

A la recherche de SUSY (sur CMS)



Frédéric Ronga (ETH Zurich)
Séminaire LAPP – 11 février 2011

Plan

- La SUperSYmétrie : comment et pourquoi?
- Le détecteur CMS au LHC
- Recherche de SUSY sur CMS
- Interprétation des résultats et perspectives

La supersymétrie (en une page)

- Nouvelle symétrie fondamentale entre bosons et fermions

$$Q | \text{Boson} \rangle = | \text{Fermion} \rangle$$

$$Q | \text{Fermion} \rangle = | \text{Boson} \rangle$$

- Par exemple

$$Q | \text{top} \rangle = | \text{s(calar) top} \rangle$$

$$Q | g \rangle = | \tilde{g} \rangle$$

- Chaque multiplet du modèle standard est doublé en taille

► cela donne le “**Minimal Supersymmetric Standard Model**” (**MSSM**)

► **conservation de SUSY** : les membres d'un multiplet ont la même masse

$$m_\ell = m_{\tilde{\ell}}$$

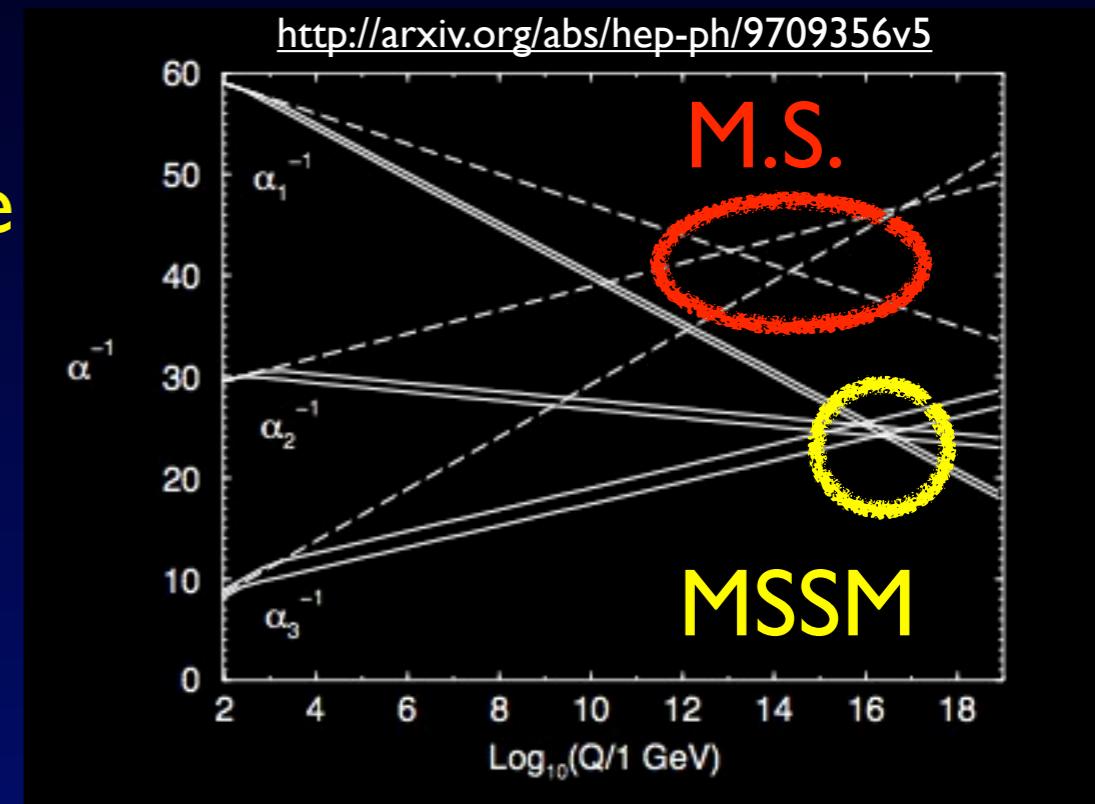
- SUSY n'est pas conservée : les partenaires SUSY sont *lourds*

► mais “**parité de matière**” \Rightarrow le **nombre de superparticules est conservé**

■ **la superparticule la plus légère (LSP) est stable**

Supersymétrie: quel intérêt?

- Stabilisation de la masse du boson de Higgs (corrections radiatives)
- Unification des constantes de couplage
- Candidat pour la matière noire



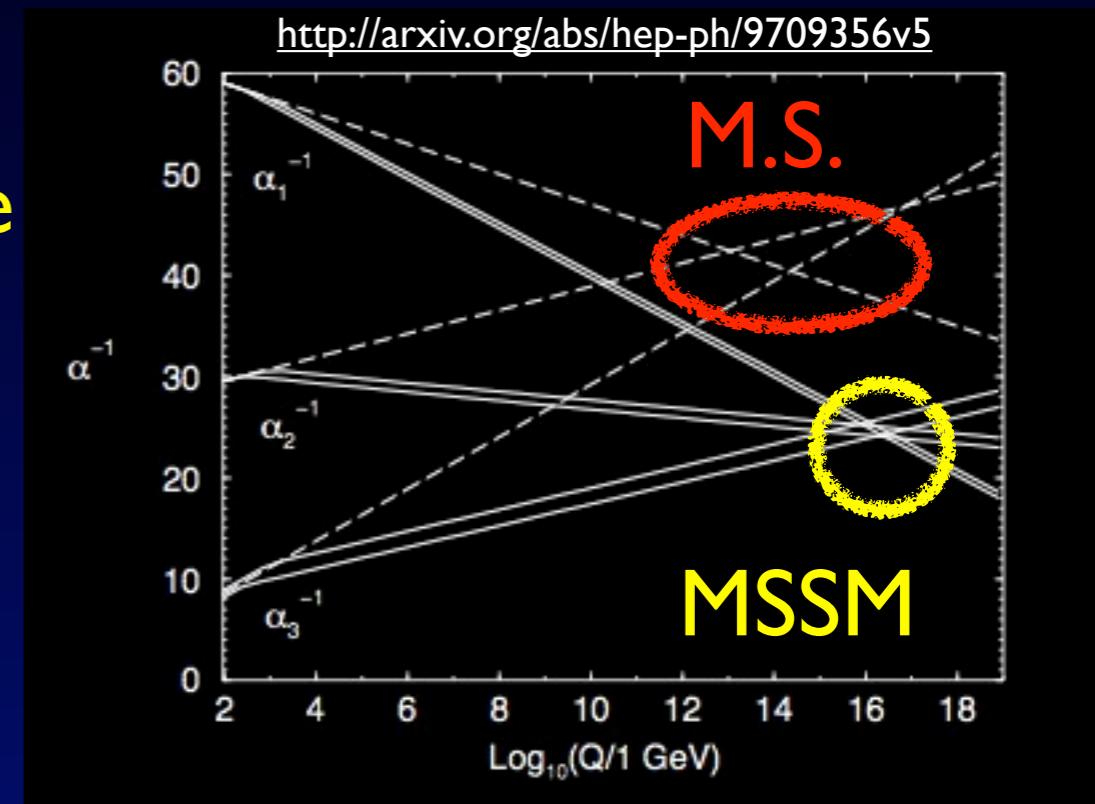
Supersymétrie: quel intérêt?

- Stabilisation de la masse du boson de Higgs (corrections radiatives)

- Unification des constantes de couplage

- Candidat pour la matière noire

- Cette théorie fait couler de l'encre depuis 40 ans : il est du devoir des expérimentateurs de la confronter à la réalité...



Vers une phénoménologie SUSY

- Le MSSM a 124 paramètres...
- Simplification du modèle :
 - ▶ **hypothèses sur le mécanisme de brisure de SUSY**
 - ▶ **quelques paramètres définis à l'échelle d'unification (GUT)**
 - ▶ **génération du spectre de masse et des couplages à l'échelle m_Z (éq. du groupe de renormalisation)**
 - ▶ **Exemple: CMSSM**
 - $M_{1/2}$ – masse des jauginos (sfermions)
 - M_0 – masse des scalaires
 - A_0 – couplage trilinéaire
 - $\tan\beta$ – rapport des VMV bosons de Higgs

Vers une phénoménologie SUSY

- Le MSSM a 124 paramètres...

- Simplification du modèle :

- hypothèses sur le mécanisme de brisure de SUSY**

- quelques paramètres définis à l'échelle d'unification (GUT)**

- génération du spectre de masse et des couplages à l'échelle m_Z (éq. du groupe de renormalisation)**

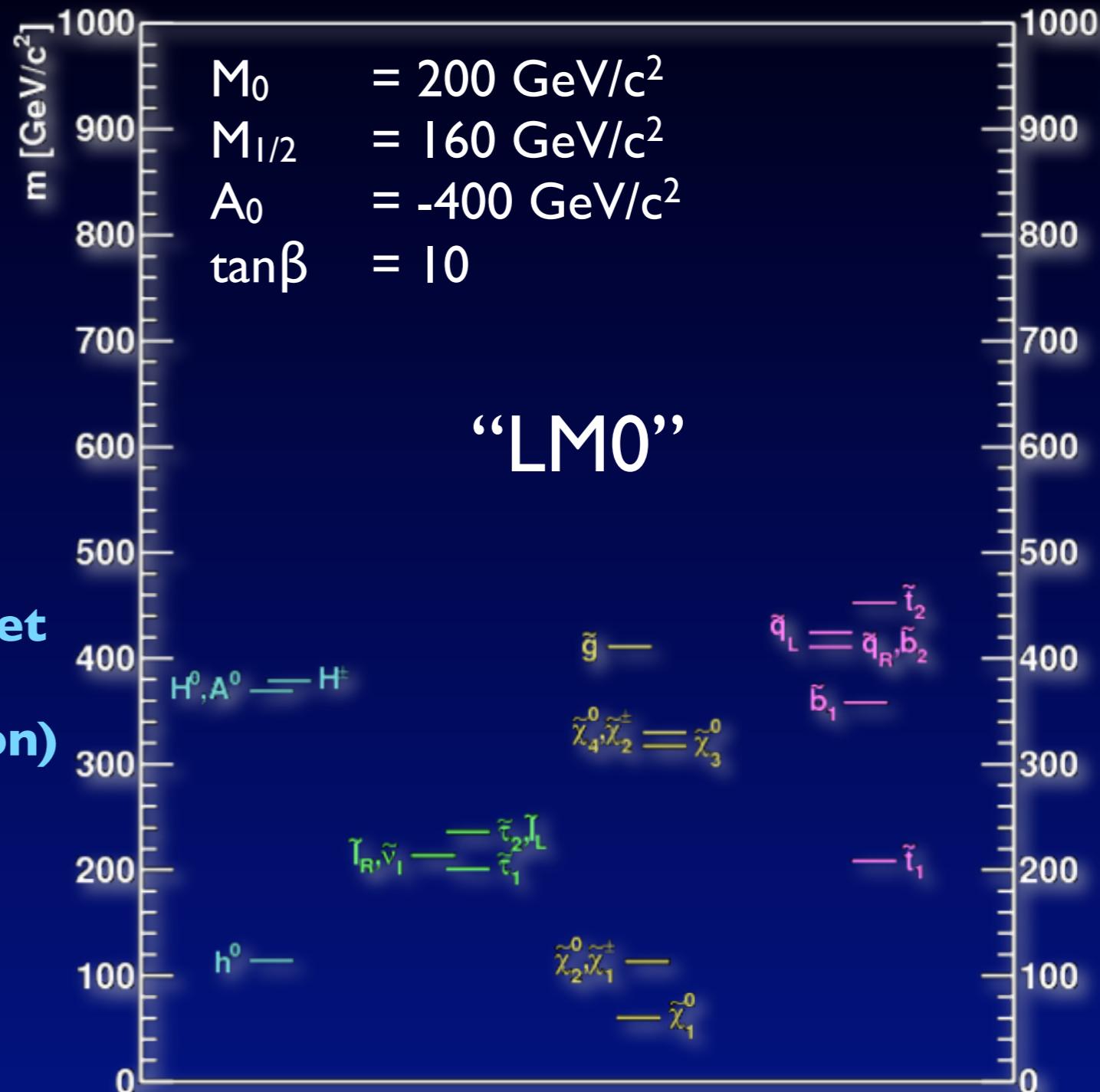
- Exemple: CMSSM**

- $M_{1/2}$ – masse des jauginos (sfermions)

- M_0 – masse des scalaires

- A_0 – couplage trilinéaire

- $\tan\beta$ – rapport des VMV bosons de Higgs

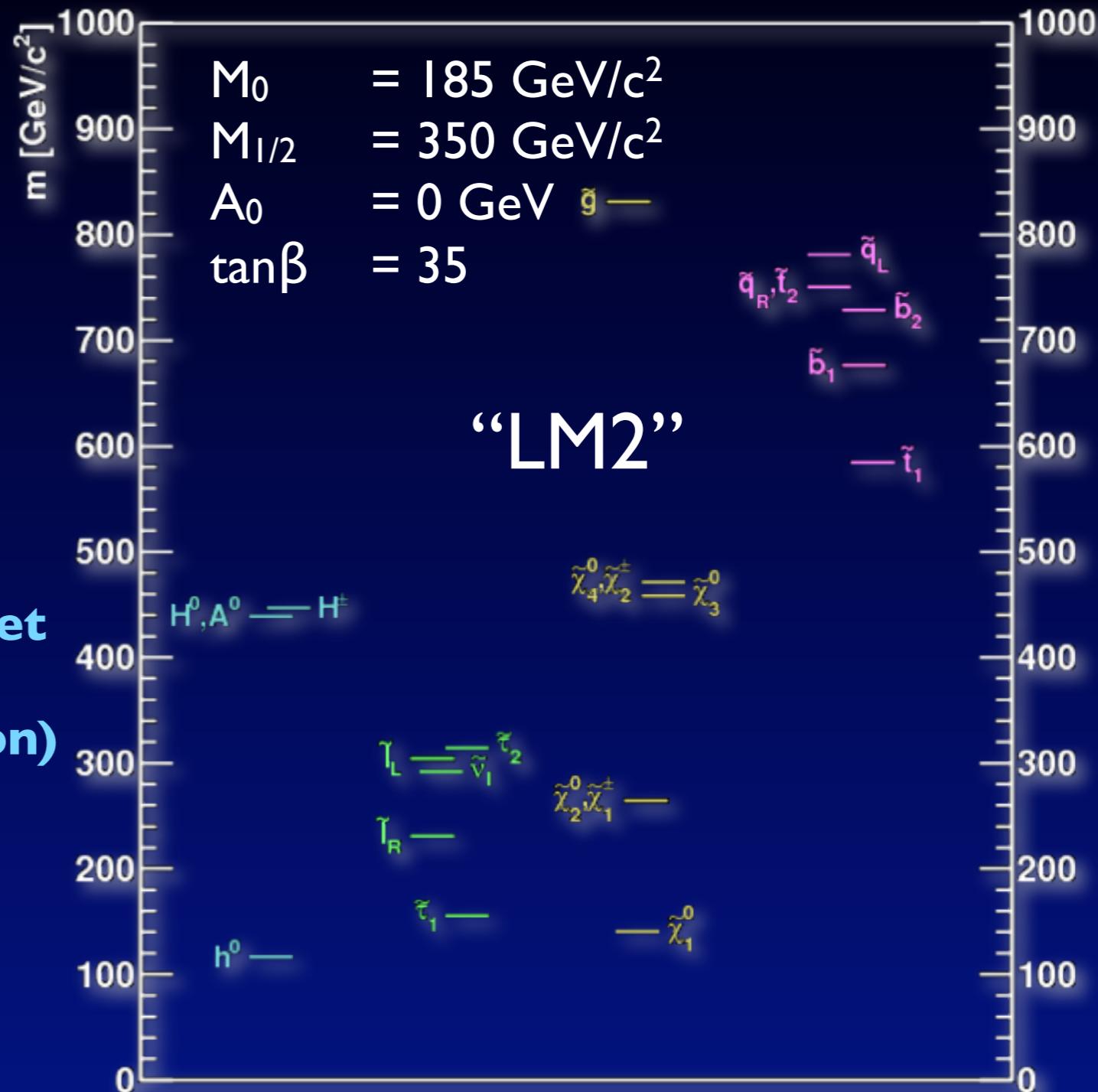


Vers une phénoménologie SUSY

- Le MSSM a 124 paramètres...

- Simplification du modèle :

- ▶ **hypothèses sur le mécanisme de brisure de SUSY**
- ▶ **quelques paramètres définis à l'échelle d'unification (GUT)**
- ▶ **génération du spectre de masse et des couplages à l'échelle m_Z (éq. du groupe de renormalisation)**
- ▶ **Exemple: CMSSM**
 - $M_{1/2}$ – masse des jauginos (sfermions)
 - M_0 – masse des scalaires
 - A_0 – couplage trilinéaire
 - $\tan\beta$ – rapport des VMV bosons de Higgs



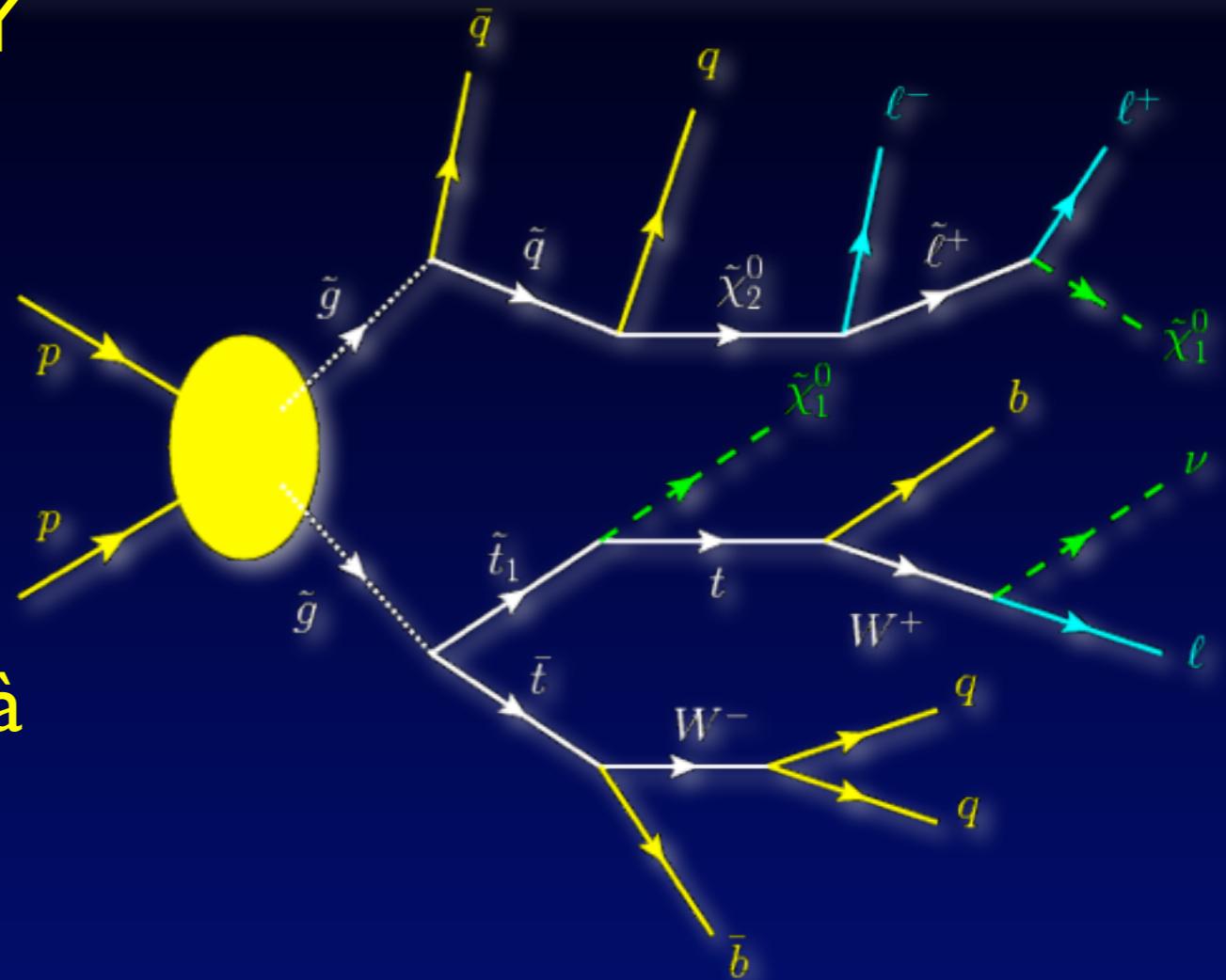
A la recherche de SUSY au LHC

- Topologie d'un événement SUSY

- ▶ **important dégagement d'énergie**
- ▶ **grand nombre de jets**
- ▶ **leptons à bas p_T**
- ▶ **énergie manquante (MET)**

- Les recherches SUSY touchent à tous les aspects de la reconstruction

- ▶ **électrons, photons et muons**
- ▶ **jets, activité hadronique**
- ▶ **énergie manquante**



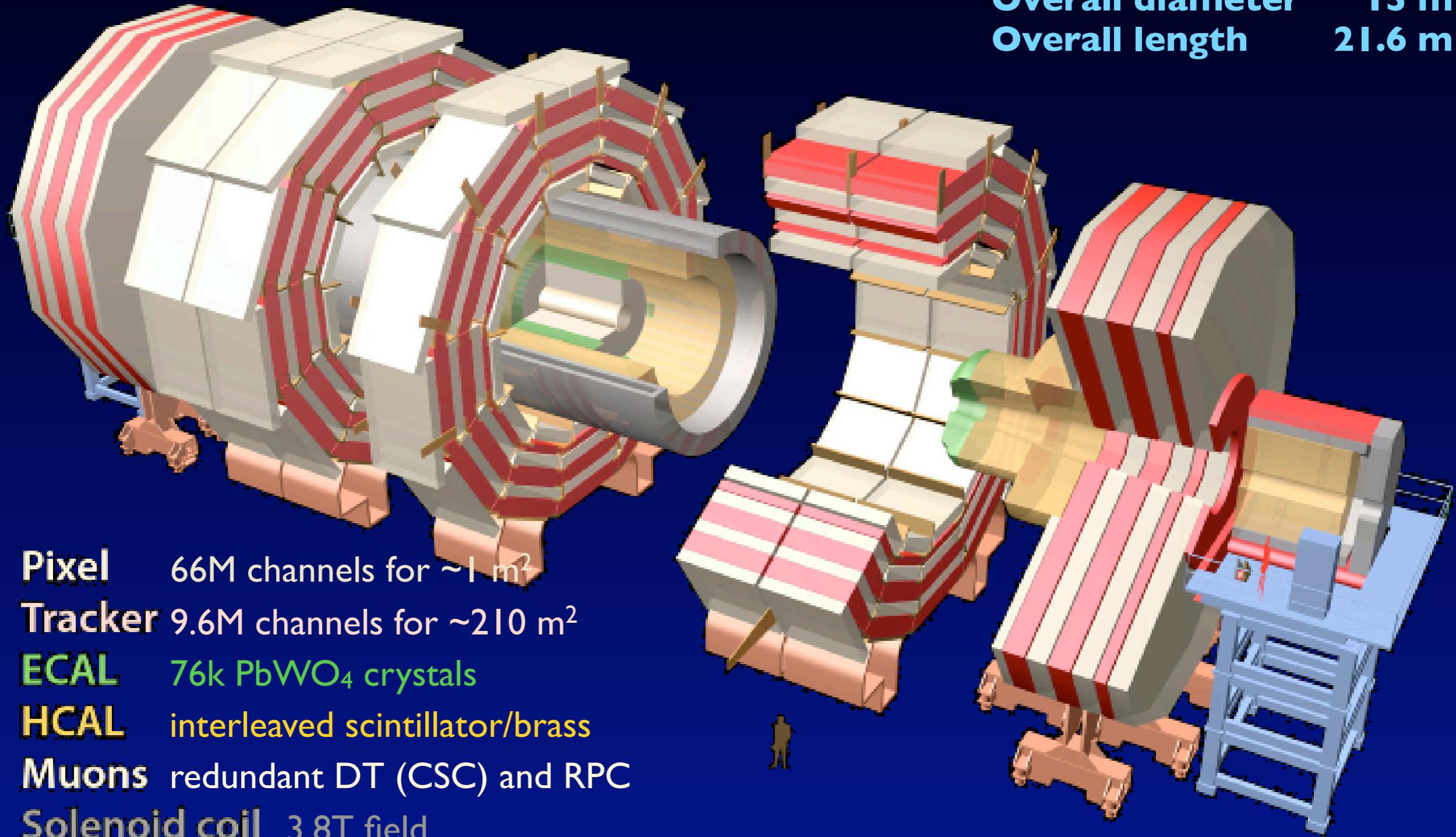
Un événement SUSY “typique”
nombreux jets, leptons et énergie manquante

