

Quelle sont les scénarios de nouvelle physique ouverts au Run 2 ?

Approche topologique pour cette introduction:

Production résonante:

Z'/W' , compositeness, interactions de contact,
extra-dimension

Production par interaction forte:

Principalement par paire

ex: squarks/gluinos (SUSY), leptoquarks, t-quarks
(little-Higgs), t'/b' 4ème generation

Production par interaction électrofaible:

Principalement par paire aussi:

ex.: charginos/neutralinos (SUSY)

Production résonante

Résultats du Run 1 à 7/8 TeV :

Des limites très fortes allant de ~ 1 à plusieurs TeV

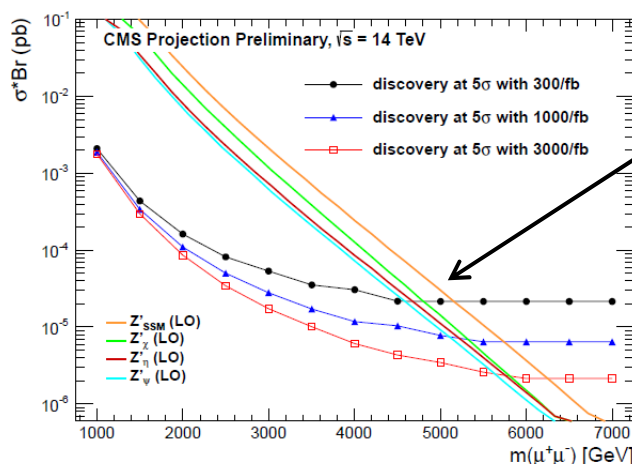
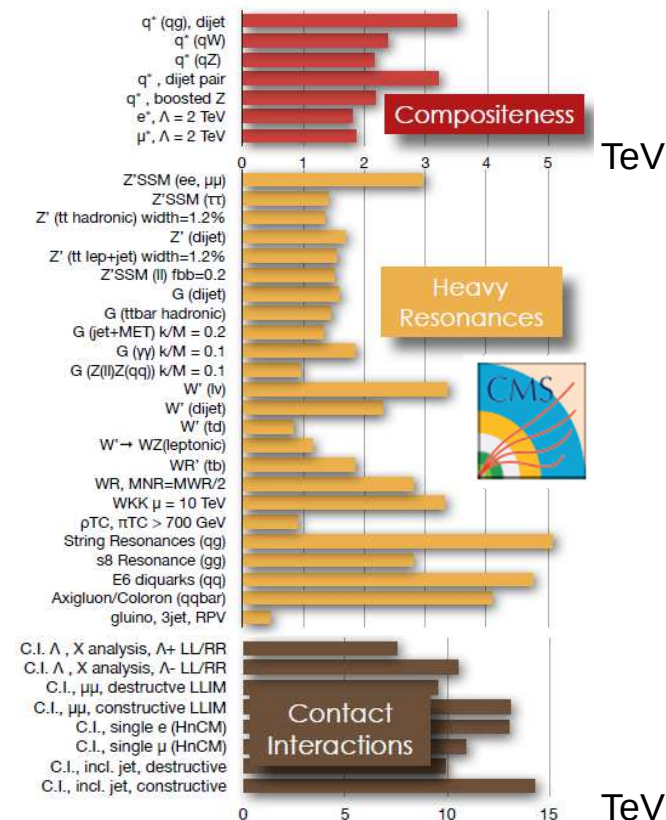
Ex 1: $M(Z'_{SSM} \rightarrow ee, \mu\mu) > 3 \text{ TeV}$
 @ 14 TeV, 300 fb^{-1} : découverte à 5σ jusqu'à $\sim 5 \text{ TeV}$

Ex 2: $M(W' \rightarrow e\nu, \mu\nu) > 3.3 \text{ TeV}$
 @ 14 TeV, 100 fb^{-1} : découverte à 5σ jusqu'à $\sim 5 \text{ TeV}$
 @ 14 TeV, 300 fb^{-1} : découverte à 5σ jusqu'à $\sim 5.6 \text{ TeV}$

