

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

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

- 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

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

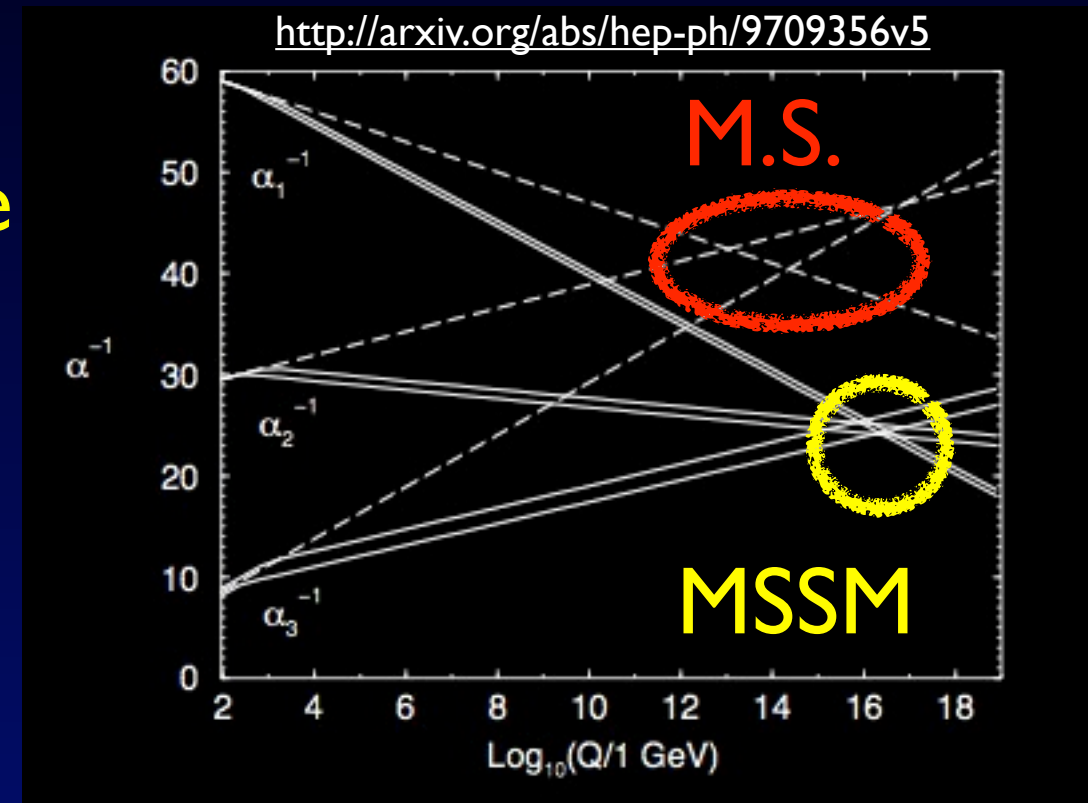
- SUSY n’est pas conservée : les partenaires SUSY sont *lourds*

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

■ la superparticule la plus légère (LSP) est stable

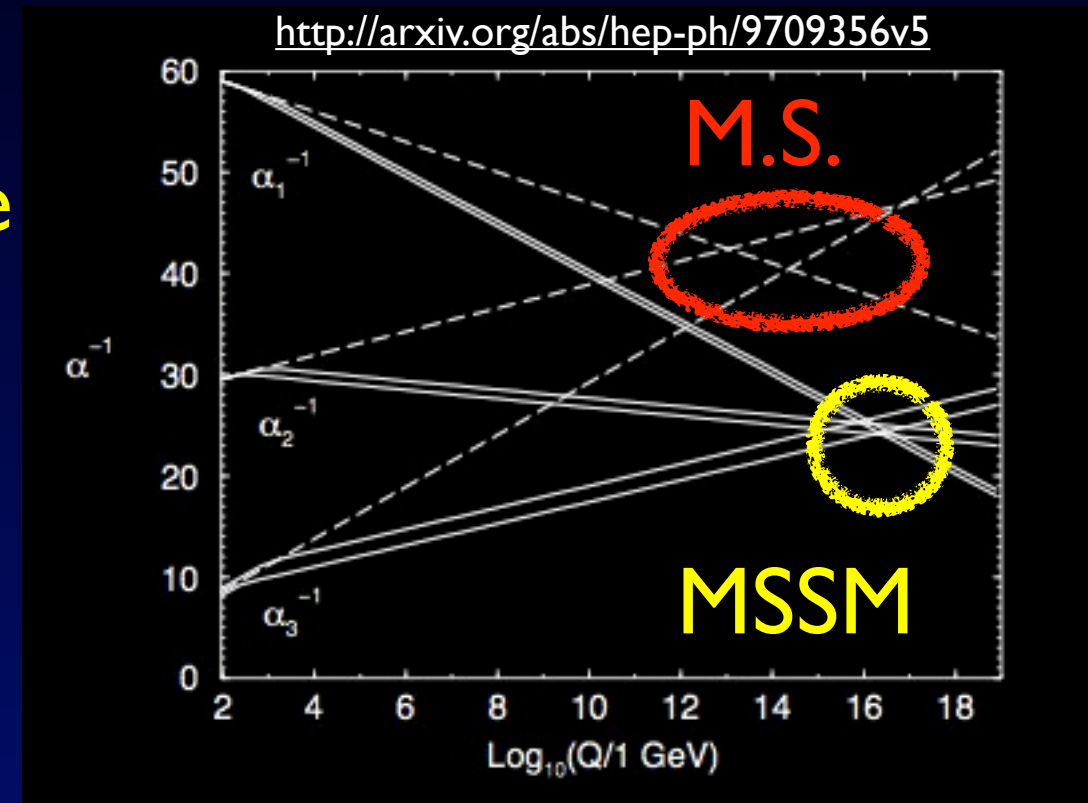
Supersymétrie: quel intérêt?

- 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...

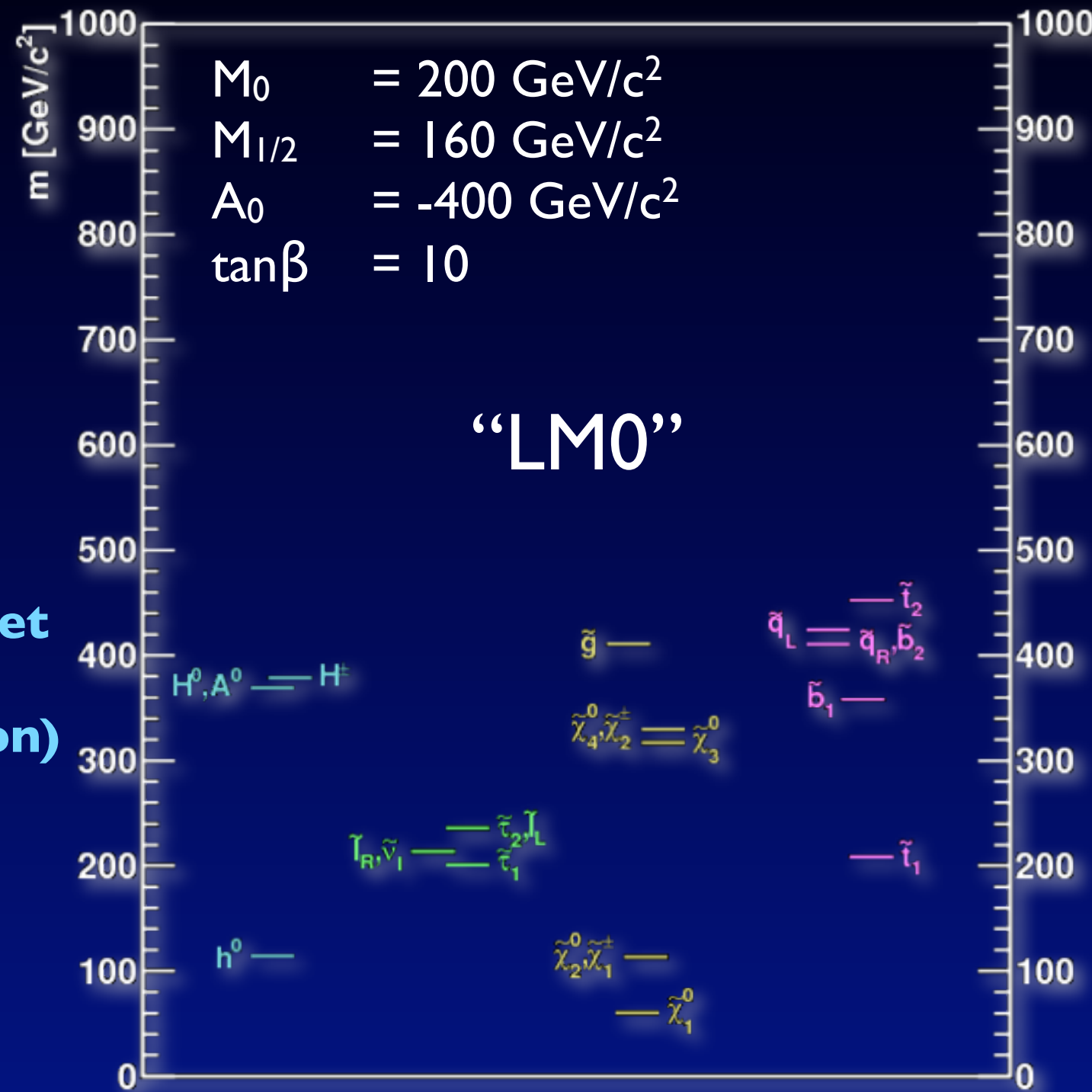


Vers une phénoménologie SUSY

- 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

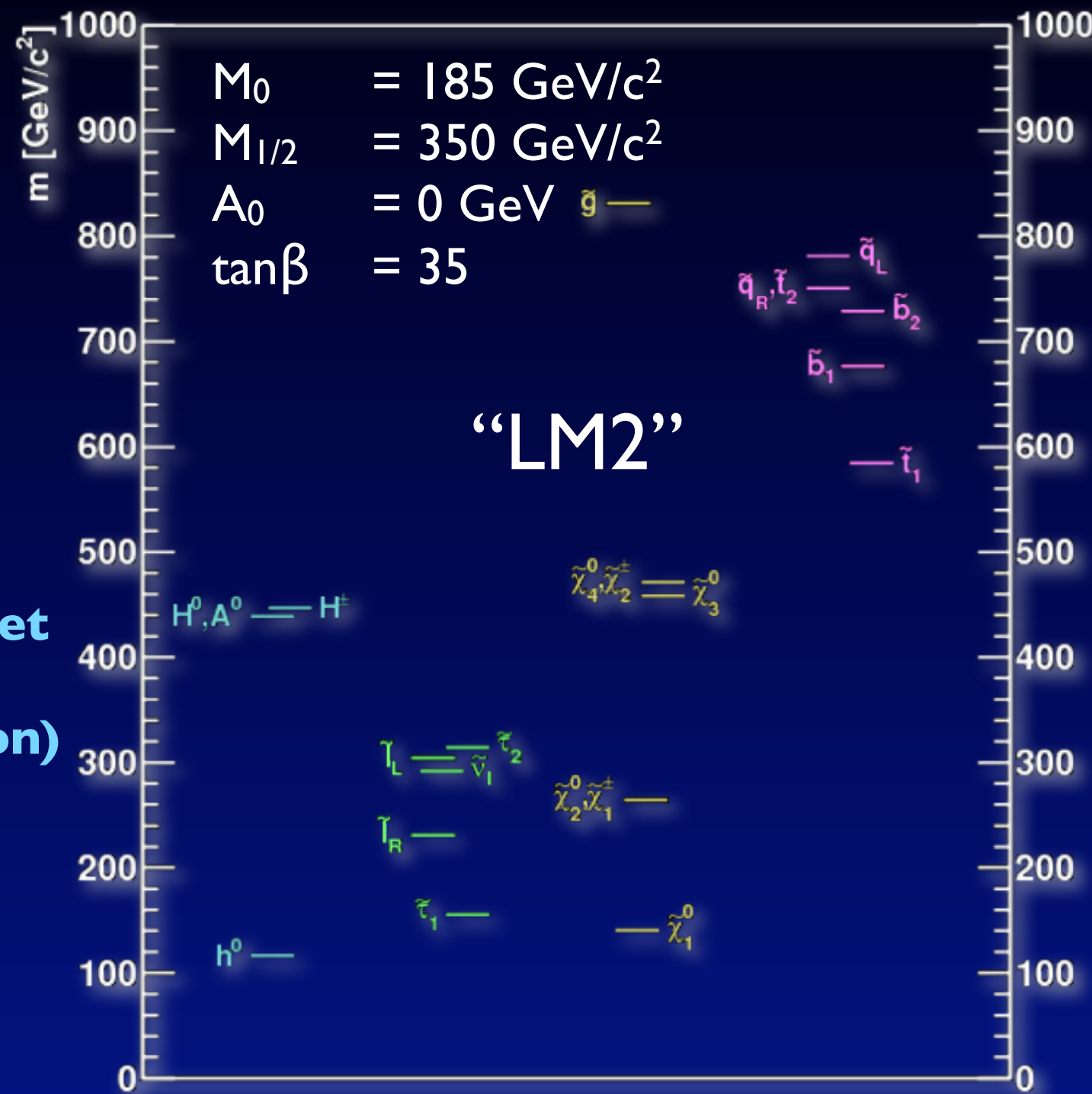
Vers une phénoménologie SUSY

- 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



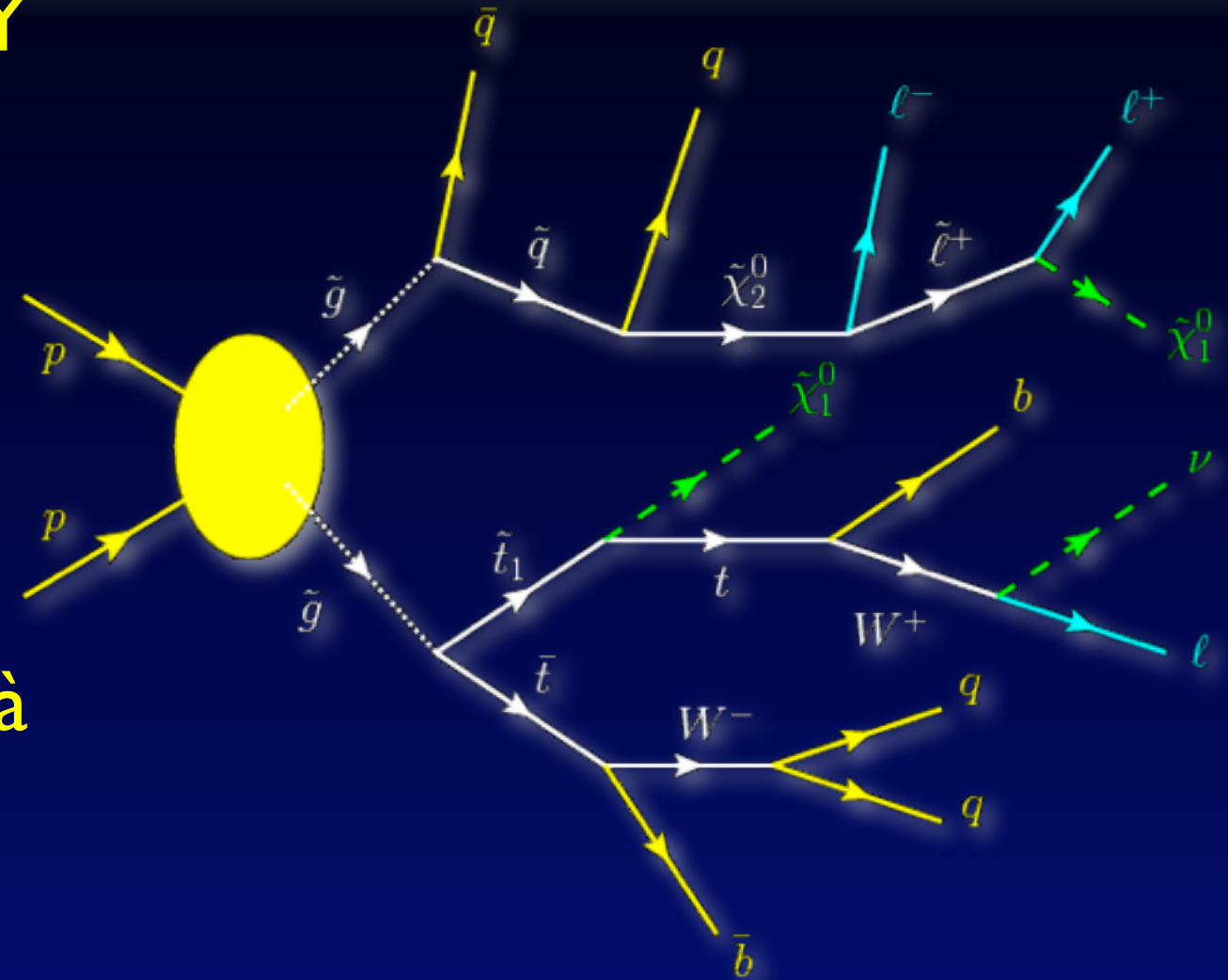
A la recherche de SUSY au LHC

- 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



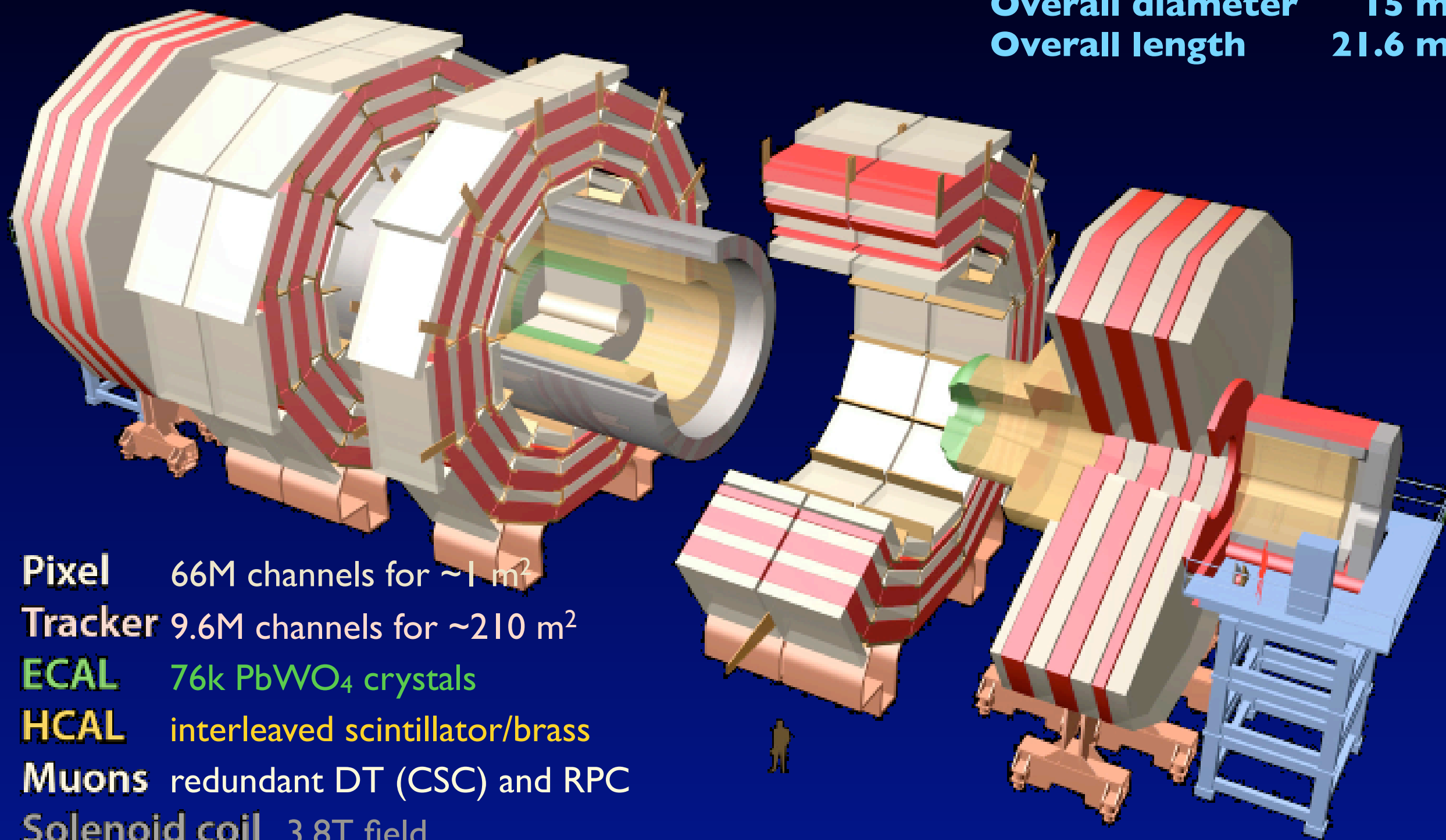
Un événement SUSY “typique”
nombreux jets, leptons et énergie manquante