N.B. Il s'agit de rester aussi indépendant que possible d'un modèle particulier

CMS

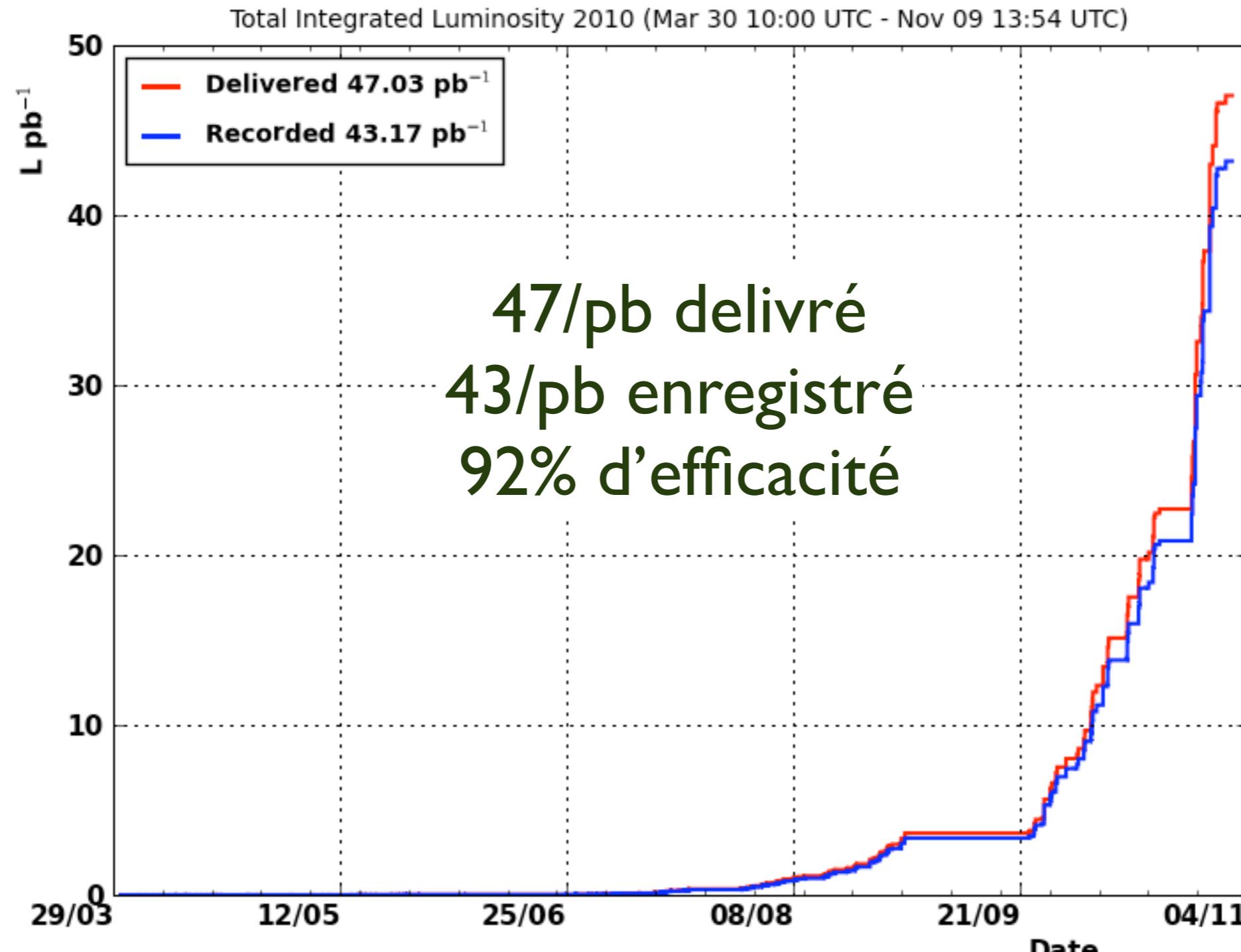
The Compact Muon Solenoid

Total weight 12500 t
Overall diameter 15 m
Overall length 21.6 m

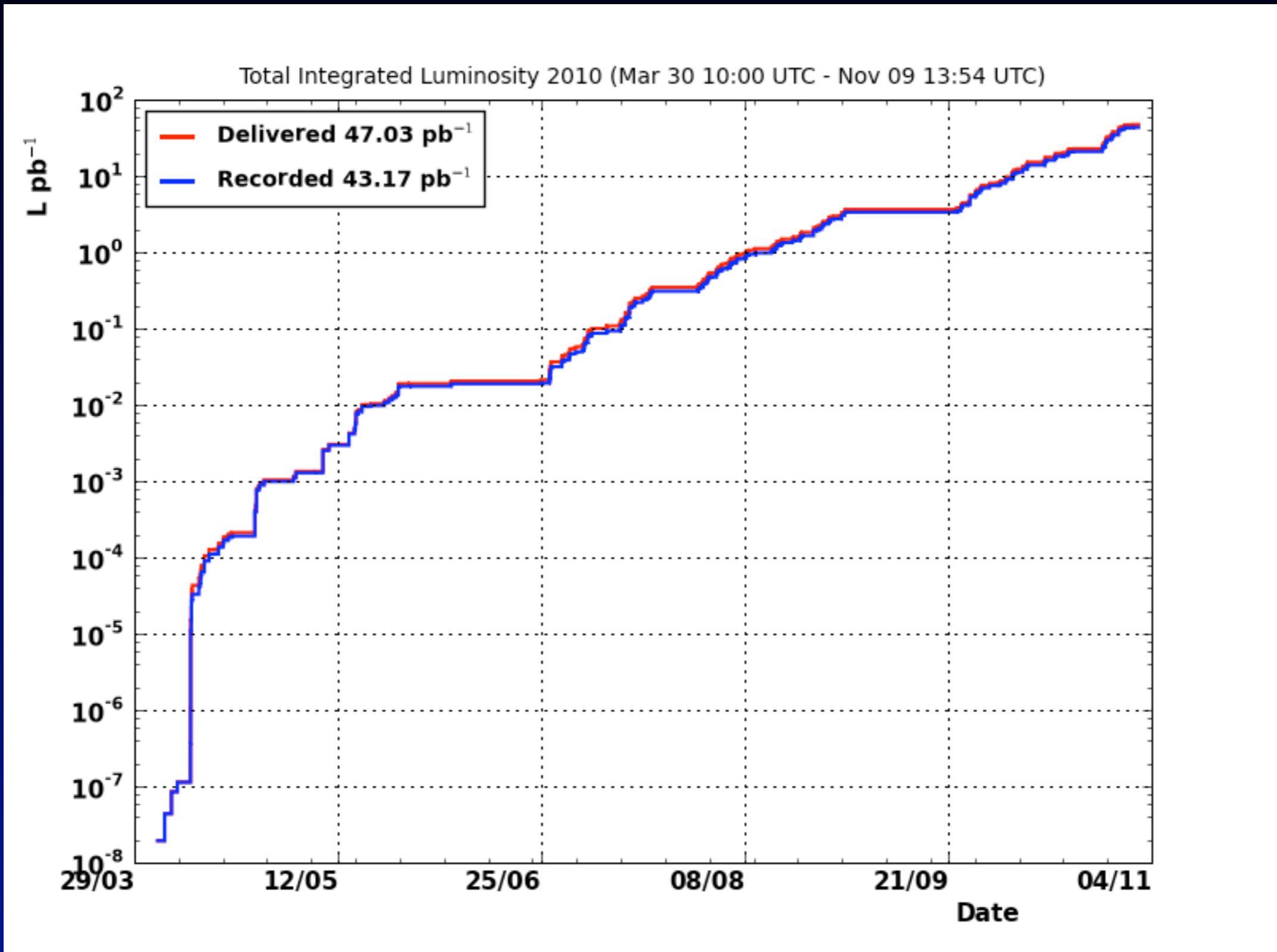


L'échantillon 2010

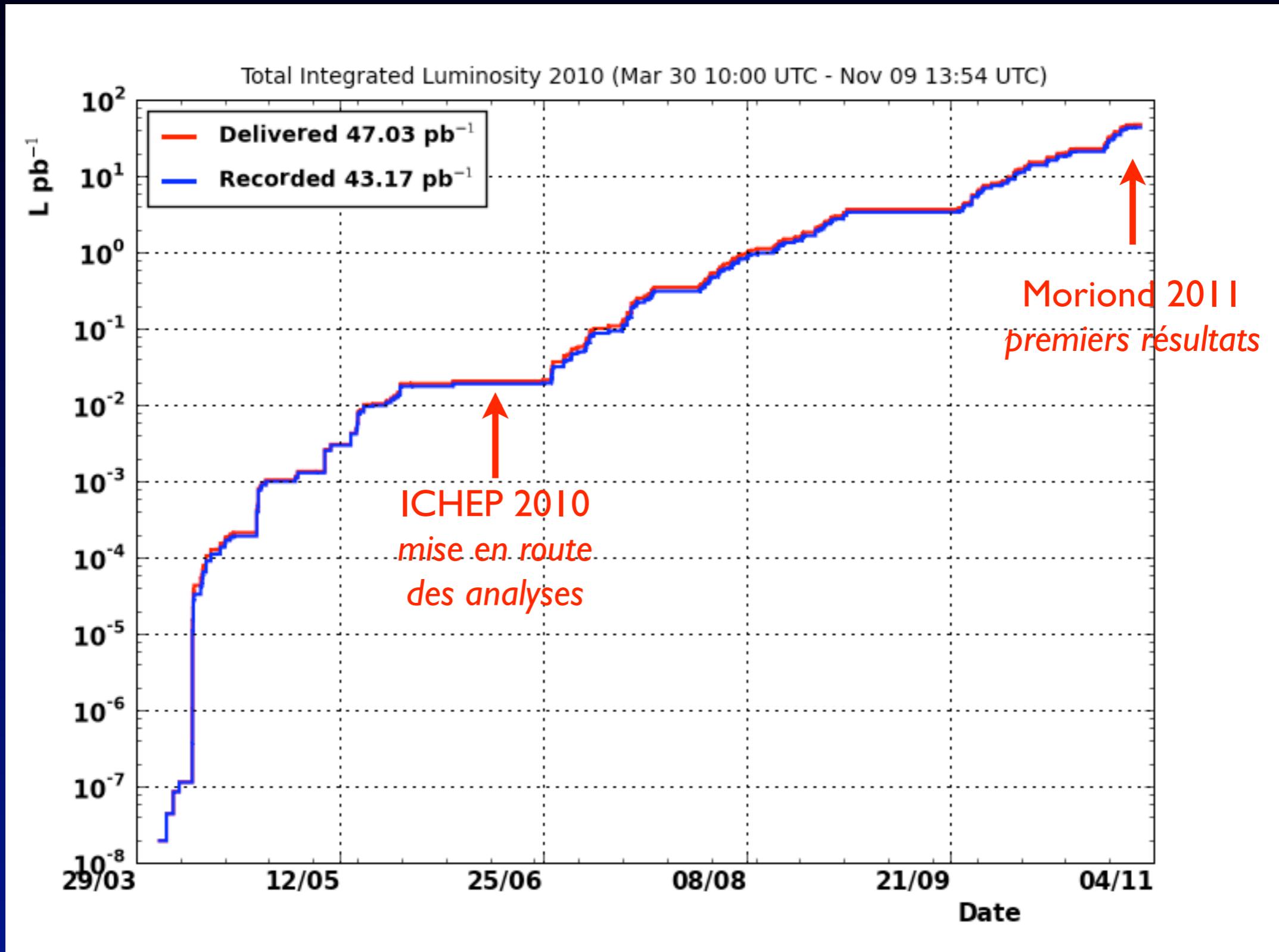
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/LumiPublicResults2010>



L'échantillon 2010

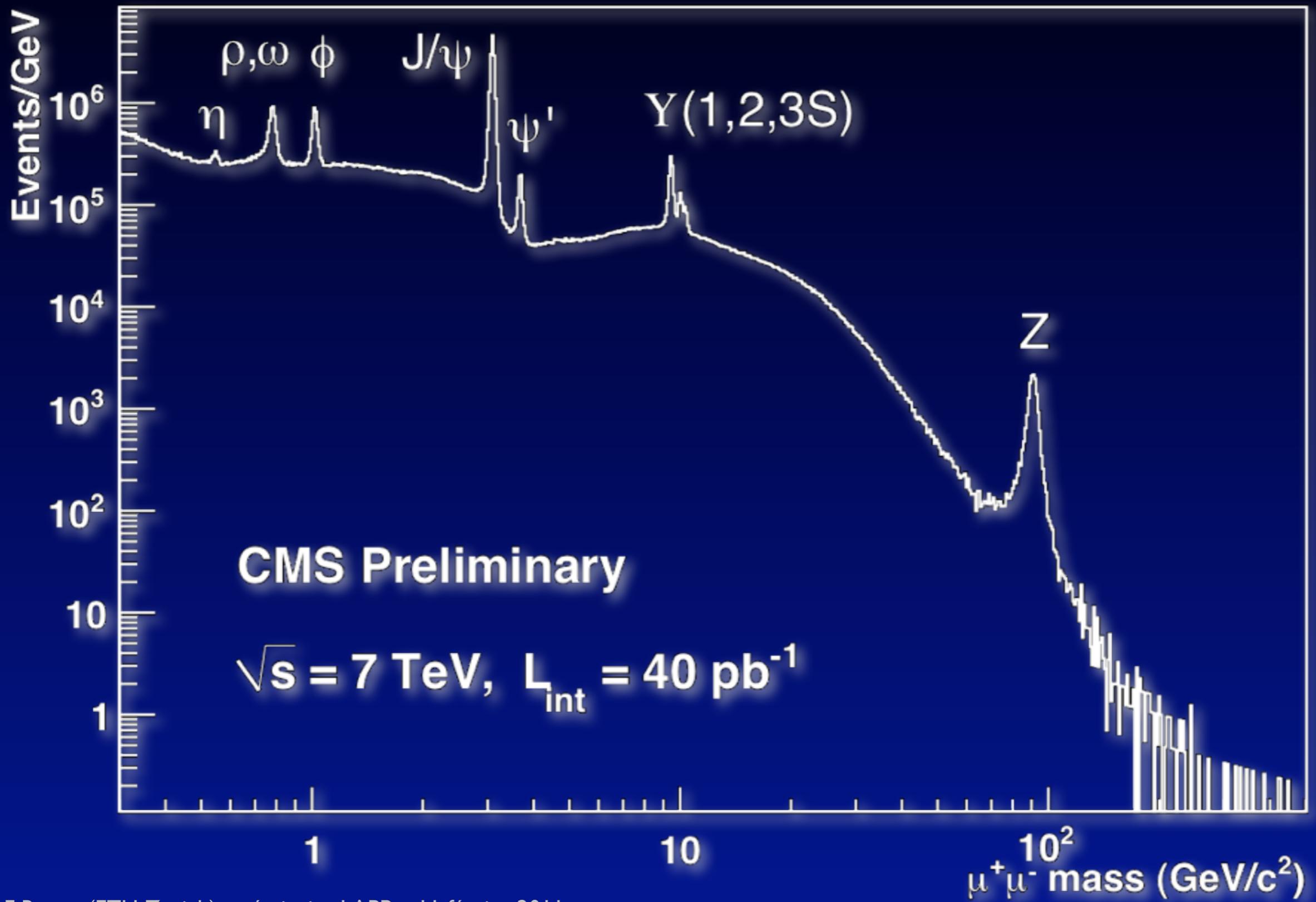


L'échantillon 2010



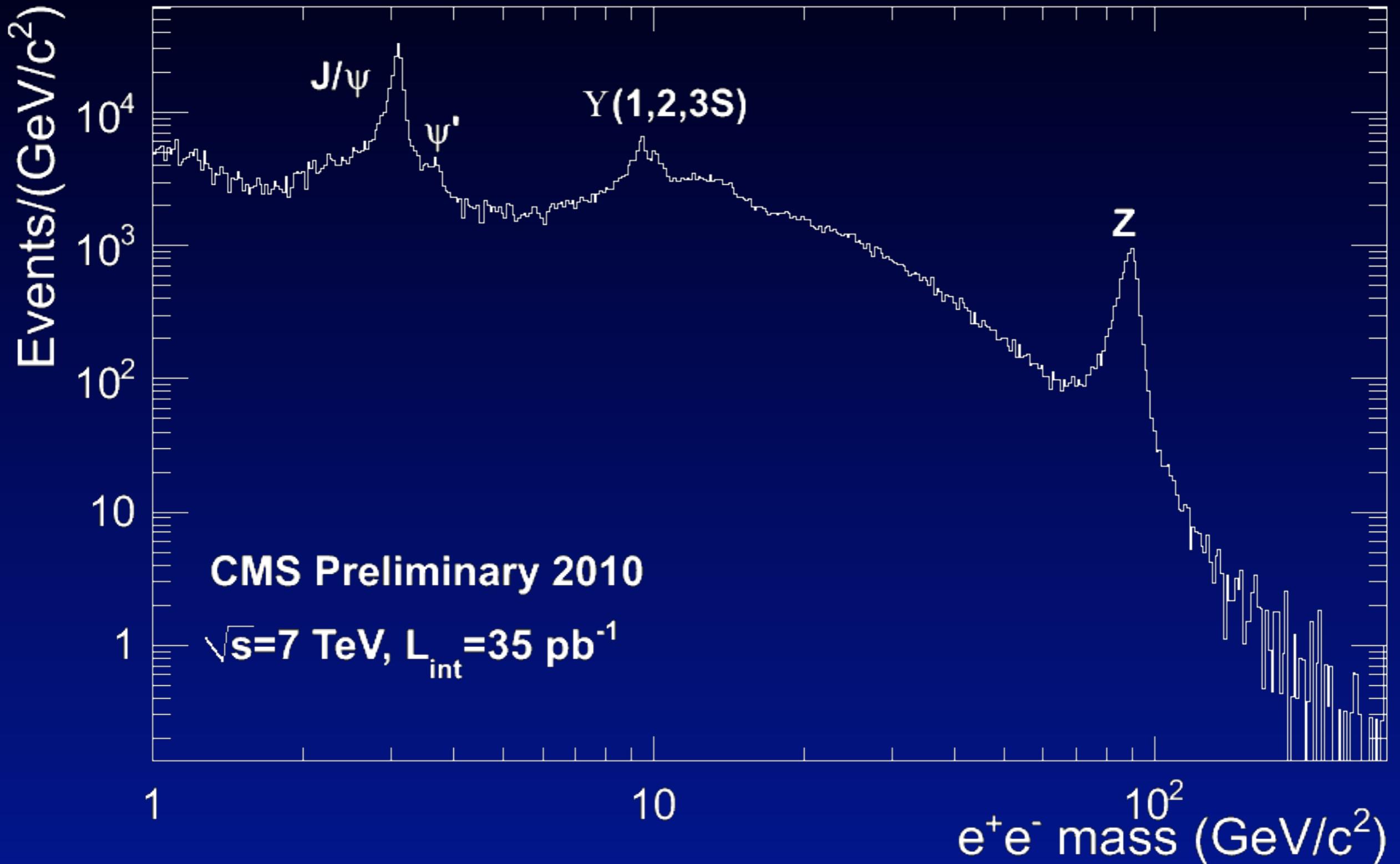
Muons...

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/PhysicsResultsMUO>



Electrons!

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/PhysicsResultsEGM>



Jets

- 4 types reconstruction complémentaires

- ▶ jets calorimétriques (CaloJets)

- à partir des seuls dépôts calo.