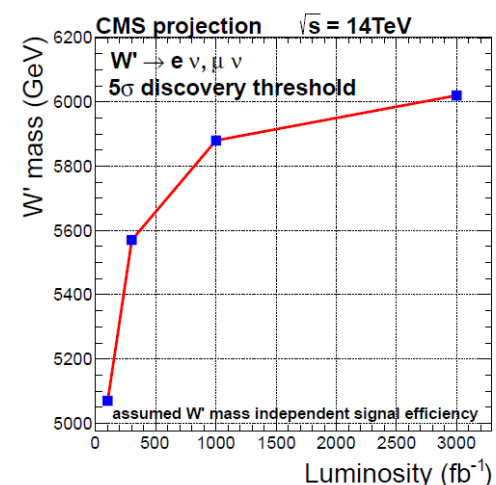
Des canaux plus complexes existent (en $t\bar{t}b\bar{a}r$, par exemple)

$\Rightarrow$ Gain très important dû à l'augmentation de $\sqrt{s}$, avec seulement 30 fb^{-1} ($\sim 1 \text{ an}$), on sera déjà très proche des 5 TeV pour ces 2 exemples

Remarque: en cas de découverte, le HL-LHC (ou un FCC-hh) sont les seules machines pour étudier directement ces particules



Un Z' de 5 TeV:
 c'est 3 événements
 observés / 100 fb^{-1}

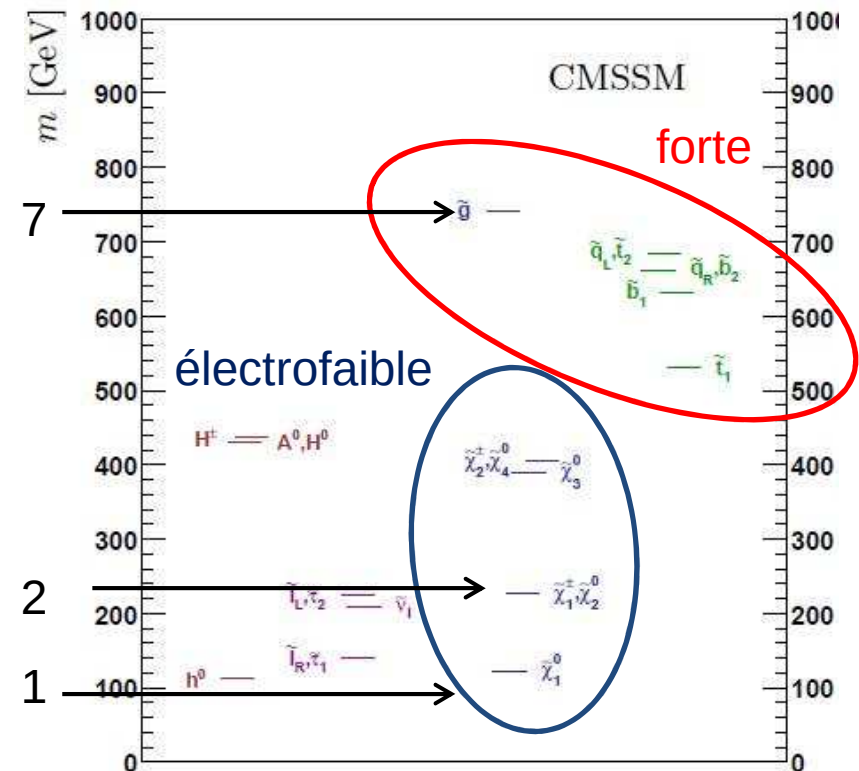


Supersymétrie

La supersymétrie, comme d'autres modèles de nouvelles physiques (extra-dimensions, little Higgs...) prédit **un grand nombre de nouvelles particules**

Les masses de ces particules SUSY et leurs modes de désintégration dépendent des paramètres du **modèles** (mSUGRA, GMSB, AMSB pour les modèles contraints), mais il existe des hiérarchies entre les masses: exemples des gauginos avec le rapport 1/2/7 pour $M_1/M_2/M_3$ dans mSUGRA.

Pour s'affranchir de cela, on utilise des **modèles simplifiés** permettant de balayer intégralement les spectres de masse. Cela permet aussi d'être moins dépendant des hypothèses des modèles contraints et présenter les résultats en fonction de d'observables, les masses, facilement réutilisables par la communauté.



