

Split-Supersymétrie dans ATLAS

Physique Atlas France 07

Emmanuel Turlay

D. Zerwas (LAL), A. Djouadi (LPT), N. Bernal (LPT)

LAL Orsay

11 septembre 2007



Le MSSM : oui mais...

Dans MSSM traditionnel $\Rightarrow m_{\text{SUSY}} \simeq \mathcal{O}(1 \text{ TeV})$

SPS1a : $m_{\tilde{q}} \simeq 540 \text{ GeV}$; $m_{\tilde{l}} \simeq 170 \text{ GeV}$; $m_{\chi} \simeq 260 \text{ GeV}$; $m_{\tilde{g}} \simeq 600 \text{ GeV}$

Avantages

- ▶ Contrôle de $m_h \simeq \mathcal{O}(100 \text{ GeV})$
 \Rightarrow pas de fine tuning
- ▶ Candidat Matière Noire (conservation R -parité)
- ▶ Grande Unification

Inconvénients

- ▶ Pas de Higgs/SUSY au LEP
 \Rightarrow fine tuning
- ▶ FCNC attendus
- ▶ Désintégration du proton
- ▶ Violation de CP
- ▶ Fine tuning de Λ

Si SUSY est brisée à haute énergie ($\gtrsim 10 \text{ TeV}$):

- ▶ Candidat Matière Noire
- ▶ Grande Unification
- ▶ Higgs plus lourd
- ▶ m_h plus protégée par SUSY
 \Rightarrow fine tuning
- ▶ Fine tuning de Λ

Split-Supersymétrie

[Arkani-Hamed & Dimopoulos, 2004] et [Giudice & Romanino, 2004]

SUSY est brisée à $M_S = \mathcal{O}(10^4 \text{ a } 10^{16} \text{ GeV})$.

Spectre

- ▶ **Scalars** (\tilde{q}, \tilde{l}, H et A) à M_S .
 - ▶ **Fermions** ($\tilde{\chi}$ et \tilde{g}) protégés par sym. de jauge à $M_{EW} \sim \mathcal{O}(1 \text{ TeV})$.
 - ▶ **SM Higgs** h fine-tuning à M_{EW} .
-
- ▶ Les scalaires (sauf h) sont découplés du spectre à basse énergie.
 - ▶ Théorie effective en dessous de M_S (RGE eff.).
 - ▶ À M_S , matching avec la théorie complète et RGE du MSSM au delà.

Paramètres du modèle

Dans le **MSSM** phénoménologique : 24 paramètres

$$\begin{array}{cccccc} \tan \beta & M_1 & M_2 & M_3 & M_A & \mu \\ A_{\tilde{t}} & A_{\tilde{t}} & A_{\tilde{b}} & m_{\tilde{t}_R} & m_{\tilde{t}_L} & m_{\tilde{\mu}_R} \\ m_{\tilde{\mu}_L} & m_{\tilde{e}_R} & m_{\tilde{e}_L} & m_{\tilde{q}_L}^1 & m_{\tilde{q}_L}^2 & m_{\tilde{q}_L}^3 \\ m_{\tilde{t}_R} & m_{\tilde{b}_R} & m_{\tilde{c}_R} & m_{\tilde{s}_R} & m_{\tilde{u}_R} & m_{\tilde{d}_R} \end{array}$$

mSUGRA est plus contraint : 5 paramètres

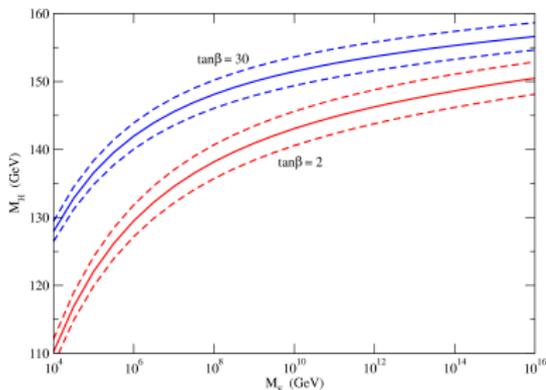
$$m_0 ; m_{1/2} ; A_0 ; \text{sgn } \mu ; \tan \beta$$

