1978, au laboratoire DESY en Allemagne, et évidemment dans nos expériences qui suivirent, notamment auprès du LHC au CERN. L'analogie ne fonctionnait plus ! Curieusement, cette force ne se manifeste qu'à partir d'une distance de $2,5 \cdot 10^{-15}$ m ; ces gluons jouent, en fait, un rôle de « colle » en exerçant une force attractive entre les quarks lorsqu'ils sont trop éloignés : ce confinement assure, par exemple, la cohésion des hadrons tels que les protons, neutrons, pions.

Nous venons de constater que les analogies doivent être utilisées avec beaucoup de précaution, y compris dans les sciences dures, ce qui confirme les écrits de Jacques Bouveresse, à savoir dans le cas présent : « *prodiges des analogies* » avec les médiateurs que sont les photons et les bosons W et Z , et peut-être un jour avec les bosons « gravitons » prévus pour la gravitation, et « *vertiges des analogies* » avec les « vilains » gluons sans masse qui surgissent là où l'on ne s'y attendait pas !