

Quelques explications sur la Version 1

François Vazeille (30 juillet 2012)

Informations préliminaires

Cette version 1 du power point peut être utilisée en totalité ou partiellement, selon le choix de l'orateur. La partie finale (les résultats) est très dépendante de l'actualité : elle devra donc être ajustée pour le jour de la conférence.

Certaines parties, pas très nombreuses, sont adaptées au laboratoire concerné, mais il est facile d'y apporter les modifications requises par l'appartenance de l'orateur : il y a en fait une seule diapo sur le laboratoire. Il en est de même pour l'illustration avec les expériences : il suffit de remplacer quelques images ou animations d'ATLAS par l'équivalent CMS.

Les diapos ne sont pas numérotées directement, car cela nuirait à la construction de chacun. Il est facile de les repérer dans la présentation en petit format située généralement sur la partie gauche de l'écran lorsque l'on est sur power point.

Le fond noir (généralement recommandé pour un exposé) présente aussi l'avantage de pouvoir masquer certains éléments indésirables lors de la construction des diapositives.

Les commentaires qui suivent ne sont donnés que pour les diapos qui le demandent. Ils peuvent porter sur le choix du contenu ou sur la présentation elle-même.

J'ai testé cet exposé lors d'une présentation récente devant le grand public et j'ai apporté quelques modifications (présentes ici) en tenant compte de cette première expérience. Une version 2 sera proposée fin septembre.

Bon courage !

Diapo1

Le choix du titre peut être modifié. Il est bon de faire apparaître également le nom, la fonction et l'appartenance de l'orateur, mais de façon réduite puisque quatre diapos plus loin, il y a la diapo présentant le laboratoire.

Diapo2

Présentant le plan de l'exposé, elle donne le scénario retenu. Partant de l'état des connaissances jusqu'à l'année 2011, nous revenons en arrière (flash back), exactement à l'année 1964. Le tableau des particules connues devient famélique ! Et c'est là que l'intuition extraordinaire des théoriciens va se manifester. Puis c'est la quête des expérimentateurs ... lesquels méritent leur part du gâteau. Mais rien n'est fini : il reste tant de choses à comprendre et à découvrir...

Diapo8

Bien montrer les limites des analogies, le plus souvent macroscopique, et indiquer qu'il ne faut pas les utiliser au-delà de la tentative d'explication de processus très complexes.

Diapo10

Elle permet de fixer les ordres de grandeur. Le public est familier des premières échelles (l'Homme, la cellule...) puis il découvre progressivement que cela se complique.

Jusqu'à preuve du contraire, les particules élémentaires sont ponctuelles, en tout cas une dimension $< 10^{-18}$ m.

Diapo11

L'aspect final de l'animation fait disparaître certaines parties, il faut donc bien lancer l'animation pour avoir tout le contenu.

Diapo12

L'animation fait d'abord apparaître les deux forces que tout le monde connaît, puis les deux forces nucléaires. Au passage, une allusion est faite sur les intensités des forces extrêmes : il existe un rapport 10^{44} entre la force nucléaire forte et la force de gravitation, ce qui pose un gros problème aux physiciens.

Diapos13-14

Elles sont très importantes, car les travaux des théoriciens, et de Brout-Englert en particulier, se sont d'abord attachés à résoudre le problème de l'unification d'une force à longue portée (électromagnétique) et d'une force à courte portée (nucléaire faible). François Englert en fait état dans ses interviews. Ne pas craindre, par la suite de l'exposé, de faire référence au "ballon rouge" de cette diapo. [J'ai choisi un ballon rouge en pensant, par nostalgie, à un ancien et très bon moyen métrage d'Albert Lamorisse intitulé justement *Le ballon rouge*, film qui a reçu de nombreux prix].

Diapo15

L'aspect final de l'animation fait disparaître certaines parties, il faut donc bien lancer l'animation pour avoir tout le contenu. Là encore, j'insiste sur la portée des forces.

Diapo16

Elle rassemble les deux tableaux précédents et fait l'état lieu ... avant la découverte du boson de Higgs. Cela permet d'introduire l'antimatière (les antiparticules) et, pour la première fois le Modèle Standard des particules, avec une pièce manquante : le boson de Higgs.