- ▶ jets de traces (Track jets)

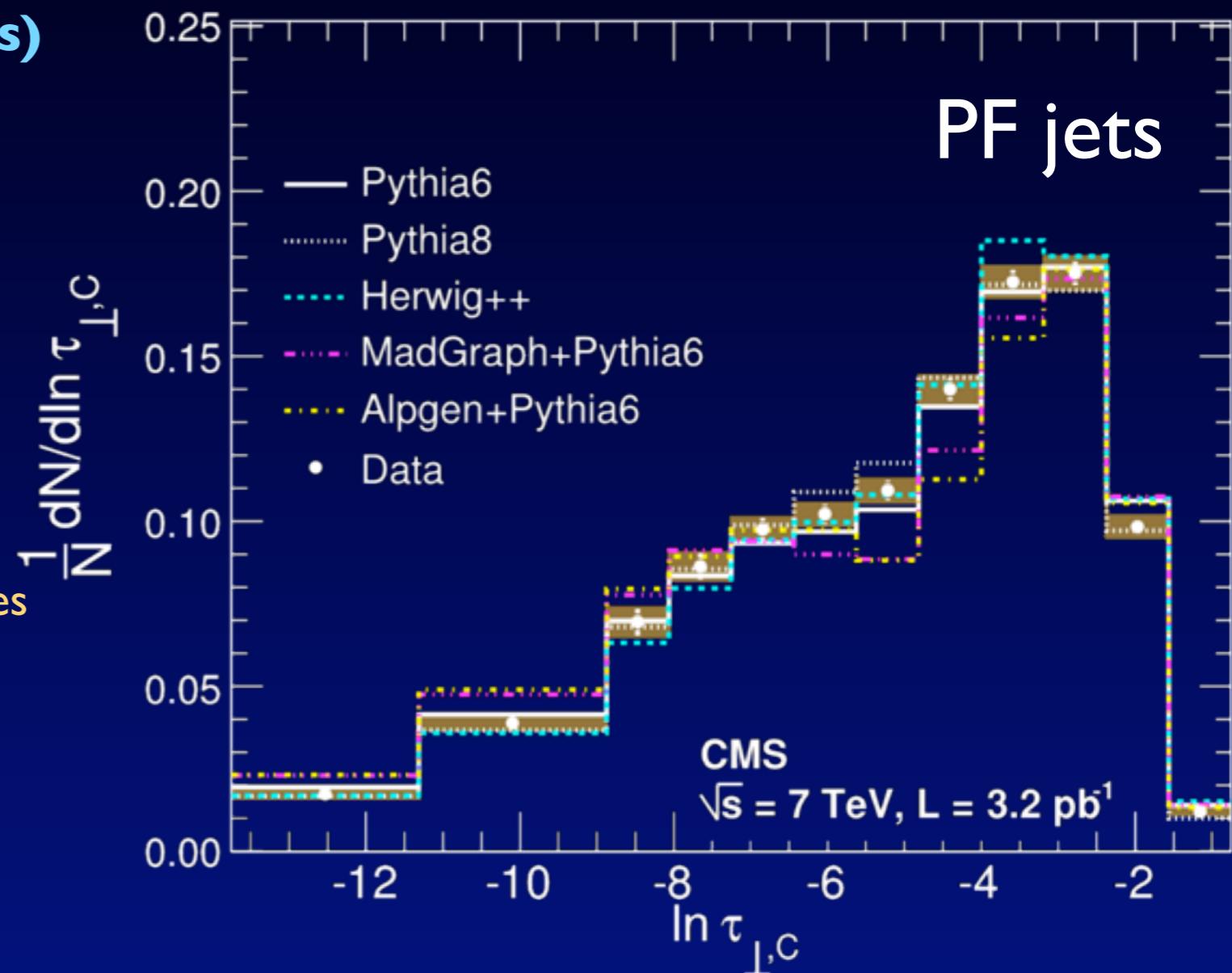
- à partir du trajectographe seul

- ▶ jets et traces (JPT jets)

- soustraction de la réponse calo. des CaloJet, remplacée par les traces

- ▶ flux de particule (PF jets)

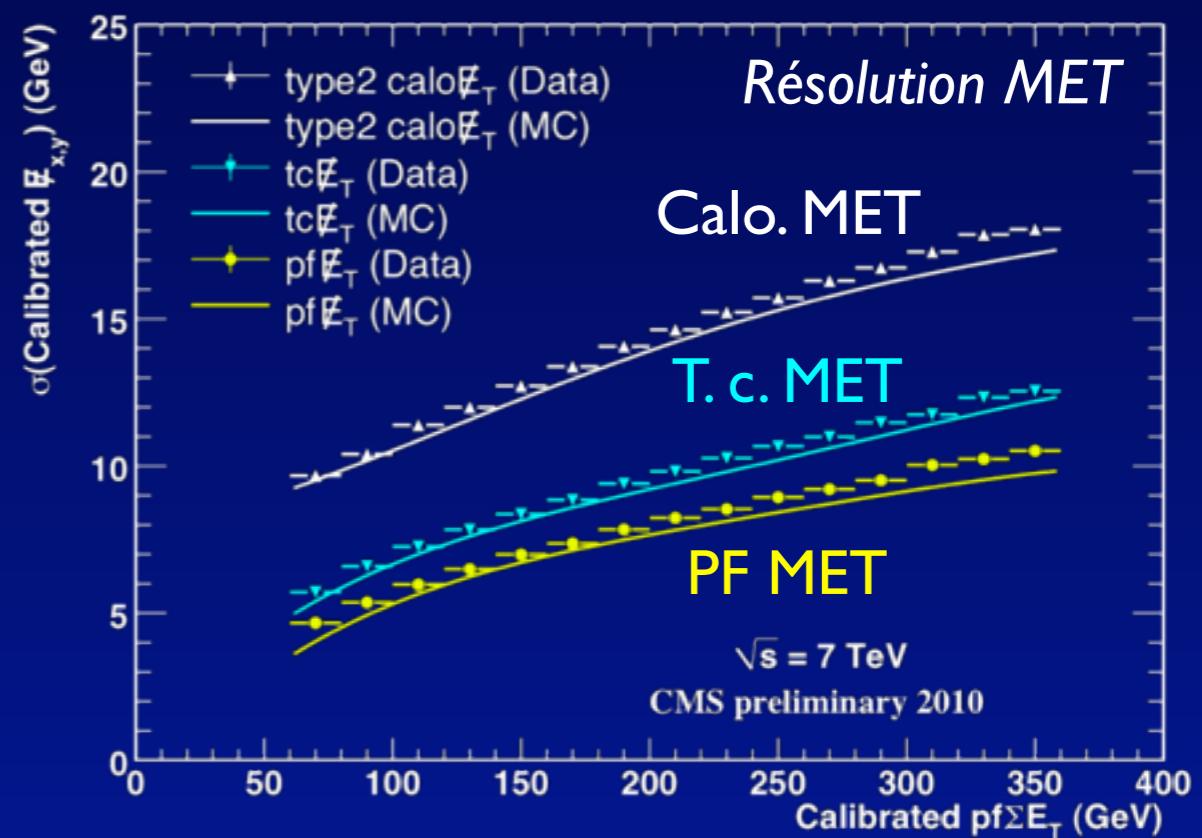
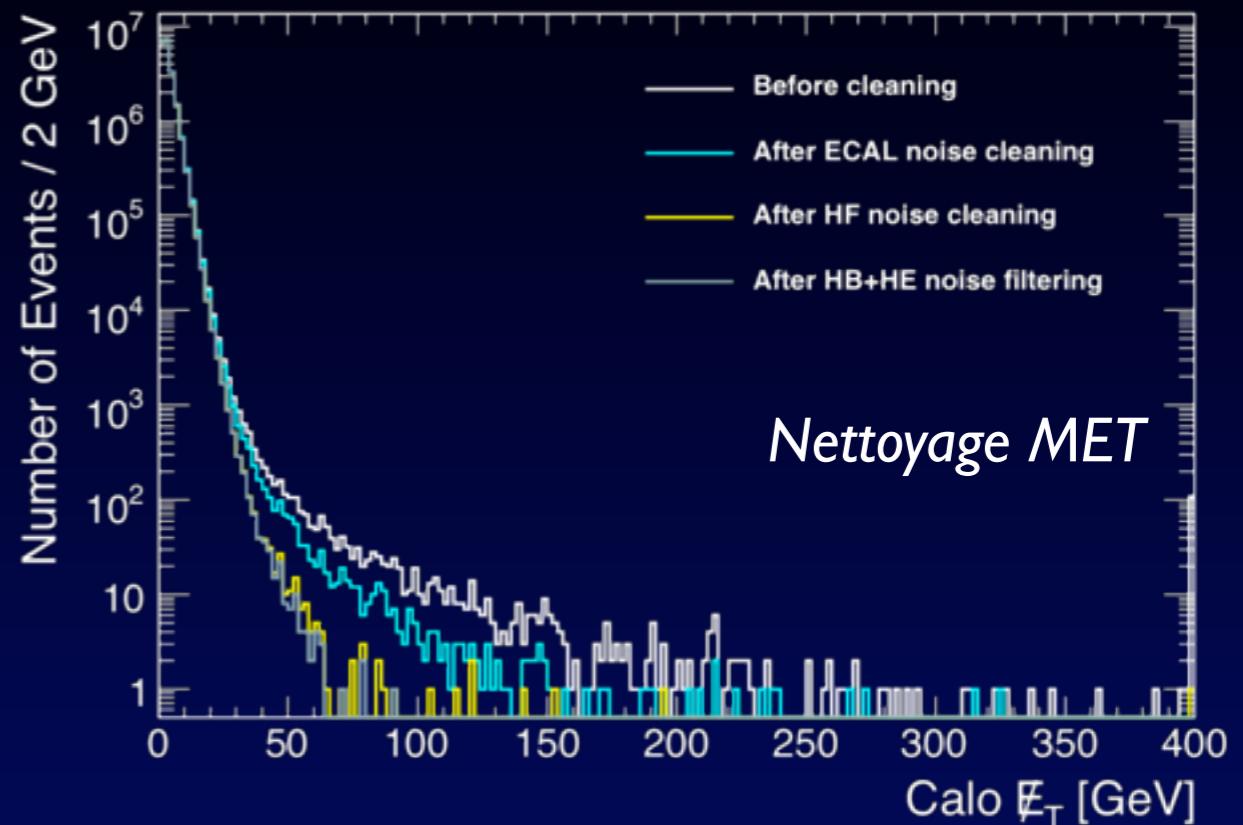
- reconstruction individuelle des particules par combinaison d'info. de tous les sous-détecteurs



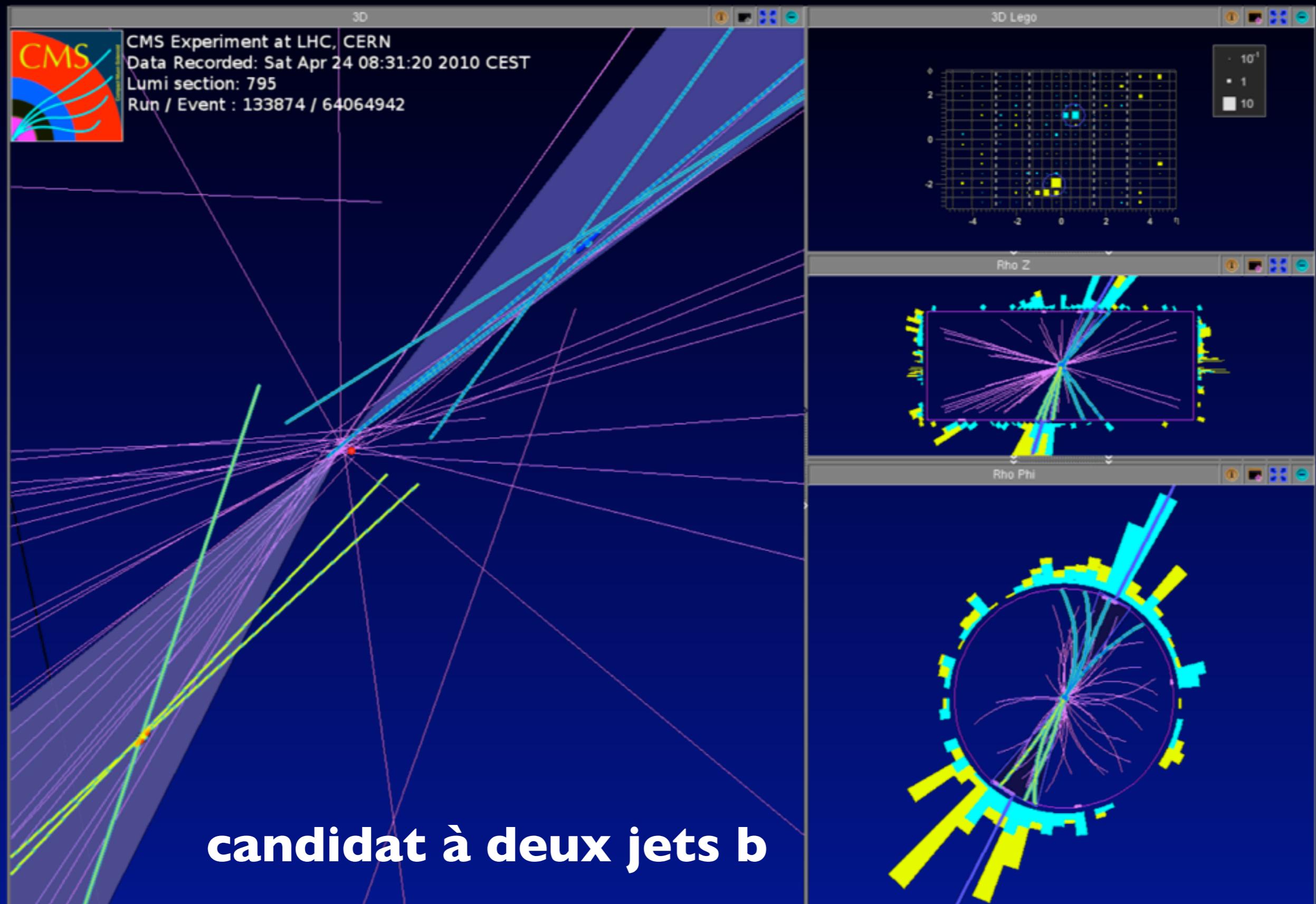
“QCD Event shape”, comparaison données/MC
Mesure du flux d'énergie dans les événements multi-jets

Energie manquante (MET)

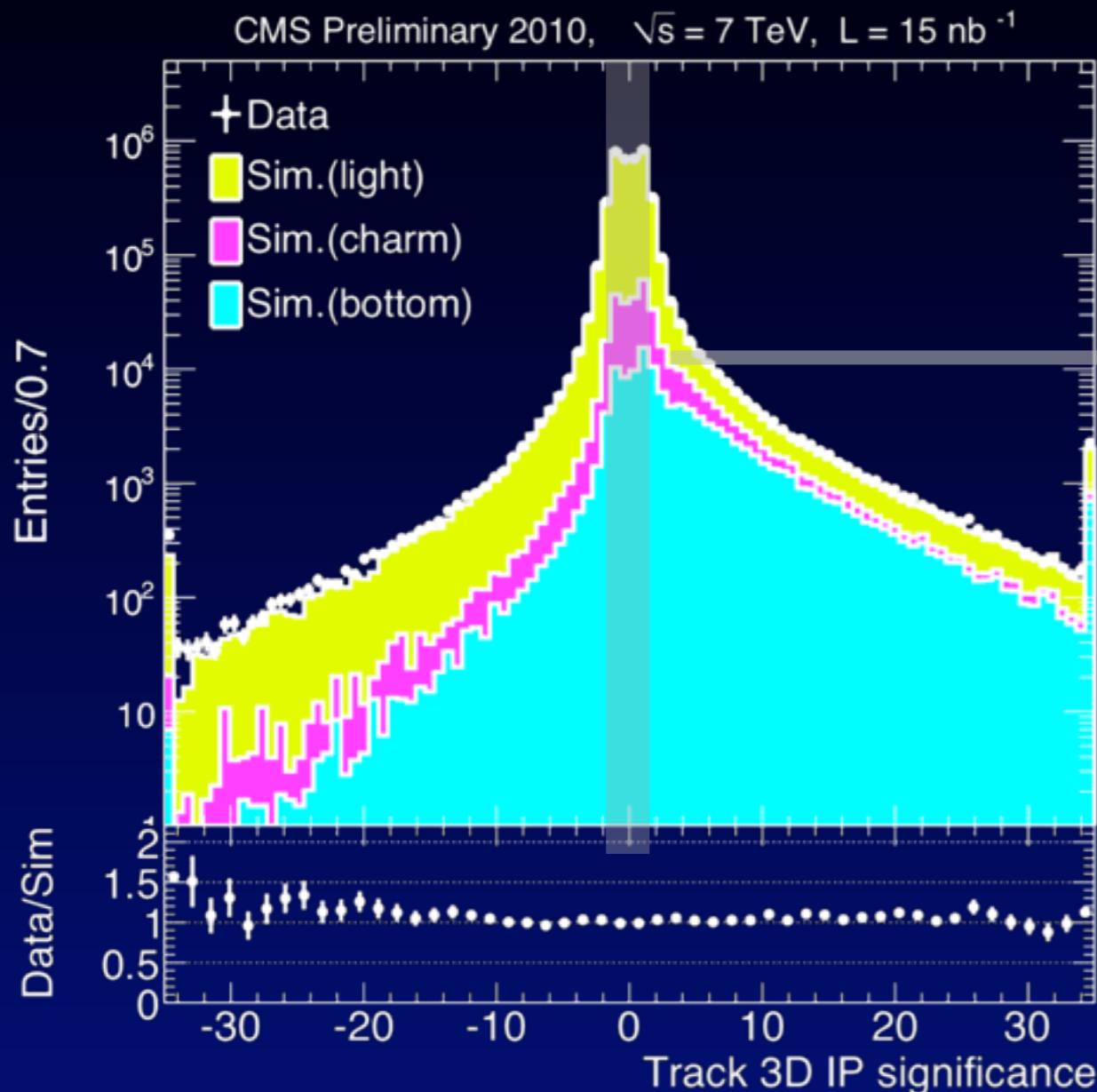
- Trois types de MET
 - ▶ correspondant aux reconstructions calo. jet, JPT jet et PF jet
- Pas de MET (significative) dans les évén. “minimum bias”
 - ▶ nettoyage bas niveau du bruit
 - crucial pour les recherches SUSY (et autres)
 - efficace contre le bruit dans les queues
- Résolution MET en fct. de $\Sigma(E_T)$
 - ▶ démontre l'intérêt de combiner l'information des sous-détecteurs
 - comme le prédit le Monte Carlo...



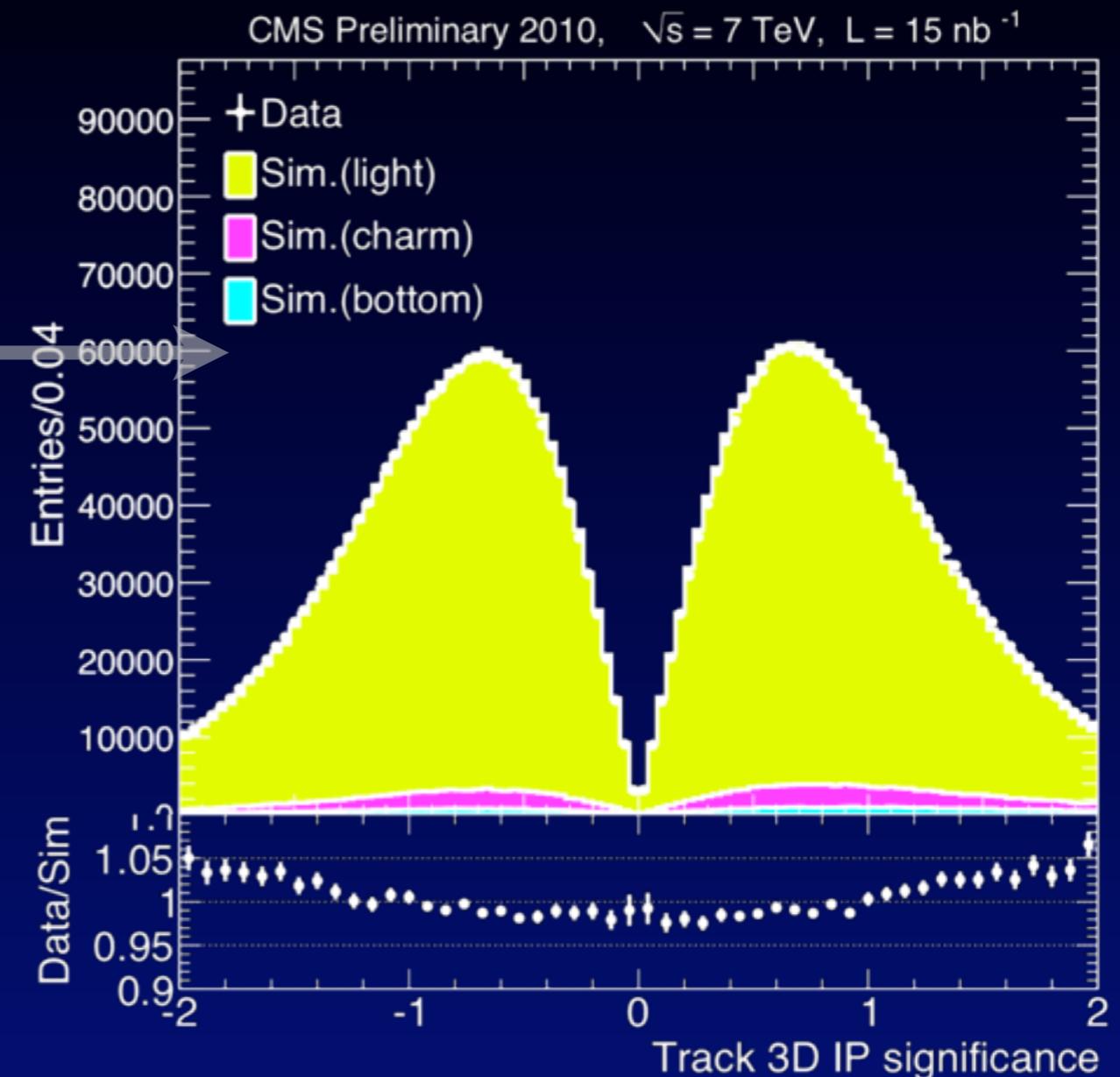
Juste encore une dernière chose...



Etiquetage des jets b



Signif. stat. du paramètre d'impact 3D
Comparaison entre données et simulation



Idem (détail, échelle linéaire)
Distribution symétrique
pour les temps de vie courts

► crucial pour bien des recherches SUSY (nombreux jets b)

(Un début de)
Recherches SUSY

Recherches SUSY sur CMS

● Rappel

- ▶ **important dégagement d'énergie**
- ▶ **grand nombre de jets**
- ▶ **leptons à bas p_T**
- ▶ **énergie manquante (MET)**

● Stratégie

- ▶ **supprimer les processus standard (“bruit de fond”)**
- ▶ **estimer les processus restant**
 - à l'aide de techniques exploitant uniquement les données
- ▶ **la nouvelle physique se manifeste comme un “excès”**

# leptons	Recherches hadroniques			Recherches leptoniques		
	0	1	2 SS	2 OS	3	
Bruits de fond principaux	QCD ttbar W+jets	ttbar W+jets QCD	faux leptons (ttbar)	ttbar Z+jets	faux leptons (ttbar)	

Recherches SUSY sur CMS

● Rappel

- ▶ **important dégagement d'énergie**
- ▶ **grand nombre de jets**
- ▶ **leptons à bas p_T**
- ▶ **énergie manquante (MET)**

● Stratégie

- ▶ **supprimer les processus standard (“bruit de fond”)**
- ▶ **estimer les processus restant**
 - à l'aide de techniques exploitant uniquement les données
- ▶ **la nouvelle physique se manifeste comme un “excès”**

# leptons	Recherches hadroniques			Recherches leptoniques		
	0	1	2 SS	2 OS	3	
Bruits de fond principaux	QCD ttbar W+jets	ttbar W+jets QCD	faux leptons (ttbar)	ttbar Z+jets	faux leptons (ttbar)	

➡ différentes stratégies en fonction des états finals (différents b.d.f.)

Recherches SUSY sur CMS

- Rappel

- ▶ **important dégagement d'énergie**
- ▶ **grand nombre de jets**
- ▶ **leptons à bas p_T**
- ▶ **énergie manquante (MET)**

- Stratégie

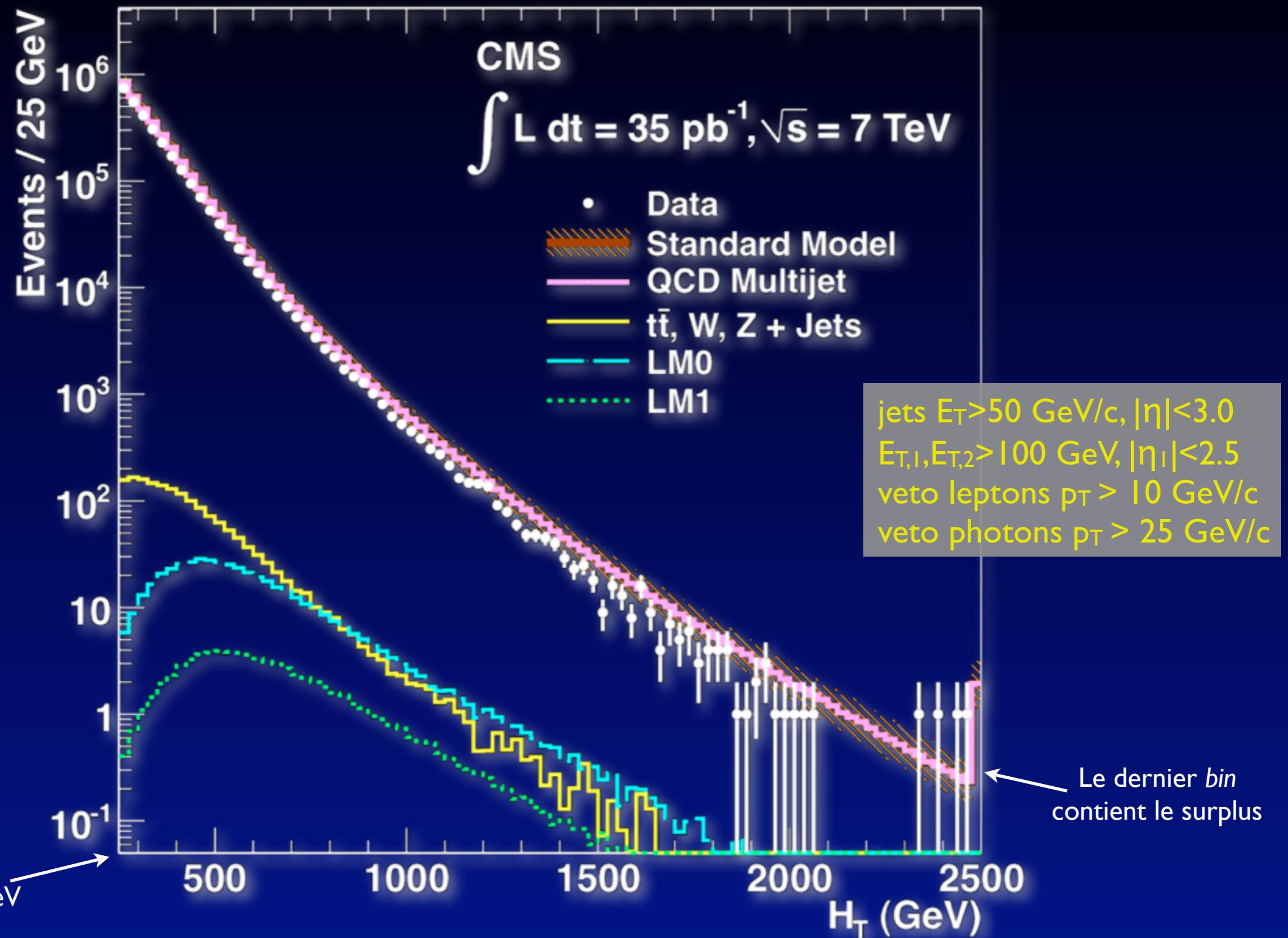
- ▶ **supprimer les processus standard (“bruit de fond”)**
- ▶ **estimer les processus restant**
 - à l'aide de techniques exploitant uniquement les données
- ▶ **la nouvelle physique se manifeste comme un “excès”**

	Recherches hadroniques			Recherches leptoniques		
# leptons	0	1	2 SS	2 OS	3	
Bruits de fond principaux	QCD ttbar W+jets	ttbar W+jets QCD	<i>faux leptons</i> (ttbar)	ttbar Z+jets	<i>faux leptons</i> (ttbar)	

➡ différentes stratégies en fonction des états finals (différents b.d.f.)