Dans le cas de **Split-SUSY**, les paramètres sont

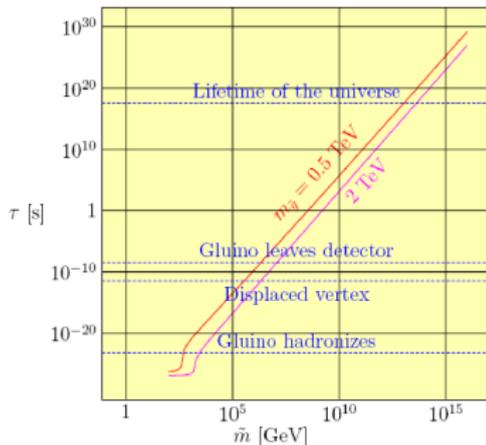
- ▶ M_S : l'échelle de brisure, la masse des scalaires,
- ▶ $M_1, M_2, M_3(M_{\text{GUT}})$: paramètre de masse des jauginos à l'échelle GUT,
- ▶ $\mu(M_Z)$: paramètre de masse du Higgs à l'échelle EW,
- ▶ $A_t(M_S)$: couplage trilineaire $H - \tilde{t} - \tilde{t}$ à l'échelle de brisure
- ▶ $\tan \beta(M_S)$: rapport des vevs à M_S

Phénoménologie

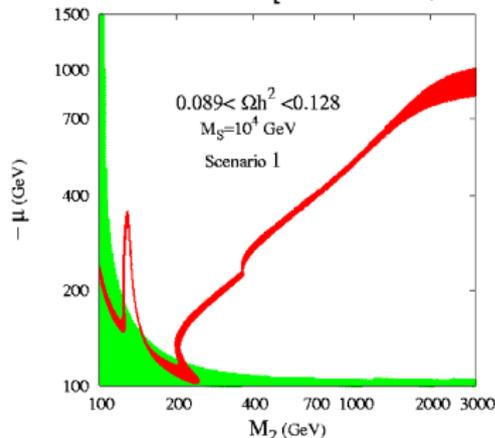
- ▶ Pas de scalaires au LHC (sauf h)
- ▶ Higgs léger entre 110 et 160 GeV
- ▶ Densité relique en accord avec WMAP
- ▶ Possibilité de stabilité du gluino (pas ici)



[Bernal *et al.*, 2007]



[Kilian *et al.*, 2004]



Observables @ LHC

Choix de paramètres

M_S	10 TeV
$M_{1/2/3}$	129 GeV
μ	290 GeV
$\tan \beta$	30
A_t	0.

- ▶ léger fine-tuning
- ▶ $\Omega_{DM} h^2$ en accord avec WMAP

Masses en GeV (SuSpect)

h	129	\tilde{g}	438	$\tilde{\chi}_1^\pm$	117	$\tilde{\chi}_2^\pm$	313
$\tilde{\chi}_1^0$	60	$\tilde{\chi}_2^0$	117	$\tilde{\chi}_3^0$	296	$\tilde{\chi}_4^0$	310

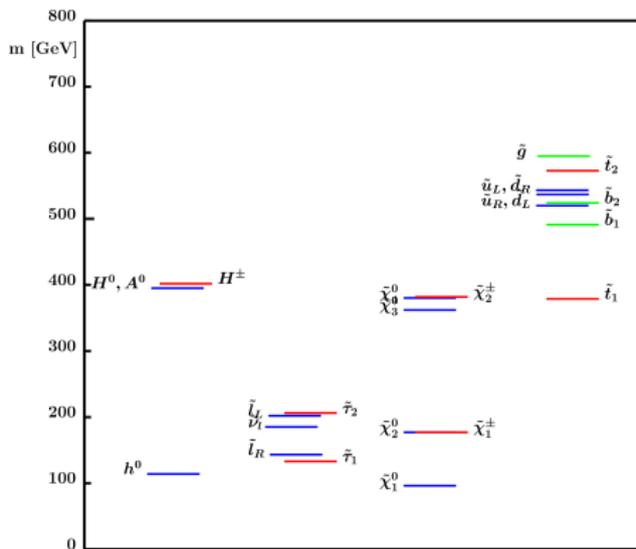
SplitSusy dans SuSpect \rightarrow [Bernal *et al.*, 07]

Production NLO (Prospino)