Diapo17

Flash back, comme dans les films : nous voici en 1964.

Diapo18

Cette partie va être l'époque des théoriciens, même si, incidemment, certains expérimentateurs seront évoqués.

Apparaissent d'abord les précurseurs les plus notables pour ce qui concerne la Brisure Spontanée de Symétrie BSS. Goldstone et Nambu, d'abord, puis Anderson. Ces physiciens n'appartiennent pas vraiment à notre discipline, mais à celles de la matière condensée ou de la supraconductivité. Ils pratiquent la mécanique quantique plutôt non relativiste. D'après Goldstone et Nambu, les théories de jauge impliquent des bosons médiateurs sans masse : les bosons de Goldstone. Anderson a montré que, dans le cas d'un plasma, la brisure de symétrie permettait de créer de la masse. Il revendique même d'être le premier initiateur de l'idée menant au boson de Higgs. En fait, lui-même et Nambu ayant, séparément, déjà reçu des prix Nobel, ils peuvent faire de la place aux autres ... qui se bousculent aussi. Quant à Goldstone, il a complètement bifurqué sur un autre sujet : l'ordinateur quantique.

L'animation fait alors apparaître les 6 autres théoriciens, qui ont publié quasiment en même temps en 1964: le comité Nobel a du souci à se faire! Brout étant malheureusement décédé il y a moins d'un an, qui seront les 2 ou 3 élus parmi les autres ? Je pense qu'Englert et Higgs sont favoris, et puis nous avons des interviews en français d'Englert, ce qui est pratique pour l'exposé.

Diapos19 et 20

Il est bon de faire apparaître successivement les diapos 19 (déjà montrée) et 20 (nouvelle), puisque la diapo 20 vide presque complètement le contenu de la diapo 19. Les théoriciens avaient peu de grain à moudre en 1964 !

Diapo21

Les théoriciens (Glashow en tête) prévoyaient cependant un "ballon rouge massif" pour expliquer la faible portée de l'interaction nucléaire faible. Des analogies mathématiques leur faisaient penser qu'ils pourraient traiter l'interaction nucléaire faible en utilisant le même formalisme que l'interaction électromagnétique.

Diapos22-23

Cela nous conduit naturellement à évoquer le besoin et l'intérêt qu'ont les scientifiques à chercher à unifier les phénomènes de la nature. Les exemples abondent dans toutes les disciplines (pensons à l'entomologiste, par exemple), mais j'en retiens deux qui illustrent justement, l'un la Matière, l'autre les Forces.

Diapo24

L'analogie mathématique permettant de traiter les interactions électromagnétique et nucléaire faible repose sur l'idée de symétrie : dans notre cas, c'est la symétrie de jauge ... pas si évidente que cela à expliquer. Aussi, je ne l'explique pas, mais je mettrai une diapo en back up dans la Version 2.

Diapo25

L'unification est accomplie par Glashow, Salam et Weinberg (Prix Nobel 1979), mais les calculs de l'interaction faible font apparaître des divergences infinies. Les procédures de renormalisation avaient permis à Feynman et Tomonaga, dans le cadre d'un groupe abélien, de résoudre complètement cette difficulté pour l'électrodynamique quantique. Pour l'interaction faible (cadre non abélien), 't Hooft et Veltman, s'aidant du formalisme de Feynman, réussirent à rendre normalisable donc opérationnelle le formalisme de l'interaction faible, qui se situe dans un cadre non-abélien (non commutatif) : cela leur

vaudra le Prix Nobel en 1999. Nous, expérimentateurs, en sommes très heureux, car cela permet d'éliminer les infinis ... et de disposer de prévisions très précises.

Mais ces deux étapes, couronnées en 1979 et 1999, résolvent la difficulté de bosons vecteurs sans masse pour l'interaction faible en introduisant un mécanisme créant de la masse : la Brisure Spontanée de Symétrie via le mécanisme de Higgs.

Diapo26

Cette diapo soulève un énorme paradoxe :

- d'un côté, des mésons vecteurs se comportant comme prévus, avec en prime la prévision du boson Z^0 (Weinberg et al) et le calcul précis de la masse du quark Top (grâce aux calculs rendus possibles par 't Hooft), puis les validations expérimentales ;
- de l'autre côté, la nécessité d'un mécanisme **NON DÉMONTRÉ** créant de la masse.