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

CMS

The Compact Muon Solenoid

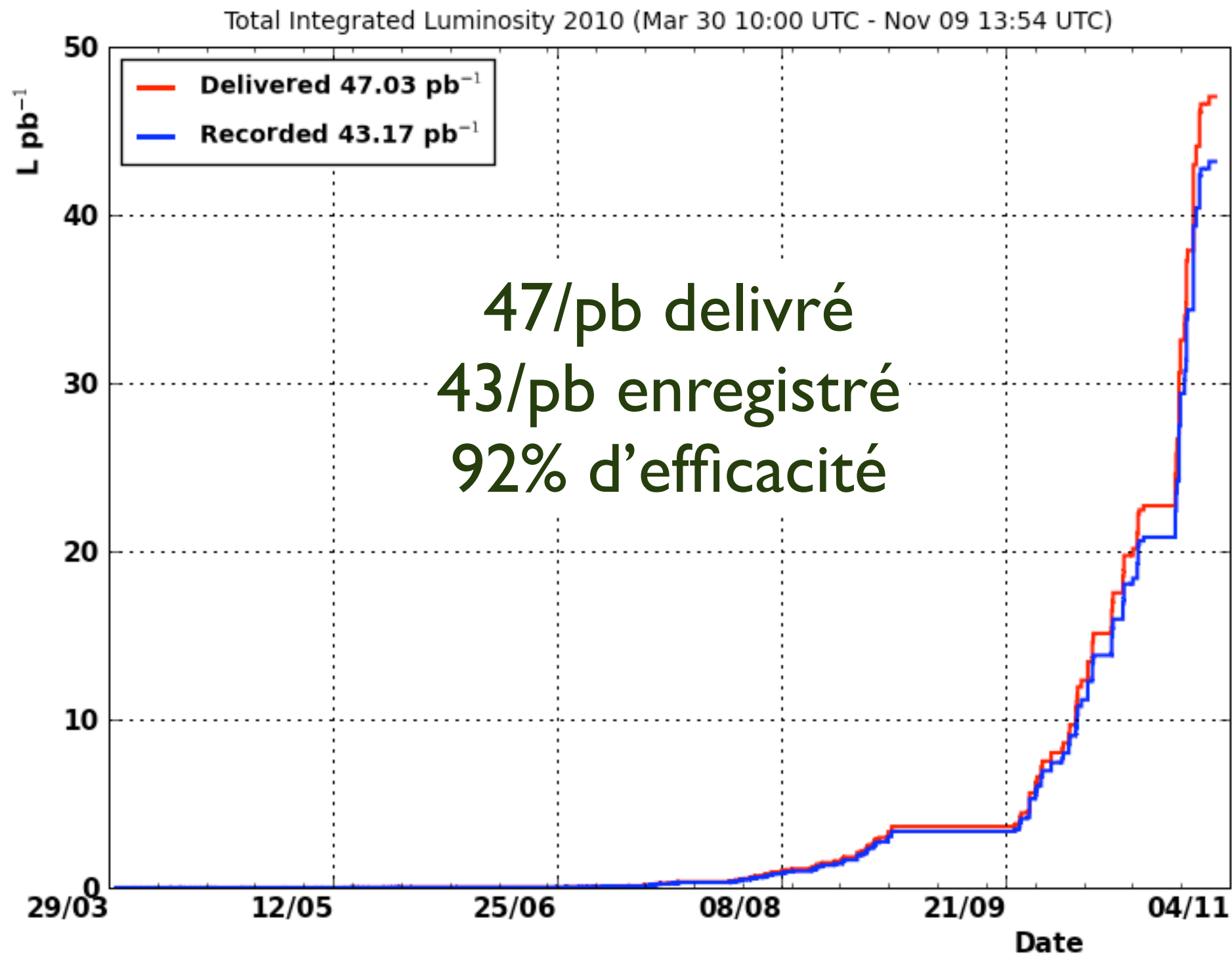
Total weight	12500 t
Overall diameter	15 m
Overall length	21.6 m



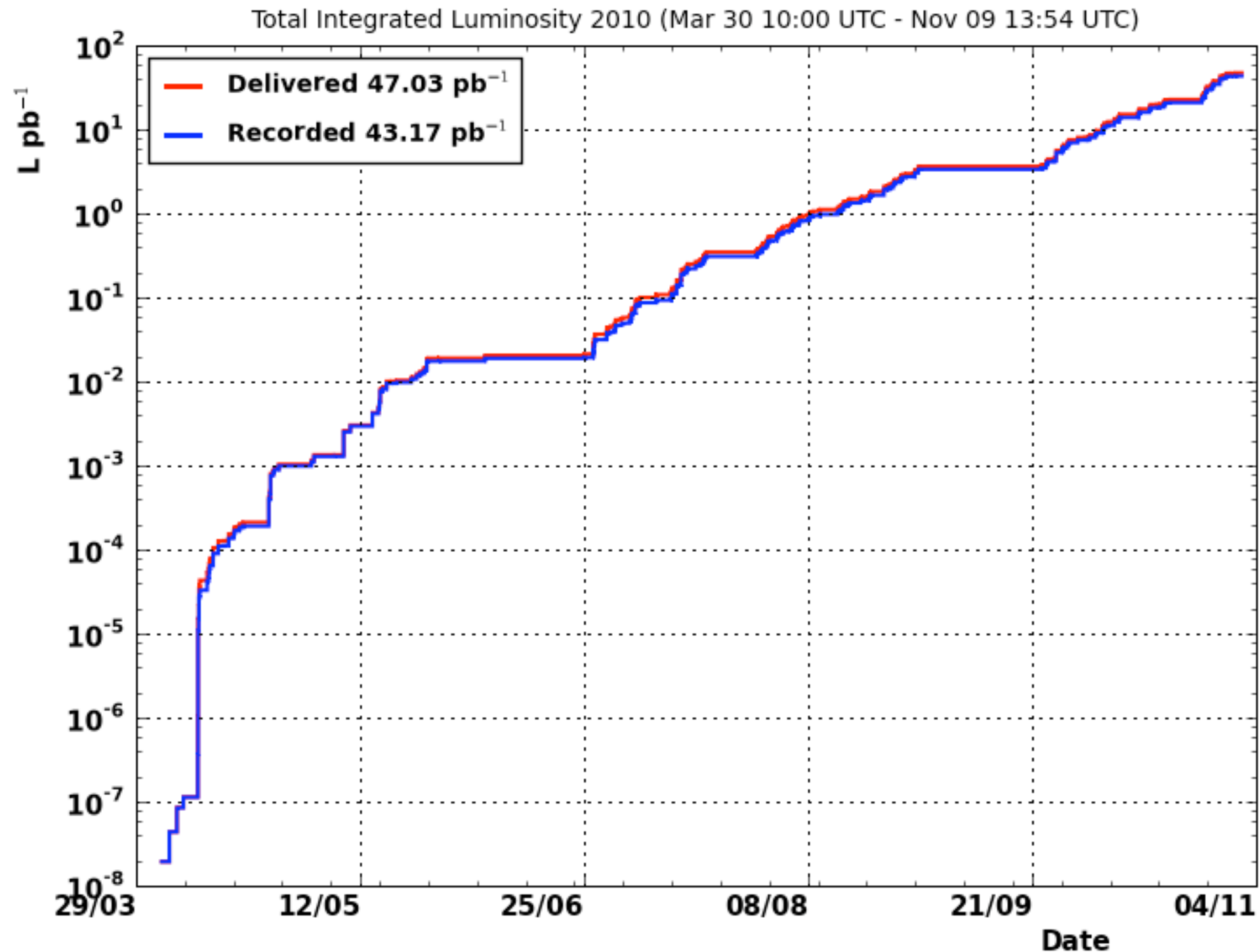
Pixel 66M channels for $\sim 1 \text{ m}^2$
Tracker 9.6M channels for $\sim 210 \text{ m}^2$
ECAL 76k PbWO_4 crystals
HCAL interleaved scintillator/brass
Muons redundant DT (CSC) and RPC
Solenoid coil 3.8T field

L'échantillon 2010

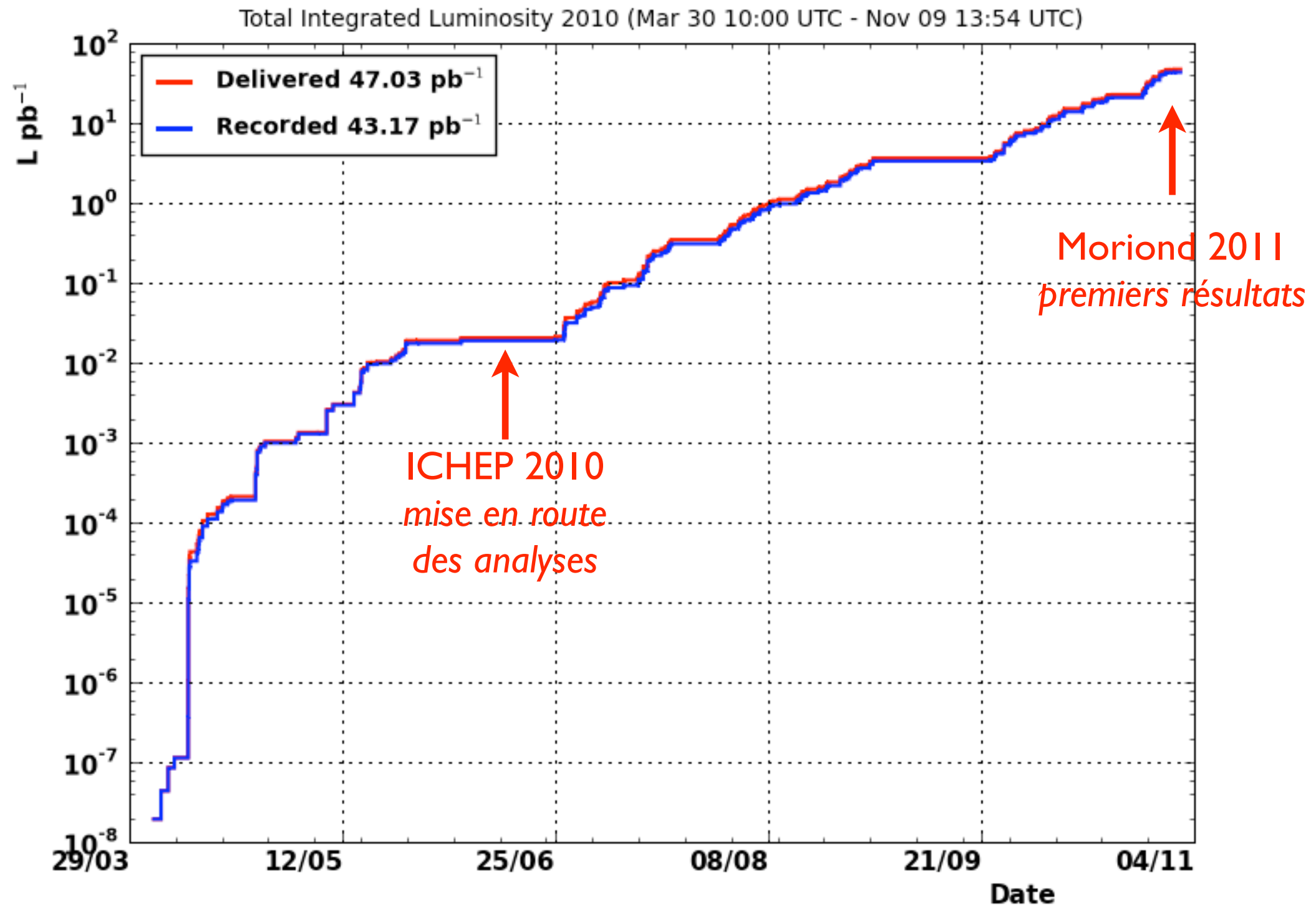
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/LumiPublicResults2010>



