

Journées prospectives 2012 groupe 2 Nouvelle Physique (NP)

Executive summary

Au cours des quatre dernières décennies le modèle standard de la physique des particules a confirmé sa pertinence dans la description des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions. Dans le cadre du modèle standard minimal, la brisure de la symétrie électrofaible est réalisée grâce au mécanisme de Higgs qui prévoit en particulier l'existence d'une particule scalaire massive neutre, le boson de Higgs. L'existence d'un boson de Higgs permet entre autre de résoudre le problème de l'unitarité du modèle standard. Cependant l'existence du boson de Higgs introduit à son tour le problème de hiérarchie de jauge. Le modèle standard de la physique des particules apparait comme une théorie effective issue d'une théorie sous jacente plus fondamentale.

Les expériences auprès du LHC ont fourni leurs premiers résultats basés sur un lot d'événements correspondant à une luminosité intégrée dépassant 4 fb^{-1} à une énergie de 7 TeV dans le centre de masse. Le Tevatron a fourni ses dernières collisions en 2011. Les expériences CDF et D0 ont terminé leur prise de données et s'appêtent à publier leurs résultats finals avec la statistique complète correspondant à une luminosité intégrée de l'ordre de 10 fb^{-1} par expérience. Cet ensemble de mesure vient compléter les mesures effectuées auprès des collisionneurs $e + e-$ LEP et SLC, qui ont accumulé $\sim 2.5 \text{ fb}^{-1}$ autour, puis au delà ($\sim 900 \text{ pb}^{-1}$) de la resonance du boson Z.

Au cours de l'année 2011 les expériences du ATLAS et CMS auprès du LHC ont considérablement étendu le domaine de masse du boson de Higgs exclu par rapport au domaine déjà exclu par les expériences du Tevatron lors de la décennie précédente et les expériences du LEP. Cependant les deux collaborations ont trouvé des indices prometteurs dans la gamme de masses 124-126 GeV. Ceux-ci ne sont pas encore assez solides pour qu'il soit possible de parler de découverte ; les résultats récents des expériences CDF et D0 semblent également pointer sur des indices dans une gamme de masse 115-135 GeV.

L'existence d'une nouvelle physique (NP), se manifestant par l'apparition de nouveaux phénomènes (nouvelle particule, résonance, section efficace modifiée, asymétries, couplages anormaux ...) n'a pas été pour le moment mise en évidence.

Ces premiers résultats conduisent à des contraintes fortes sur les paramètres de nombreux modèles proposés pour décrire une éventuelle NP. Par exemple les extensions supersymétriques les plus simples se trouvent déjà fortement contraintes ainsi que les modèles de dimensions supplémentaires les plus simples.

A l'heure actuelle, la première recommandation consiste donc à encourager la poursuite des investigations avec la seule machine disponible à savoir le LHC et de s'assurer du support des expériences pour une collecte de données suffisante (100 fb^{-1} dans la phase LHC 13-14 TeV. Pour aller au delà, en l'absence d'indication expérimentale directe pour NP, on peut faire quatre hypothèses s'articulant autour de la découverte ou non d'un boson de Higgs au LHC en 2012, accompagnée ou non de NP.

Découverte d'un boson de Higgs et rien d'autre.

Après la découverte d'un boson de Higgs au LHC, il faudra étudier ses propriétés : masse, spin, section efficace de production, rapport d'embranchement, couplage aux fermions, auto-couplage pour déterminer s'il est bien le boson de Higgs du modèle standard ou un boson de Higgs plus exotique, et s'il est bien celui qui résulte de la brisure de la symétrie électrofaible. S'il est découvert sans être accompagné par la découverte de NP, la question de la stabilité de la masse de ce boson restera posée. Dans ce scénario, le LHC 13-14 TeV peut fournir les premières mesures, mais la mesure complète de toutes les propriétés nécessitera d'une part un collision-

50 neur e^+e^- de type ILC (i.e. avec une énergie dans le centre de masse inférieure au TeV) pour la
51 mesure de l'auto-couplage, et d'autre part un LHC à très haute énergie (HE-LHC, 33 TeV) pour
52 résoudre la question de la stabilité de la masse du boson de Higgs. Dans ce scénario, la question
53 d'un candidat à la matière noire (DM) provenant de la physique des particules resterait posée.