Production par interaction forte

Ex: SUSY avec R-parité conservée, production de paires de gluinos

Recherches dans les canaux : X leptons + Y jets + Z b-jets + MET

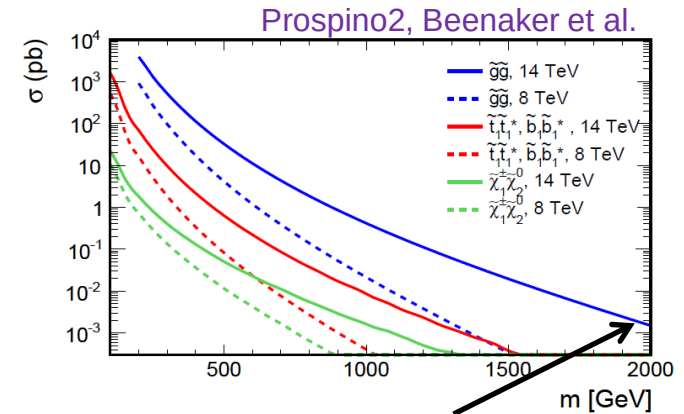
Résultats @ 8 TeV, 20 fb⁻¹ : M(gluino) > 1.34 TeV

M(gluino) > 1.5 TeV, x-section @14 TeV multipliées par >20 vs @8 TeV

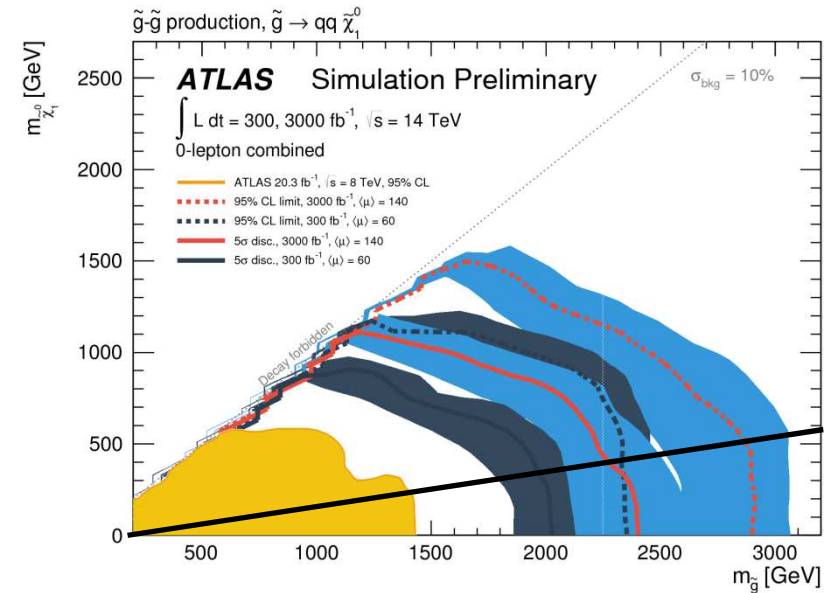
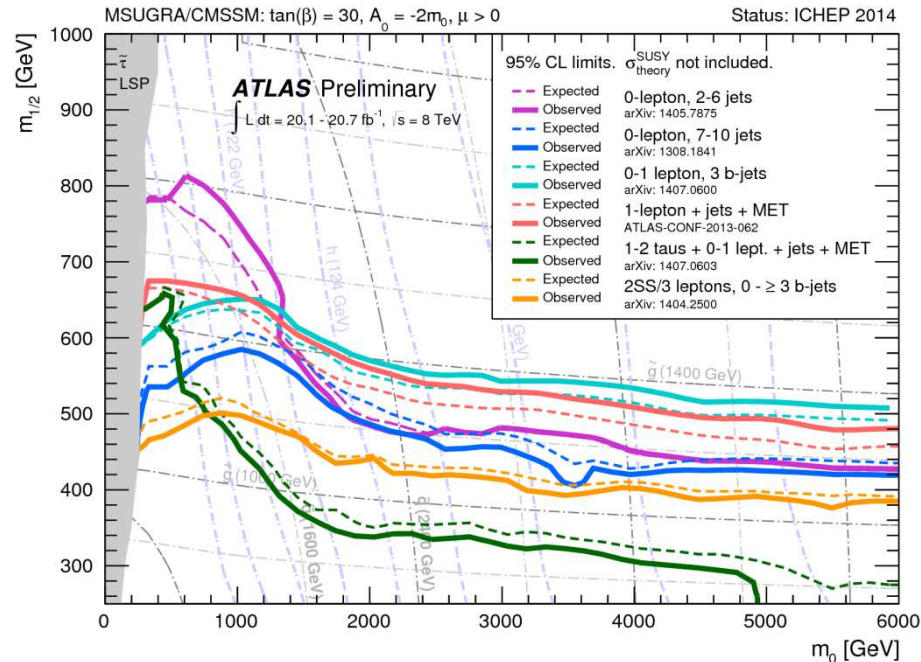
Avec 300 fb⁻¹ @14 TeV, potentiel de découverte à 5σ jusqu'à