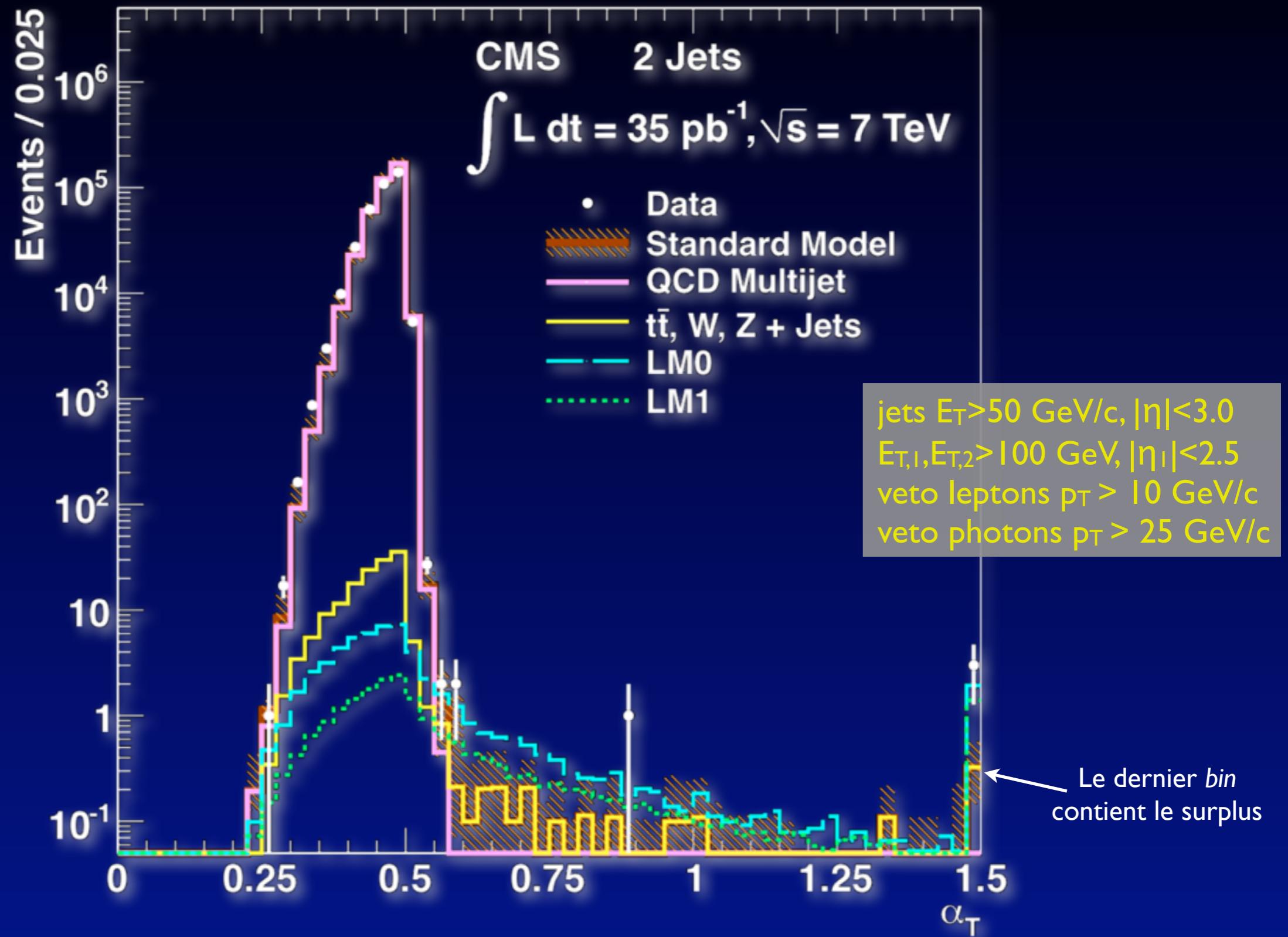
(Un début de)
Recherche SUSY
hadronique

Canaux hadroniques : le problème



Distribution de l'énergie totale des jets dans les données et différents processus simulés

Une solution : la variable α_T



Distribution de la variable α_T dans les événements di-jets des données et de la simulation

Une solution : la variable α_T (suite)

- Evénements à n jets ($n \geq 2$)

- On construit la variable :

$$\alpha_T \equiv \frac{p_{T,2}}{M_T} = \frac{\sqrt{p_{T,2}/p_{T,1}}}{\sqrt{2(1 - \cos \Delta\phi)}}$$

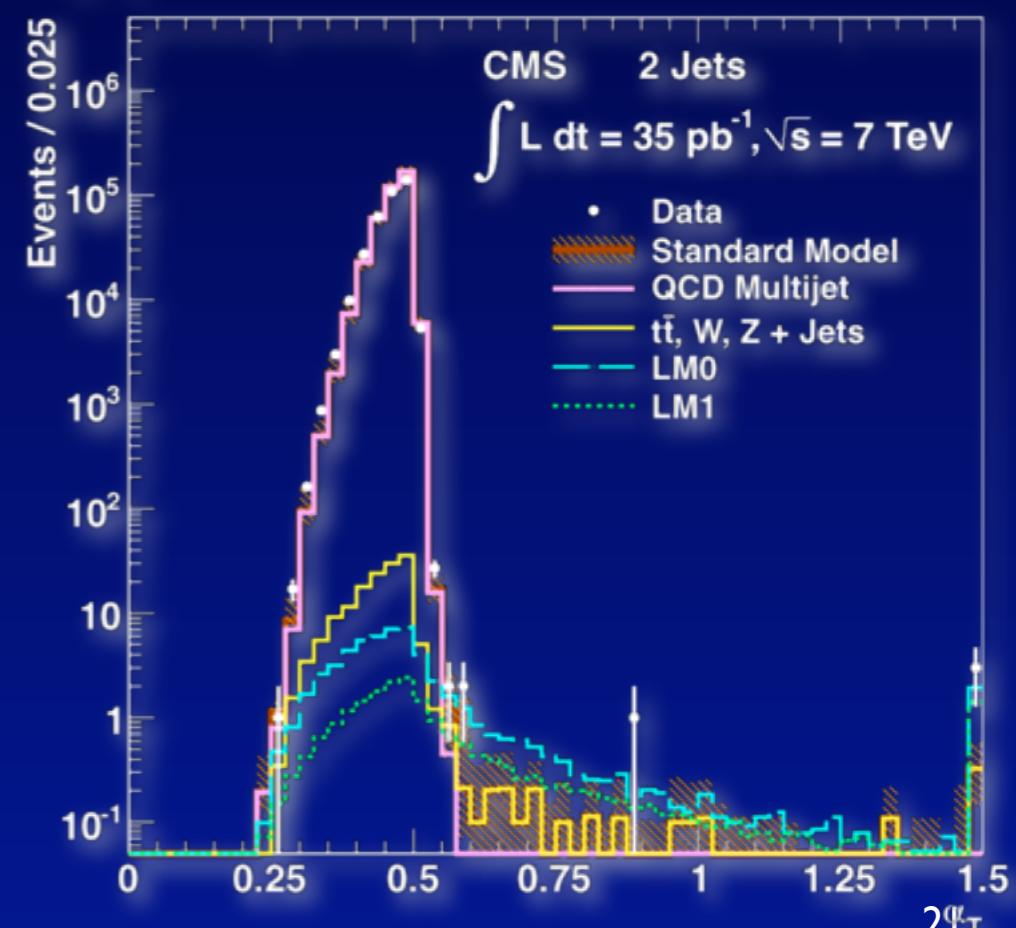
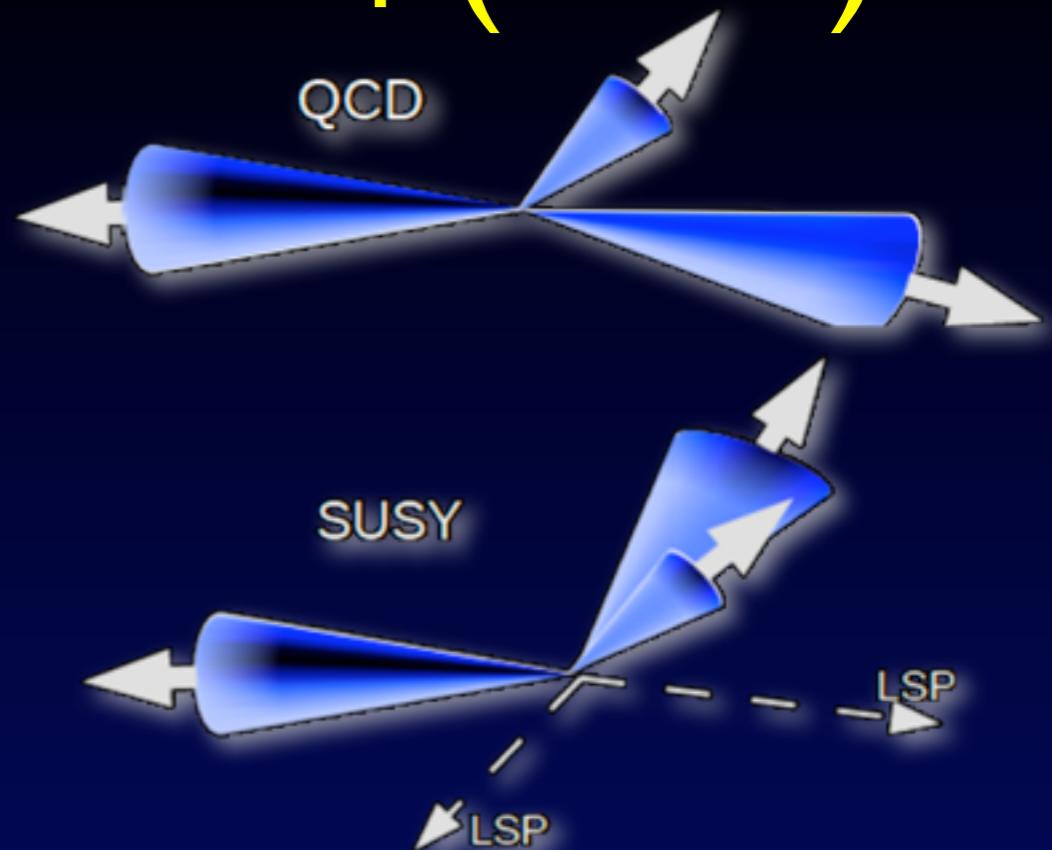
- $\alpha_T = 0.5$ pour des di-jets parfaitement équilibré
 - $\alpha_T < 0.5$ en cas de més-estimation de l'énergie

- Extension à plusieurs jets

- ramené au cas à deux jets par groupement des jets de façon à minimiser la différence d'énergie entre les deux systèmes

- $\alpha_T > 0.5$ si et seulement si :

- présence de MET (SUSY, top, W...)
 - perte d'un jet**
 - sous le seuil de sélection ou dans une zone morte



Suppression de QCD avec α_T

- Suppression du “gros” de QCD

► $\alpha_T > 0.55$, $H_T > 350$ GeV

- Suppression de contamination QCD dans la région $\alpha_T > 0.55$

► jets sous le seuil de sélection

■ comparaison du “recul” des jets sélectionnés (MHT) et de MET

- $MHT/MET < 1.25$

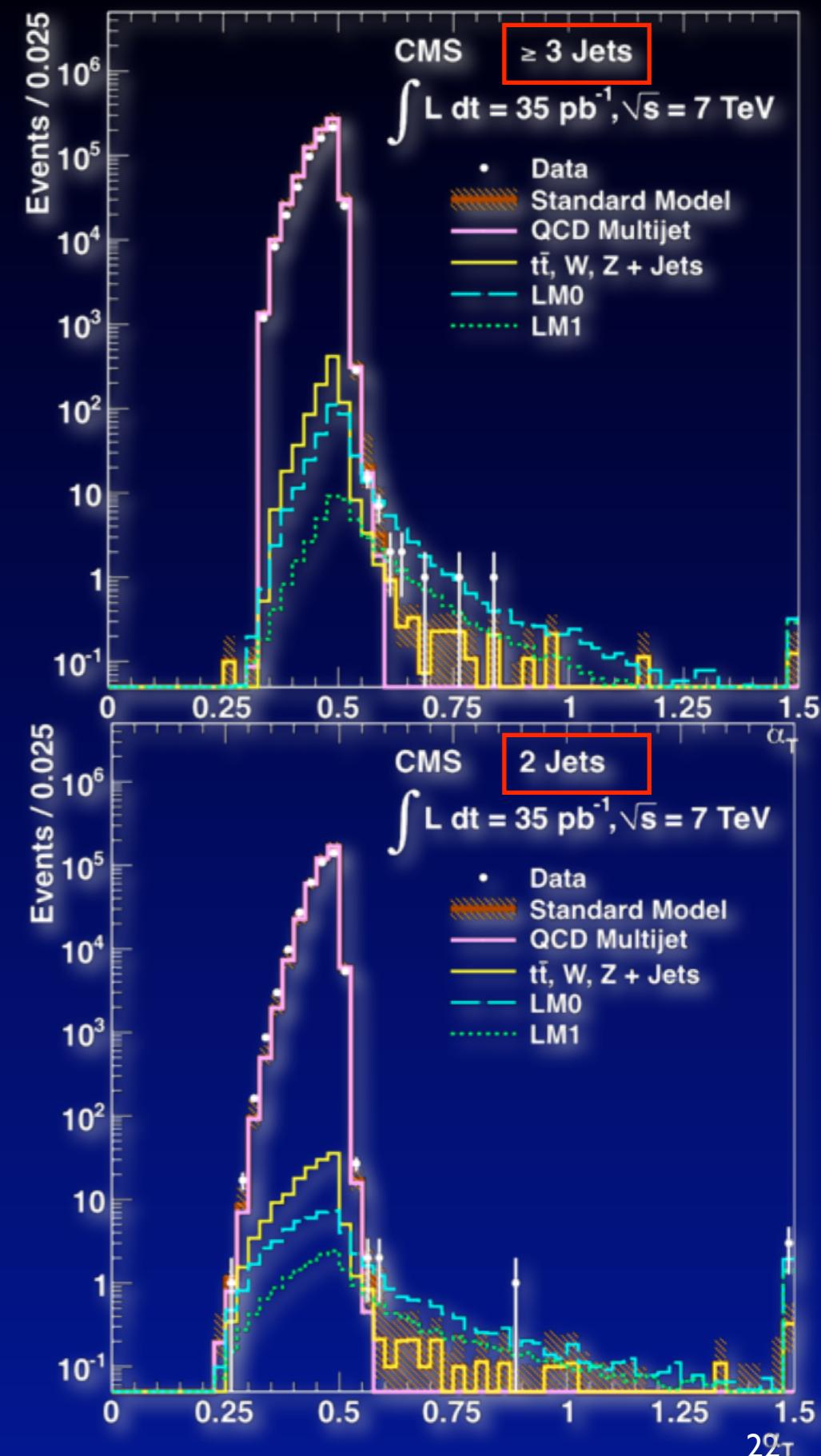
► jets dans une zone morte

■ basé sur $\Delta\phi^*$ (déetecte le jet contribuant à MHT) :

$$\Delta\phi^* = \min_{i,j \in \text{jets}} \angle \left(\vec{p}_T^i, - \sum_{j \neq i} \vec{p}_T^j \right)$$

- suppression d'événements où $\Delta\phi^* < 0.5$ et le jet correspondant est près d'une zone morte

► 13 événements survivent



Estimation du “bruit de fond”

- Etude de la fraction d'év. qui ne passent pas $\alpha_T > 0.55$, R_{α_T}

► indépendant de H_T pour le M.S.

► augmente avec H_T pour SUSY

► R_{α_T} est estimé dans les deux premiers bins H_T (250 et 300 GeV)

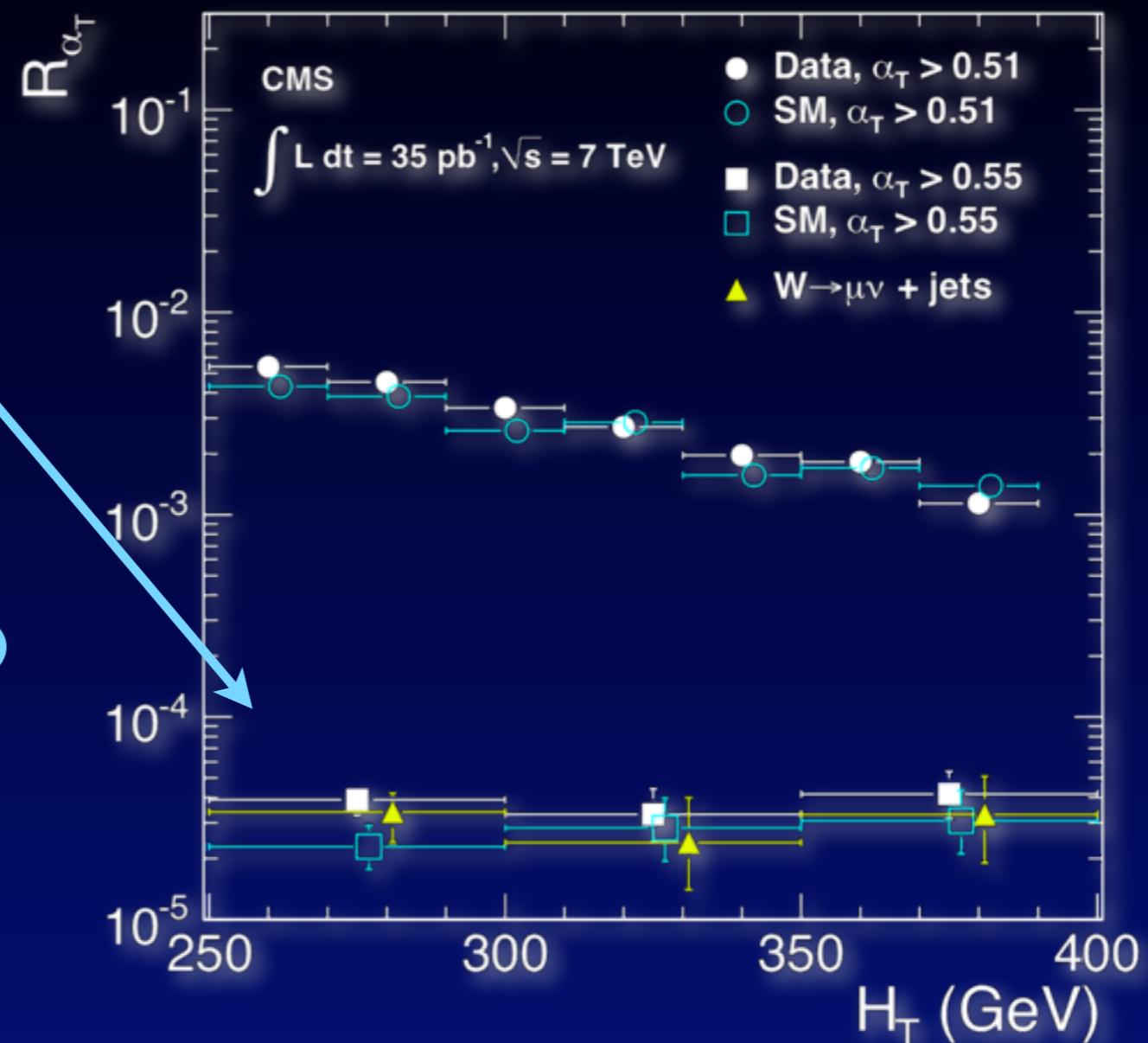
■ en supposant que cette fraction est constante, on estime R_{α_T} dans la région $H_T > 350$ GeV

- Estimation de $W+jets$ et top

► événements $W \rightarrow \mu\nu$

- Estimation de $Z \rightarrow \nu\nu$

► événements $\gamma+jets$



Estimation du “bruit de fond”

- Etude de la fraction d'év. qui ne passent pas $\alpha_T > 0.55$, R_{α_T}

► indépendant de H_T pour le M.S.

► augmente avec H_T pour SUSY

► R_{α_T} est estimé dans les deux premiers bins H_T (250 et 300 GeV)

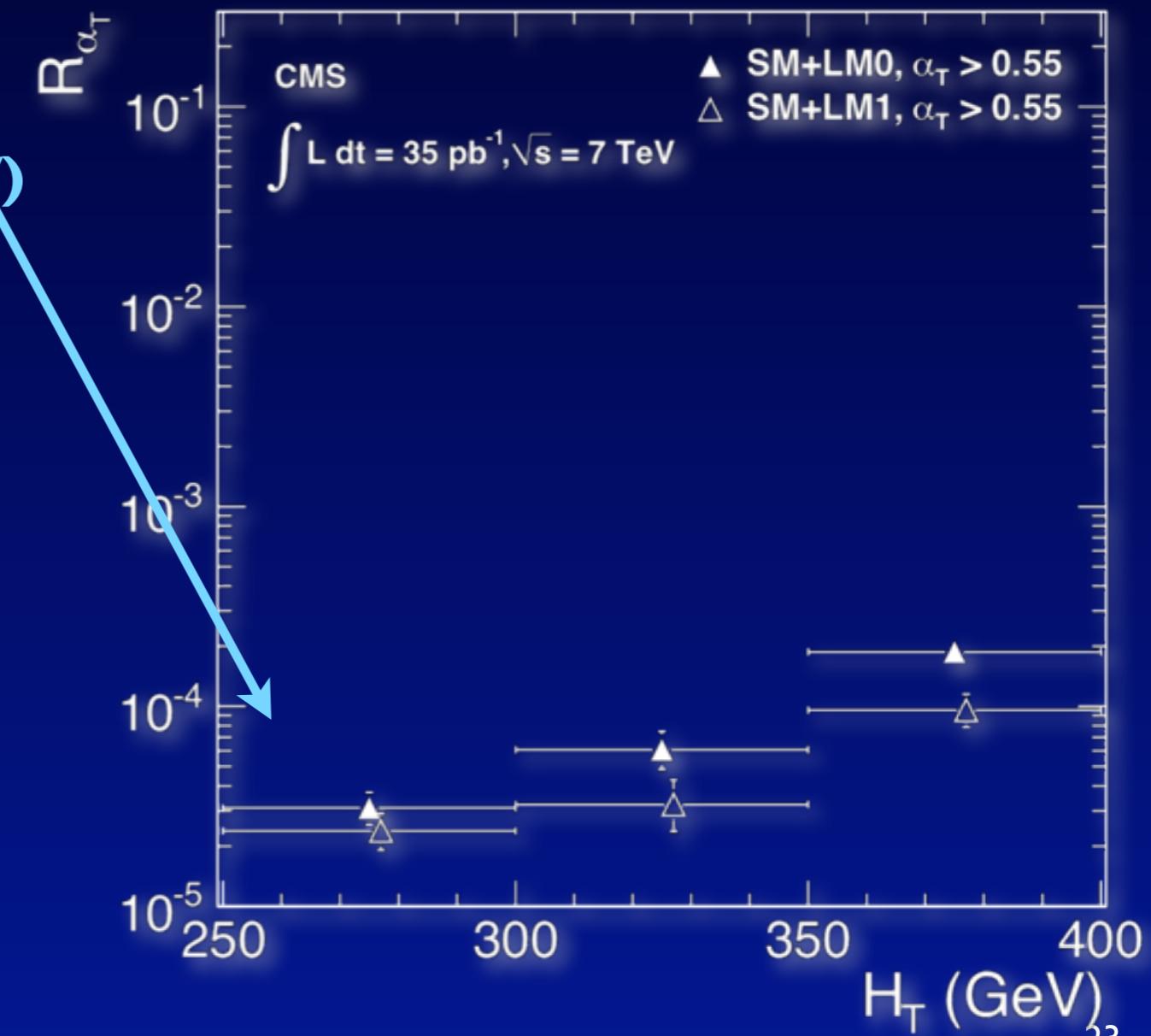
■ en supposant que cette fraction est constante, on estime R_{α_T} dans la région $H_T > 350$ GeV

- Estimation de $W+jets$ et top

► événements $W \rightarrow \mu\nu$

- Estimation de $Z \rightarrow \nu\nu$

► événements $\gamma+jets$



Estimation du “bruit de fond”

- Etude de la fraction d'év. qui ne passent pas $\alpha_T > 0.55$, R_{α_T}

► indépendant de H_T pour le M.S.

