# Introduction à la phénoménologie du NMSSM

- Introduction à la supersymétrie globale.
- Le secteur de Higgs du MSSM.
- Le secteur de Higgs du NMSSM.
- Conclusion.

# Introduction

- Principe de **Symétrie** au coeur de la physique $\Rightarrow$ Modèle Standard est une théorie du groupe de jauge $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$.
- Les succès de ce modèle sont nombreux et jusqu'à présent n'a pas été mis en défaut par les expériences.
- Cependant, vu comme une **théorie effective à basse énergie d'une théorie d'unification** $\Rightarrow$ Problème de **naturalité** (hiérarchie).
  Pour éviter un taux de désintégration du proton trop élevé $\frac{M_{GUT}}{M_Z} \sim 10^{12} - 10^{15}$.
  $\Rightarrow$ Difficile de comprendre une théorie avec 2 échelles aussi différentes. En effet, les corrections radiatives ont tendance à mélanger les échelles imposées au niveau des arbres.
- Corrections radiatives à la masse du higgs divergent **quadratiquement** : $\Delta M_H^2 \propto \frac{\Lambda^2}{16\pi^2}$.
  $\Rightarrow$ nécéssité d'un **fine tuning** a chaques ordres de perturbations.
- La **Supersymétrie globale** permet de résoudre ce problème.

# Symétrie et Supersymétrie (SUSY)

- Symétrie ordinaire $\Rightarrow$ **multiplet** $\begin{pmatrix} \phi_1 \\ . \\ . \\ \phi_n \end{pmatrix}$. Les $\phi_i$ se transforment l'un dans l'autre par la symétrie.
- En Supersymétrie les composantes d'un multiplet sont des particules de types différents : boson et fermion.
- Les particules d'un même multiplet partagent certaines propriétés.
  $\Rightarrow$ **Pour les supermultiplets, bosons et fermions partenaires doivent avoir la même masse**.
- Supersymétrie $=$ symétrie entre bosons et fermions.
- Modèle Standard Supersymétrique $\Rightarrow$ à chaque particule on associe un partenaire de spin $\pm\frac{1}{2}$.
  $\Rightarrow$ **nouveaux diagrammes qui éliminent les divergences quadratiques dans les corrections aux masses des Higgs.**

# Problèmes non résolus et challenges du futur

- Si SUSY est exacte $\Rightarrow$ une particule et son super-partenaire ont la même masse.
- Super-particules non observées $\Rightarrow$ SUSY doit être brisée au moins à l'échelle d'énergie des accélérateurs actuels : $M_{weak} \sim 100\ GeV$.
- Plusieurs façon de briser SUSY $\Rightarrow$ besoin de données expérimentales pour orienter le choix.
- Challenge LHC $\rightarrow$ découvrir les Higgs et les super-particules.

# Brisure explicite “douce” de la supersymétrie

- On admettra qu’une brisure spontanée ne conduit pas à une théorie physique acceptable.
- **Brisure explicite “douce”** : On ajoute, à la main, des **termes non supersymétriques** au lagrangien mais qui ne **réintroduisent pas de divergences quadratiques**.
  $\Rightarrow$ Brisure “douce” permet de garder les propriétés de la SUSY (pas de divergences quadratiques) tout en donnant une masse différente aux partenaires.
- Ces termes de brisure “douce” semblent rajoutés de manière Ad hoc mais trouvent leurs justifications dans une brisure spontanée de la supergravité.

# Contenu en particules du MSSM et du NMSSM

- Contenu en particules :

| Modèle Standard | Modèle Standard Supersymétrique |
|---|---|
| 6 quarks | 6 quarks et 6 squarks (spins 0) |
| 6 leptons | 6 leptons et 6 sleptons (spin 0) |
| 12 bosons de jauge | 12 bosons de jauges et 12 jauginos (spin $\frac{1}{2}$) |
| 1 doublet de Higgs | 2 doublets de Higgs et leurs higgsinos (spin $\frac{1}{2}$) pour le MSSM<br>+ un singlet de Higgs et son higgsino (spin $\frac{1}{2}$) pour le NMSSM |

- Comme aucune super-particule n'a été observé $\Rightarrow$ $M_{sparticule} > M_{particule}$
  $\Rightarrow$ borne inférieure : $M_{sparticules} > 100\ GeV$.