M(gluino) ≈ 2 TeV

Mais là aussi: avec seulement 30 fb⁻¹ (~1 an), on sera déjà très proche de 2 TeV
Et le HL-LHC/FCC-hh sont les seules machines où produire ces particules



@14 TeV, 100 fb⁻¹: 100*10%(eff) = 10 évènements



Résumé

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits

Status: ICHEP 2014

ATLAS Preliminary

$\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$

Model	e, μ, τ, γ	Jets	E_T^{miss}	$\int \mathcal{L} d\mathcal{L} [\text{fb}^{-1}]$	Mass limit	Reference
Inclusive Searches	MSUGRA/CMSSM	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{q}, \tilde{g}$ 1.7 TeV
	MSUGRA/CMSSM	1 e, μ	3-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.2 TeV
	MSUGRA/CMSSM	0	7-10 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.1 TeV
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{q}$ 850 GeV
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.33 TeV
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}W^\pm\tilde{\chi}_1^0$	1 e, μ	3-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.18 TeV
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}\ell\ell\nu\nu\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ	0-3 jets	-	20.3	$\tilde{g}$ 1.12 TeV
	GMSB ($\tilde{\ell}$ NLSP)	2 e, μ	2-4 jets	Yes	4.7	$\tilde{g}$ 1.24 TeV
	GMSB ($\tilde{\ell}$ NLSP)	1-2 τ + 0-1 ℓ	0-2 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.6 TeV
	GGM (bino NLSP)	2 γ	-	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.28 TeV
	GGM (wino NLSP)	1 e, μ + γ	-	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 619 GeV
	GGM (higgsino-bino NLSP)	γ	1 b	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 900 GeV
3 rd gen. $\tilde{g}$ med.	GGM (higgsino NLSP)	2 e, μ (Z)	0-3 jets	Yes	5.8	$\tilde{g}$ 690 GeV
	Gravitino LSP	0	mono-jet	Yes	10.5	$\tilde{g}$ 645 GeV
	$\tilde{g} \rightarrow b\tilde{b}\tilde{\chi}_1^0$	0	3 b	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.25 TeV
	$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0	7-10 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.1 TeV
3 rd gen. squarks direct production	$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0-1 e, μ	3 b	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.34 TeV
	$\tilde{g} \rightarrow b\tilde{b}\tilde{\chi}_1^0$	0-1 e, μ	3 b	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.3 TeV
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0	2 b	Yes	20.1	$\tilde{b}_1$ 100-620 GeV
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ (SS)	0-3 b	Yes	20.3	$\tilde{b}_1$ 275-440 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (light), $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	1-2 e, μ	1-2 b	Yes	4.7	$\tilde{t}_1$ 110-167 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (light), $\tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ	0-2 jets	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 130-210 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (medium), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ	2 jets	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 215-530 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (medium), $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0	2 b	Yes	20.1	$\tilde{t}_1$ 150-580 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (heavy), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	1 e, μ	1 b	Yes	20	$\tilde{t}_1$ 210-640 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (heavy), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	0	2 b	Yes	20.1	$\tilde{t}_1$ 260-640 GeV