$\tilde{g}\tilde{g}$	63 pb	$\tilde{\chi}^\pm\tilde{g}$	311 fb
$\tilde{\chi}^\pm\tilde{\chi}^0$	12 pb	$\tilde{\chi}^0\tilde{g}$	223 fb
$\tilde{\chi}^\pm\tilde{\chi}^\pm$	6 pb	$\tilde{\chi}^0\tilde{\chi}^0$	98 fb
Total		82 pb	
$\sigma_{SPS1a} \sim 60$ pb		$\sigma_{SPS1a}(\tilde{g}\tilde{g}) \sim 8$ pb	

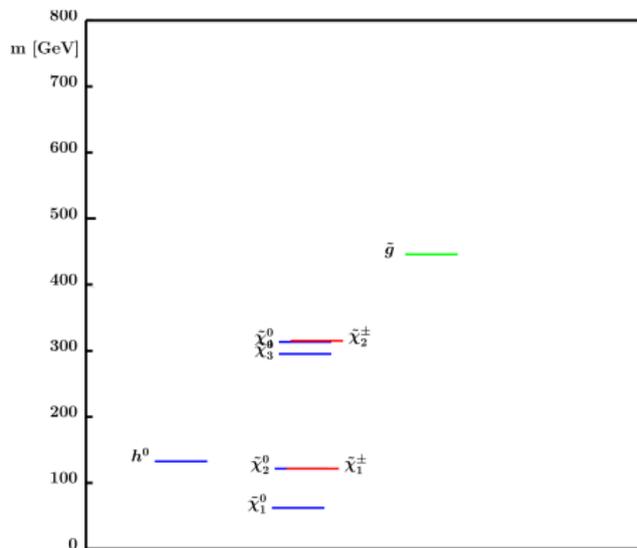
- ▶ Enorme signal tri-lepton (jet veto) : $\sigma_{3\ell} = 180$ fb = $140 \times \sigma_{3\ell}(\text{SPS1a})$
 $\sigma(\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_2^0) \simeq 12$ pb, pas d'interférence destructive
- ▶ Fin de sp ectre : $m_{\tilde{\chi}_2^0} - m_{\tilde{\chi}_1^0}$ dans $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 \ell^+ \ell^-$
- ▶ $\sigma(\tilde{g}\tilde{g})$ et $R(\tilde{g} \rightarrow b/\bar{b}) = BR(\tilde{g} \rightarrow bX)/BR(\tilde{g} \rightarrow bX)$
- ▶ $m_h \pm 0.1\%$ dans $h \rightarrow \gamma\gamma$

SPS1a



$m_0 = 100$; $m_{1/2} = 250$; $A_0 = -100$;
 $\text{sgn } \mu = +$; $\tan \beta = 10$

Split-Susy point A



- ▶ Higgs plus lourd
- ▶ LSP ($\tilde{\chi}_1^0$) plus léger
- ▶ gluino plus léger

Signature inclusive

Etude de faisabilité en simulation rapide avec PYTHIA et ATLFast.

Canaux SUSY dominant : $\tilde{g}\tilde{g}$ et $\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_2^0 \Rightarrow$ multijets, \cancel{E}_T , leptons

Bruits de fond : $t\bar{t}$, W +jets et Z +jets

σ_{SUSY} très grande : signal important avec peu de luminosité

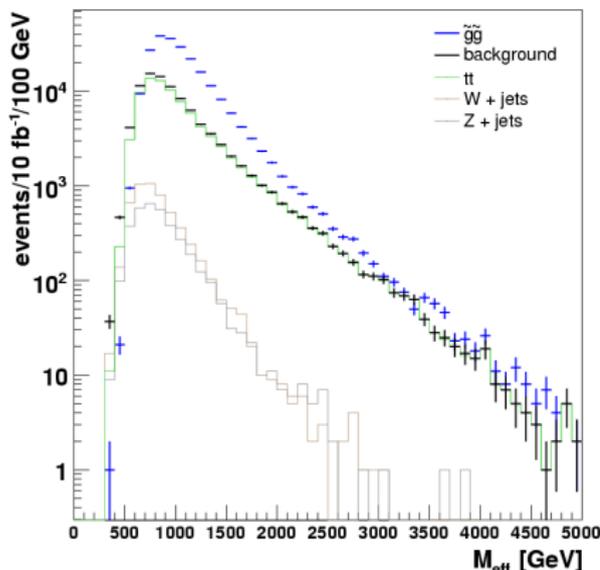
Coupages standards :