L'échantillon 2010

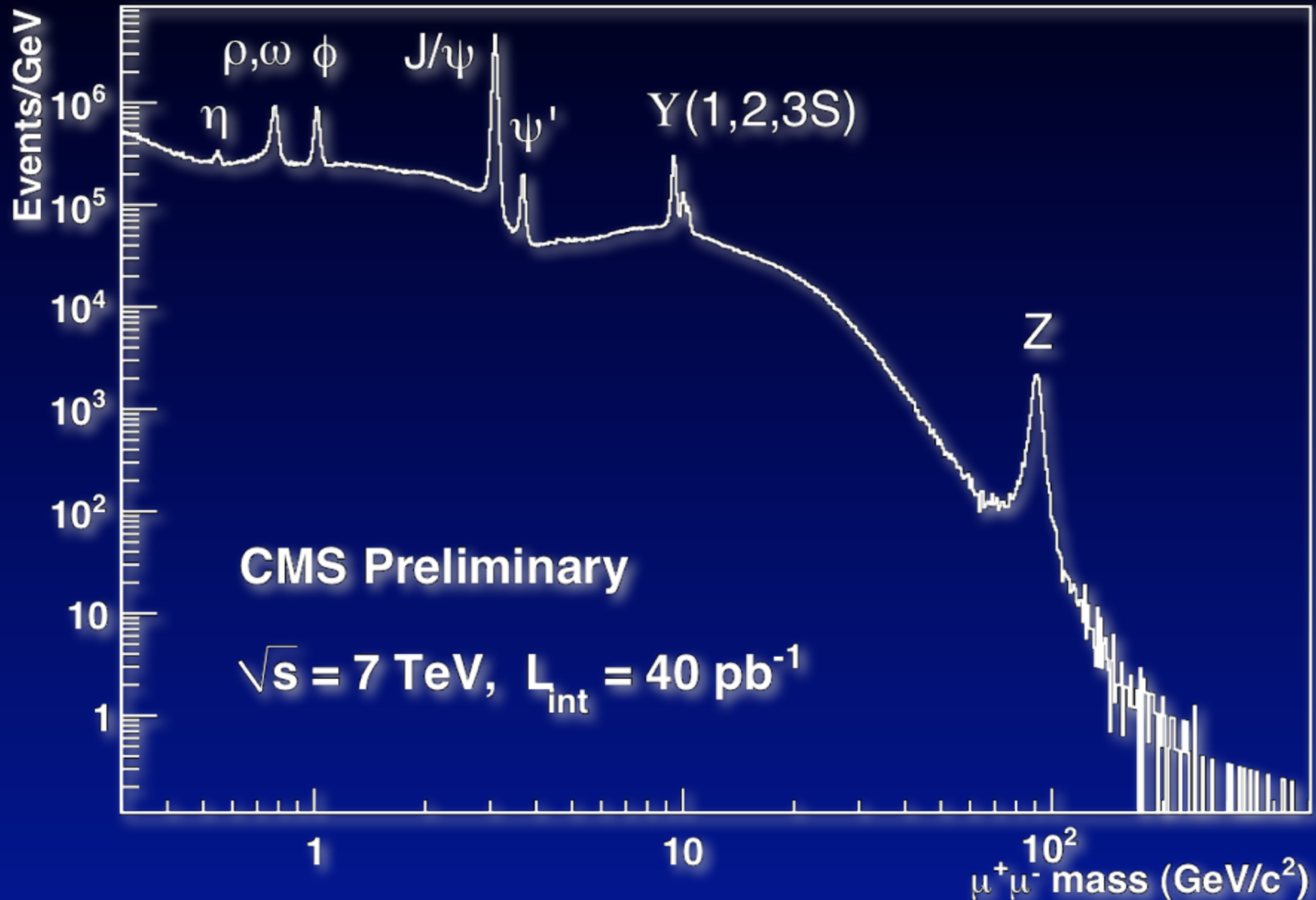


L'échantillon 2010



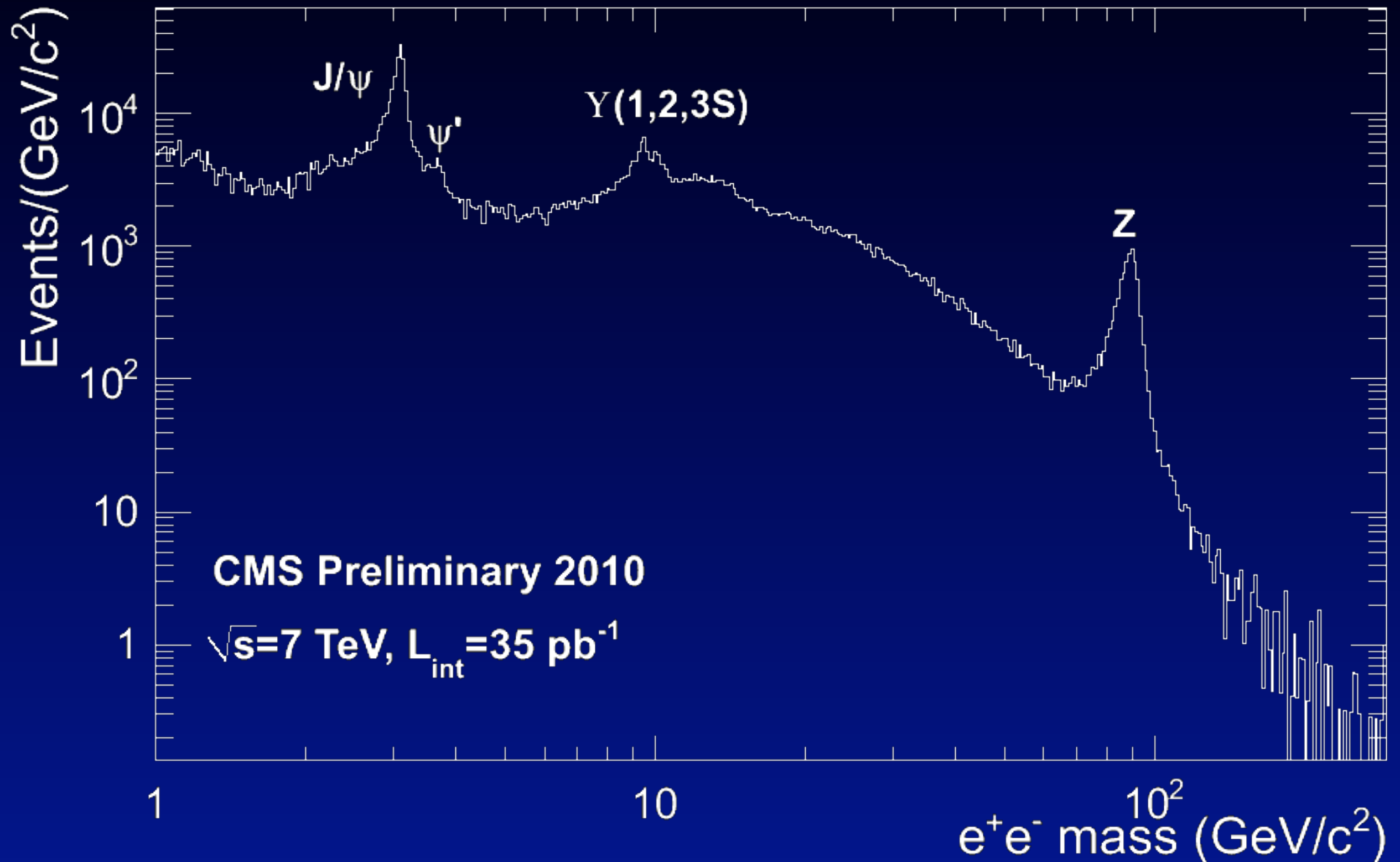
Muons...

<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)

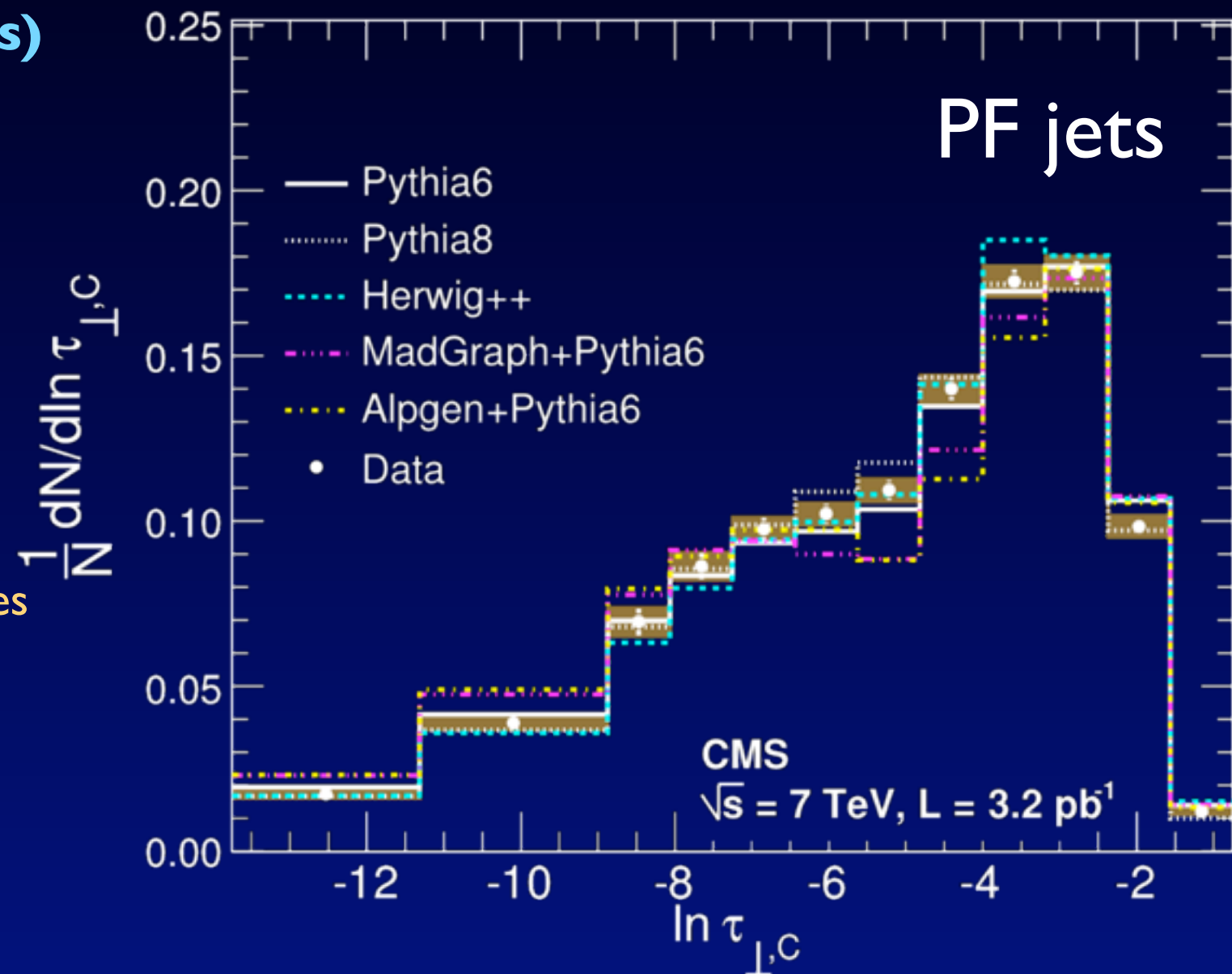
- à partir du trajectographe seul

- ▶ 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

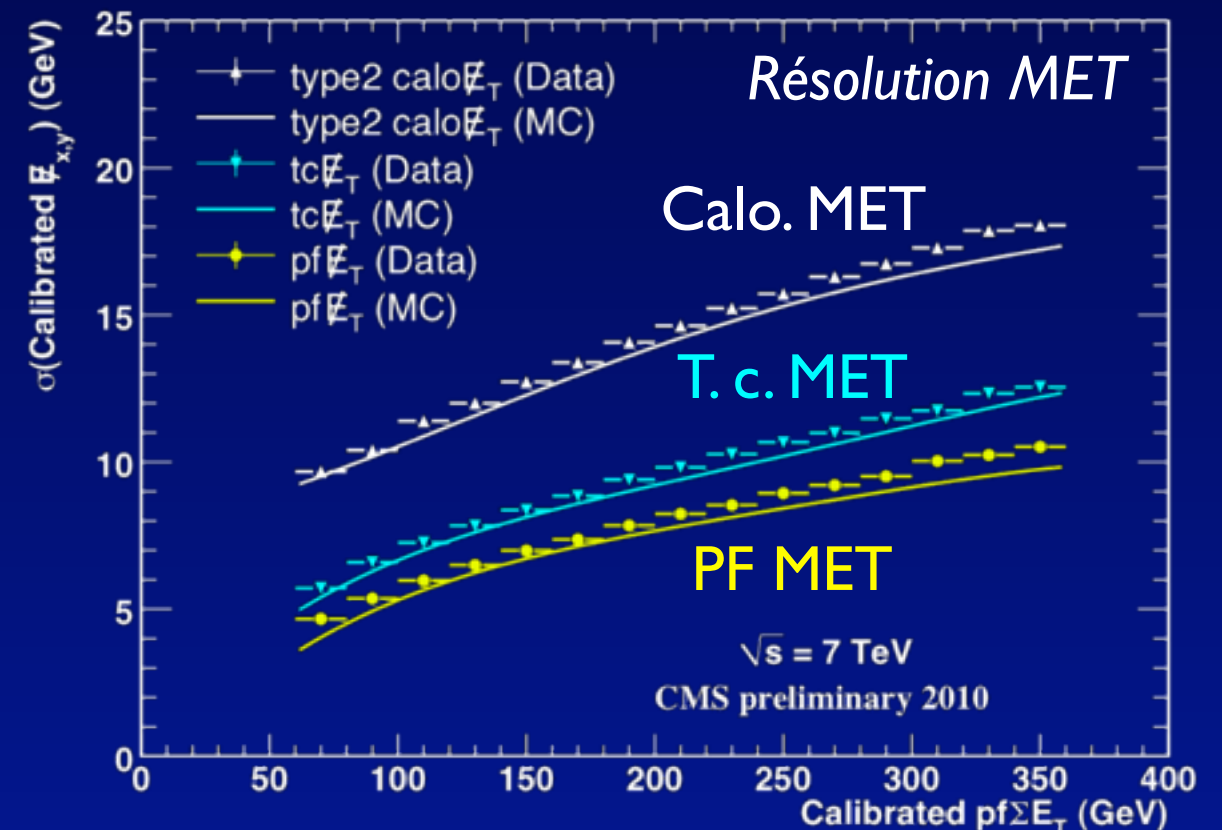
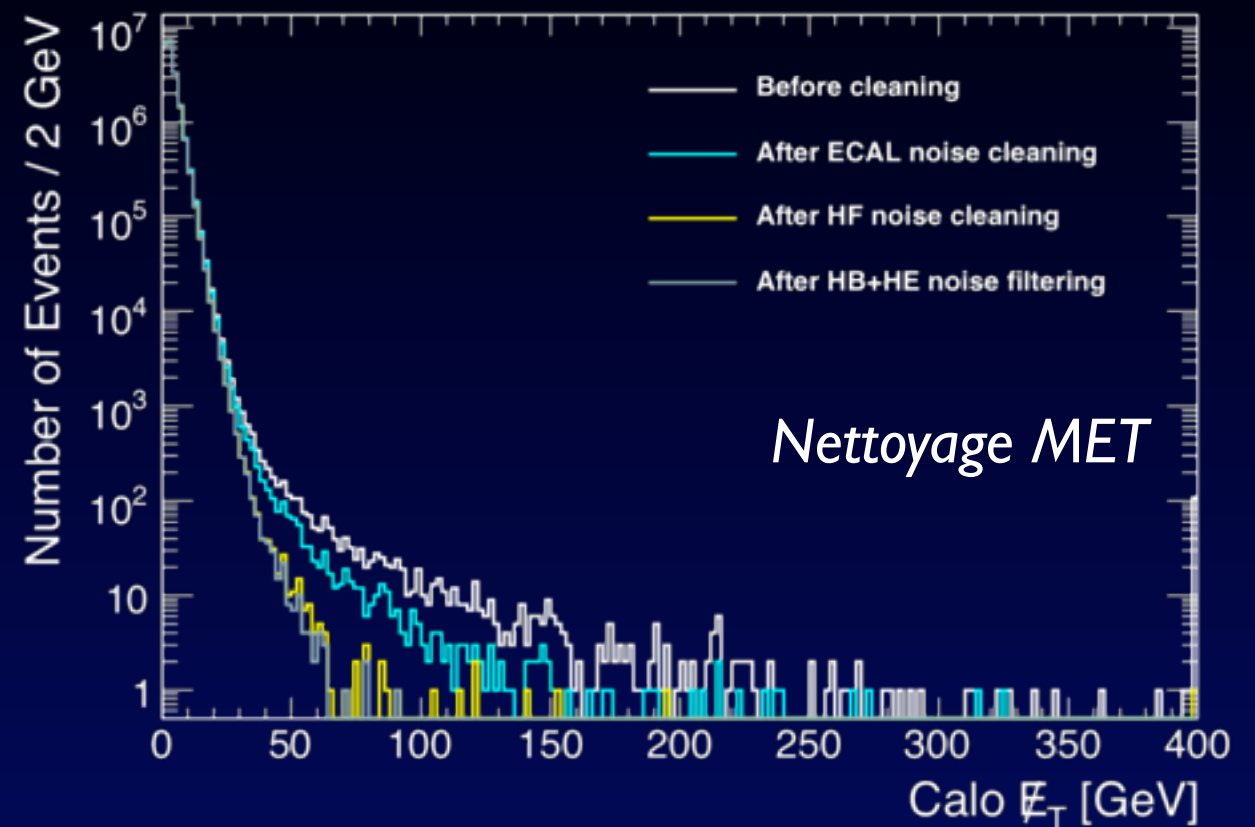
- crucial pour les recherches SUSY (et autres)

- efficace contre le bruit dans les queues

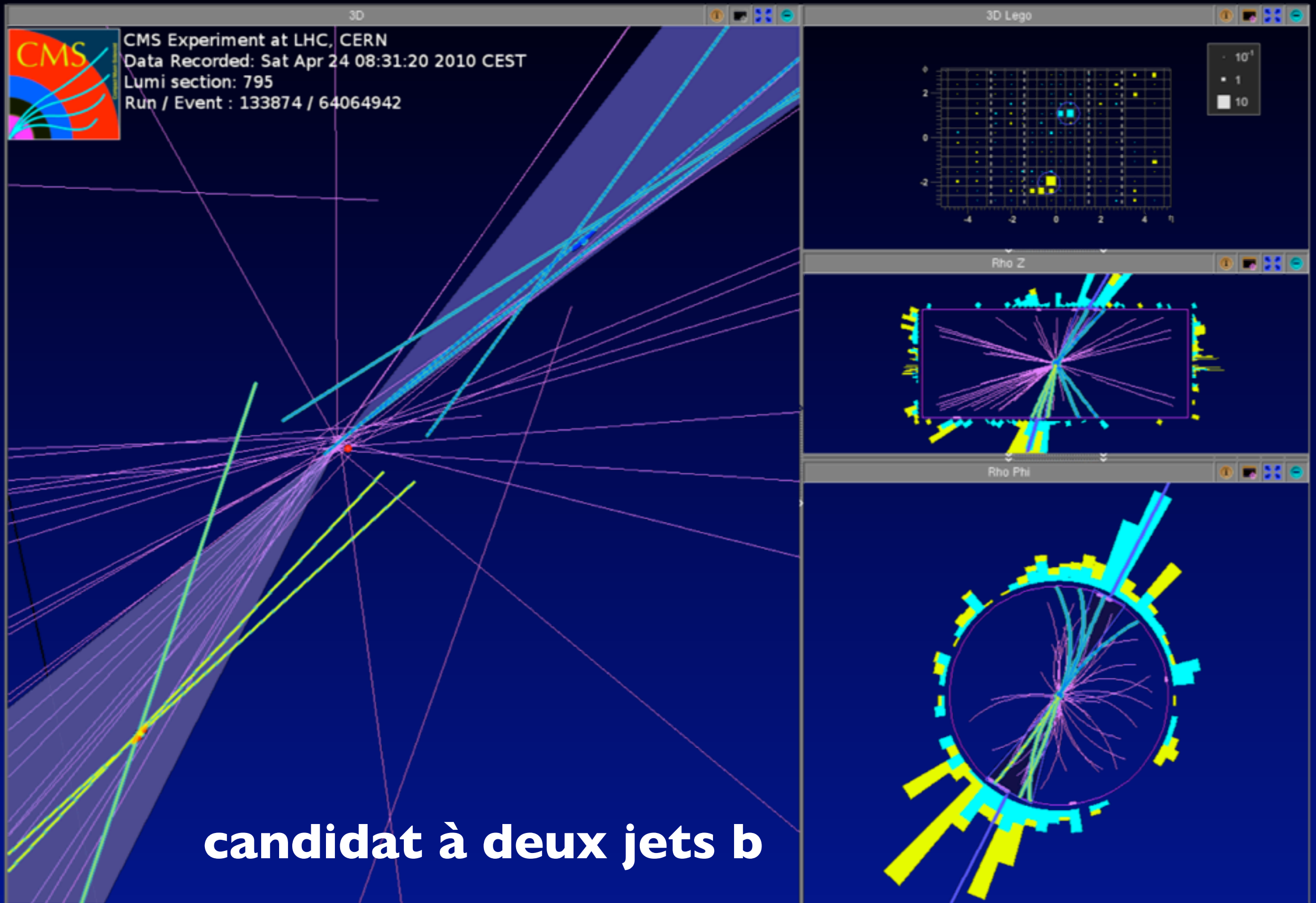
- Résolution MET en fct. de $\Sigma(E_T)$