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (natural GMSB)	2 e, μ (Z)	1 b	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 90-240 GeV
	$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$	3 e, μ (Z)	1 b	Yes	20.3	$\tilde{t}_2$ 150-580 GeV
EW direct	$\tilde{L}_L\tilde{L}_L, \tilde{L} \rightarrow \ell\tilde{\chi}_1^0$	2 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{L}$ 90-325 GeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow \tilde{\chi}_1^0\ell\nu$	2 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 140-465 GeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow \tilde{\chi}_1^0\tau\nu$	2 τ	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 100-350 GeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{L}_L\tilde{\nu}_L, \tilde{\nu}_L \rightarrow \ell\tilde{\chi}_1^0$	3 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_1^0$ 700 GeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow W\tilde{Z}\tilde{\chi}_1^0$	2-3 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_1^0$ 420 GeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow W\tilde{Z}\tilde{h}\tilde{\chi}_1^0$	1 e, μ	2 b	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_1^0$ 285 GeV
Long-lived particles	$\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{L}_L\ell$	4 e, μ	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^0$ 620 GeV
	Direct $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^\pm$	Disapp. trk	1 jet	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 270 GeV
	Stable, stopped $\tilde{g}$ R-hadron	0	1-5 jets	Yes	27.9	$\tilde{g}$ 832 GeV
	GMSB, stable $\tilde{\tau}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\tau}(\tilde{e}, \tilde{\mu}) + \tau(e, \mu)$	1-2 μ	-	-	15.9	$\tilde{\chi}_1^0$ 475 GeV
RPV	GMSB, $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$, long-lived $\tilde{\chi}_1^0$	2 γ	-	Yes	4.7	$\tilde{\chi}_1^0$ 230 GeV
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}\mu$ (RPV)	1 μ , displ. vtx	-	-	20.3	$\tilde{q}$ 1.0 TeV
	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e + \mu$	2 e, μ	-	-	4.6	$\tilde{\nu}_\tau$ 1.61 TeV
	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e(\mu) + \tau$	1 e, μ + τ	-	-	4.6	$\tilde{\nu}_\tau$ 1.1 TeV
Other	Bilinear RPV CMSSM	2 e, μ (SS)	0-3 b	Yes	20.3	$\tilde{q}, \tilde{g}$ 1.35 TeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow ee\tilde{\nu}_\mu, e\mu\tilde{\nu}_e$	4 e, μ	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 750 GeV
	$\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-, \tilde{\chi}_1^+ \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau\tau\tilde{\nu}_e, e\tau\tilde{\nu}_\tau$	3 e, μ + τ	-	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 450 GeV
	$\tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}q$	0	6-7 jets	-	20.3	$\tilde{g}$ 916 GeV
Other	$\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}_1 t, \tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{s}$	2 e, μ (SS)	0-3 b	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 850 GeV
	Scalar gluon pair, sgluon $\rightarrow q\tilde{q}$	0	4 jets	-	4.6	sgluon 100-287 GeV
	Scalar gluon pair, sgluon $\rightarrow t\tilde{t}$	2 e, μ (SS)	2 b	Yes	14.3	sgluon 350-800 GeV
Other	WIMP interaction (D5, Dirac χ)	0	mono-jet	Yes	10.5	M^* scale 704 GeV

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. All limits quoted are observed minus 1σ theoretical signal cross section uncertainty.