Sans enlever quoi que ce soit au génie de nos 5 Prix Nobel de l'interaction électrofaible, on voit bien qu'il manque quelque chose !

Diapos27-33

Elles illustrent par deux exemples le concept BSS "Brisure Spontanée de Symétrie". Cela permet aussi d'introduire la notion de changement de phase. L'exemple du magnétisme est intéressant, car il fait apparaître le rôle de la température dans le changement de phase. Cette analogie pourra être rappelée lors de l'apparition du champ scalaire de Higgs.

Diapos34 et 35

Elles permettent d'introduire les notions de "Champ" et de "Niveau fondamental", que les non scientifiques connaissent mal.

La diapo 35 illustre deux types de champ : un champ orienté (vecteur) et un champ non orienté (scalaire), ce qui sera utile lorsque nous parlerons du champ de Higgs qui n'a aucune direction privilégiée, sinon les masse des particules changeraient selon l'orientation du champ !

La diapo 35 donne une analogie géométrique des niveaux fondamentaux et du fait que la position d'équilibre n'est pas forcément celle que l'on attend.

Diapo36

C'est le mécanisme de Higgs, dans le plan pour simplifier. Pour l'expliquer dans l'espace, c'est plus compliqué car il faudrait alors raconter que le champ a deux composantes dans un plan complexe. On peut cependant garder sous le coude le "cul de bouteille" ou le "chapeau mexicain". Ce sont donc les mêmes dessins que ceux de la Diapo 35 qui servent, ce qui simplifie leur interprétation, avec cette fois-ci en ordonnée le potentiel d'auto-interaction du champ et en abscisse la valeur du champ (ou son carré).

Diapo37

Elle permet de situer à quel "moment" la BSS se serait produite. Il n'y a pas, actuellement, d'autres façons d'expliquer l'apparition d'un champ de Higgs non nul dans l'état fondamental ... si toutefois le mécanisme de Higgs standard est validé par l'expérience.

Diapo38

Voici donc les conséquences espérées (pas de masse au photon, une masse aux bosons faibles), avec un bonus : l'attribution de la masse à toutes les particules "massives". Dans ce dernier cas, il est inutile d'expliquer que le processus est un peu différent (couplage de Yukawa), et encore plus inutile de dire qu'un Higgs "fermiophobic" (qui a horreur des fermions) poserait problème...

Mais surtout, il y a un super-bonus : l'apparition d'une particule complètement imprévue : le boson de Higgs ! Son appellation est critiquable, et nous y reviendrons dans la conclusion. Mais c'est à cet endroit qu'il apparaît "officiellement", véritable avatar du mécanisme.

Diapo39

C'est, de mon point de vue, la meilleure analogie. Elle permet de combattre beaucoup d'idées reçues ou des analogies complètement inexactes :

- Non, ce n'est pas le boson de Higgs qui donne de la masse aux particules, mais le champ de Higgs !
- Non, le champ de Higgs n'est pas constitué de bosons de Higgs !
- Non, nous ne pouvons pas assimiler les bosons de Higgs aux flocons de neige !

C'est très important d'avoir cette approche, car elle nous servira dans la Diapo 42.

Diapo41

Ayant rapidement défini nos unités de masse sur la Diapo40 (mais ce n'est pas si important, on peut même dire que ce sont nos unités, un point c'est tout), voici sur la diapo41 là où il faut le chercher, sachant qu'au-delà de 800 GeV, le Modèle Standard n'est probablement plus opérationnel.

Diapo42

C'est la conclusion principale de l'époque des théoriciens :

- La découverte du boson scalaire prouverait la validité du mécanisme BSS.
- L'impossibilité de trouver le boson scalaire "à l'état naturel". Il est inutile de parler des particules virtuelles qui peuplent le vide.

Diapos43-44

Finalement, nous avons évoqué un petit nombre de théoriciens. Maintenant déboulent beaucoup d'expérimentateurs avec d'énormes besoins tant techniques que financiers qui ne peuvent être résolus qu'à l'échelle mondiale.