- ▶ démontre l'intérêt de combiner l'information des sous-détecteurs

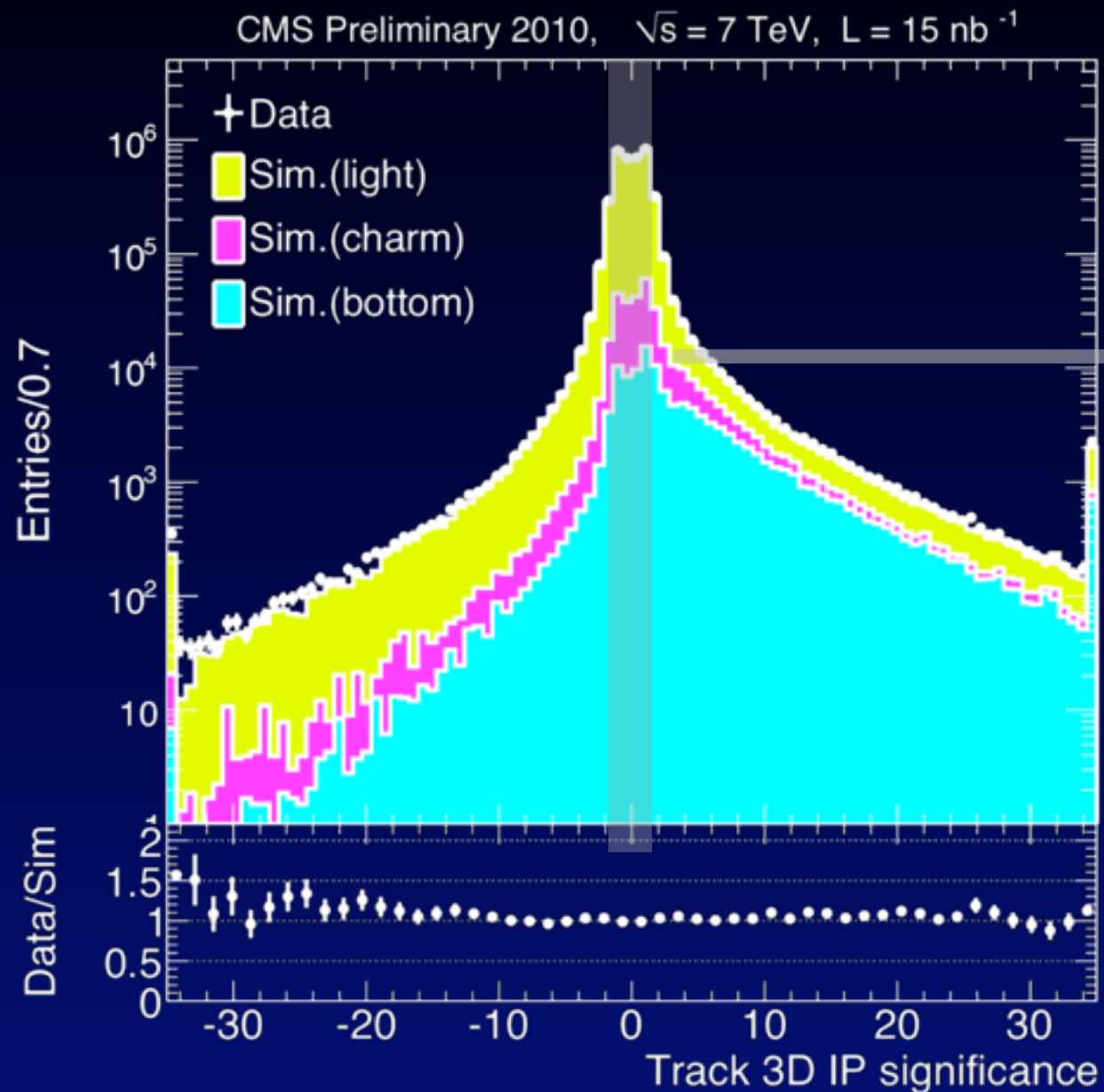
- comme le prédit le Monte Carlo...



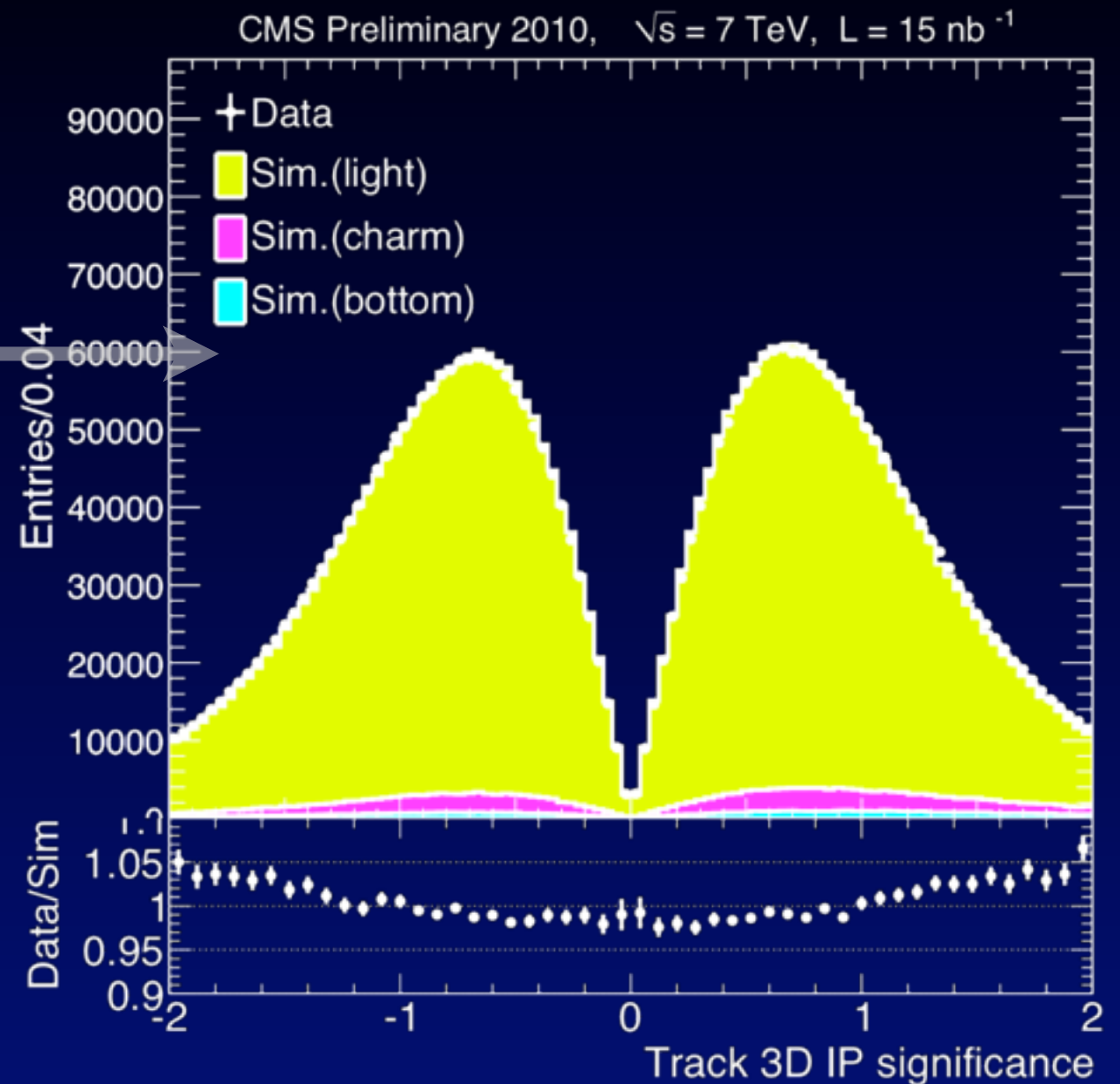
Juste encore une dernière chose...



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)**

Recherches
hadroniques

Recherches leptoniques

# leptons	Recherches hadroniques		Recherches leptoniques		
	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)

● 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 SUSY sur CMS

● Rappel

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

Recherches
hadroniques

Recherches leptoniques

# leptons	Recherches hadroniques		Recherches leptoniques		
	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)

● 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”**

➡ **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*

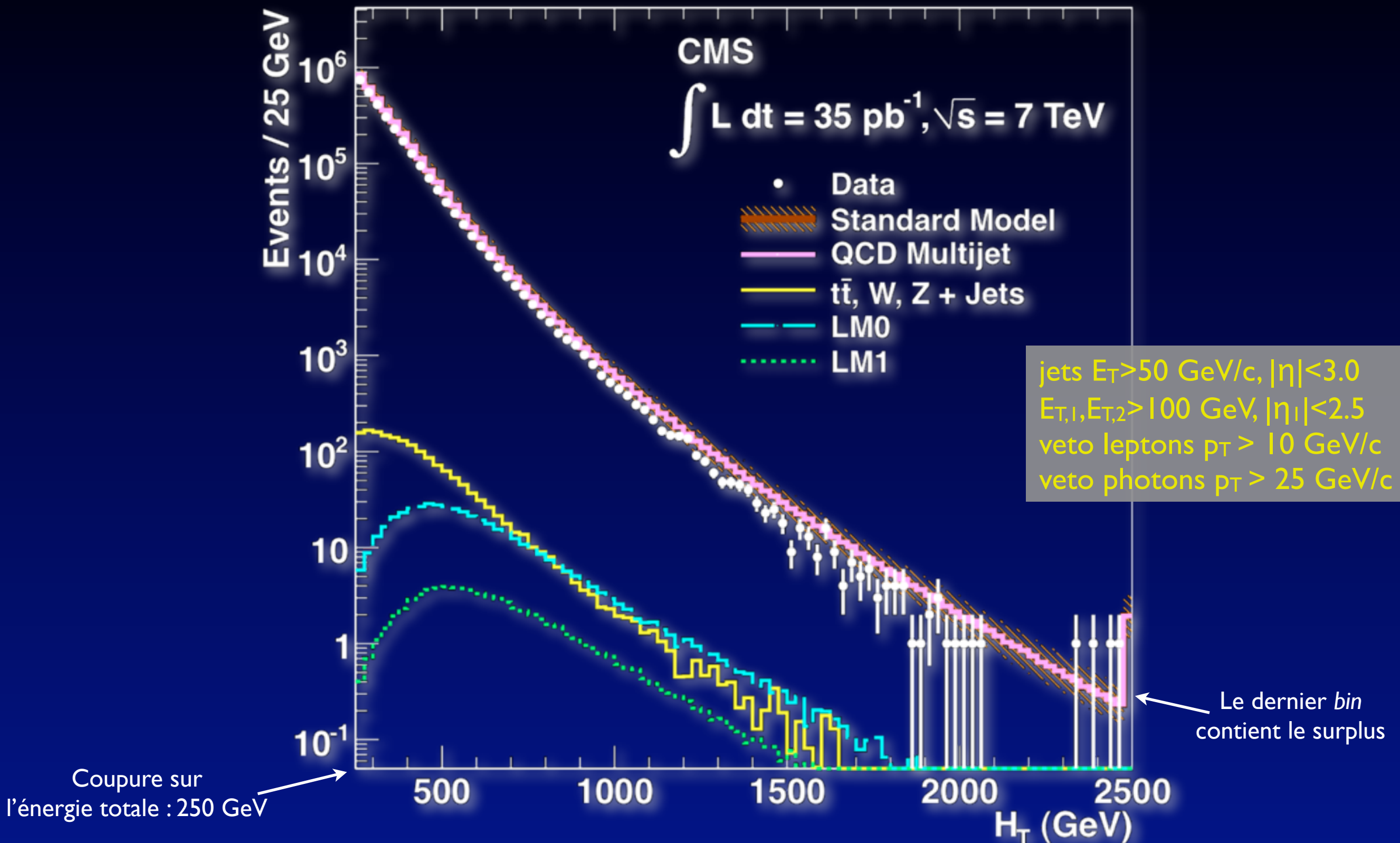
- ▶ **la nouvelle physique se manifeste comme un “excès”**

	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.)**

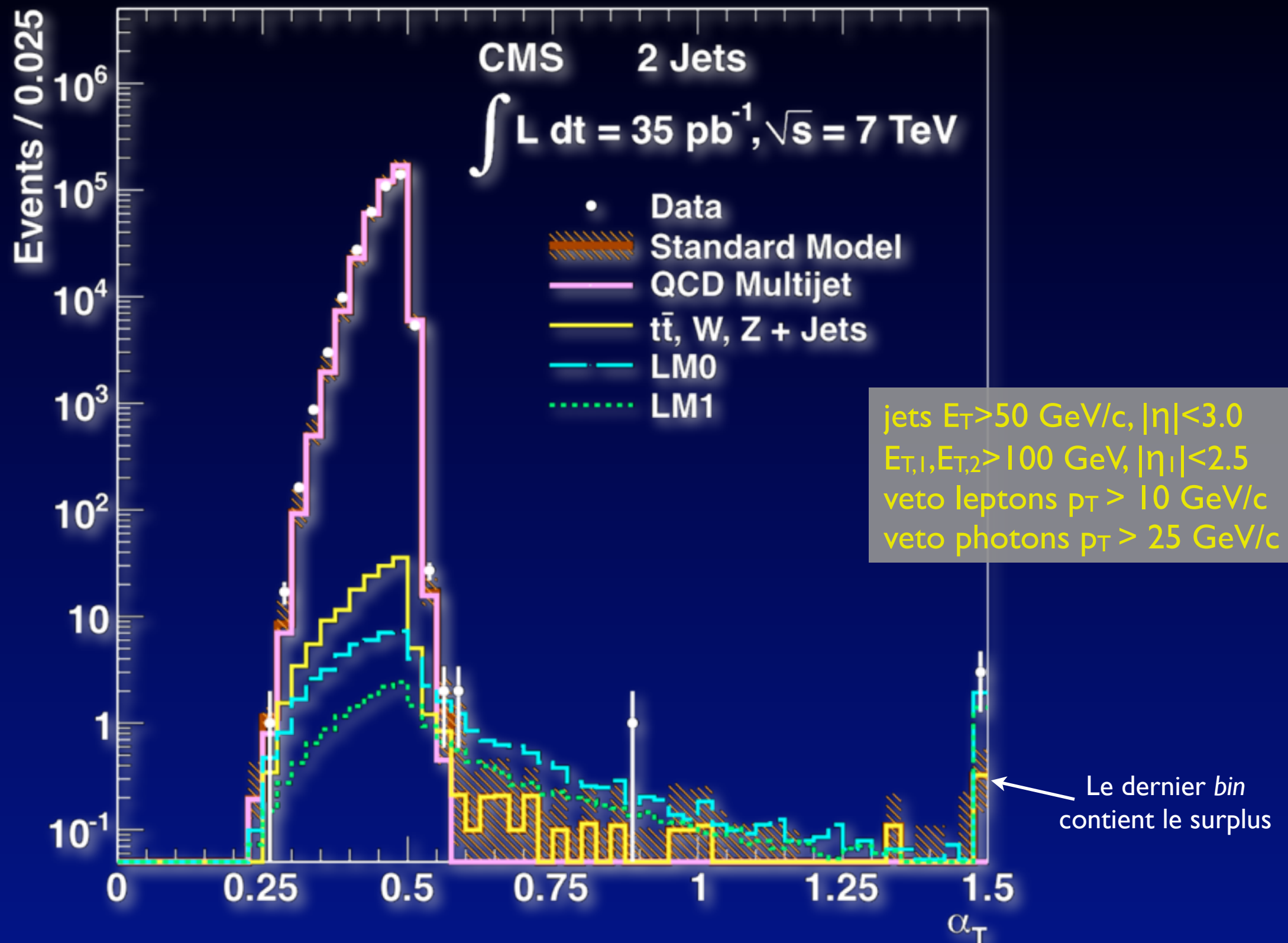
(Un début de)
Recherche SUSY
hadronique

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)

- Événements à n jets ($n \geq 2$)

- On construit la variable :

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

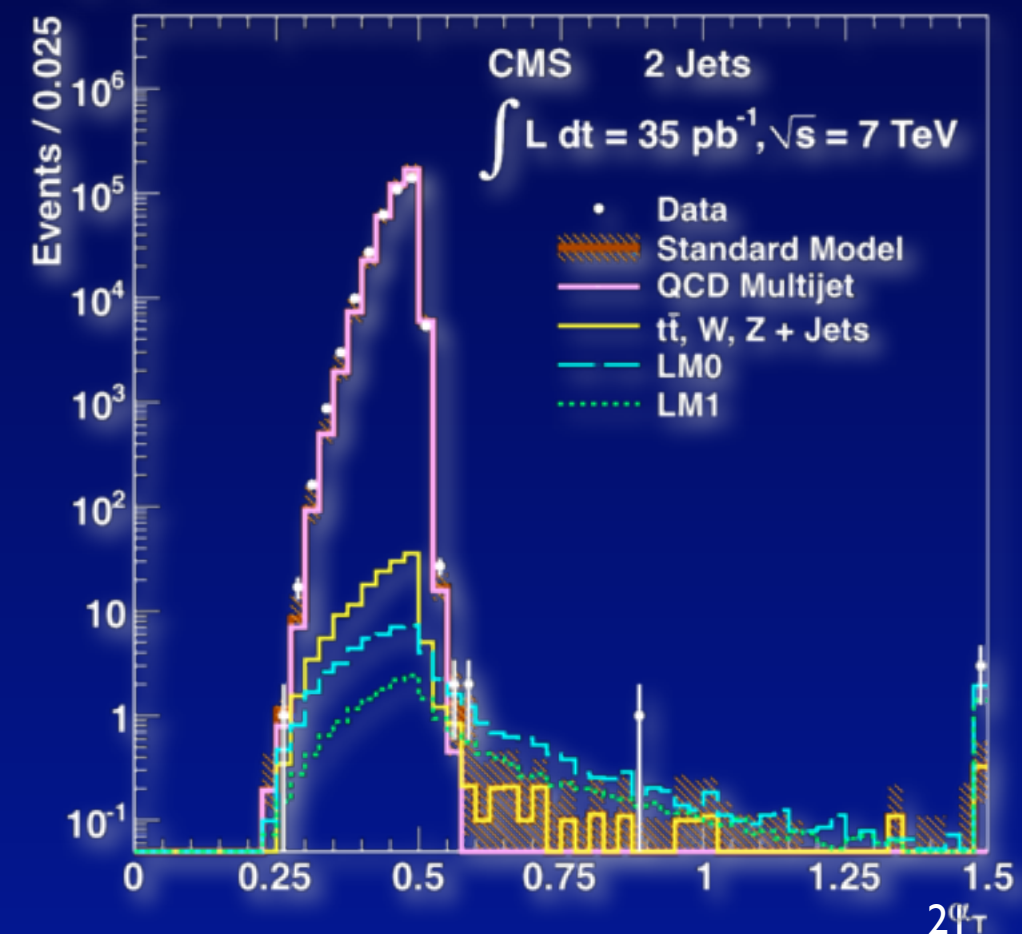
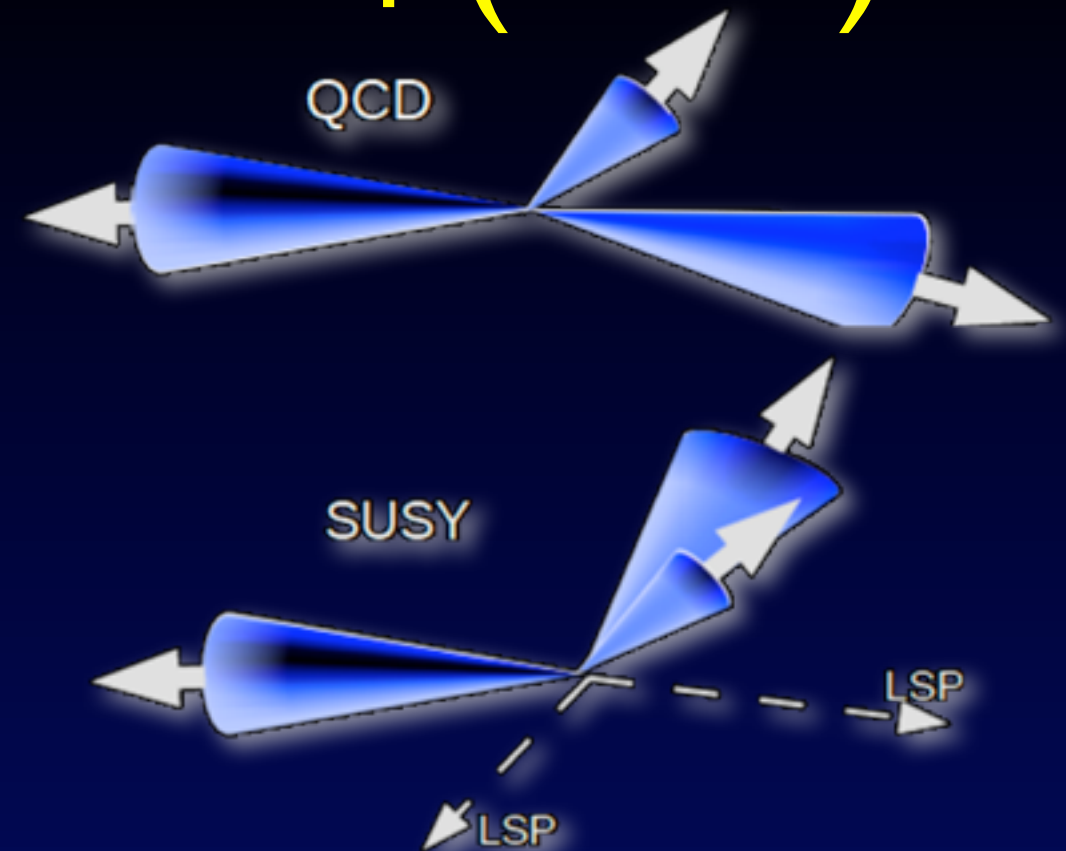
- $\alpha_T = 0.5$ pour des di-jets parfaitement équilibré
 - $\alpha_T < 0.5$ en cas de més-estimation de l'énergie