► augmente avec H_T pour SUSY

► R_{α_T} est estimé dans les deux premiers bins H_T (250 et 300 GeV)

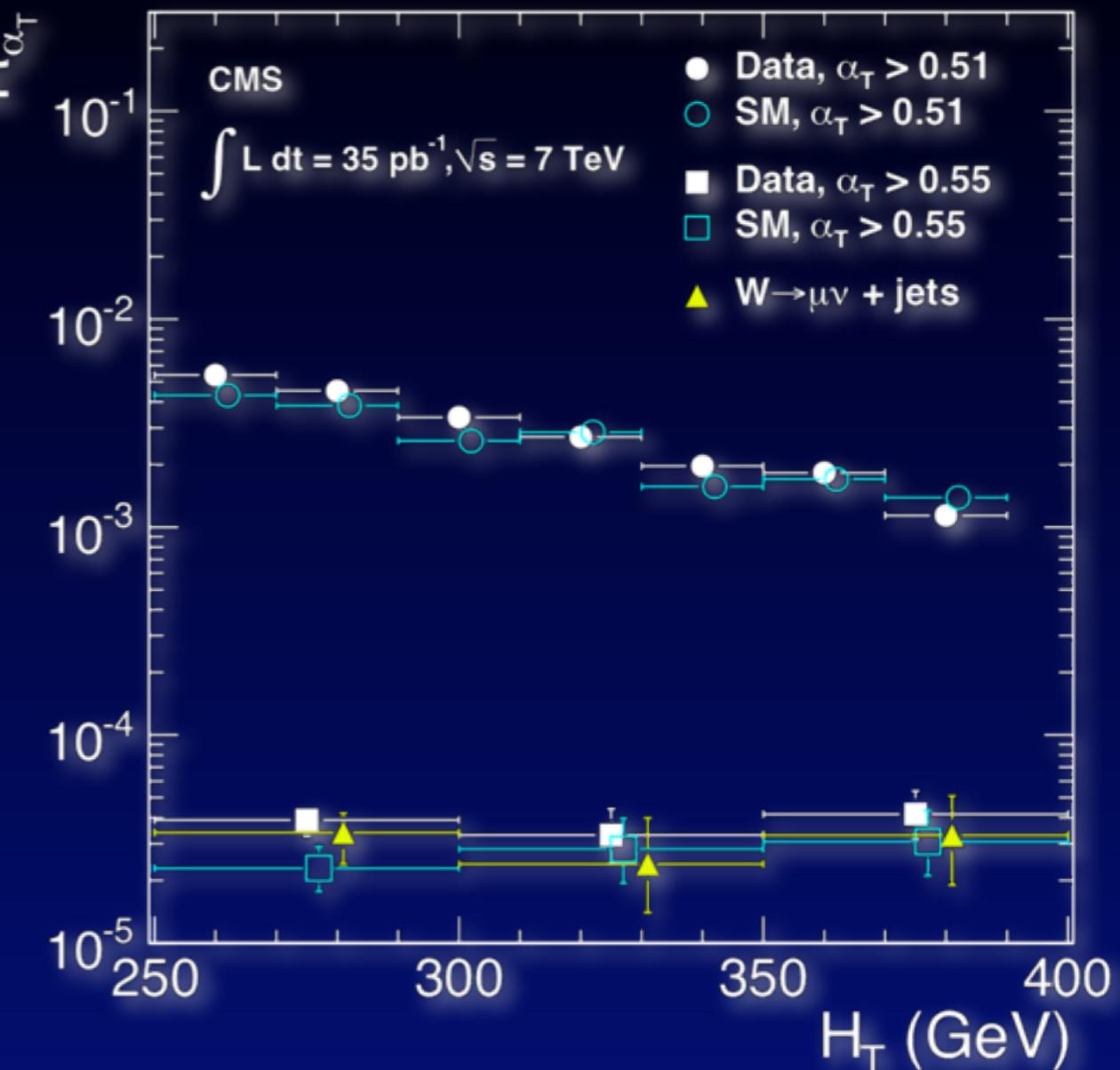
■ en supposant que cette fraction est constante, on estime R_{α_T} dans la région $H_T > 350$ GeV

- Estimation de $W+jets$ et top

► événements $W \rightarrow \mu\nu$

- Estimation de $Z \rightarrow \nu\nu$

► événements $\gamma+jets$



Résultats (synthèse)

- **Evénements observés : 13**

- ▶ **compatibles avec le M.S.**

- Masse effective $M_{\text{eff}} = M_{\text{HT}} + H_T$
échelle d'énergie d'un événement

- **Evénements prédis :**

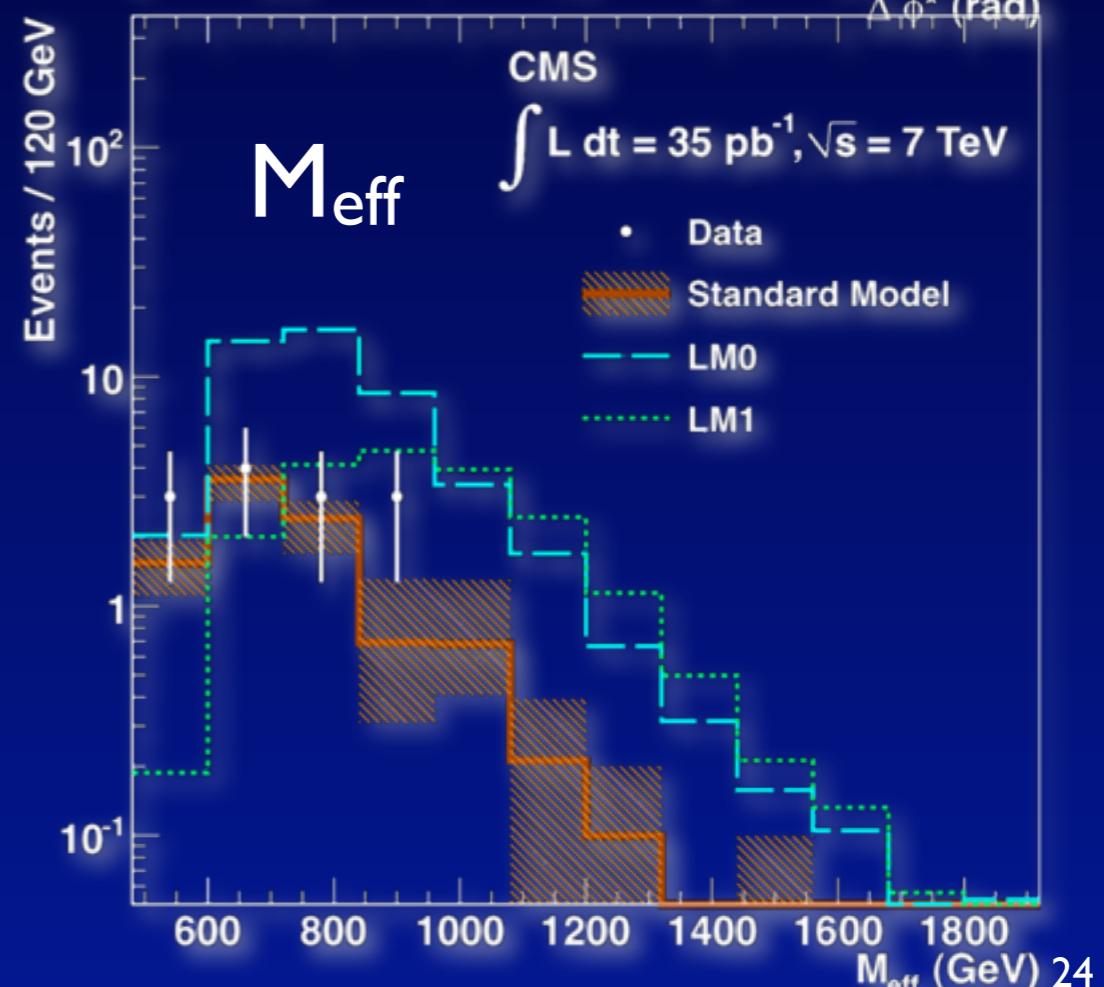
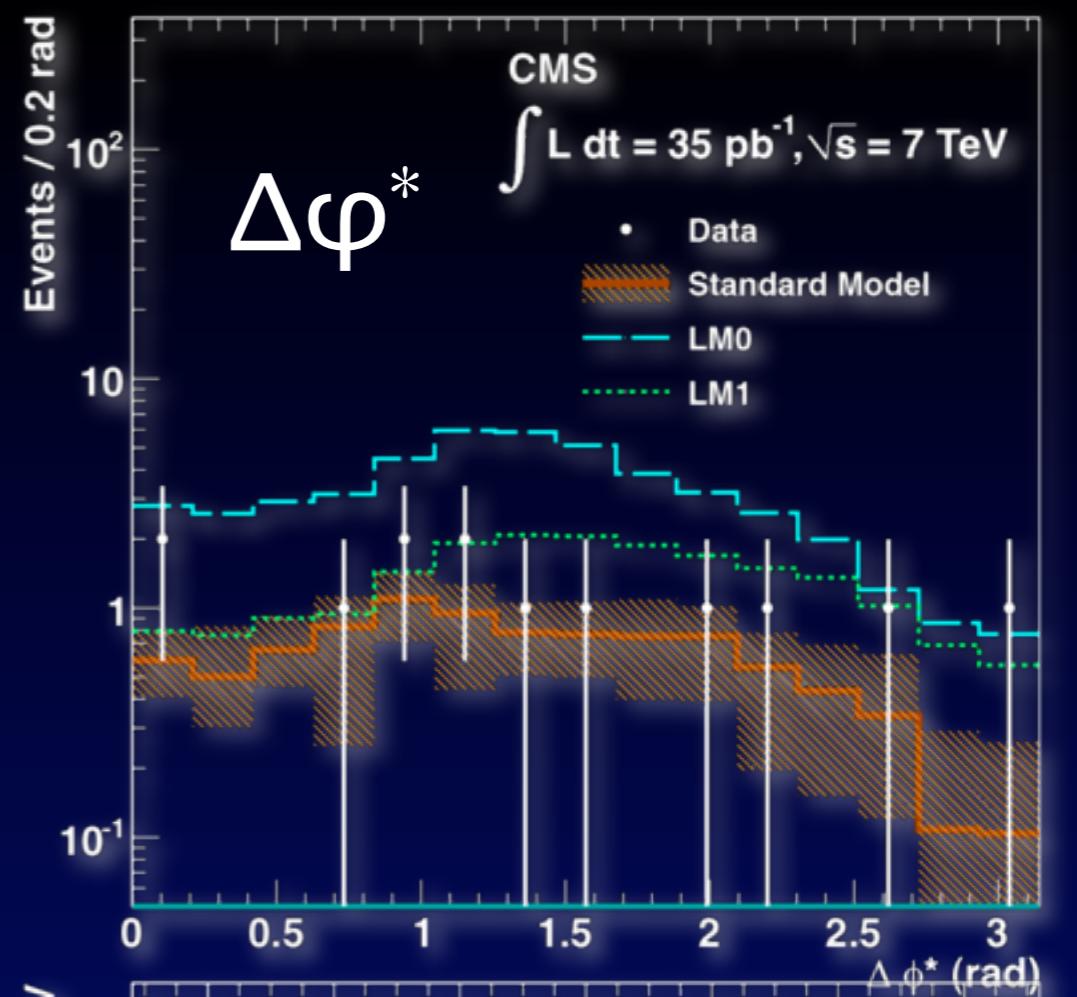
- ▶ **inclusif :** $9.4^{+4.8}_{-4.0}(\text{stat}) \pm 1.0(\text{syst})$

- ▶ **W+jets (tt) :** $6.4^{+2.8}_{-1.9}(\text{stat}) \pm 1.8(\text{syst})$

- ▶ **Z \rightarrow vv :** $4.4^{+2.3}_{-1.6}(\text{stat}) \pm 1.8(\text{syst})$

- ▶ **principales erreurs systématiques**

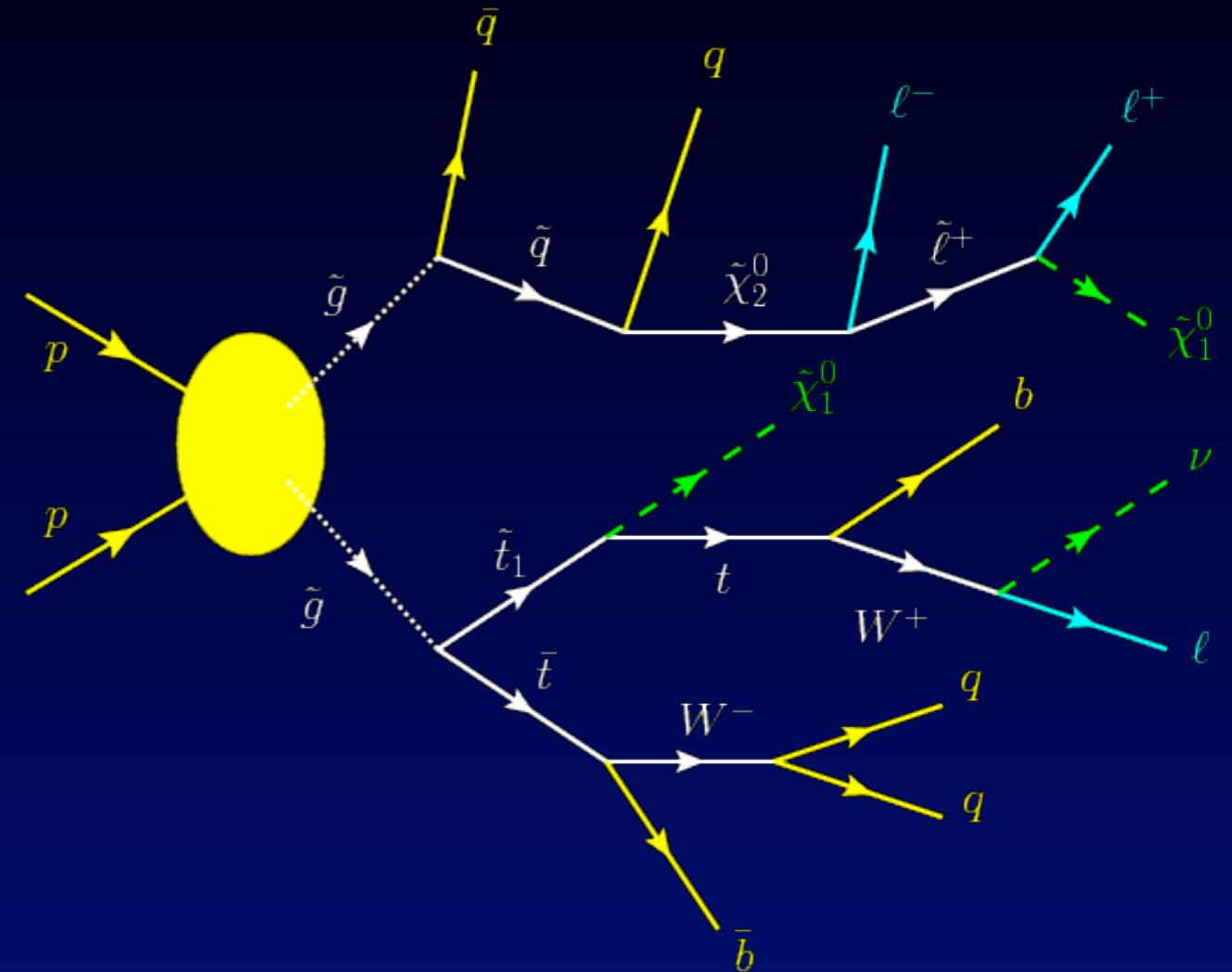
- inclusif : extrapolation de $R_{\alpha T}$
- électro-faible : veto/identification leptons, facteurs dérivés du Monte Carlo
- (erreurs additionnelles pour l'interprétation)



(Un début de)
Recherche SUSY
leptonique

Deux leptons de charges opposées

- signature générique :
2 leptons OS + jets + MET
 - ▶ **section efficace élevée**
 - ▶ **contribution importante de la désintégration :**
 $\tilde{q} \rightarrow q + \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow q + \tilde{\chi}_1^0 + \ell^+ + \ell^-$
 - deux désintégrations à deux corps (slepton ou boson Z)
 - désintégration à trois corps (Z virtuel)
 - ▶ **ou deux leptons des deux chaînes de désintégration**
- Bruit de fond le plus important : top
 - ▶ **après veto du boson Z**



Stratégie d'analyse

- Sélection

- ▶ 2 leptons de charges opposée (ee, $\mu\mu$, e μ)
- ▶ ≥ 2 jets, $H_T > 300$ GeV
- ▶ $y = \text{MET}/\sqrt{H_T} > 8.5 \sqrt{\text{GeV}}$

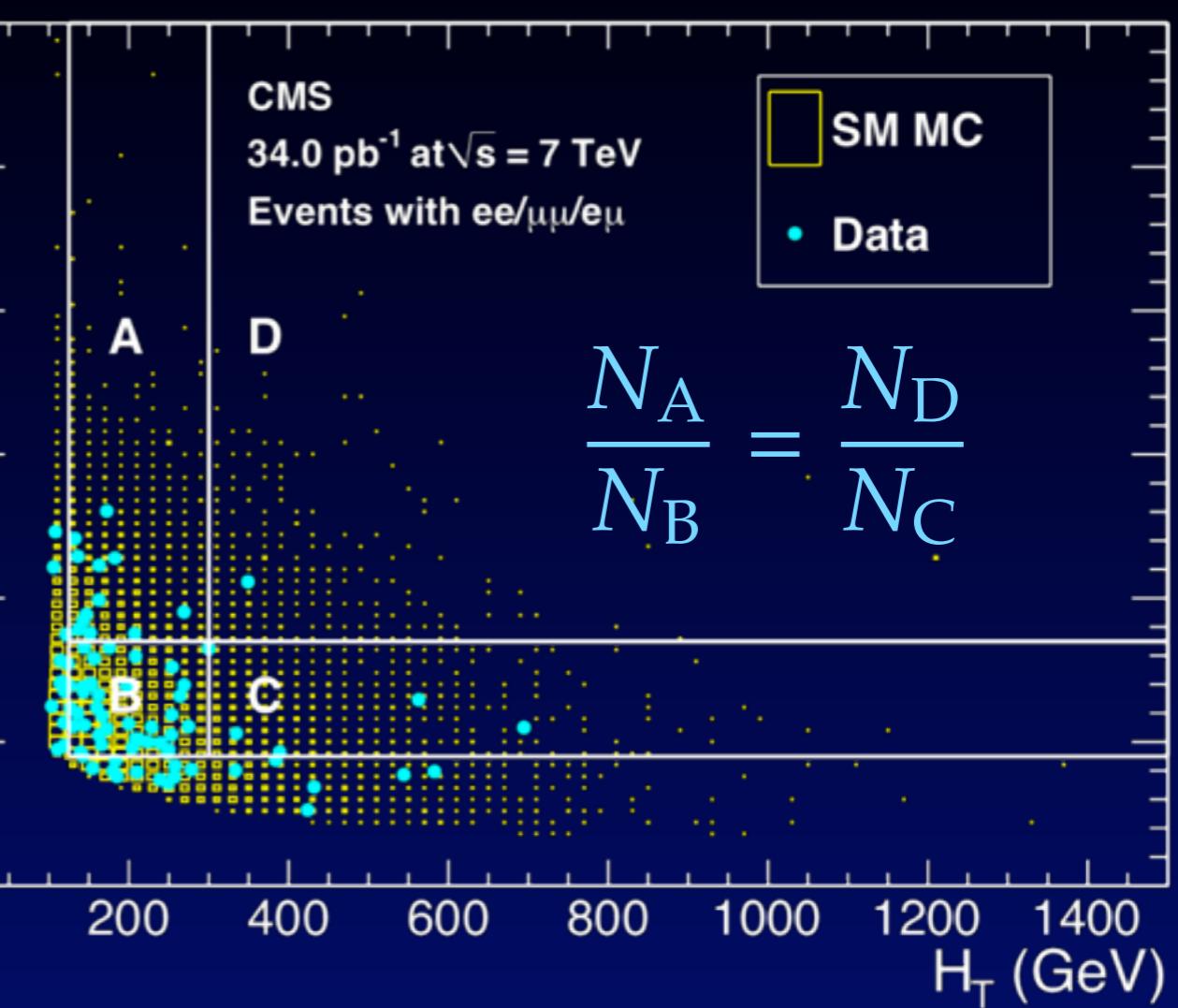
- Estimation bruit de fond

- ▶ méthode “ABCD”

- $N_D = N_C \times N_A / N_B$ si variables non corrélées

- Résultats

- ▶ observation : 1 événement
- ▶ prédition : $1.3 \pm 0.8 \pm 0.3$



→ Limite supérieure :
4.1 événements à 95% C.L.

