

# Low Energy Supergravity Revisited

Damien TANT<sup>1</sup>

Travail en collaboration avec:

Gilbert MOULTAKA<sup>2</sup>

&

Michel RAUSCH DE TRAUBENBERG<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) - UMR 7178 CNRS-Univ. Strasbourg  
Département Recherches Subatomiques - Groupe Théorie

<sup>2</sup> Laboratoire Charles Coulomb (L2C) - UMR 5221 CNRS-Univ. Montpellier 2

SFP 2015  
28 Août 2015

**1** Introduction

**2** De la Supersymétrie à la Supergravité

**3** Brisure de la Supersymétrie induite par gravité

**4** Conclusions et Perspectives

## Le Modèle Standard

- ↔ Théorie de jauge décrivant le monde subatomique à faible énergie
  - ↔ 3 interactions fondamentales : électromagnétique, faible et forte
- ↔ Deux types de particules
  - ↔ **Fermions** : particules de matière (**électron**, **neutrino**, quark **up** et **down**, etc)
  - ↔ **Bosons** : **Higgs** et particules d'interaction (**photon**, etc)
- ↔ Aucune déviation observée

## Mais, des problèmes restent ouverts

### ■ Problème de hiérarchie

$$m_H^2 = \text{---} \underset{H}{\bullet} \text{---} \underset{H}{+} \text{---} \underset{H}{\bullet} \text{---} \underset{H}{+} \dots$$

$\sim \int^\Lambda d^2 k \sim \Lambda^2$

$$\left. \begin{array}{l} \Lambda \sim m_{Planck} = 10^{19} \text{ GeV} \\ m_H = 125 \text{ GeV} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\Lambda^2}{m_H^2} \sim 10^{34}$$

$\hookrightarrow$  Ajustement fin possible  $\rightarrow$  **non naturelle**

## Mais, des problèmes restent ouverts

- Problème de hiérarchie
- La matière noire

### Première estimation : 1933 par Fritz Zwicky

Détermination de la masse de l'Amas de Coma

↔ masse dynamique (Viriel) :  $m_D$

↔ ratio masse-luminosité :  $m_L$

$$m_D > m_L$$

→ Incohérence dans les mesures. Deux possibilités :

↔ les lois de la gravitation sont fausses

↔ de la matière est "non-visible" → **matière noire**

**Helvetica Physica Acta, Vol. 6, p. 110-127 - 1933**

### Caractéristique

- (i) Stable
  - (ii) Aucune interaction avec le photon (électriquement neutre)
  - (iii) Densité relicue :  $\Omega_c h^2 = 0.1198 \pm 0.0015$   
 ↔ pour le modèle  $\Lambda$ CDM (Planck 2015) **arXiv :1502.01589**
- } Neutrino  $\nu$  }  
 } Aucune particule

⇒ **Aucun** candidat possible dans le Modèle Standard

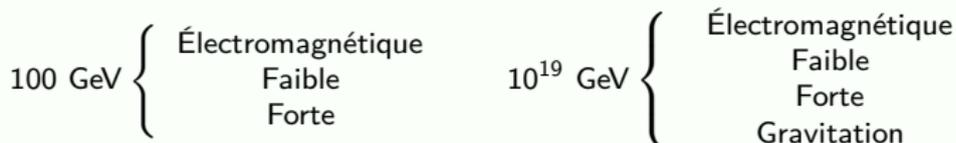
## Le Modèle Standard

- ↪ Théorie de jauge décrivant le monde subatomique à faible énergie
  - ↪ 3 interactions fondamentales : électromagnétique, faible et forte
- ↪ Deux types de particules
  - ↪ **Fermions** : particules de matière (électron, neutrino, quark up et down, etc)
  - ↪ **Bosons** : Higgs et particules d'interaction (photon, etc)
- ↪ Aucune déviations observée

## Mais, des problèmes restent ouverts

- Problème de hiérarchie
- La matière noire
- La gravité ?

2 échelles d'énergies, 4 interactions fondamentales



## Le Modèle Standard

- ↪ Théorie de jauge décrivant le monde subatomique à faible énergie
  - ↪ 3 interactions fondamentales : électromagnétique, faible et forte
- ↪ Deux types de particules
  - ↪ **Fermions** : particules de matière (**électron**, **neutrino**, quark **up** et **down**, etc)
  - ↪ **Bosons** : **Higgs** et particules d'interaction (**photon**, etc)
- ↪ Aucune déviations observée

## Mais, des problèmes restent ouverts

- Problème de hiérarchie
- La matière noire
- La gravité ?
- ...