# Secteur de Higgs du MSSM

- Les 5 Higgs du MSSM :
  - 2 Higgs scalaires neutres.
  - 1 Higgs pseudo-scalaire neutre.
  - 2 Higgs chargés.
- Superpotentiel : $W_{MSSM}^{(Higgs)} = \mu H_1 H_2$
- Lagrangien soft : $\mathcal{L}_{soft\ MSSM}^{(Higgs)} = m_{H_1}^2 |H_1|^2 + m_{H_2}^2 |H_2|^2 + (B\mu H_1 H_2 + h.c)$
- Briser la symétrie électrofaible à la bonne échelle $\Rightarrow \mu \sim m_{H_1}^2 \sim m_{H_2}^2 \sim 100 - 1000\ GeV$.
- Or rien ne relie $\mu$ au secteur de la brisure de la supersymétrie $\Rightarrow$ **nouveau fine-tuning**.

# Secteur de Higgs du NMSSM

- un Higgs supplémentaire S, singlet de jauge.
  $\Rightarrow$ ne change pas fondamentalement la physique du MSSM dans le secteur de jauge.
  $\Rightarrow$ secteur de Higgs très différent.
- Les 7 Higgs du NMSSM :
  - 3 Higgs scalaires neutres.
  - 2 Higgs pseudo-scalaire neutre.
  - 2 Higgs chargés.
- Comment S résoud le problème :

$$\mu H_1 H_2 \rightarrow \lambda S H_1 H_2$$

  $\mu_{eff} = \lambda s$ est généré dynamiquement par la brisure électrofaible.
- $W_{NMSSM}^{(Higgs)} = \lambda S H_1 H_2 + \frac{1}{3}\kappa S^3$.
- Dans ce modèle, c'est la brisure soft de SUSY qui introduit la brisure électrofaible.

# Tests des modèles Supersymétriques

- Nouvelle génération d'accélérateurs $\Rightarrow$ nouvelle gamme d'énergie.
  $\Rightarrow$ Découverte du Higgs.
  $\Rightarrow$ Découverte des super-particules.
  Comment différencier les modèles ?
- De manière générale, le NMSSM prédit des couplages Higgs $\leftrightarrow$ bosons de jauge plus faibles que les autres modèles
  $\Rightarrow$ **Sections efficaces de production de Higgs plus faibles**.
- Les modèles SUSY donnent une borne supérieure à la masse du Higgs le plus léger.
  $\Rightarrow$ modèles falsifiables.
  MSSM $\longrightarrow M_{Higgs} < 130 - 140\ GeV$.
  NMSSM $\longrightarrow M_{Higgs} < 150 - 160\ GeV$.
- Cependant, il semble que le MSSM et le NMSSM soient très difficiles à séparer.

# Un régime particulier du NMSSM

- Etude du régime de paramètres où : $m_a^2 < 2m_h^2$.
  $\Rightarrow$ **Le LHC serait aveugle dans cette situation**.

- Définir les **frontières du régime**.
  Calculer les valeurs des paramètres à la grande échelle pour étudier l'**universalité**.

# Intérêts et objectifs

- Etudier les différences entre MSSM et NMSSM.
  $\Rightarrow$ Définir un mode de caractérisation du NMSSM.
- Avoir des informations sur le mode de brisure de la supersymétrie à la grande échelle.
- Etude d'un candidat à la matière noire.

# Conclusion

- Le NMSSM est un modèle sans problème de naturalité.
- Phénoménologie acceptable. (proche du MSSM dans le secteur de jauge.)
- Posséde un certain régime de paramètres où le LHC serait aveugle.
- Cependant, il semble que le MSSM et le NMSSM soient très difficiles à séparer.
- Existance pour certains paramètres d'un singlino LSP : bon candidat à la matière noire.