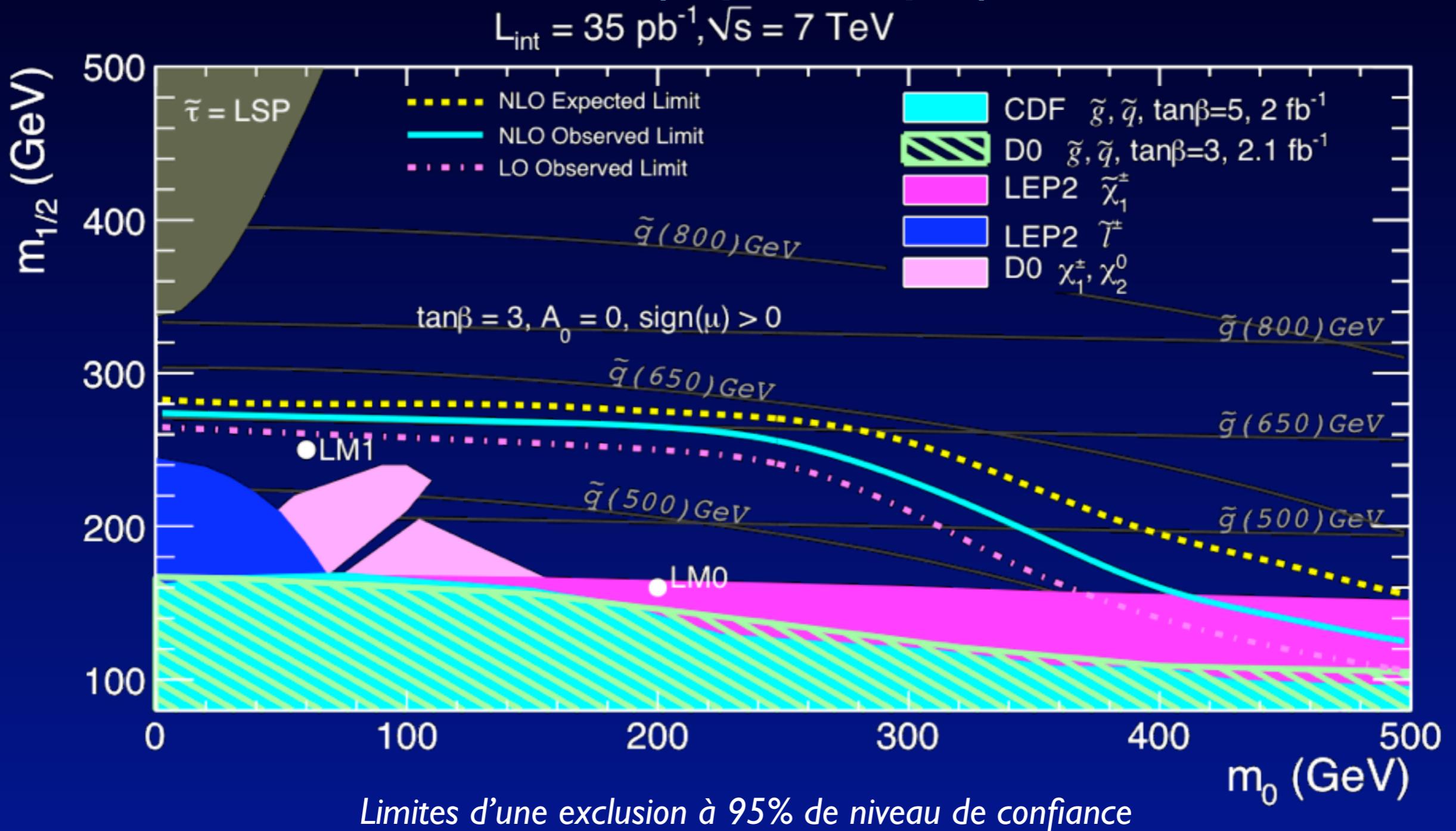
Interprétation
et un rapide coup d'œil vers le futur

Approches de l'interprétation

- Représentation du résultat dans un modèle donné
 - **inclus l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.**

Approches de l'interprétation

- Représentation du résultat dans un modèle donné
 - inclus l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.



Approches de l'interprétation

- Représentation du résultat dans un modèle donné
 - ▶ **inclus l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.**
 - ne combine généralement pas les résultats (monnaie d'échange)
- Ajustement global des paramètres d'un modèle donné
 - ▶ **“top-down” : interprétation dans un modèle précis (p.ex. CMSSM)**
 - confirmation ou exclusion du modèle (déjà avec les données existantes)
- Simplification phénoménologique du modèle (p.ex. OSETs)
 - ▶ **“bottom-up” : traduit les résultats en termes de spectres de masse**
 - plus flexible, particulièrement indiqué pour l'interprétation d'un signal

Approches de l'interprétation

- Représentation du résultat dans un modèle donné

- ▶ **inclus l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.**

- ne combine généralement pas les résultats (monnaie d'échange)

- Ajustement global des paramètres d'un modèle donné

- ▶ **“top-down” : interprétation dans un modèle précis (p.ex. CMSSM)**

- confirmation ou exclusion du modèle (déjà avec les données existantes)

- Simplification phénoménologique du modèle (p.ex. OSETs)

- ▶ **“bottom-up” : traduit les résultats en termes de spectres de masse**

- plus flexible, particulièrement indiqué pour l'interprétation d'un signal

Ajustement global de paramètres

- Confrontation modèle – données

 - ▶ **combinaison de mesures**

 - ▶ **comparaison avec des prédictions**

 - ▶ **contraintes sur les paramètres**

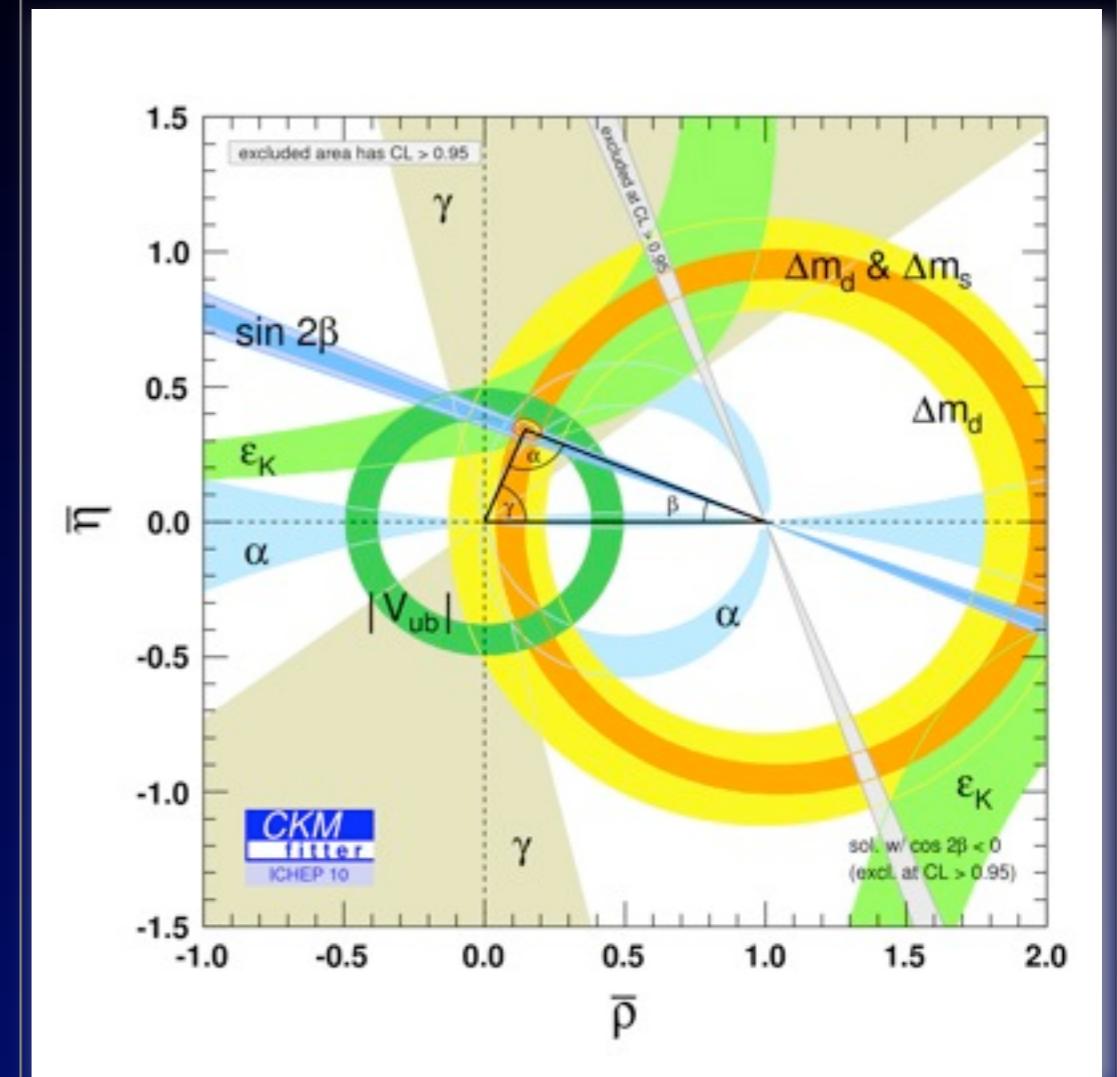
 - ou exclusion du modèle...

- Ajustements globaux SUSY

 - ▶ **au-delà des recherches directes :**

 - Physique de la saveur (en part. physique du B)
 - mesures à basse énergie (g-2)
 - données électro-faibles de précision (LEP)
 - données cosmologiques

 - ▶ **à exploiter pour contraindre SUSY**



Un exemple fameux d’“ajustement global”

- **Ingrédients**

 - ▶ **ensemble cohérent de mesures**

 - ▶ **prédictions précises**

 - ▶ **et combinaison des deux**

Ajustement global de paramètres (2)

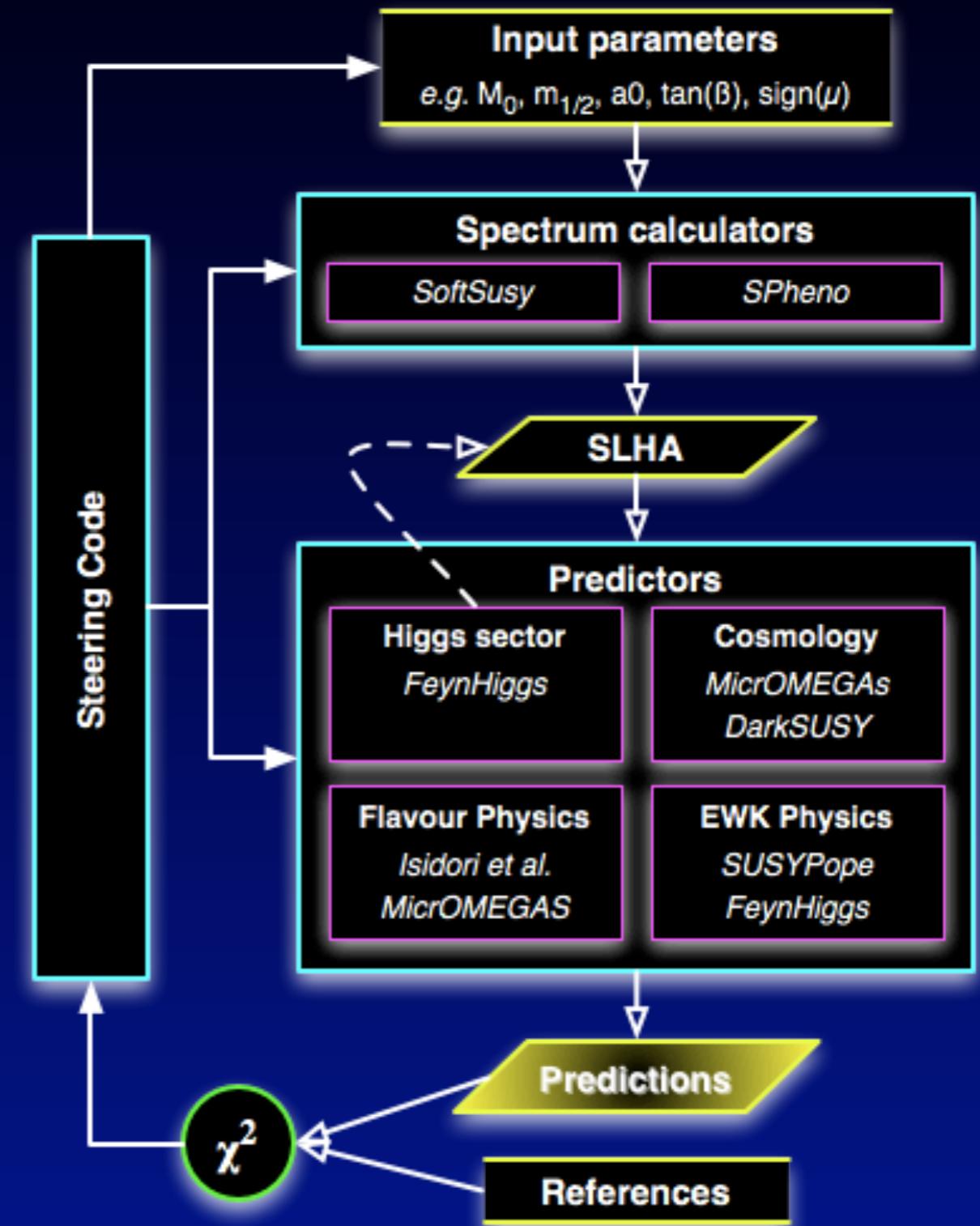
- dans le cadre de la collaboration “MasterCode”

► regroupe expérimentateurs et théoriciens de divers horizons



O. Buchmüller, R. Cavanaugh,
A. De Roeck, J. Ellis, H. Flächer,
S. Heinemeyer, G. Isidori, K. Olive,
S. Rogerson, F. Ronga, G. Weiglein

► un des (nombreux) efforts pour la combinaison et l'interprétation de contraintes sur les modèles SUSY



Les contraintes existantes

Low energy observables

$R(b \rightarrow s\gamma)$	SuFla*	
$R(B \rightarrow \tau\nu)$	SuFla	
$BR(K \rightarrow \tau\nu)$	SuFla	
$R(B \rightarrow X_s \ell\ell)$	SuFla	
$R(K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu})$	SuFla	
$BR(B_s \rightarrow \ell\ell)$	SuFla	micrOMEGAs
$BR(B_d \rightarrow \ell\ell)$	SuFla	
$R(\Delta m_s)$	SuFla	
$R(\Delta m_s)/R(\Delta m_d)$	SuFla	
$R(\Delta m_K)$	SuFla	
$R(\Delta_0(K^*\gamma))$	SuperIso	
$\Delta(g - 2)$	FeynHiggs	

Higgs sector observables

m_h^{light}	FeynHiggs	
----------------------	-----------	--

Cosmology observables

Ωh^2	DarkSUSY	micrOMEGAs
σ_P^{SI}	DarkSUSY	micrOMEGAs

Electroweak observables

$\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(m_Z^2)$	FeynWZ
m_Z	FeynWZ
σ_{had}^0	FeynWZ
R_I	FeynWZ
$A_{\text{fb}}(\ell)$	FeynWZ
$A_\ell(P_\tau)$	FeynWZ
R_b	FeynWZ
R_c	FeynWZ
$A_{\text{fb}}(b)$	FeynWZ
$A_{\text{fb}}(c)$	FeynWZ
A_b	FeynWZ
A_c	FeynWZ
$A_\ell(\text{SLD})$	FeynWZ
$\sin^2 \theta_w^\ell(Q_{\text{fb}})$	FeynWZ
m_W	FeynWZ
m_t	FeynWZ

* G. Isidori, P. Paradisi

+ contraintes sur le spectre de masse

Ajustement proprement dit

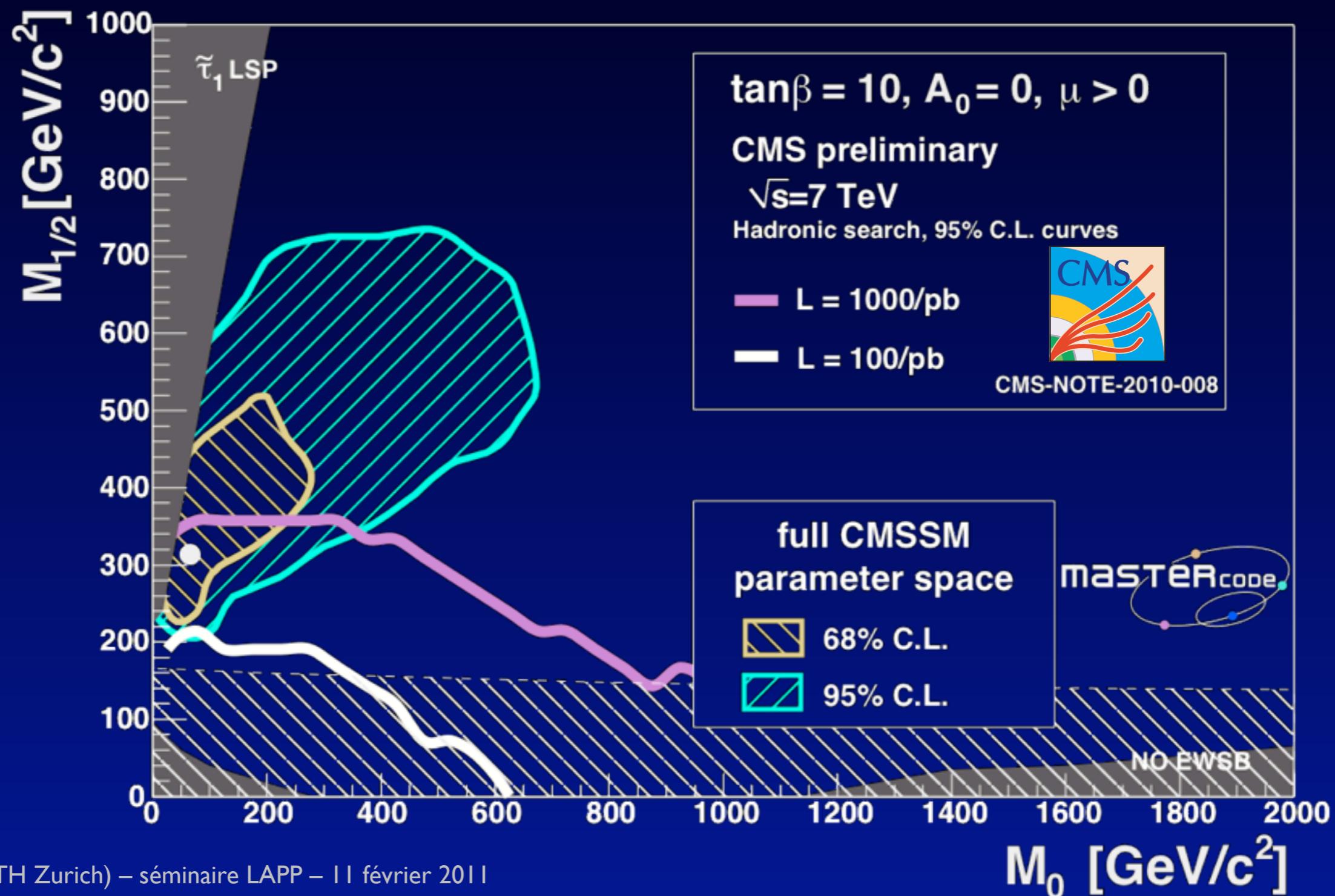
$$\chi^2 = \sum_i^N \frac{(C_i - P_i)^2}{\sigma(C_i)^2 + \sigma(P_i)^2} + \chi_{\text{SM}}^2 + \chi_{\text{SUSY}}^2$$

- Variable de χ^2 à plusieurs paramètres
 - ▶ C_i – **contraintes expérimentales**
 - ▶ P_i – **prédictions pour un ensemble donné de paramètres**
- Ajustement de tous les paramètres du modèle, p.ex. CMSSM
 - ▶ $M_0, M_{1/2}, A_0, \tan\beta$ ($\text{sign}(\mu) = 1$)
 - ▶ **y compris les incertitudes du M.S.**
 - $m_{\text{top}}, m_Z, \Gamma_Z, \Delta\alpha_{\text{had}}$
 - ... et les **contraintes sur le spectre de masse**
 - recherches au LEP et au Tevatron
- Echantillon de 25 millions de points (chaînes de Markov)

Mise en perspective des résultats

- Les données existantes semblent favoriser SUSY à basse masse

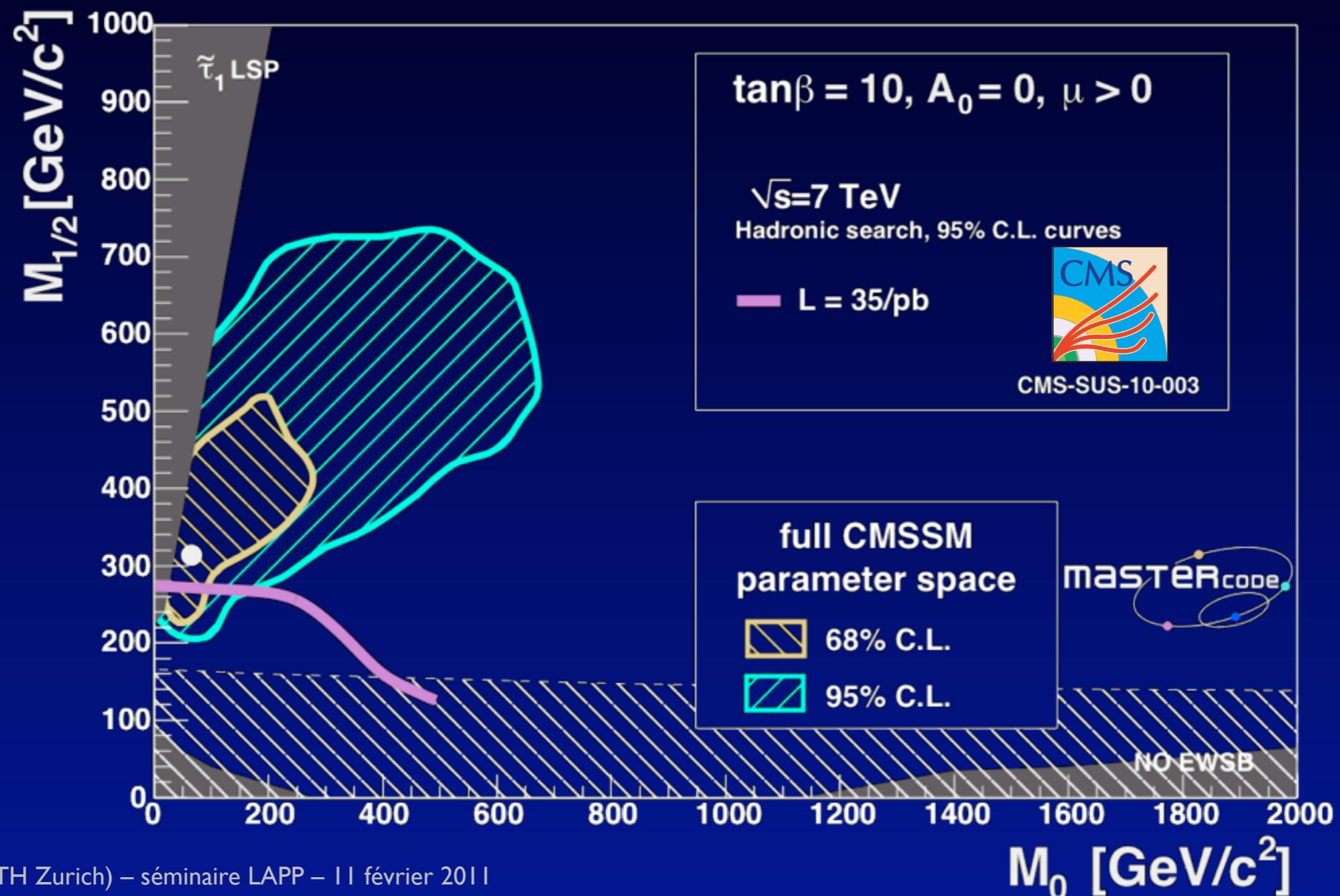
► avant la mise en route du LHC...



Mise en perspective des résultats

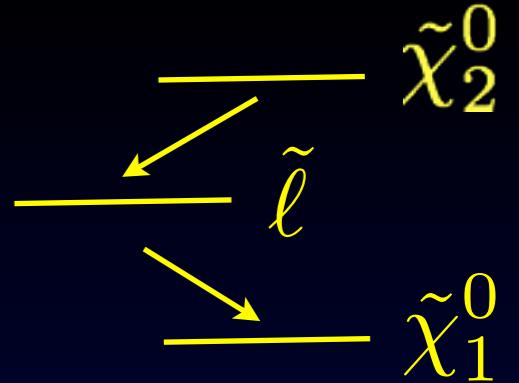
- Après la mise en route du LHC

- le CMSSM commence à être menacé?