Production par interaction faible

Ex: production de paires de charginos/neutralinos

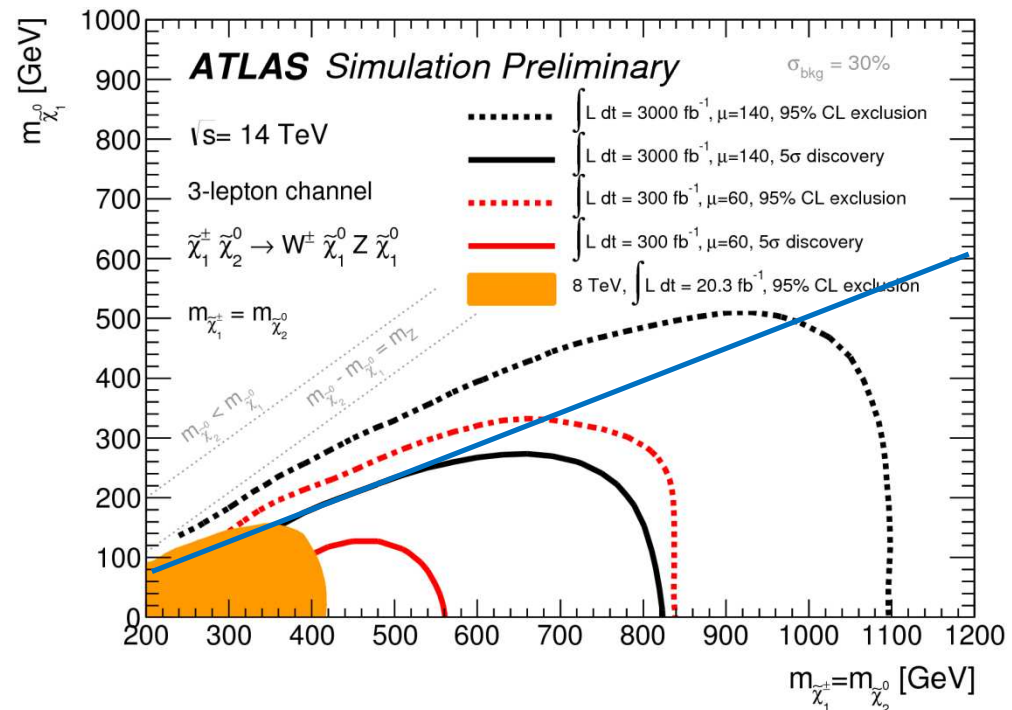
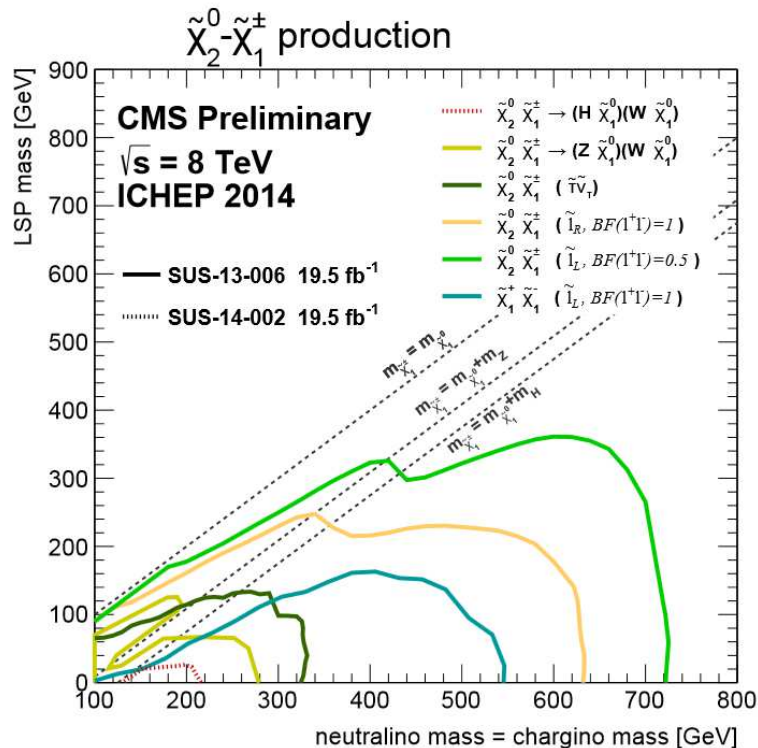
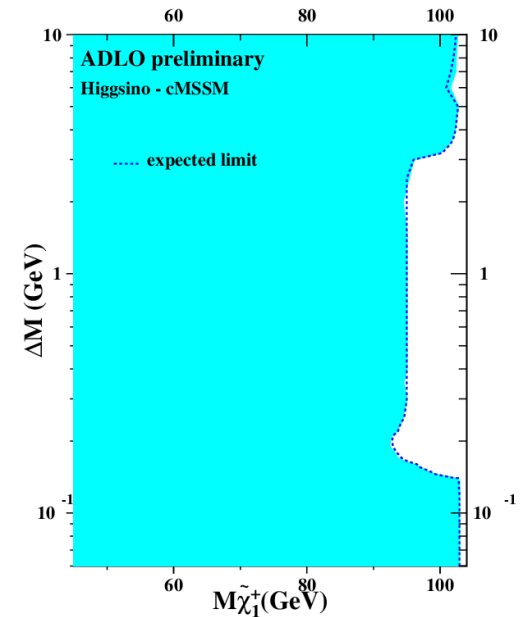
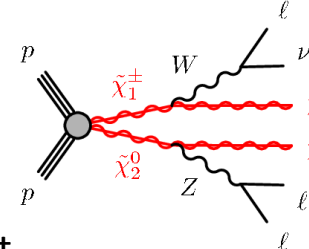
Production électrofaible = petites sections efficaces