Diapos46-48

Qu'il s'agisse de la quête avant 2011 ou après, la problématique est la même : disposer de beaucoup d'énergie, explorer un large domaine de masse en adaptant la recherche à la masse considérée.

L'analogie montrée sur la Diapo 48 est celle de la sélection de la bonne fréquence radio pour capter France Inter ou France Info. Mais les expérimentateurs doivent couvrir toutes les possibilités.

Il est plus facile d'exclure que de découvrir.

Diapo49

Mais il est plus "facile" d'exclure que de trouver.

Diapos50-51

L'aspect final de l'animation fait disparaître certaines parties, il faut donc bien lancer l'animation pour avoir tout le contenu.

J'ai imaginé l'analogie suivante.

- *J'ai perdu mes clefs dans une rue en pente (la masse augmente).*
- *Il fait nuit et la rue est éclairée par des réverbères.*
- *Je cherche sous chaque réverbère.*
- *Je ne trouve rien sous la plupart des réverbères, ou alors il y a d'autres clefs qui ressemblent à la mienne, ou encore ce n'est peut-être pas la bonne rue.*

Diapo52

En une diapo, le bilan expérimental jusqu'à 2011. Il ne s'agit que des recherches directes : l'explication des recherches indirectes serait trop longue à donner.

Diapos58-59

Il est facile de remplacer ATLAS par CMS, et dans la carte ATLAS la couleur pour Clermon-Ferrand par celle de votre labo préféré.

Diapo60

Elle est importante, car elle résume un projet hors du commun : collaborations mondiales, durées, moyens humains et financiers. Le public est surpris que nous travaillions 24 h sur 24, en faisant les trois huit.

Diapo61

Cette animation résume le LHC et la production d'un événement réel reconstitué. Il s'agit d'un événement ATLAS candidat Higgs en 4 muons, dont voici la référence CERN <http://cdsweb.cern.ch/record/1459498>

Il est facile de trouver l'équivalent CMS.

Diapo62

Le titre est fortement dépendant de l'actualité. Il y a bien découverte, mais la conclusion définitive "Higgs standard ou non ou autre chose" ne sera probablement pas connue au moment de la Fête de la science.

Diapo63

Les prémices: émission SOIR 3 en mai 2012. C'est une proposition qui permet d'associer théoricien et expérimentateur. Cette vidéo ne peut pas être mise sur un site web, mais peut être utilisée lors d'un séminaire. Je propose que nous réfléchissions à la procédure que nous pourrions fixer entre nous et je vous enverrai la vidéo.

Diapos64-65

Les présentations du 4 juillet ont été un événement scientifique majeur largement médiatisé, avec la rencontre de plusieurs théoriciens du boson scalaire et des expérimentateurs.

Diapos66-68

Des exemples de candidats Higgs ATLAS, facilement remplaçables par des événements CMS.

Diapo69

Illustration ATLAS (ou CMS) montrant que le signal est petit par rapport au bruit de fond et que cela demande des analyses statistiques poussées.

Diapo70

Conclusions ATLAS-CMS sur les nouvelles zones d'exclusion et la découverte du premier boson scalaire. Il s'agit toujours des résultats du 4 juillet.

Diapo71

Les réactions des personnes présentes dans le "main auditorium" du CERN ont été, à cet instant, extrêmement émouvantes. Ce fut vrai au CERN, et ailleurs aussi lors des retransmissions (personnellement, j'avoue que j'ai été très ému...). C'était aussi la première rencontre Englert-Higgs !

Diapo72

Elle est inachevée. Lorsque nous disposerons de la couverture du Physics Letters B, je propose qu'elle serve à illustrer l'état des lieux au 31 juillet 2012.

Diapos73-78

Elles résument la situation et parlent d'une nouvelle aventure.

Diapo79

L'interview de F. Englert est, je pense, une excellente conclusion, car il évoque de nombreux thèmes que nous avons abordés au cours de l'exposé, en particulier les notions

de forces à courte et à longue portée, et il parle du CERN et du LHC. On peut éventuellement raccourcir l'interview.

Voici la référence :

CERN-MOVIE-2012-106

BACK UP

Ces diapos peuvent servir en réponse à certaines questions.