- ▶ 4 jets avec $P_T > 150, 100, 50$ GeV
- ▶ $M_{\text{eff}} = \cancel{E}_T + \sum P_T(\text{jet}) > 600$ GeV
- ▶ $\cancel{E}_T > \max(100 \text{ GeV}, 0.2 \times M_{\text{eff}})$

	σ	coupages
$\tilde{g}\tilde{g}$	63 pb	9.7 pb
fond	1080 pb	6 pb
$t\bar{t}$	590 pb	4.2 pb
W +jets	300 pb	1.1 pb
Z +jets	190 pb	0.7 pb

$$10 \text{ fb}^{-1} \Rightarrow S/\sqrt{B} = 396$$

$$1 \text{ fb}^{-1} \Rightarrow S/\sqrt{B} = 125$$



Le signal trilepton

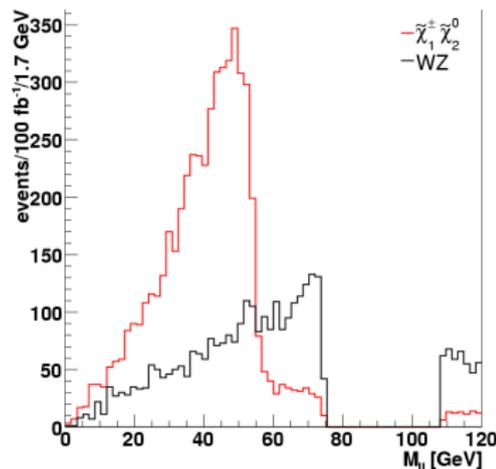
Simulation rapide de 100 fb^{-1} avec PYTHIA et ATLFast.

Bruits de fond principaux \rightarrow WZ et ZZ

- ▶ Acceptance : $|\eta| < 2.5$ et $P_T\{e, \mu\} > \{5, 6\} \text{ GeV}$
- ▶ Leptons : 2 OS-SF + 1 lepton avec $P_T\{e, \mu\} > \{20, 10\} \text{ GeV}$
- ▶ Masse invariante des 2 leptons OF-SF $\neq M_Z \pm 5\sigma_Z$
- ▶ Pas de jet

	Lepton ($e + \mu$)	3ℓ reco.	M_Z
$\tilde{\chi}_1^\pm \tilde{\chi}_2^0$	180 fb	39 fb	35 fb
WZ	390 fb	121 fb	5.6 fb
ZZ	72 fb	16.2 fb	1.8 fb

FastSim : pas d'inefficacité d'Id des leptons
 \Rightarrow faisabilité en reconstruction complète?



Pour 100 fb^{-1}

Lepton Id (FullRec)

Electron-Id

- ▶ Id. combinée : Inner det. + EM Calo.
→ matching traces/clusters EM.
- ▶ Identification Cut-based
- ▶ 3 qualités d'électron :

ElectronLoose	Acceptance+HCal	98%
ElectronMedium	+ECal+Pix+SCT	87%
ElectronTight	+TRT/BL+Iso.	70%

efficacité d'Id sur des singles electron de $P_T = 40$ GeV
(norm. au Ele container)

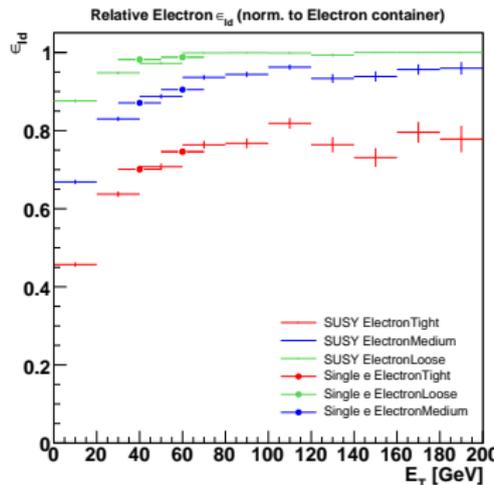
Rejection non norm. $n_{\text{cand}}/n_{\text{Id}} = 1250$