- 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

• $MHT/MET < 1.25$

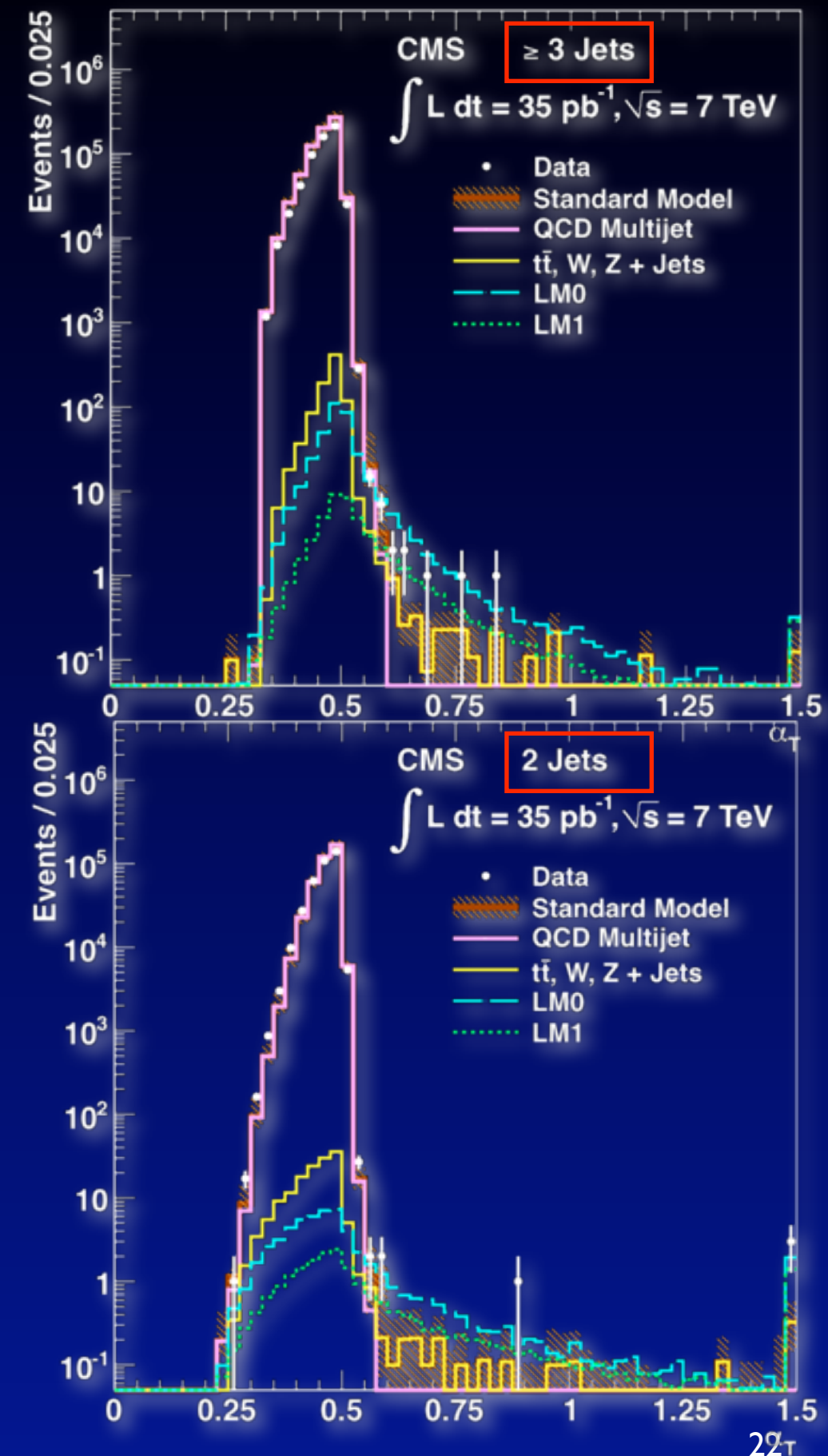
▶ jets dans une zone morte

■ basé sur $\Delta\phi^*$ (détecte 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)

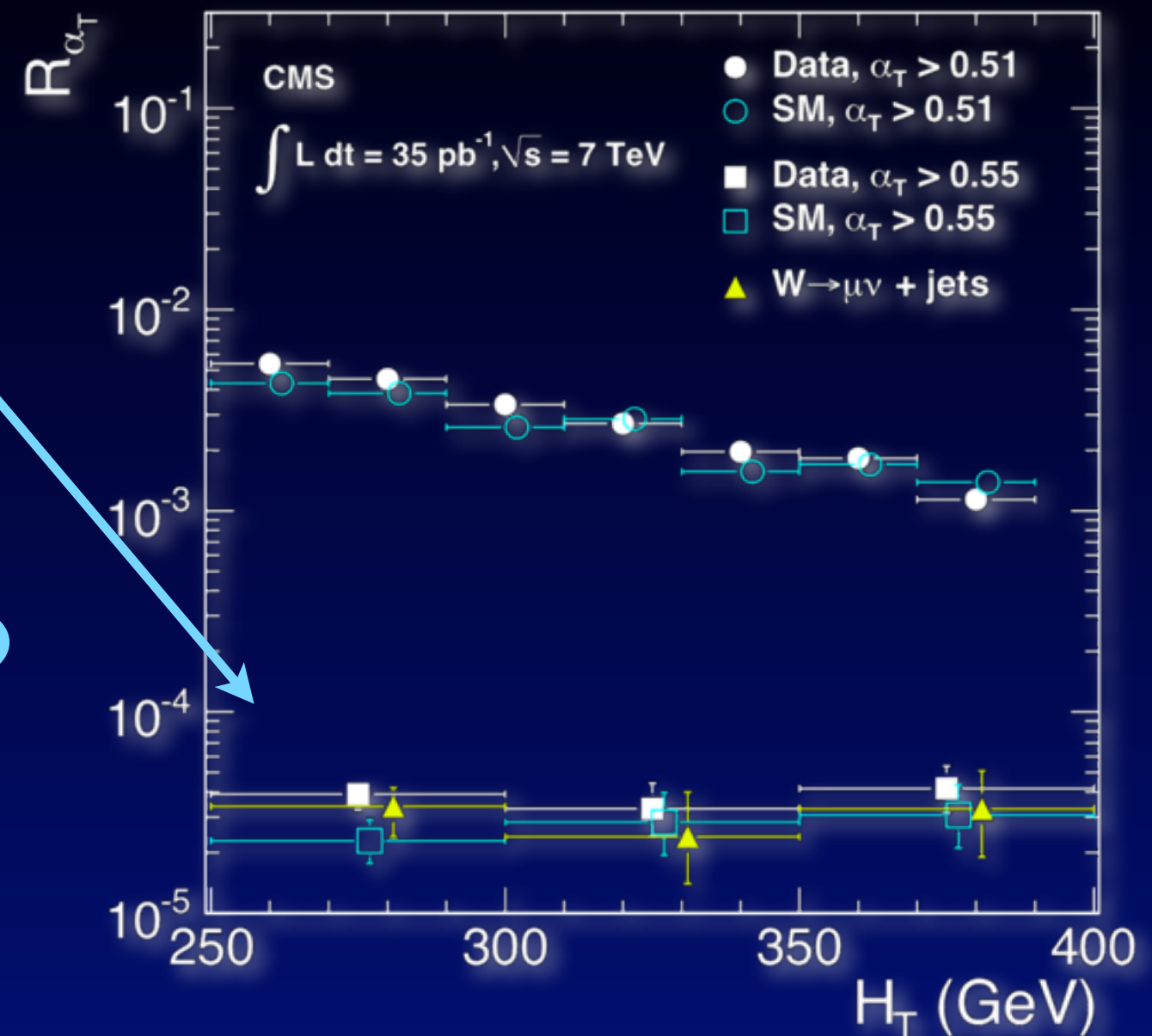
- en supposant que cette fraction est constante, on estime R_{α_T} dans la région $H_T > 350$ GeV

- Estimation de W +jets et top

- ▶ événements $W \rightarrow \mu\nu$

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

- ▶ événements γ +jets



Estimation du “bruit de fond”

- Etude de la fraction d'év. qui ne passent pas $\alpha_T > 0.55$, $R_{\alpha T}$

▶ indépendant de H_T pour le M.S.

▶ augmente avec H_T pour SUSY

▶ $R_{\alpha T}$ est estimé dans les deux premiers *bins* H_T (250 et 300 GeV)

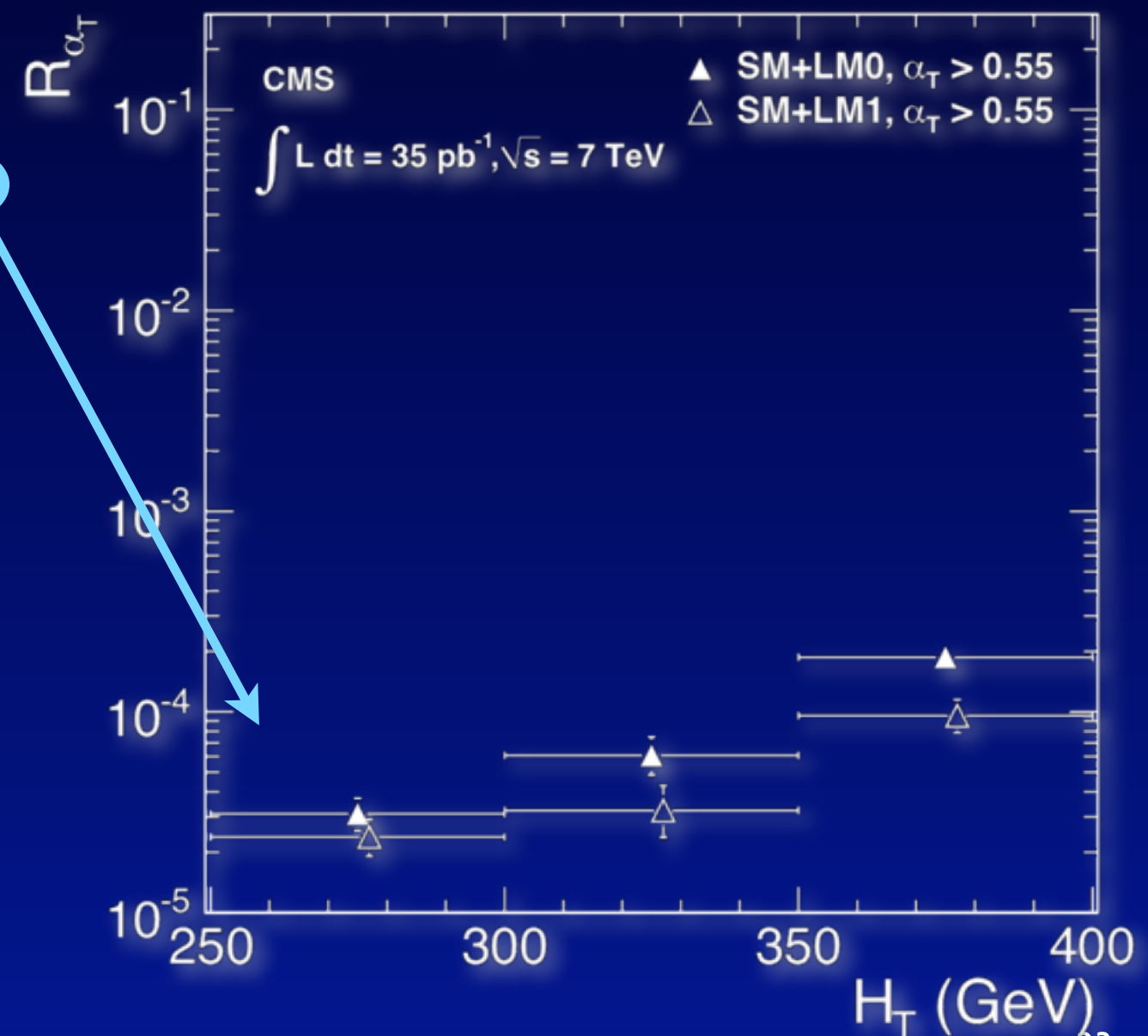
- en supposant que cette fraction est constante, on estime $R_{\alpha T}$ dans la région $H_T > 350$ GeV

- Estimation de W +jets et top

▶ événements $W \rightarrow \mu\nu$

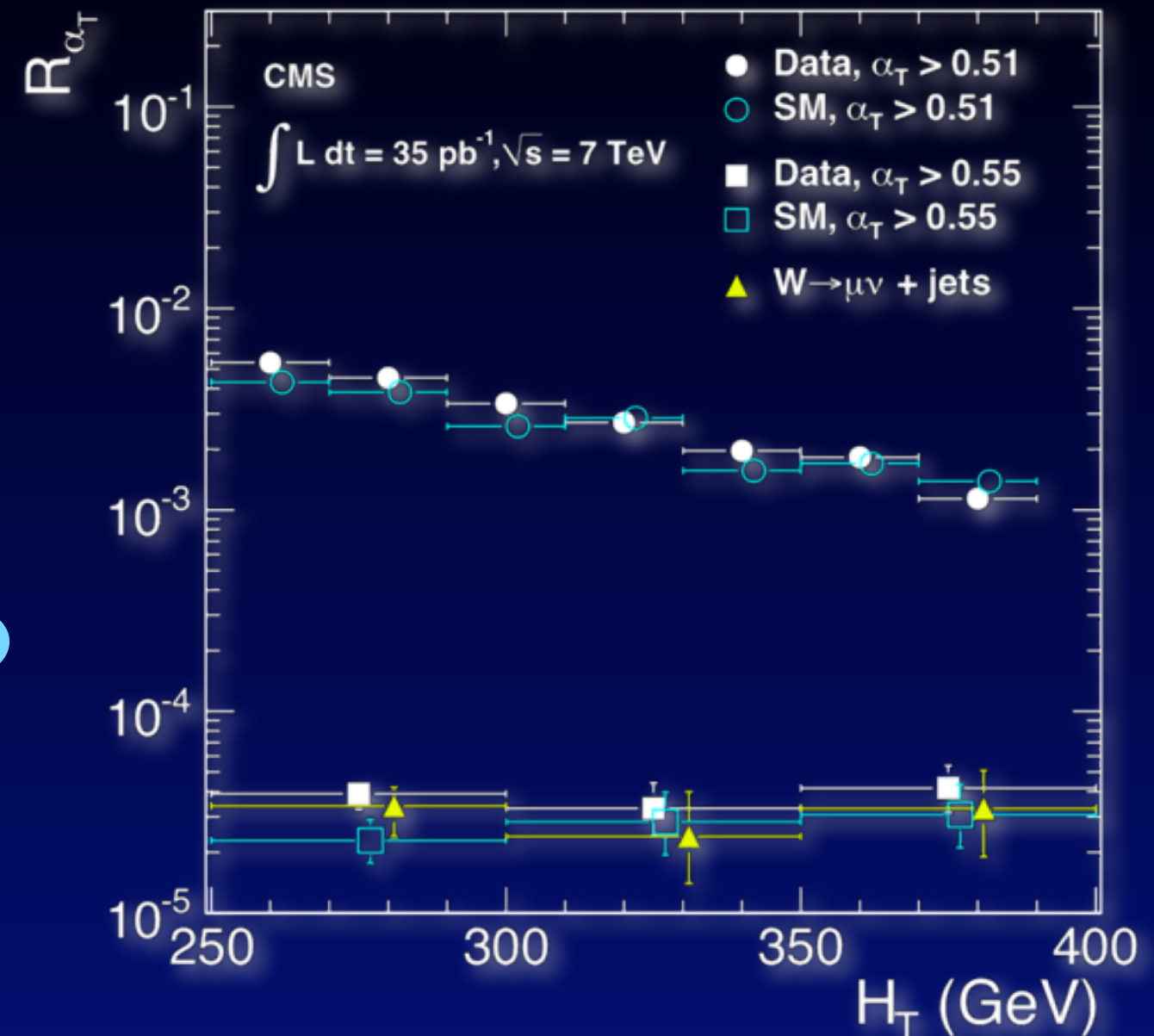
- Estimation de $Z \rightarrow \nu\nu$

▶ événements γ +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 $W + \text{jets}$ et top
 - ▶ événements $W \rightarrow \mu\nu$
- Estimation de $Z \rightarrow \nu\nu$
 - ▶ événements $\gamma + \text{jets}$



Résultats (synthèse)

● Événements observés : 13

► compatibles avec le M.S.