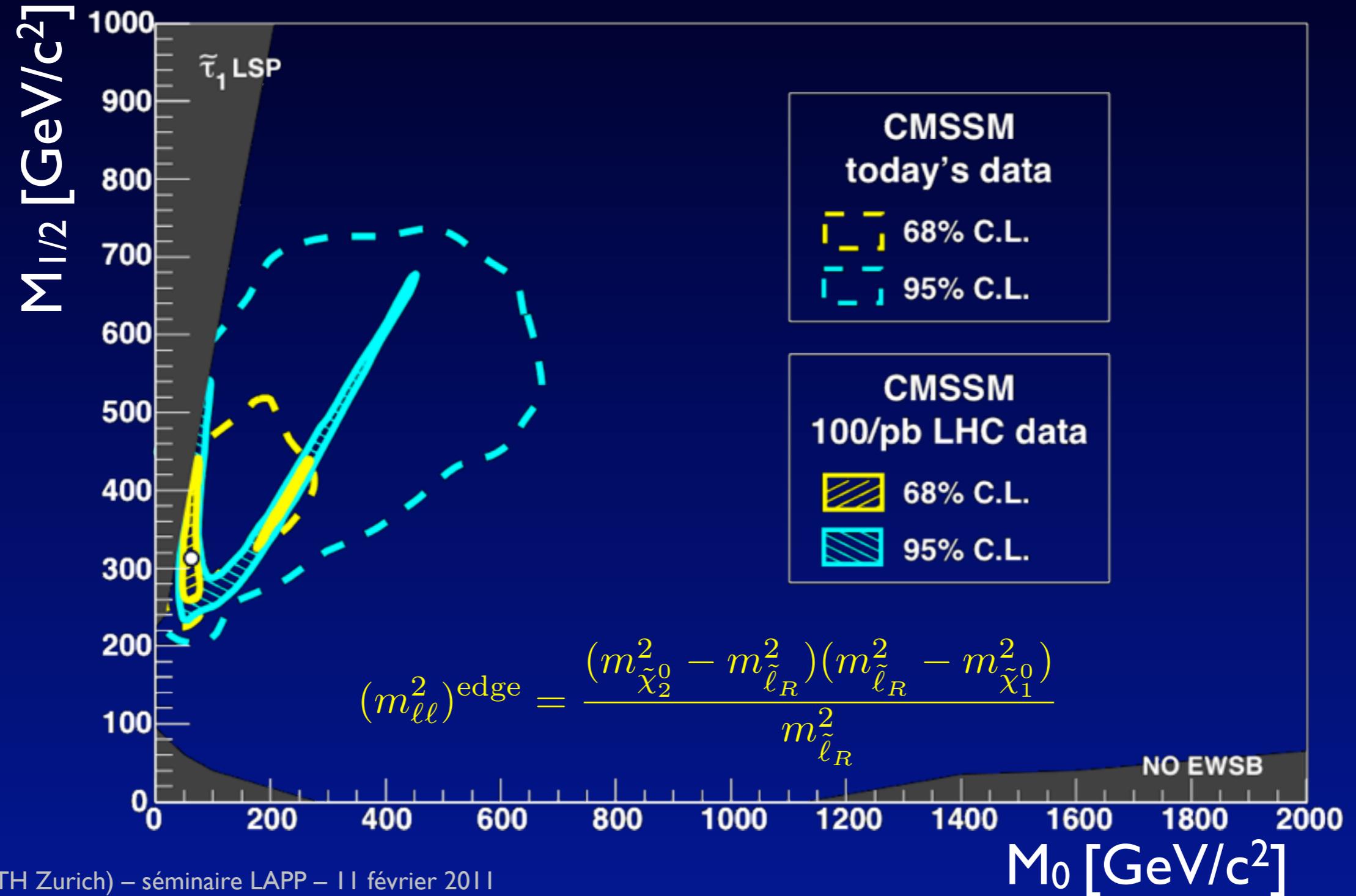


Et avec un peu de chance...

- Après une découverte dans le canal dilepton OS



Mesure d'une arête dilepton sur CMS
100/pb de luminosité intégrée à 14 TeV



Conclusion

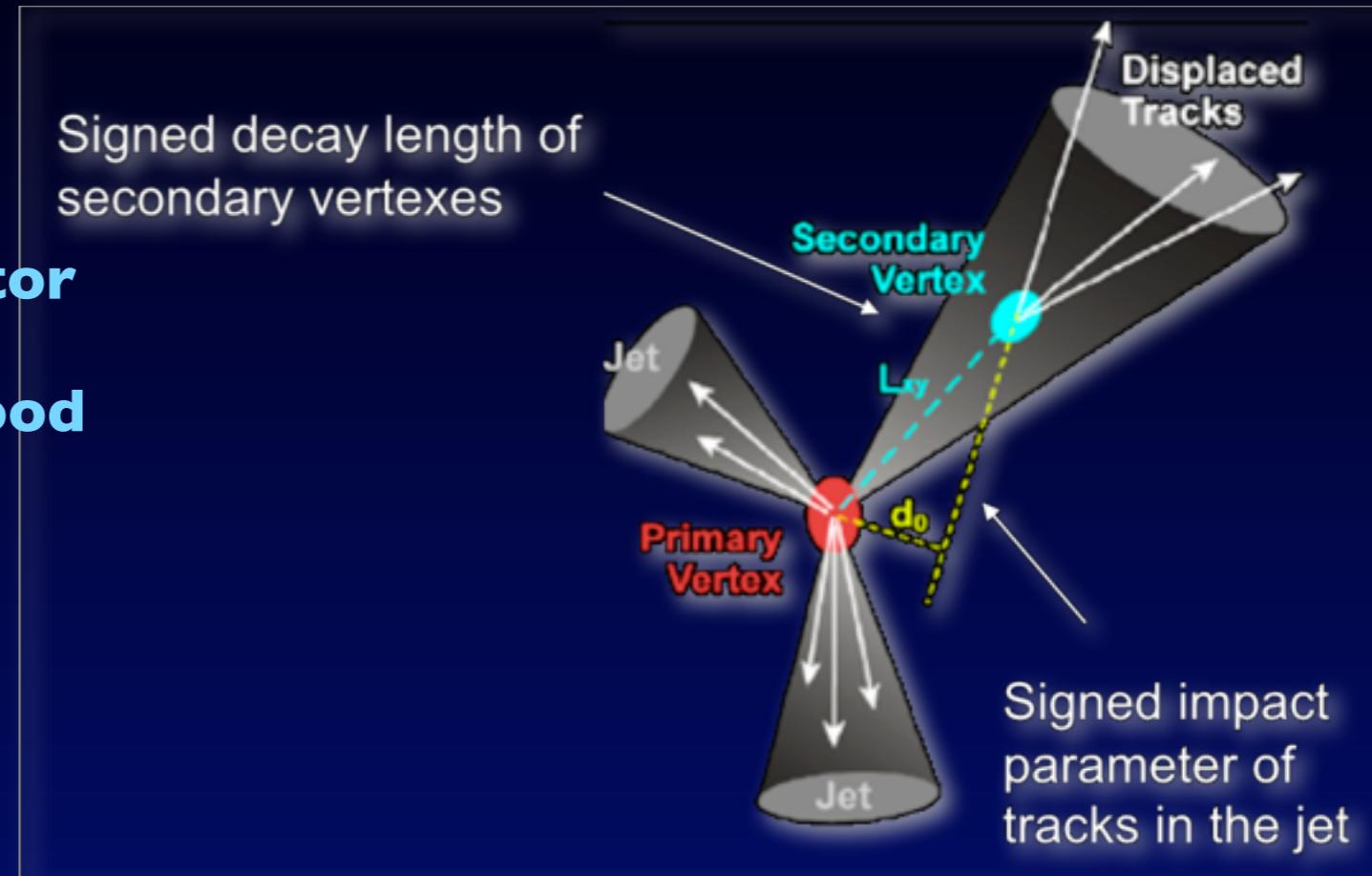
Conclusion

- Le LHC a fait des prouesses dans ses premiers mois de mis en service
 - **Plus de 40/pb accumulés par les expériences du LHC**
- CMS s'est montré à la hauteur
 - **les performances du détecteur sont remarquables**
- La recherche de SUSY a démarré, dans tous les états finals
 - **Les premiers résultats sont compétitifs**
- Les perspectives futures sont bonnes !
 - **on annonce au moins 1/fb (25 fois plus !) pour cette année...**

Matériel d'appoint

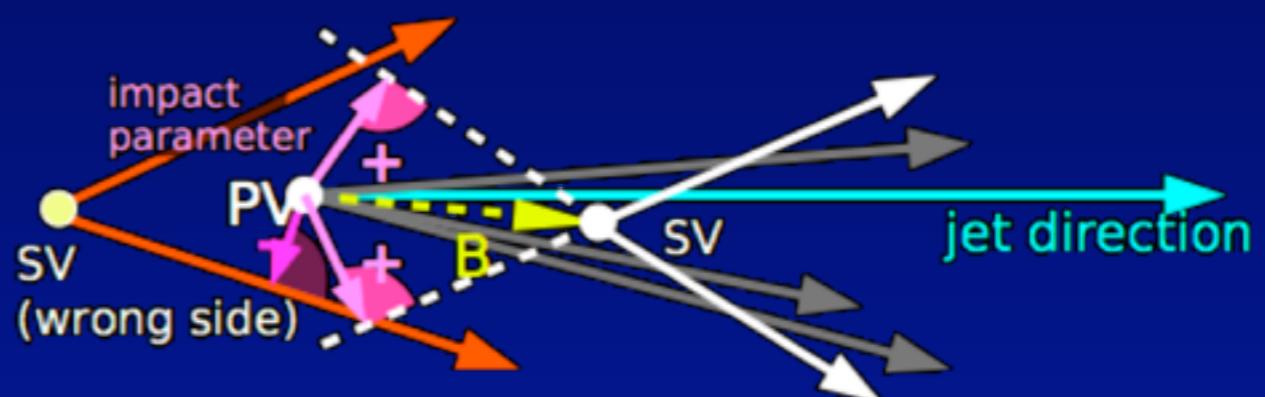
b-tagging at CMS

- Secondary vertices are built from tracks inside jets
 - ▶ **relies on hits in the pixel detector**
 - ▶ **primary vertex built from all good quality tracks in the event**
 - and compatible with vertex candidate
 - candidate with highest Σp_T^2 is selected
 - ▶ **I.P. most powerful variable**



- Note: b-tagging also crucial for searches (many b-jets)

Signs of Impact parameter and of vertex decay length are defined according to jet direction



Tables recherche hadronique

Production mechanism	Yields for 35 pb^{-1}	$\epsilon_{\text{total}}(\%)$	$\epsilon_{\text{signature}}(\%)$
$\tilde{q} \tilde{q}$	9.7 ± 0.1	16.0 ± 0.1	22.2 ± 0.4
$\tilde{q} \tilde{g}$	8.8 ± 0.1	14.4 ± 0.1	23.0 ± 0.5
$\tilde{g} \tilde{g}$	0.71 ± 0.02	12.0 ± 0.4	22.5 ± 2.0

Efficacité de sélection LMI

Selection	Data	SM	QCD multijet	$Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$	$W + \text{jets}$	$t\bar{t}$
$H_T > 250 \text{ GeV}$	4.68M	5.81M	5.81M	290	2.0k	2.5k
$E_T^{j_2} > 100 \text{ GeV}$	2.89M	3.40M	3.40M	160	610	830
$H_T > 350 \text{ GeV}$	908k	1.11M	1.11M	80	280	650
$\alpha_T > 0.55$	37	30.5 ± 4.7	19.5 ± 4.6	4.2 ± 0.6	3.9 ± 0.7	2.8 ± 0.1
$\Delta R_{\text{ECAL}} > 0.3 \vee \Delta\phi^* > 0.5$	32	24.5 ± 4.2	14.3 ± 4.1	4.2 ± 0.6	3.6 ± 0.6	2.4 ± 0.1
$R_{\text{miss}} < 1.25$	13	9.3 ± 0.9	0.03 ± 0.02	4.1 ± 0.6	3.3 ± 0.6	1.8 ± 0.1

Flux de coupures

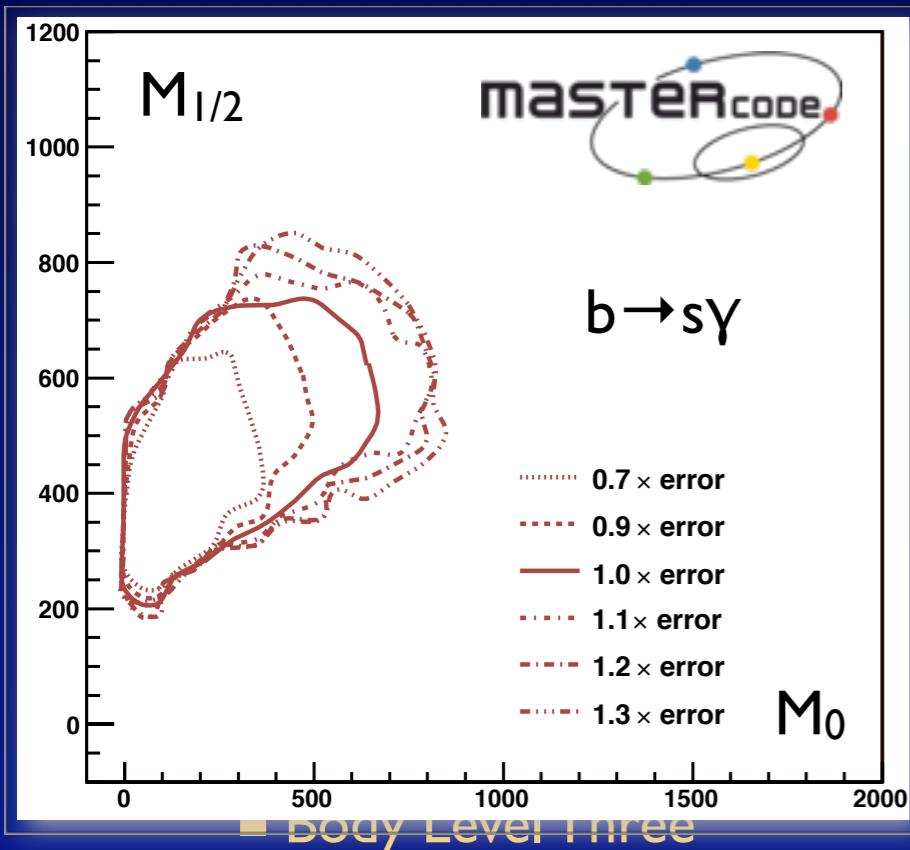
Contraintes

Observable	Th. Source	Ex. Source	Constraint	Add. Th. Unc.
m_t [GeV]	[68,69]	[70]	173.1 ± 1.3	–
$\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(m_Z)$	[68,69]	[71]	0.02758 ± 0.00035	–
M_Z [GeV]	[68,69]	[71]	91.1875 ± 0.0021	–
Γ_Z [GeV]	[68,69]	[71]	2.4952 ± 0.0023	0.001
σ_{had}^0 [nb]	[68,69]	[71]	41.540 ± 0.037	–
R_l	[68,69]	[71]	20.767 ± 0.025	–
$A_{\text{fb}}(\ell)$	[68,69]	[71]	0.01714 ± 0.00095	–
$A_\ell(P_\tau)$	[68,69]	[71]	0.1465 ± 0.0032	–
R_b	[68,69]	[71]	0.21629 ± 0.00066	–
R_c	[68,69]	[71]	0.1721 ± 0.003	–
$A_{\text{fb}}(b)$	[68,69]	[71]	0.0992 ± 0.0016	–
$A_{\text{fb}}(c)$	[68,69]	[71]	0.0707 ± 0.0035	–
A_b	[68,69]	[71]	0.923 ± 0.020	–
A_c	[68,69]	[71]	0.670 ± 0.027	–
$A_\ell(\text{SLD})$	[68,69]	[71]	0.1513 ± 0.0021	–
$\sin^2 \theta_w^\ell(Q_{\text{fb}})$	[68,69]	[71]	0.2324 ± 0.0012	–
M_W [GeV]	[68,69]	[72,73]	80.399 ± 0.025	0.010
$\text{BR}_{b \rightarrow s\gamma}^{\text{exp}} / \text{BR}_{b \rightarrow s\gamma}^{\text{SM}}$	[74–78]	[79]	$1.117 \pm 0.076_{\text{exp}} \pm 0.082_{\text{th(SM)}}$	0.050
$\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)$	[80–83]	[79]	$< 4.7 \times 10^{-8}$	0.02×10^{-8}
$\text{BR}_{B \rightarrow \tau \nu}^{\text{exp}} / \text{BR}_{B \rightarrow \tau \nu}^{\text{SM}}$	[82–84]	[85–87]	$1.25 \pm 0.40_{[\text{exp+th}]}$	–
$\text{BR}(B_d \rightarrow \mu^+ \mu^-)$	[80–83]	[79]	$< 2.3 \times 10^{-8}$	0.01×10^{-9}
$\text{BR}_{B \rightarrow X_s \ell \ell}^{\text{exp}} / \text{BR}_{B \rightarrow X_s \ell \ell}^{\text{SM}}$	[88]	[79,89]	0.99 ± 0.32	–
$\text{BR}_{K \rightarrow \mu \nu}^{\text{exp}} / \text{BR}_{K \rightarrow \mu \nu}^{\text{SM}}$	[82,84]	[90]	$1.008 \pm 0.014_{[\text{exp+th}]}$	–
$\text{BR}_{K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}}^{\text{exp}} / \text{BR}_{K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}}^{\text{SM}}$	[91]	[92]	< 4.5	–
$\Delta M_{B_s}^{\text{exp}} / \Delta M_{B_s}^{\text{SM}}$	[91]	[93,94]	$0.97 \pm 0.01_{\text{exp}} \pm 0.27_{\text{th(SM)}}$	–
$(\Delta M_{B_s}^{\text{exp}} / \Delta M_{B_s}^{\text{SM}}) / (\Delta M_{B_d}^{\text{exp}} / \Delta M_{B_d}^{\text{SM}})$	[80–83]	[79,93,94]	$1.00 \pm 0.01_{\text{exp}} \pm 0.13_{\text{th(SM)}}$	–
$\Delta \epsilon_K^{\text{exp}} / \Delta \epsilon_K^{\text{SM}}$	[91]	[93,94]	$1.08 \pm 0.14_{[\text{exp+th}]}$	–
$a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{SM}}$	[95–98]	[99–101]	$(30.2 \pm 8.8) \times 10^{-10}$	2.0×10^{-10}
M_h [GeV]	[102–105]	[106,107]	> 114.4 (see text)	1.5
$\Omega_{\text{CDM}} h^2$	[108–110]	[111]	0.1099 ± 0.0062	0.012



Principaux contributeurs

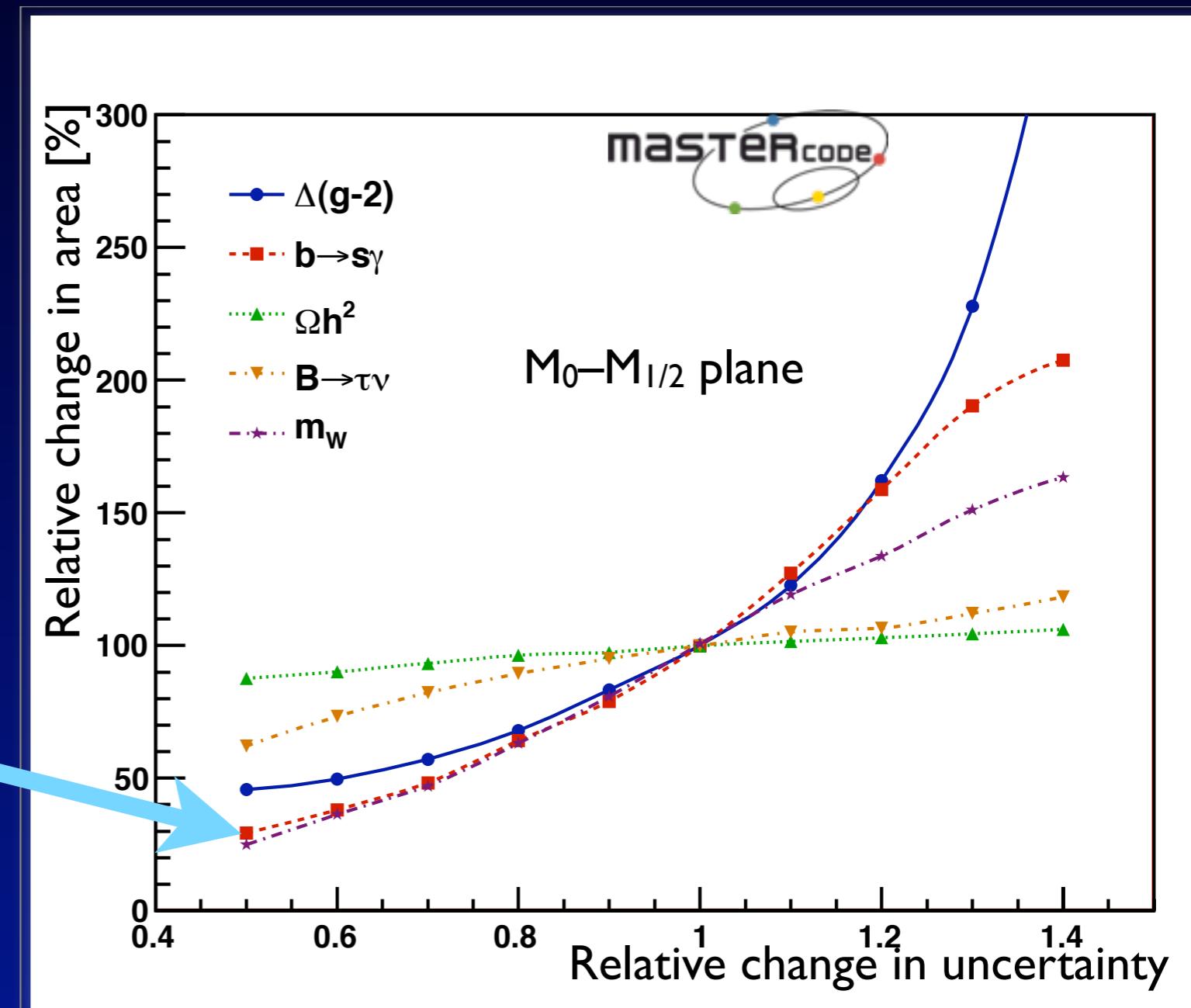
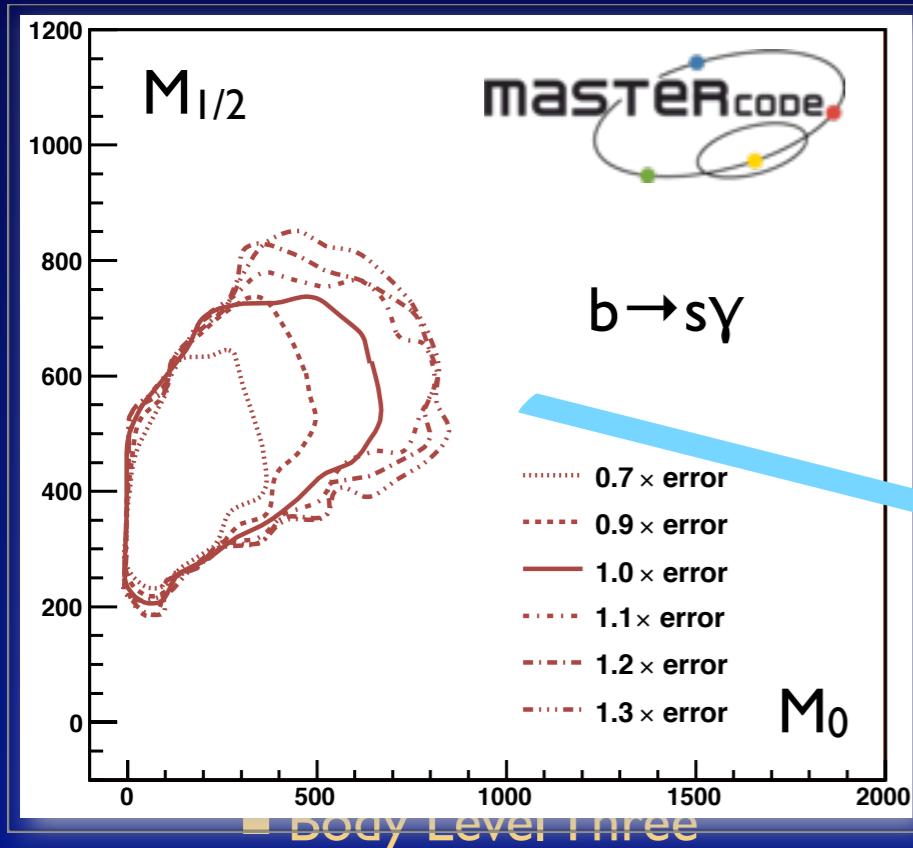
$$\chi^2 = \chi^2_{\text{partial}} + \chi^2_{b \rightarrow s\gamma}$$