Muon-Id

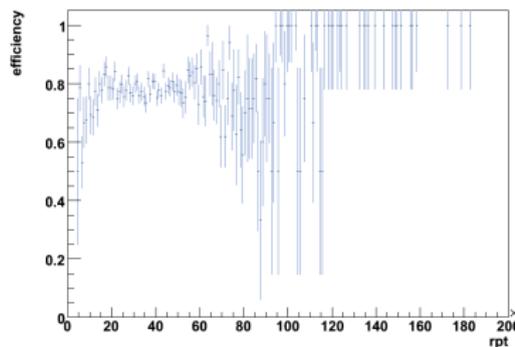
Id. combine : Inner det. + syst. Muon

Algo.	eff.	fake rate
Staco	87.8%	0.5%
Muld	85.6%	0.2%

3 leptons \Rightarrow 34% à 50% d'efficacité



Efficiency found/sim



Questions..

- ▶ Peut-on déterminer Split-Susy au LHC?
 - ▶ A-t-on assez d'observables avec \tilde{g} , $\tilde{\chi}_1^\pm$ et $\tilde{\chi}_2^0$?
- ▶ Comment le différencier du FOCUS Point?
(mSUGRA avec $m_0 = 3550$, $m_{1/2} = 300$, $\tan\beta = 10$, $A_0 = 100$)

	FOCUS Point	Split SUSY
Secteur scalaire	visible	totalément découplé
σ_{SUSY}	$\simeq 5$ pb	82 pb !!
Higgs	$\simeq 115$ GeV	$\simeq 130$ GeV
LSP	$\simeq 100$ GeV	$\simeq 60$ GeV
Observables	$\simeq 10$	3 part. visibles + h

- ▶ Quelle précision sur les paramètres?

Ajustement des paramètres : SFITTER

SFITTER : ajustement du modèle à partir des observables (+erreurs).

Utilise SuSpect, SDecay, Minuit, MicroMegas

Nouveau : Implémentation de Split-Susy dans SFitter

Observable	Value	Optimiste			Pessimiste		
		stat.	syst.	th.	stat.	syst.	th.
$\sigma_{3\ell}$	180 fb	5		20	7		50
$ m_{\tilde{\chi}_2^0} - m_{\tilde{\chi}_1^0} $	55 GeV	6	0.05		10	0.05	
$R(\tilde{g} \rightarrow b/!b)$	9.5%	0.3			1		
m_h	128.8 GeV	0.01	0.13		0.05	0.13	
$\sigma(\tilde{g}\tilde{g})$	63 pb	0.08		14	0.1		20

Ajustement

Parameter	Model	Pessimiste		Mesure influante
		Fit	Erreur	
M_S	10^4	fixed		
M_1	132.4	138.1	29.7	$ m_{\tilde{\chi}_2^0} - m_{\tilde{\chi}_1^0} $ $\sigma_{3\ell}$ et $R(\tilde{g} \rightarrow b/!b)$
M_2	132.4	133.6	9.7	
M_3	132.4	133.0	7.3	
$\tan \beta$	30.	fixed		$R(\tilde{g} \rightarrow b/!b)$
μ	290.	290.4	22.1	$R(\tilde{g} \rightarrow b/!b)$
A_t	0.	fixed		

- ▶ Pas d'info sur le secteur scalaire (à part non-obs.) : fixe A_t et M_S
- ▶ Secteur du Higgs invisible sauf h : Pas de sensibilité sur $\tan \beta$
- ▶ L'ajustement converge
- ▶ erreurs de 10 à 20%

Conclusion

- ▶ Split-SUSY : modèle avec scalaires découplés (sauf h), brisure à $M_S = \mathcal{O}(10^{4 \text{ à } 16} \text{ GeV})$.
- ▶ Grande unification et DM respectés mais fine tuning de m_h
- ▶ Pas de scalaires au LHC mais σ_{SUSY} assez importante
- ▶ $\tilde{g}\tilde{g}$ et trilepton visibles \rightarrow lepton-Id
- ▶ Finalement assez peu d'observables mais SpS est déterminable
- ▶ Erreurs sur les paramètres de 10 à 20%

Outlook :

- ▶ Inclure les contraintes indirectes ($\Omega_{\text{DM}} h^2$, $b \rightarrow s\gamma$ etc...)
- ▶ Déterminer correctement les erreurs sur les observables
- ▶ Regarder la simulation complète