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

● Événements prédits:

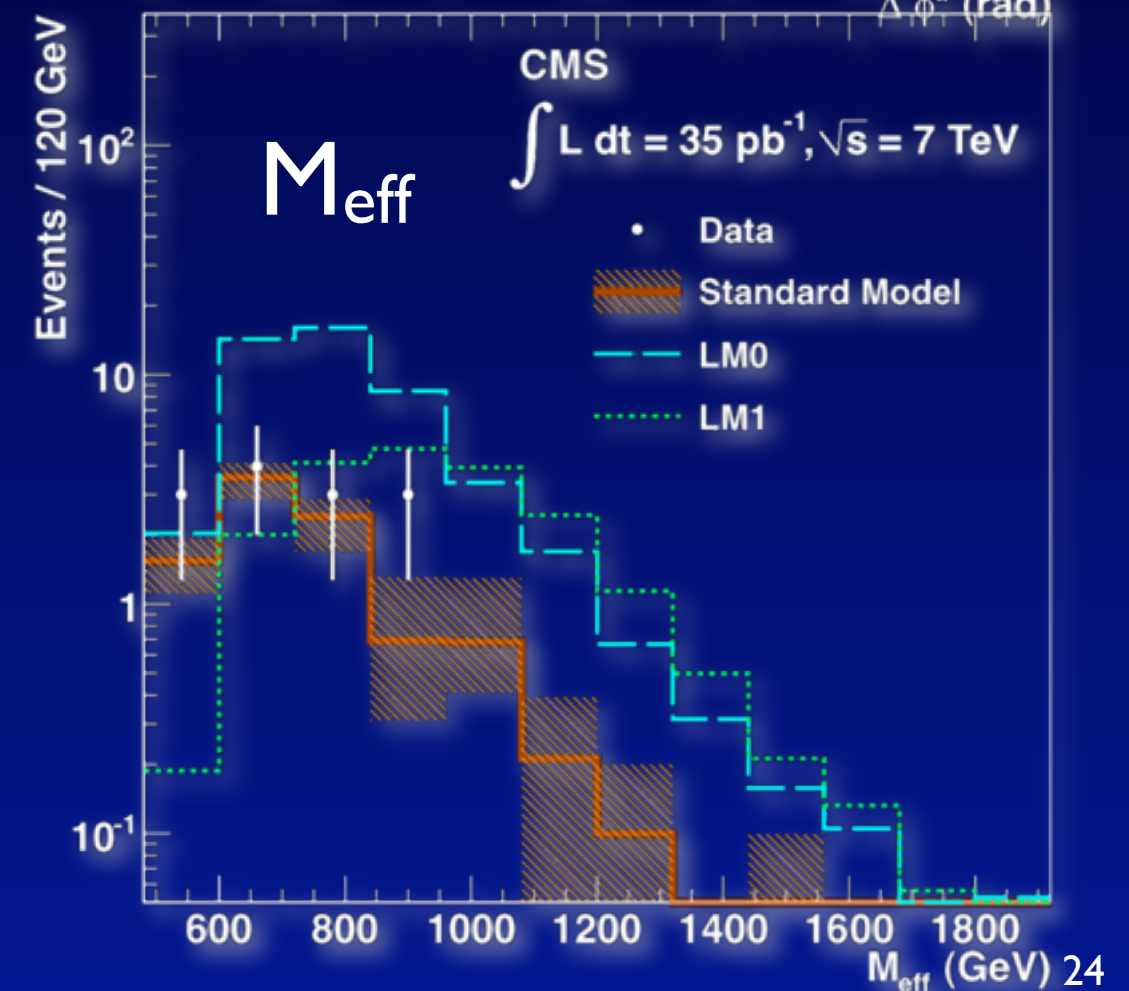
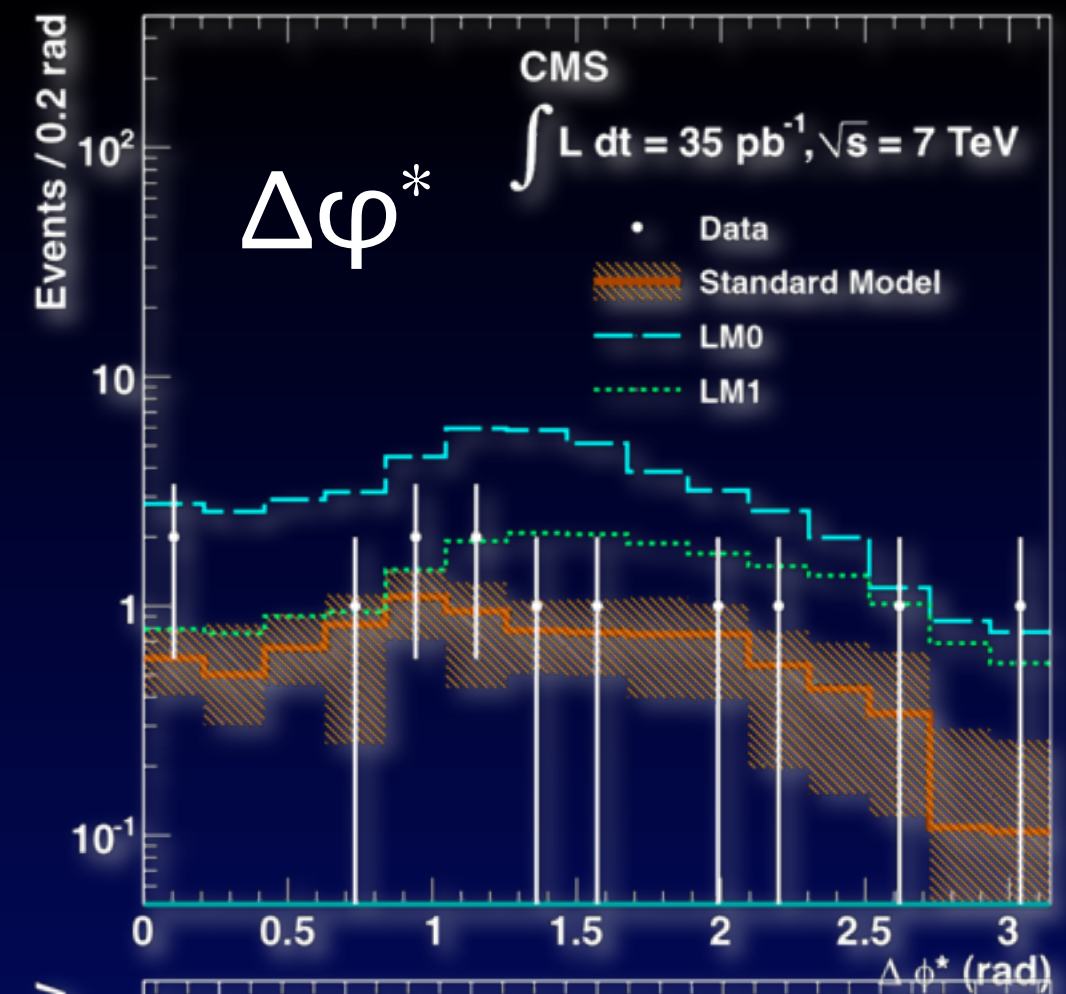
► **inclusif** : $9.4^{+4.8}_{-4.0}(\text{stat}) \pm 1.0(\text{syst})$

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

► **Z→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 :

$$\tilde{q} \rightarrow q + \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow q + \tilde{\chi}_1^0 + \ell^+ + \ell^-$$

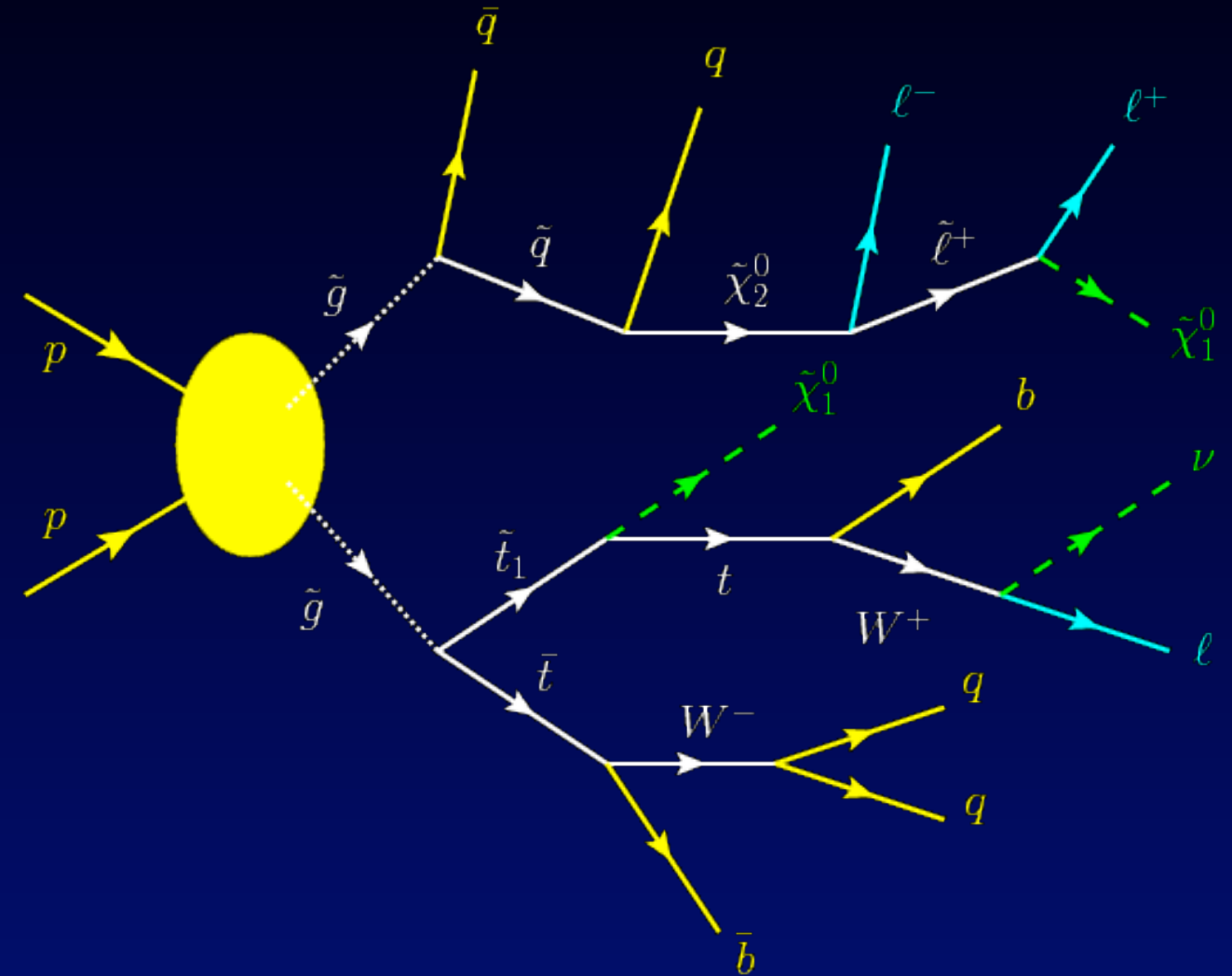
- deux désintégrations à deux corps
(slepton ou boson Z)

- 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”

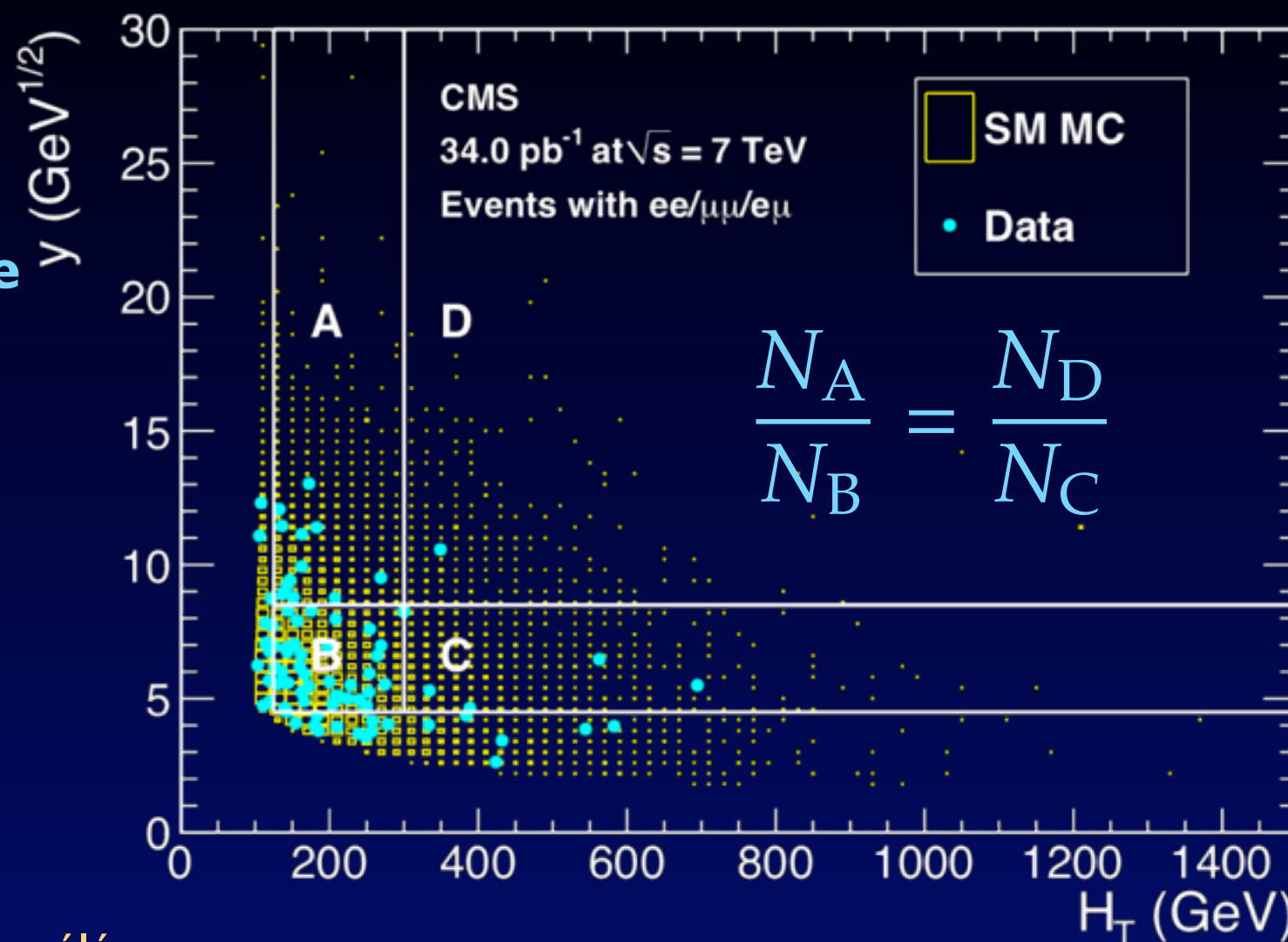
- $N_D = N_C \times N_A / N_B$ si variables non corrélées

- Résultats

- ▶ observation : 1 événement

- ▶ prédiction : $1.3 \pm 0.8 \pm 0.3$

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



Interprétation
et un rapide coup d'œil vers le futur

Approches de l'interprétation

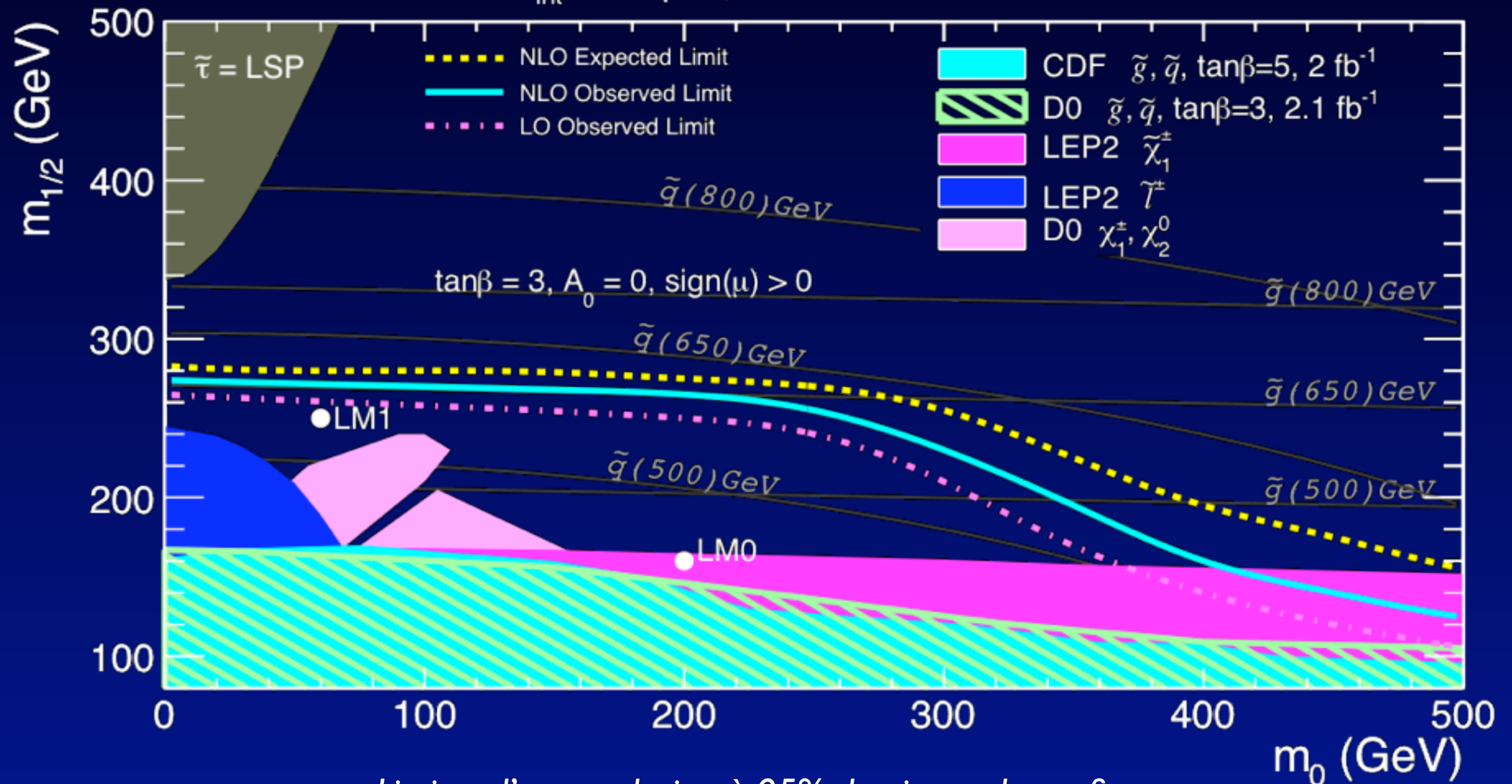
- Représentation du résultat dans un modèle donné
 - ▶ **inclut l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.**

Approches de l'interprétation

- Représentation du résultat dans un modèle donné

► inclut l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.