Domaines de masses intermédiaires (qq centaines de

GeV): l'évolution du rapport signal sur bruit en passant

de 8 à 14 TeV n'est pas aussi favorable que les cas précédents

Seul un collisionneur leptonique peut couvrir les faibles Δm



Faibles Δm : 3ème génération

Dans la plupart des modèles de nouvelles physiques, la troisième génération a une place particulière

Ex: production de paires de stops

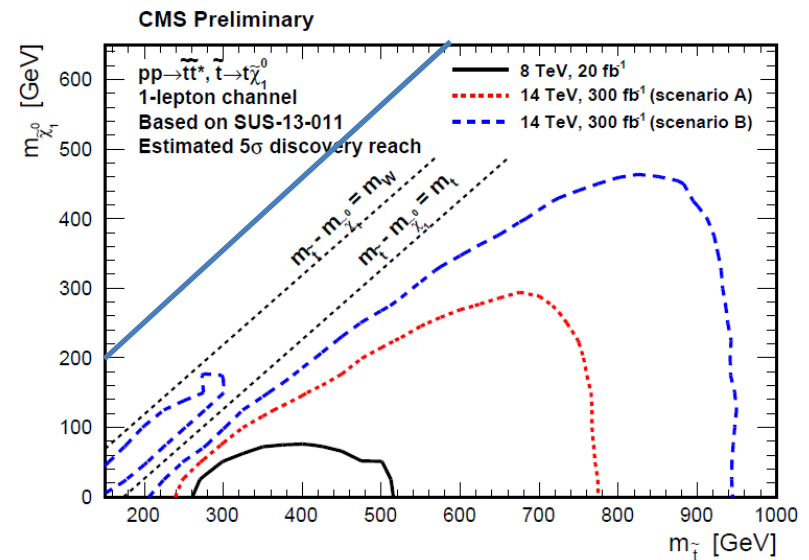
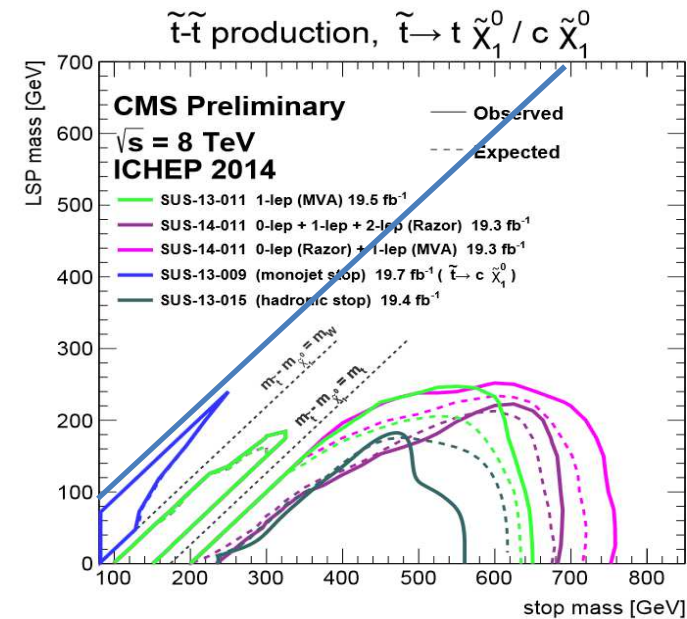
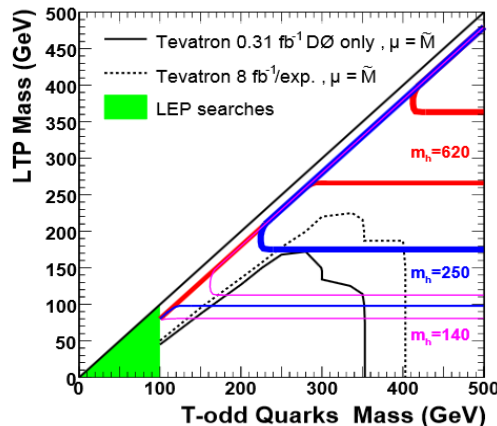
Produits par paire par interaction forte, mais sections efficaces plus faible