54 **Découverte d'un boson de Higgs et de NP.**

55 Les mesures consécutives à la découverte d'un boson de Higgs accompagné de la découverte
56 de NP devront permettre de déterminer plus précisément soit la pertinence des approches déjà
57 envisagées (extensions supersymétriques à l'échelle électrofaible, dimensions supplémentaires,
58 modèles composites) soit la nécessité d'un cadre nouveau. Dans ce scénario les recommanda-
59 tions concernant le boson de Higgs sont similaires à celle du scénario précédent. Pour la partie
60 NP, il faudra maximiser les possibilités du LHC grâce à une phase soit haute luminosité (HL-
61 LHC) soit haute énergie (HE-LHC) selon la nature de NP découverte. Puis s'agira de s'engager
62 dans un programme e^+e^- permettant d'explorer une large plage de masse allant au moins jusqu'à
63 1 TeV afin d'effectuer des mesures plus précises sur la NP découverte. Finalement la question
64 du candidat à la DM devrait être explorée selon le type de NP identifiée.

65 **Aucun boson de Higgs n'est découvert mais NP est découvert.**

66 Dans cette hypothèse, il faudra éclaircir la question de la brisure de symétrie électrofaible et de
67 son éventuelle relation avec la NP. Il s'agira également d'éclaircir la question d'un Higgs "invisi-
68 ble", i.e. décroissant en une paire de particules invisibles. Cette particule invisible ferait un bon
69 candidat à la matière noire. Dans ce scénario les recommandations sont similaires à celles con-
70 cernant la NP du scénario précédent auxquelles il faut éventuellement ajouter un collisionneur
71 e^+e^- de type ILC pour la détection d'un Higgs "invisible" dans le cas où la NP ne suffit pas à
72 expliquer l'absence d'un Higgs.

73 **Ni boson de Higgs ni NP ne sont découverts.**

74 Dans ce scénario, toutes les questions restent ouvertes, y compris celles de la matière noire.
75 La problématique d'un Higgs invisible sera posée, et au delà celle de la brisure de la symétrie
76 électrofaible et de l'unitarité du modèle standard. Un collisionneur e^+e^- de type ILC et/ou une
77 phase HL-LHC et HE-LHC seront alors nécessaires.

79 **Moyens**

80 La recherche directe de physique au delà du modèle standard se concentre pour une grande part
81 sur la recherche auprès des collisionneurs et leurs expériences attenantes dont beaucoup sont
82 suffisamment généralistes pour englober de nombreux domaines de la physique des particules et
83 donc dépasser le simple cadre de la physique au delà du modèle standard. Ainsi les questions
84 de financement seront proches voire communes à d'autres groupes de travail en particulier le
85 groupe 1 sur la physique du modèle standard. Les collisionneurs du futur ont été décrits dans
86 le cadre de chacune des quatre hypothèses concernant le résultat du LHC après analyse des
87 données 2012. Le panorama actuel de l'implication des expérimentateurs pourrait fortement
88 varier en fonction de ce résultat. Concernant la NP, de nombreux liens existent déjà entre la
89 communauté des expérimentateurs du LHC et d'autres communautés (théoriciens, physiciens
90 travaillant à la détection de la matière noire), grâce notamment aux GDR ou encore grâce aux
91 projets de type "théorie LHC France" ou aux ateliers des Houches, et doivent être amplifiés voire
92 étendus vers d'autres communautés (neutrinos, cosmologie). Plusieurs projets communs entre
93 expérimentateurs et théoriciens ont également déjà été construits autour de sujets spécifiques sur
94 la recherche de NP auprès du LHC. Ce type de projets devrait également être encouragé. Une
95 découverte de NP provoquerait dans la communauté une mobilisation des forces sans précédent,
96 et l'un des enjeux résiderait dans sa réactivité et les capacités d'adaptation. Ces dernières
97 seront grandement améliorées si nous pouvons embaucher des permanents, et proposer et fi-
98 nancer thèses et post-docs dans des délais brefs par rapport à ceux de la plupart des guichets
99 de financement actuels.