$L_{\text{int}} = 35 \text{ pb}^{-1}, \sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$



Limites d'une exclusion à 95% de niveau de confiance

Approches de l'interprétation

- Représentation du résultat dans un modèle donné
 - ▶ **inclut l'efficacité de sélection (+ systématiques), etc.**
 - ne combine généralement pas les résultats (monnaie d'échange)
- Ajustement global des paramètres d'une 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

- ▶ **inclut 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

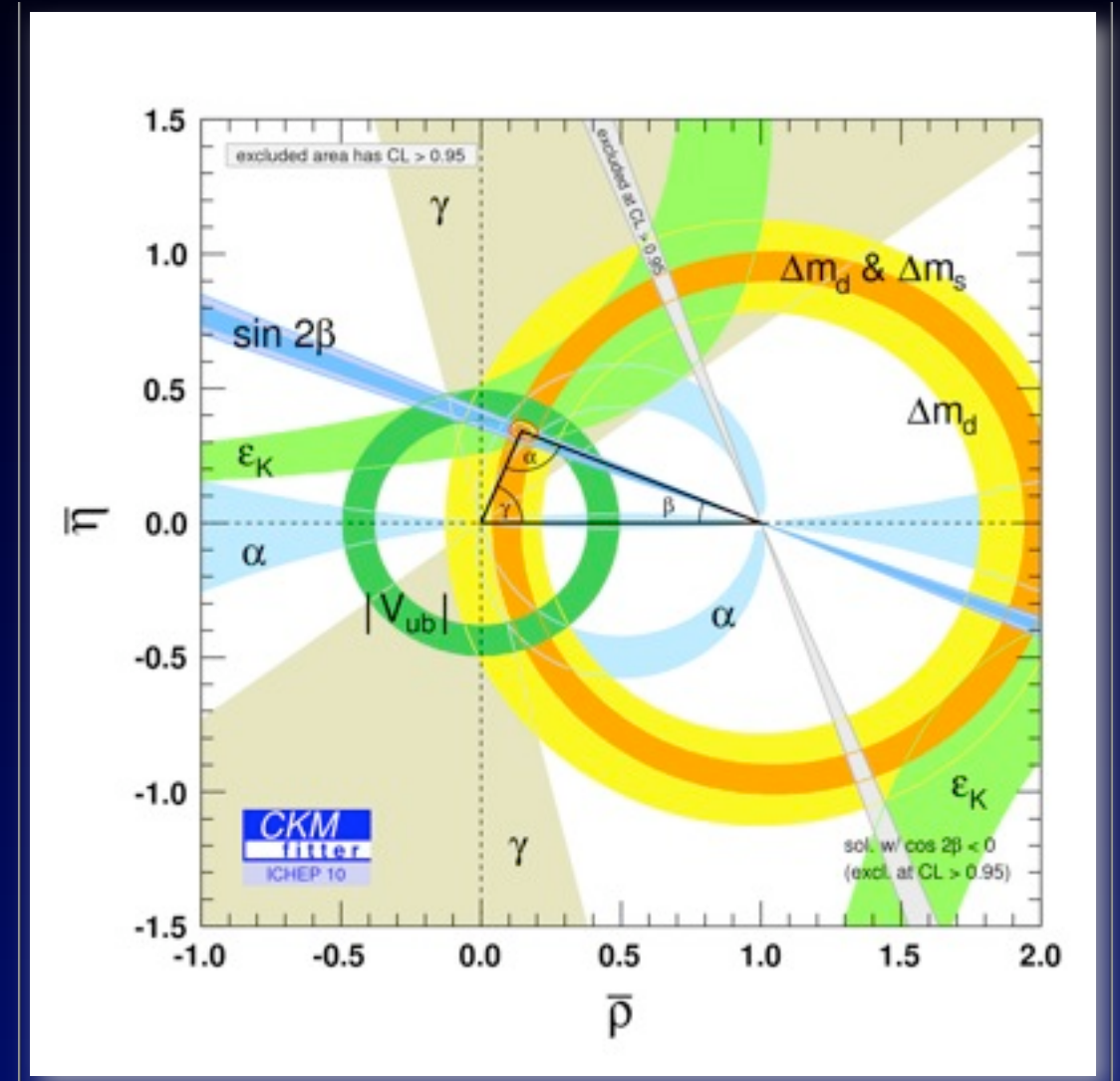
Ajustement global de paramètres

- 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)

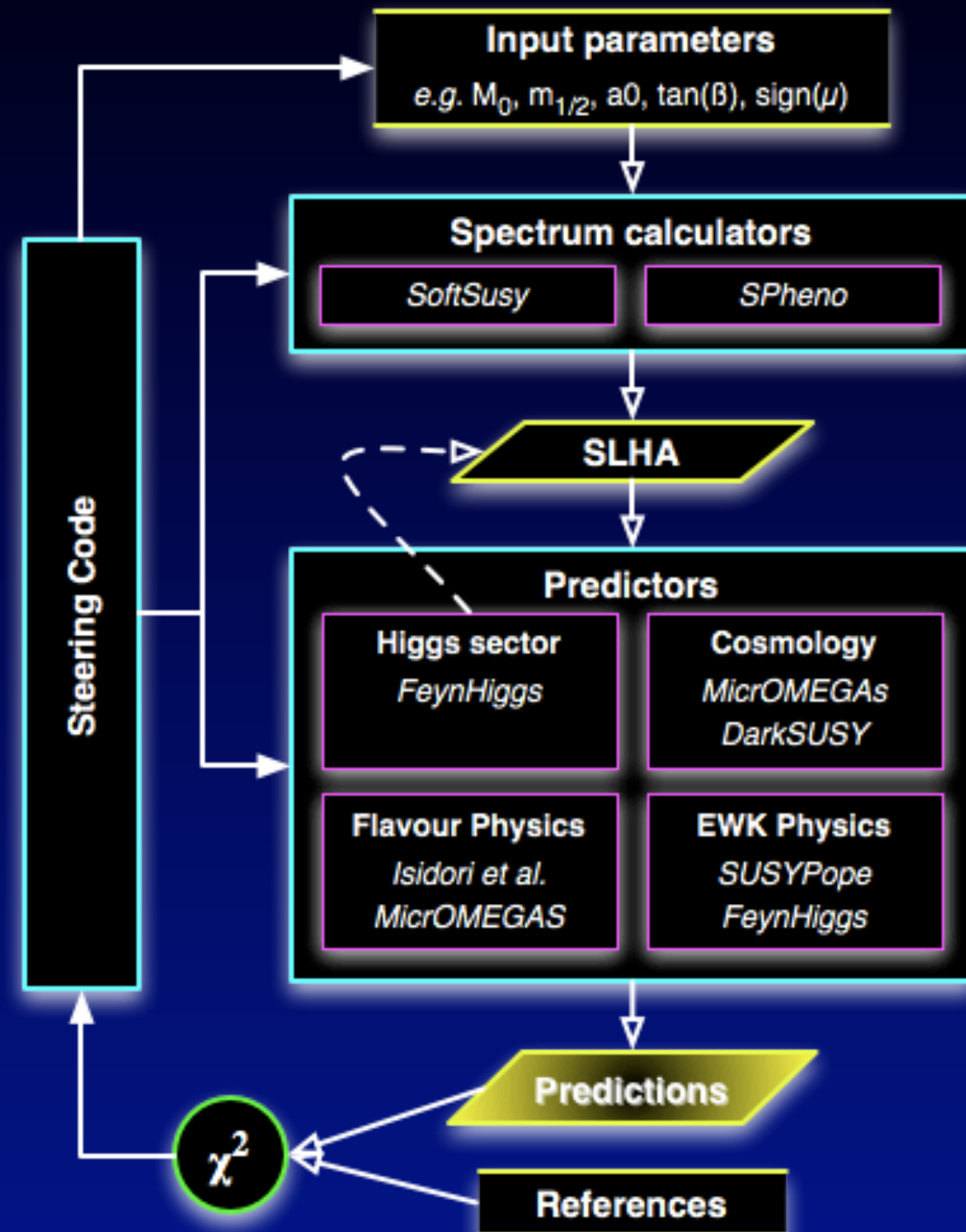
- dans le cadre de la collaboration “MasterCode”

► regroupe expérimentateurs et théoriciens de divers horizons



O. Buchmüller, R. Cavanaugh,
A. De Roeck, J. Ellis, H. Flücher,
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*	micrOMEGAs
$R(B \rightarrow \tau\nu)$	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_l	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

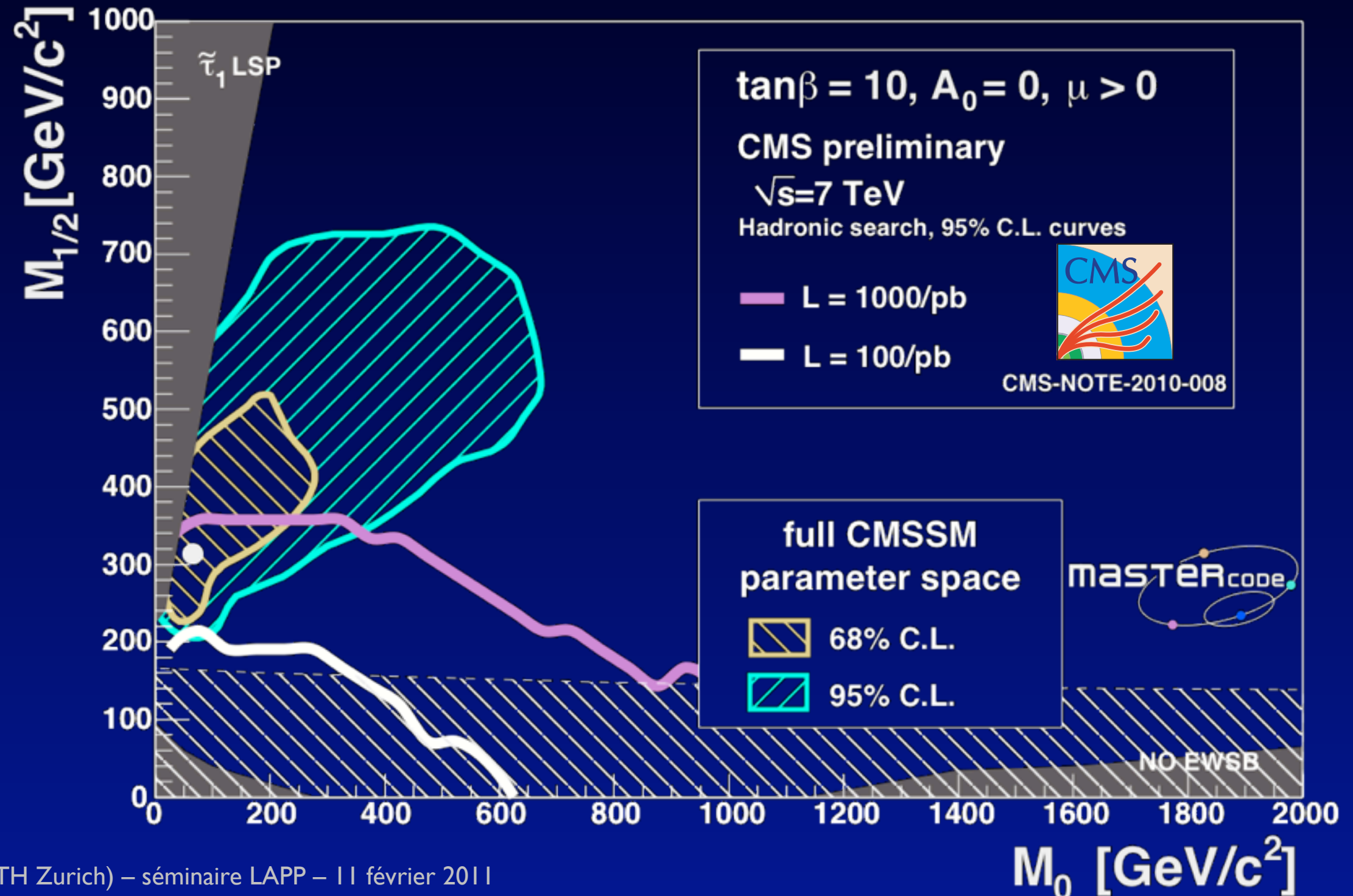
- recherches au LEP et au Tevatron

- Echantillon de 25 millions de points (chaînes de Markov)

Mise en perspective des résultats

- Les données existantes semblent favoriser SUSY à basse masse

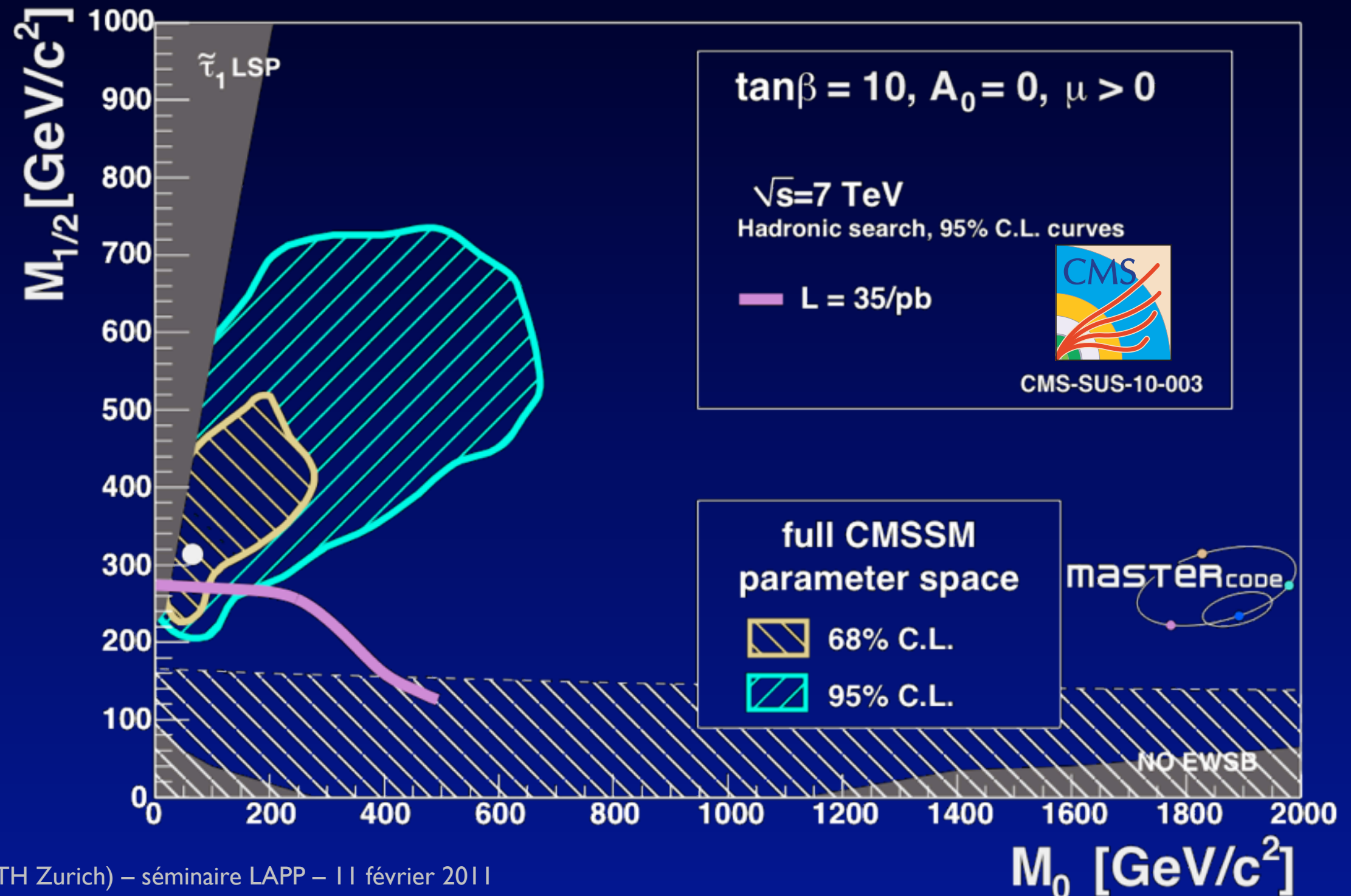
► avant la mise en route du LHC...



Mise en perspective des résultats

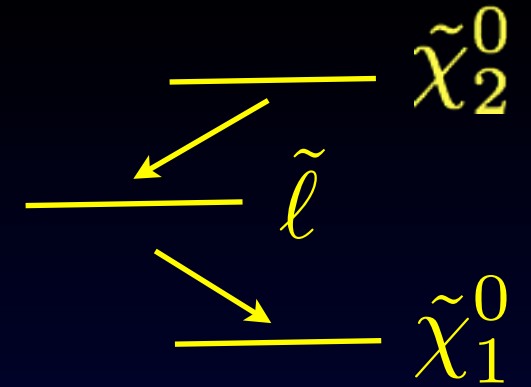
- Après la mise en route du LHC

- le CMSSM commence à être menacé?