Principaux contributeurs

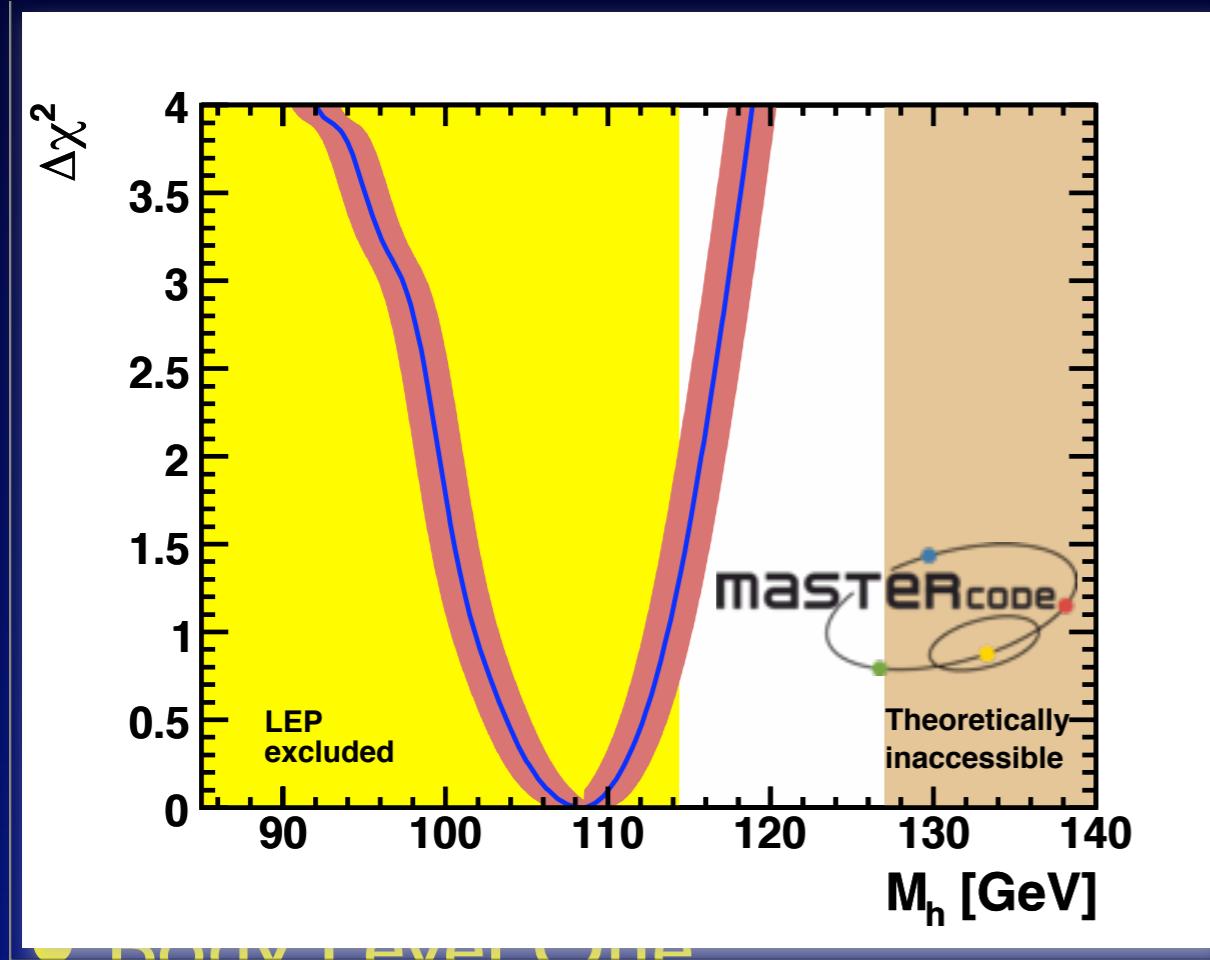
arXiv:0808.4128 [hep-ph]

$$\chi^2 = \chi^2_{\text{partial}} + \chi^2_{b \rightarrow s\gamma}$$



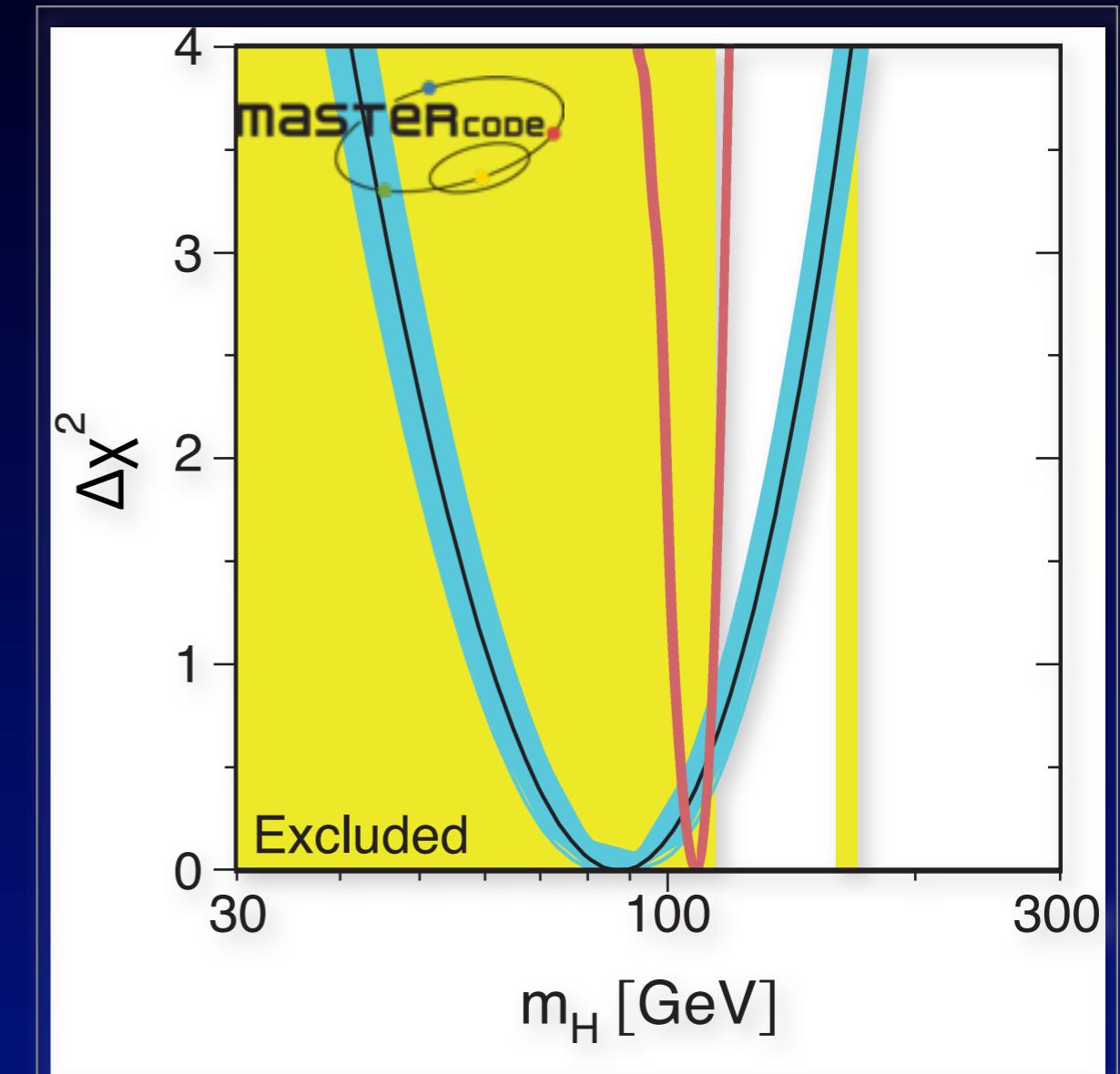
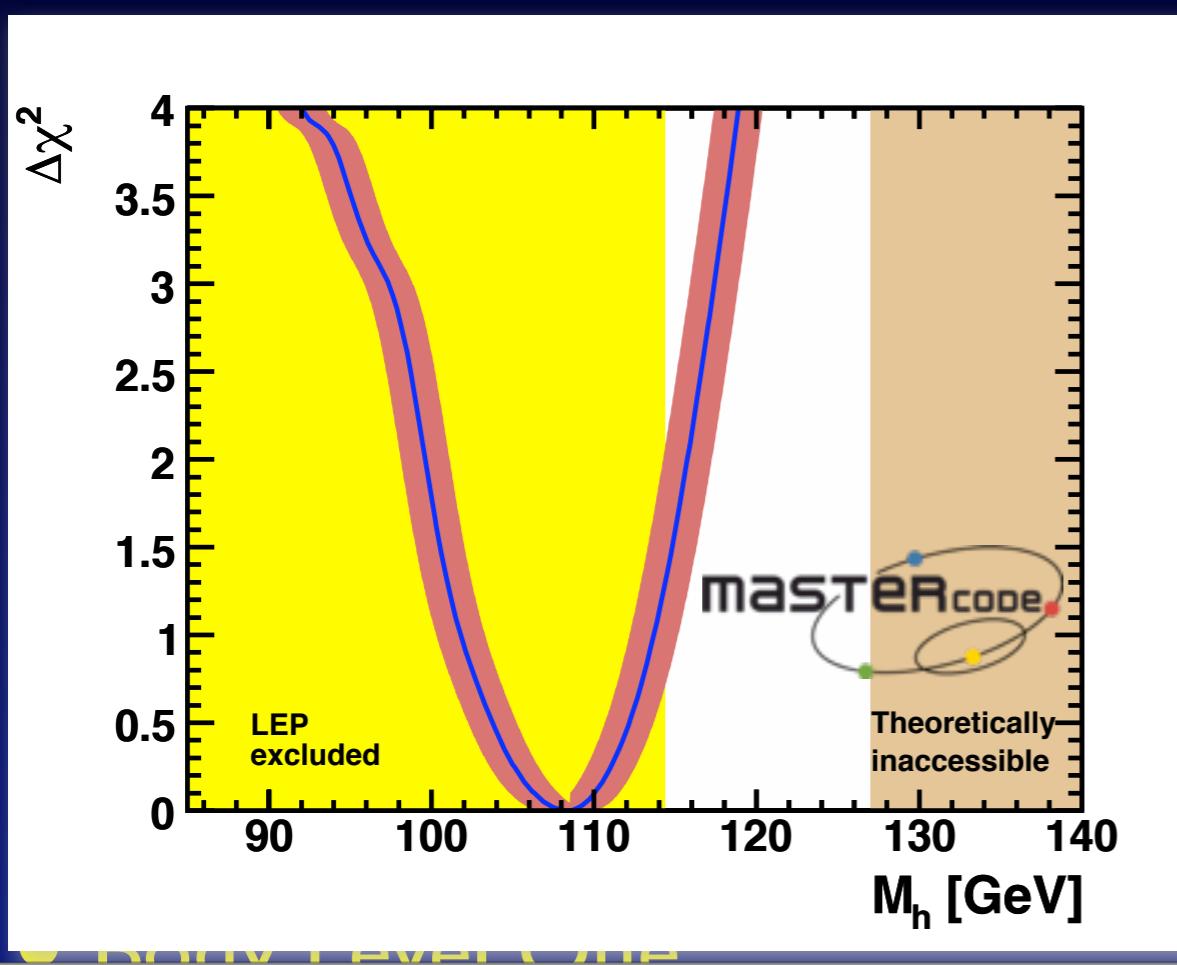
Prédiction de la masse du Higgs

arXiv: 0907.5568 [hep-ph]

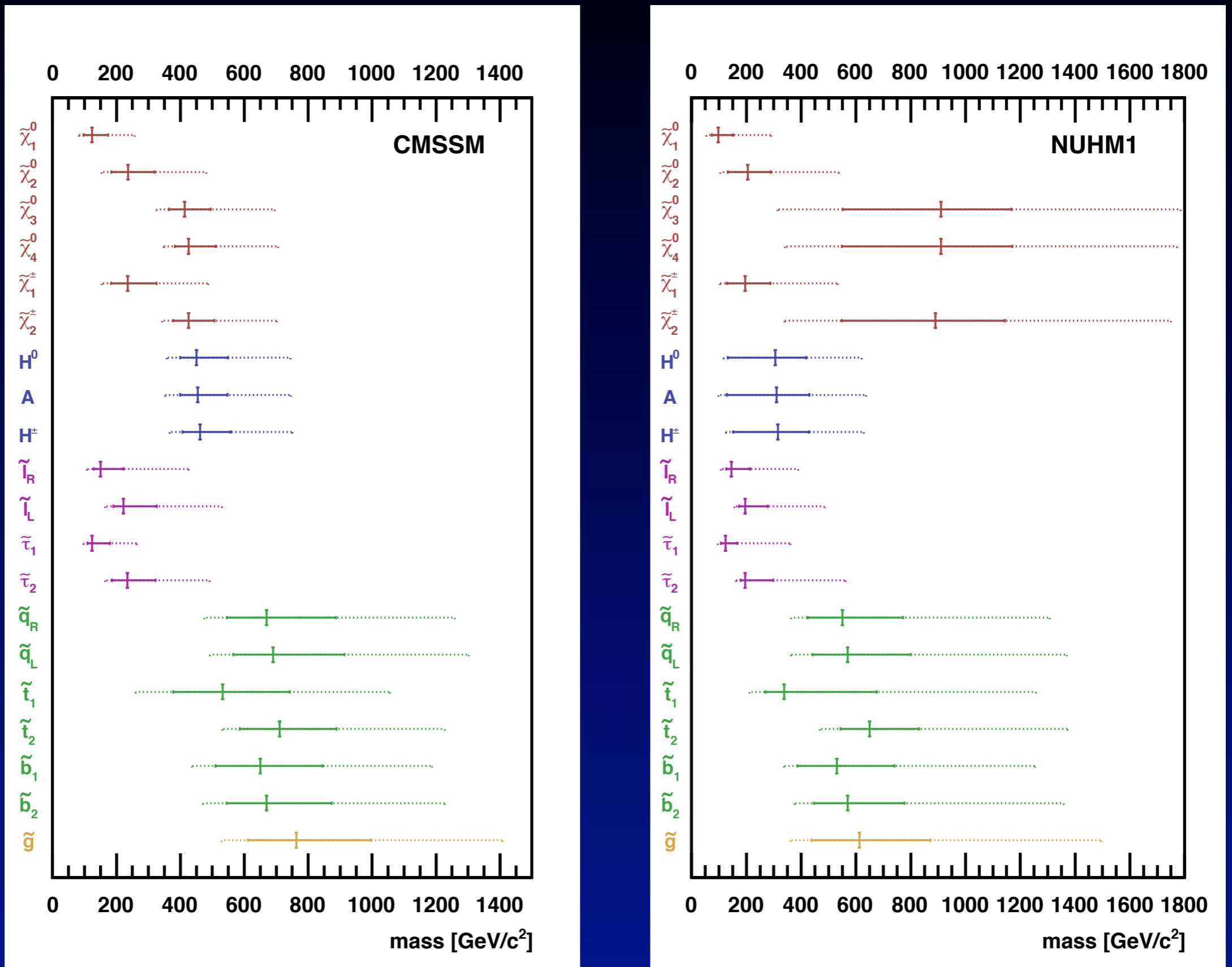


Prédiction de la masse du Higgs

arXiv: 0907.5568 [hep-ph]

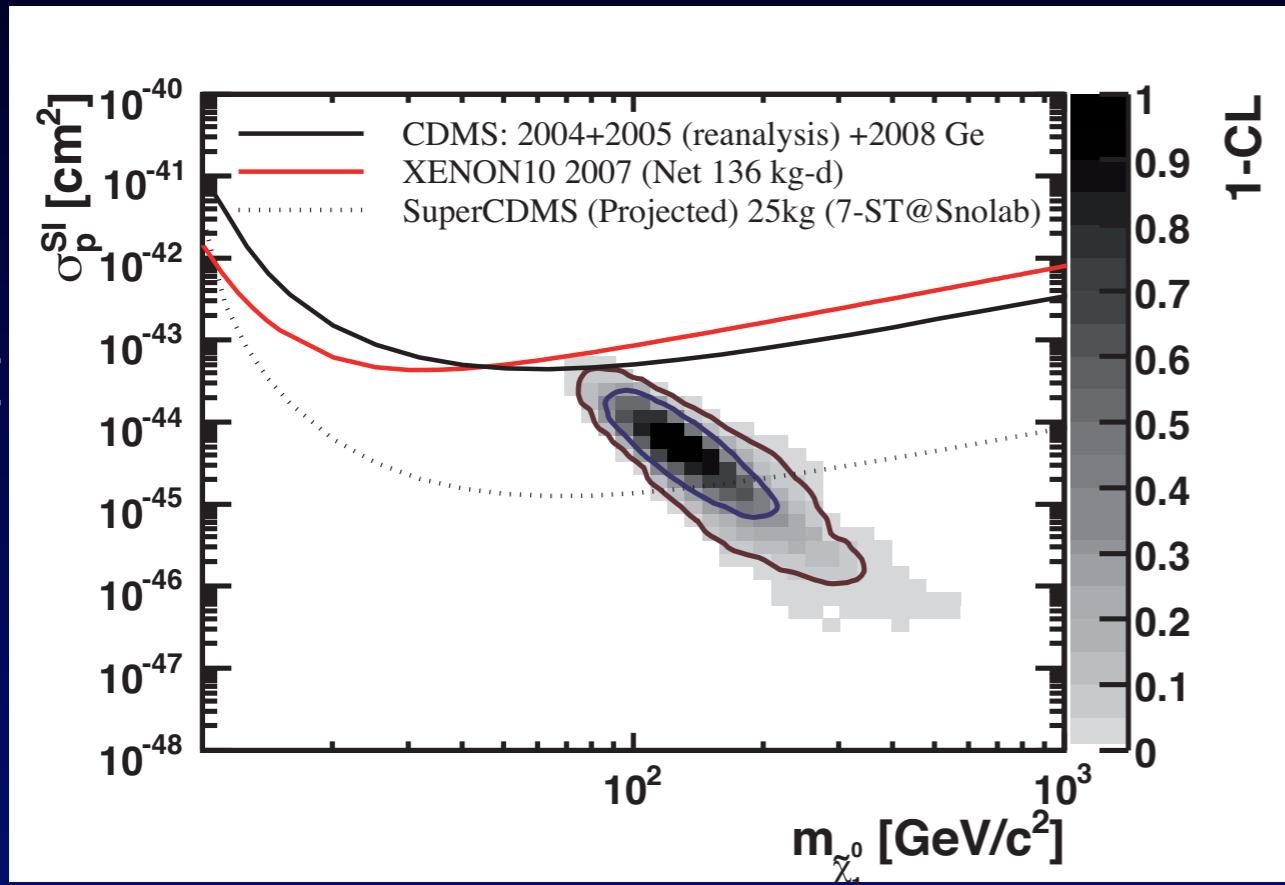


Spectres de mass

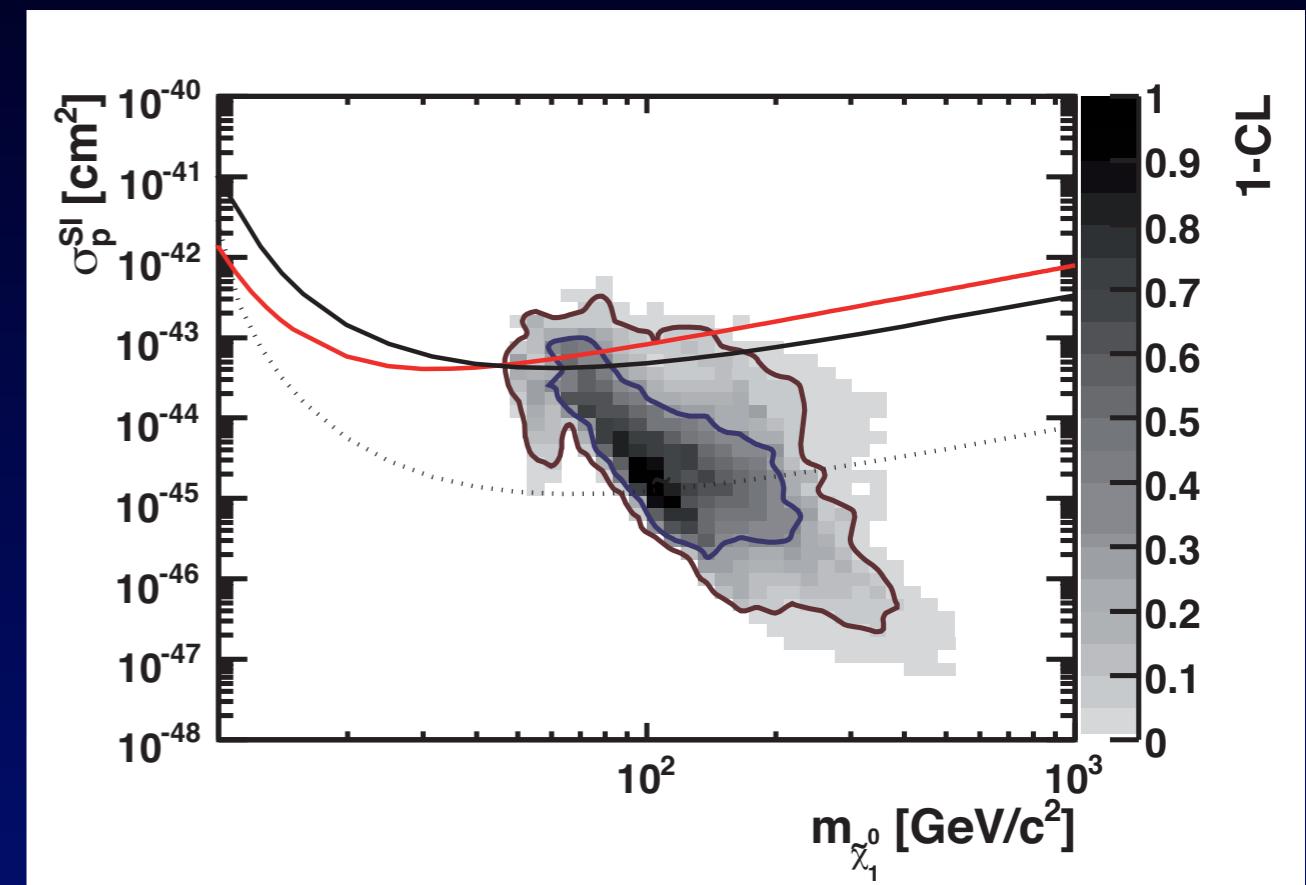


Cosmologie

arXiv:0907.5568 [hep-ph]



Spin-independent cross-section vs. LSP mass
CMSSM



Spin-independent cross-section vs. LSP mass
NUHMI