## Le Modèle Standard

- ↪ Théorie de jauge décrivant le monde subatomique à faible énergie
  - ↪ 3 interactions fondamentales : électromagnétique, faible et forte
- ↪ Deux types de particules
  - ↪ **Fermions** : particules de matière (électron, neutrino, quark up et down, etc)
  - ↪ **Bosons** : Higgs et particules d'interaction (photon, etc)
- ↪ Aucune déviations observée

## Mais, des problèmes restent ouverts

- Problème de hiérarchie
- La matière noire
- La gravité ?
- ...

⇒ Besoin d'une théorie **au-delà** du Modèle Standard

## La Supersymétrie

↔ Stipule l'existence d'une symétrie entre les **bosons** et les **fermions**

↔ pour chaque particule du Modèle Standard, on lui associe un partenaire supersymétrique

électron	↔	sélectron
Higgs	↔	higgsino
photon	↔	photino

Multiplet de matière

- Scalaire  $\phi$
- Fermion  $\psi$

Multiplet vectoriel

- Vector  $A_\mu$
- Fermion  $\lambda$

# La Supersymétrie

↔ Stipule l'existence d'une symétrie entre les **bosons** et les **fermions**

↔ pour chaque particule du Modèle Standard, on lui associe un partenaire supersymétrique

électron	↔	sélectron
Higgs	↔	higgsino
photon	↔	photino

Multiplet de matière

Multiplet vectoriel

■ Scalaire  $\phi$

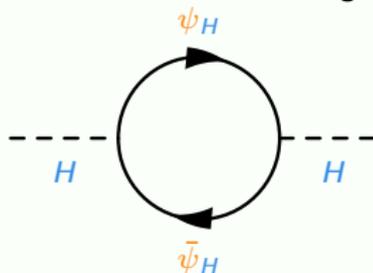
■ Vector  $A_\mu$

■ Fermion  $\psi$

■ Fermion  $\lambda$

↔ Et le problème de hiérarchie ?

Génère des **nouvelles** divergences



qui vont **compenser** les précédentes

## La Supersymétrie

↔ Stipule l'existence d'une symétrie entre les **bosons** et les **fermions**

↔ pour chaque particule du Modèle Standard, on lui associe un partenaire supersymétrique

électron	↔	sélectron
Higgs	↔	higgsino
photon	↔	photino

Multiplet de matière

Multiplet vectoriel

■ Scalaire  $\phi$

■ Vector  $A_\mu$

■ Fermion  $\psi$

■ Fermion  $\lambda$

↔ Problème de hiérarchie

↔ Et la matière noire ?

→ **Nouvelles** particules neutres disponible

→ **une** particule stable et suffisamment massive

↔ **Neutralino**, candidat possible pour la matière noire

## La Supersymétrie

- ↪ Stipule l'existence d'une symétrie entre les **bosons** et les **fermions**
  - ↪ pour chaque particule du Modèle Standard, on lui associe un partenaire supersymétrique
- ↪ Problème de hiérarchie ✓
- ↪ Matière noire ✓
- ↪ Cependant ...

⇒ une particule et son superpartenaire ont la **même masse**  
 masse électron :  $m_e = 511 \text{ keV}$  → masse sélectron :  $m_{se} = 511 \text{ keV}$



La Supersymétrie doit être **brisée**



Voie naturelle → son extension **locale**

## La Supersymétrie

- ↪ Stipule l'existence d'une symétrie **globale** entre les bosons et les fermions
  - ↪ pour chaque particule du Modèle Standard, on lui associe un partenaire supersymétrique
- ↪ Problème de hiérarchie ✓
- ↪ Matière noire ✓
- ↪ Même masse ✗

## La Supergravité

- ↪ La symétrie entre les **bosons** et les **fermions** devient **locale**
  - ↪ elle dépend de l'espace-temps → la gravité apparaît naturellement
- ↪ On définit un multiplet de gravité
  - ↪ **graviton** et **gravitino**
  - ↪ particules de masse nulle

## Deux secteurs

- Un secteur observable  $\Phi$  : particules du Modèle Standard et ses superpartenaires
- Un secteur caché  $Z$  : neutre par rapport aux interactions du Modèle Standard
  - ↪ interaction uniquement gravitationnelle

## Procédé

- (i) Les deux secteurs sont **couplés** par Supergravité à l'échelle de Planck
- (ii) La Supergravité est brisée spontanément dans le secteur caché
  - ↪ Gravitino devient massif :  $m_{3/2}$
  - ↪ Génère des termes doux dans le secteur observable
- (iii) Les deux secteurs sont **découplés** en prenant la limite  $m_p \rightarrow \infty$ 
  - ↪ On obtient une "théorie" à faible énergie

## Deux fonctions

- Le potentiel de Kähler  $K(Z^i, \Phi^a)$  : détermine les termes cinétiques
- Le superpotentiel  $W(Z^i, \Phi^a)$  : décrit les interactions (Yukawa,...)