ISR tagging pour les faibles Δm

Importance de cette région des faibles Δm vs densité relique de matière noire : région de coannihilation.

Et on connaît maintenant la masse du boson de Higgs : contrainte importante sur certains modèles

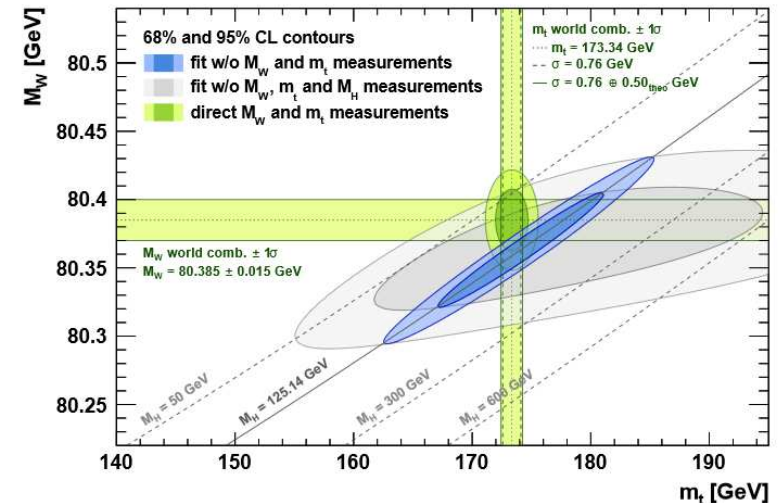
Carena et al.



Mesures de précisions et secteur scalaire

Les mesures des masses du quarks top et du boson W pourraient mettre en défaut le modèle standard

Dans la plupart des modèles BSM, le secteur du quark top est fortement couplé à la nouvelle physique: il est donc important d'effectuer les mesures de précision dans ce secteur du quark top (asymétries, ...)



Le boson de Higgs à 125,7 GeV est la première particule scalaire observée:

Y en t-il d'autres ? (Modèles 2HDM, NMSSM)

Les mesures des propriétés de ce Higgs peuvent révéler des déviations par rapport au MS
Recherche de modes de désintégrations exotiques, ex. : $H \rightarrow \tau\mu$ motivé par le scénario de “Minimal Flavor Violation”

Résumé

Avec l'augmentation de l'énergie à 13-14 TeV, le Run 2 du LHC va permettre d'étudier un large domaine encore inexploré jusqu'ici

Pour les production résonnantes et certaines productions par paire par interaction forte, le potentiel de découverte avec seulement 1 an de données du Run 2 (30 fb^{-1}) sera déjà très grand. On parle de particules avec des masse de plusieurs TeV qui ne pourront être étudiées directement qu'au LHC, HL-LHC, FCC-hh (impossible à l'ILC, au FCC-ee, et même à CLIC).

Pour les particules produites par interaction faible (ex: charginos/neutralinos), ou des particules comme les squarks de 3^{ème} génération, le Run 2 permettra d'étendre significativement le domaine couvert, **mais:**

- Il faut maintenir les performances des détecteurs et algorithmes à des niveaux similaires à celles du Run 1 avec un pile up bien supérieur
- et seul un collisionneur leptonique permet de couvrir tous les Δm , à condition que $m < \sqrt{s}/2$

Les mesures de précisions dans les secteurs électrofaibles et scalaire pourraient mettre en évidence des déviations par rapport au modèle standard