## Deux fonctions

- Le potentiel de Kähler  $K(Z^i, \Phi^a)$  : détermine les termes cinétiques
- Le superpotentiel  $W(Z^i, \Phi^a)$  : décrit les interactions (Yukawa,...)

## Le potentiel scalaire

$$V = \exp\left(\frac{K}{m_p^2}\right) \left( \mathcal{D}_I W (K^{-1})^{I J^*} \mathcal{D}^{J^*} \bar{W} - \frac{3}{m_p^2} |W|^2 \right) \quad \text{avec } I = \{i, a\}$$

avec la dérivée covariante

$$\mathcal{D}_I W = \partial_I W + \frac{1}{m_p^2} W \partial_I K$$

## Deux fonctions

- Le potentiel de Kähler  $K(Z^i, \Phi^a)$  : détermine les termes cinétiques
- Le superpotentiel  $W(Z^i, \Phi^a)$  : décrit les interactions (Yukawa,...)

## Le potentiel scalaire

$$V = \exp\left(\frac{K}{m_p^2}\right) \left( \mathcal{D}_I W (K^{-1})^I_{J^*} \mathcal{D}^{J^*} \bar{W} - \frac{3}{m_p^2} |W|^2 \right) \quad \text{avec } I = \{i, a\}$$

## Proposition de Soni & Weldon

Phys.Lett. B126 (1983) 215.

- Définition :  $Z^i = m_p z^i \rightarrow z$  est sans dimension

$$K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) = m_p^2 z^i z_i^\dagger + \Phi^a \Phi_a^\dagger$$

- Aucun couplage entre des puissances positives en  $m_p$  et le secteur observable  $\Phi^a$
- Conséquence sur le superpotentiel

$$W(z, \Phi) = \sum_{n=0}^{\infty} m_p^n W_n(z, \Phi) \Rightarrow W(z, \Phi) = m_p^2 W_2(z) + m_p W_1(z) + W_0(z, \Phi)$$

↪ Extension : quelque soit la forme de  $K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger)$  l'expression de  $W(z, \Phi)$  reste inchangée

## Nouvelles Solutions

■ Pour :  $K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) = m_p^2 z^i z_i^\dagger + \Phi^a \Phi_a^\dagger$

$$W(z, S, \Phi) = m_p [W_1(z) + S^P W_{1p}(z)] + S^P W_{0p}(z) + W_0(z, \Phi)$$

↪ introduction d'un nouveau **champ S** observable

↪ conséquence phénoménologique

■ Pour  $K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger)$  quelconque

$$(i) \quad \begin{cases} K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) = m_p^2 K_2(z, z^\dagger) + m_p K_1(z, z^\dagger) + K_0(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) \\ W(z, \Phi) = m_p [W_1(z) + \Phi^a W_{1a}(z)] + \Phi^a W_{0a}(z) + W_0(z) \end{cases}$$

$$(ii) \quad \begin{cases} K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) = m_p^2 K_2(z, z^\dagger) + m_p K_1(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) + K_0(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) \\ W(z, \Phi) = m_p [W_1(z) + \Phi^a W_{1a}(z)] + W_0(z, \Phi) \end{cases}$$

$$(iii) \quad \begin{cases} K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) = m_p^2 K_2(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) + m_p K_1(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) + K_0(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) \\ W(z, \Phi) = m_p W_1(z, \Phi) + W_0(z, \Phi) \end{cases}$$

$$(iv) \quad \begin{cases} K(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) = m_p^2 K_2(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) + K_0(z, z^\dagger, \Phi, \Phi^\dagger) \\ W(z, \Phi) = m_p^2 W_2(z, \Phi) + W_0(z, \Phi) \end{cases}$$

## Conclusions

- Malgré ses puissantes réussites, le Modèle Standard rencontre des problèmes
- La Supersymétrie et la Supergravité sont des extensions naturelles
  - ↪ contrôlent le problème de hiérarchie
  - ↪ proposent des candidats pour la matière noire
  - ↪ incluent la gravité
- Nous avons extrait des nouvelles solutions

## Perspectives

- Étude phénoménologique du champ  $S$ 
  - ↪ implication du champ  $S$  sur les termes doux
  - ↪ natures cosmologiques ?
- Étude phénoménologique des différentes solutions