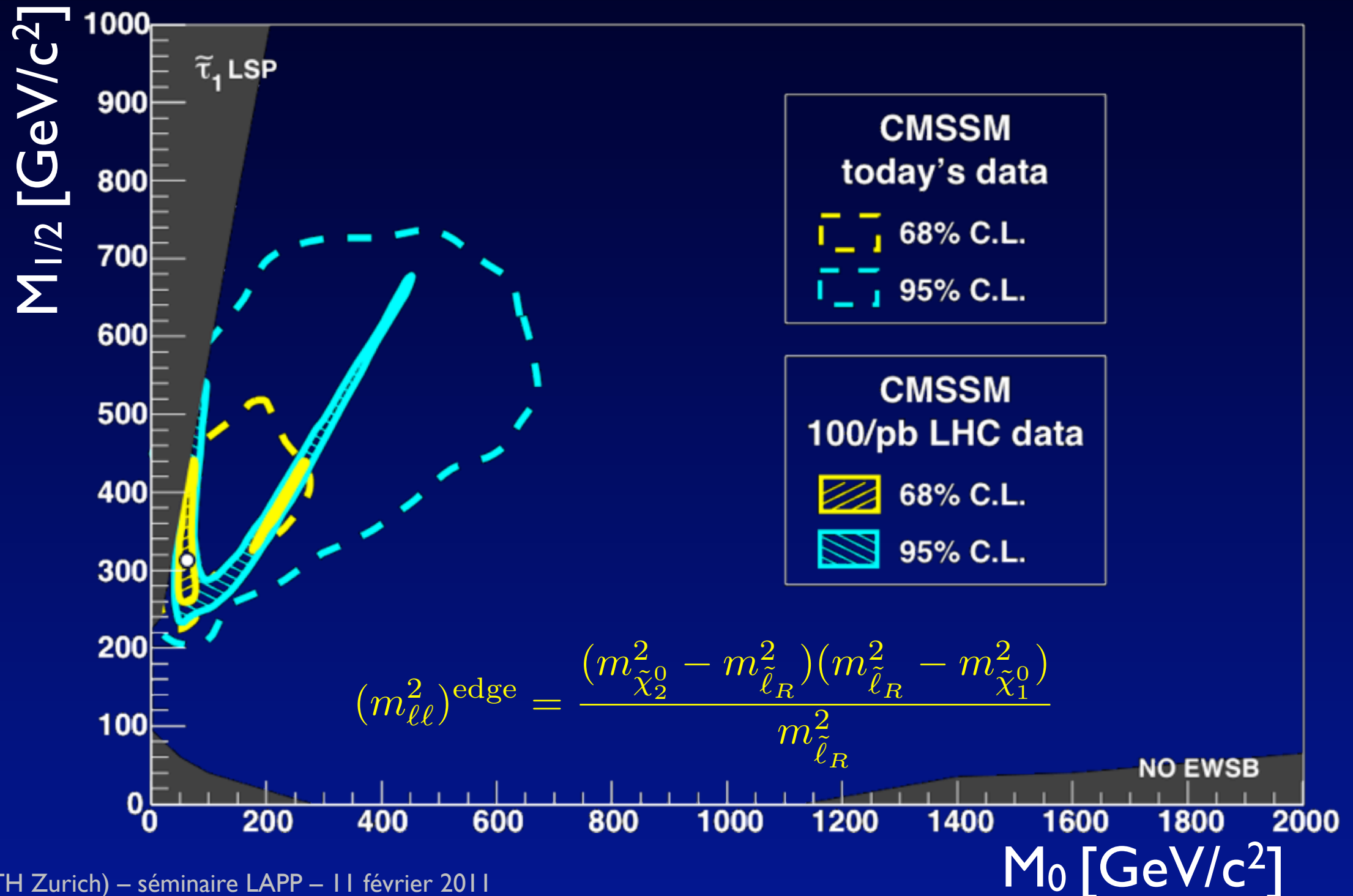


Et avec un peu de chance...

- Après une découverte dans le canal dilepton OS



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



Conclusion

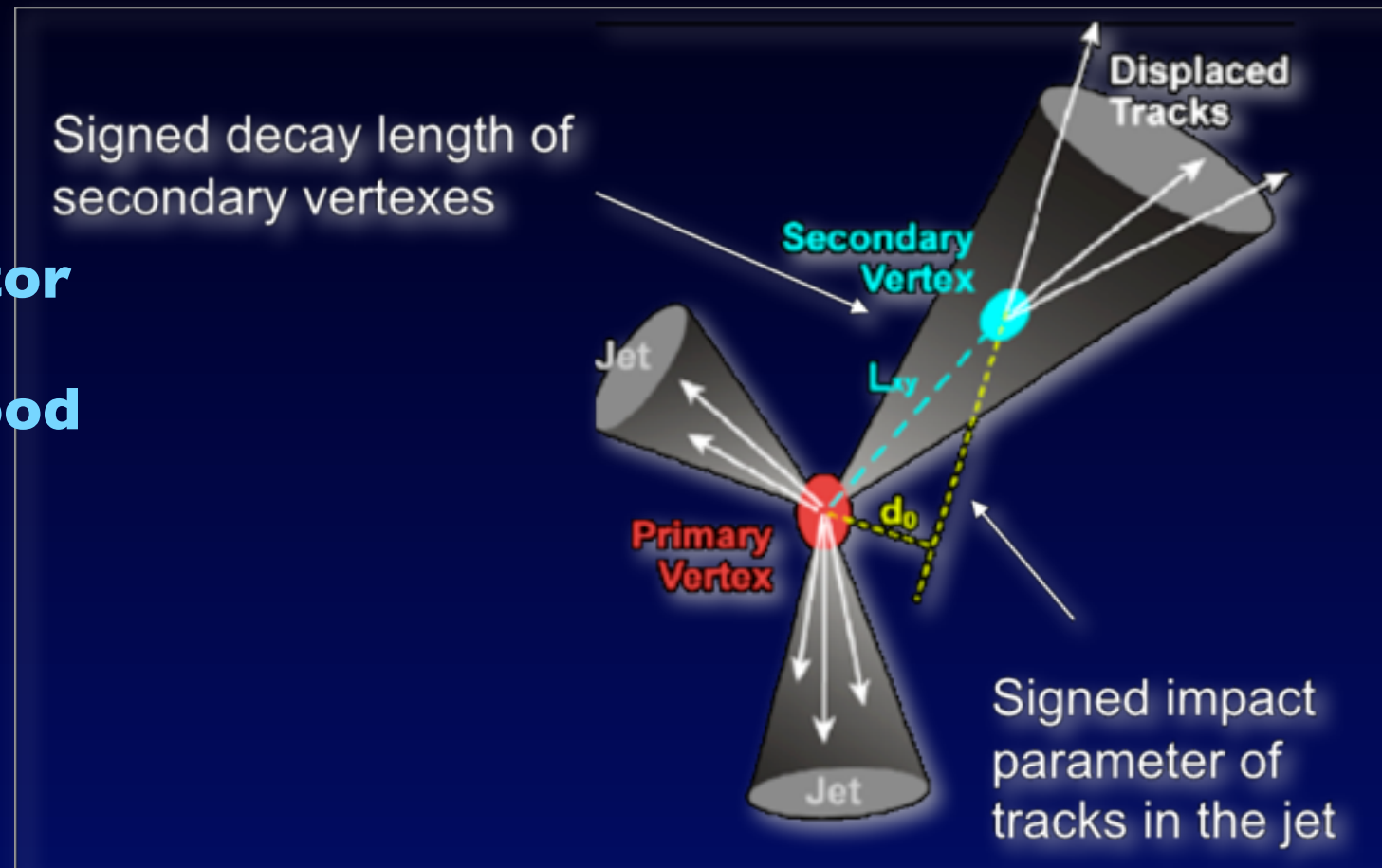
Conclusion

- 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

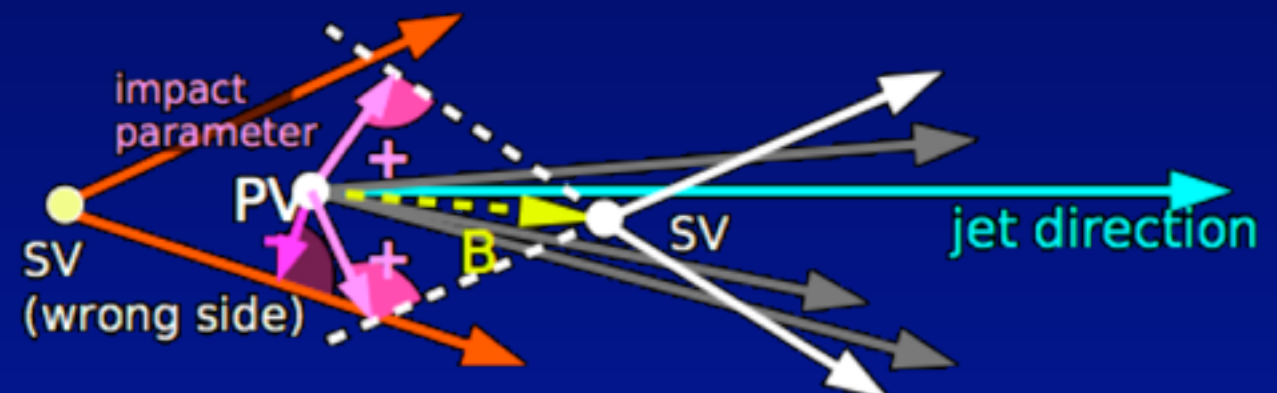
b-tagging at CMS

- 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 + 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

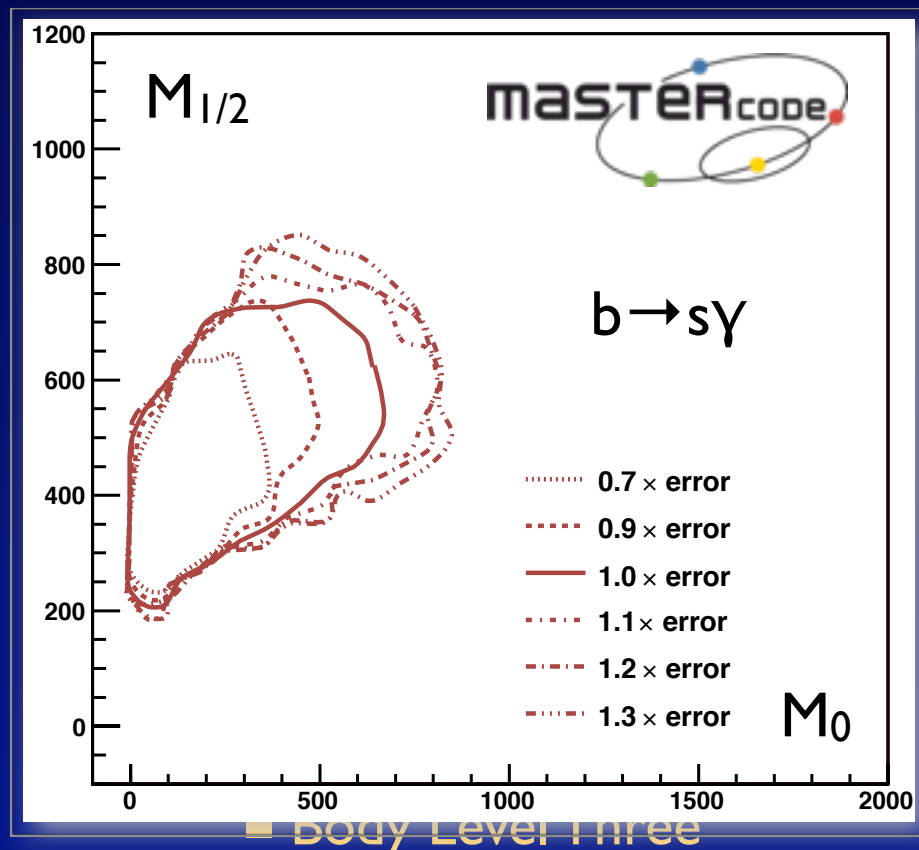
Contraintes

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]	$0.97 \pm 0.01_{\text{exp}} \pm 0.27_{\text{th(SM)}}$	–
$\frac{(\Delta M_{B_s}^{\text{exp}} / \Delta M_{B_s}^{\text{SM}})}{(\Delta M_{B_d}^{\text{exp}} / \Delta M_{B_d}^{\text{SM}})}$	[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

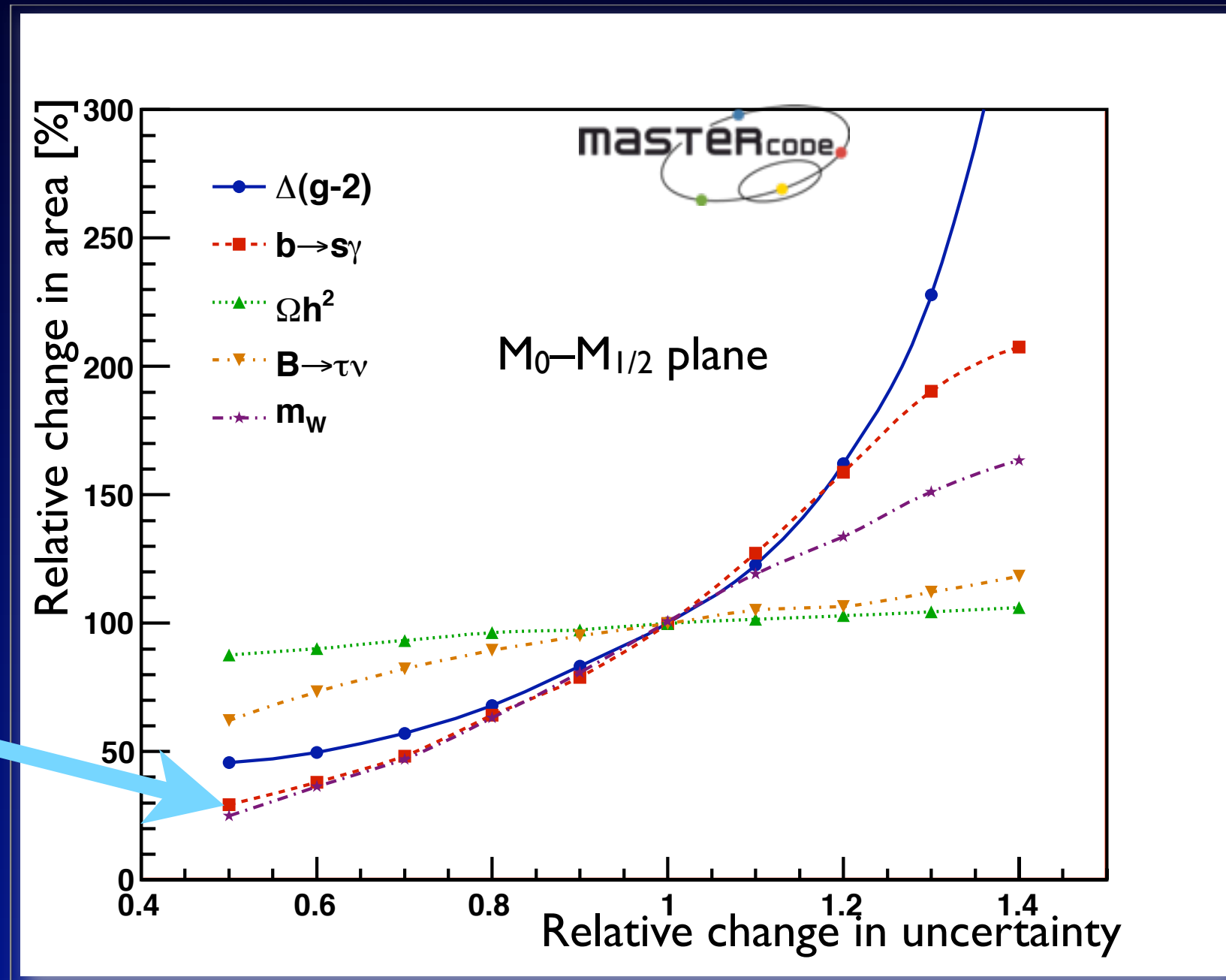
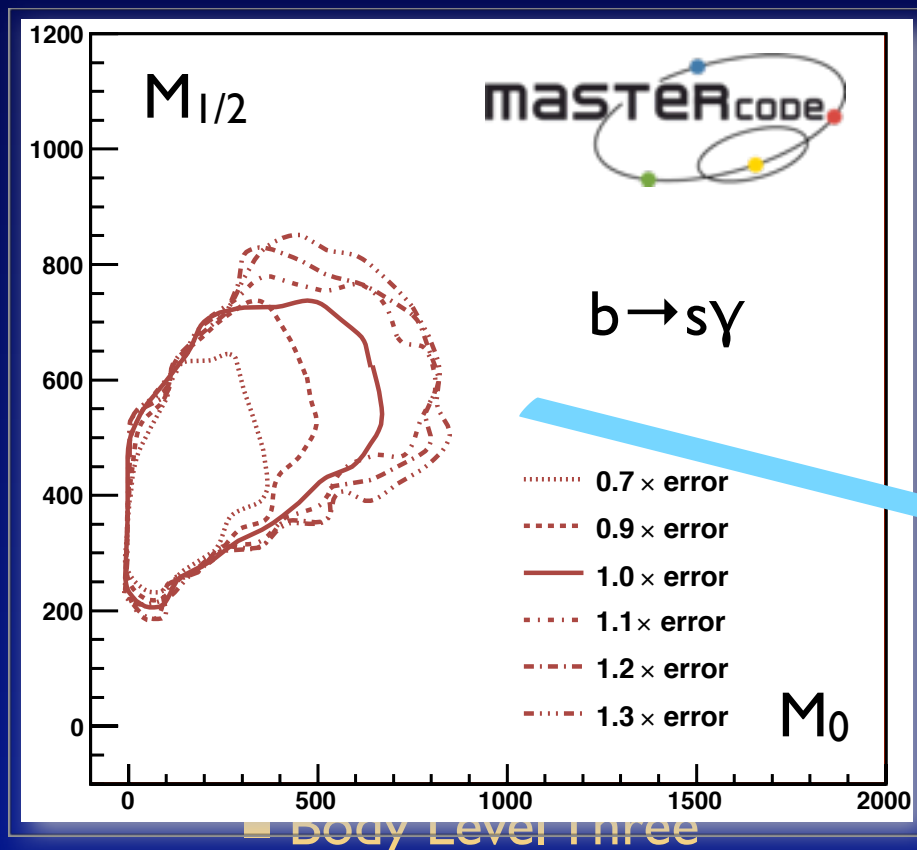
$$\chi^2 = \chi_{\text{partial}}^2 + \chi_{b \rightarrow s\gamma}^2$$



Principaux contributeurs

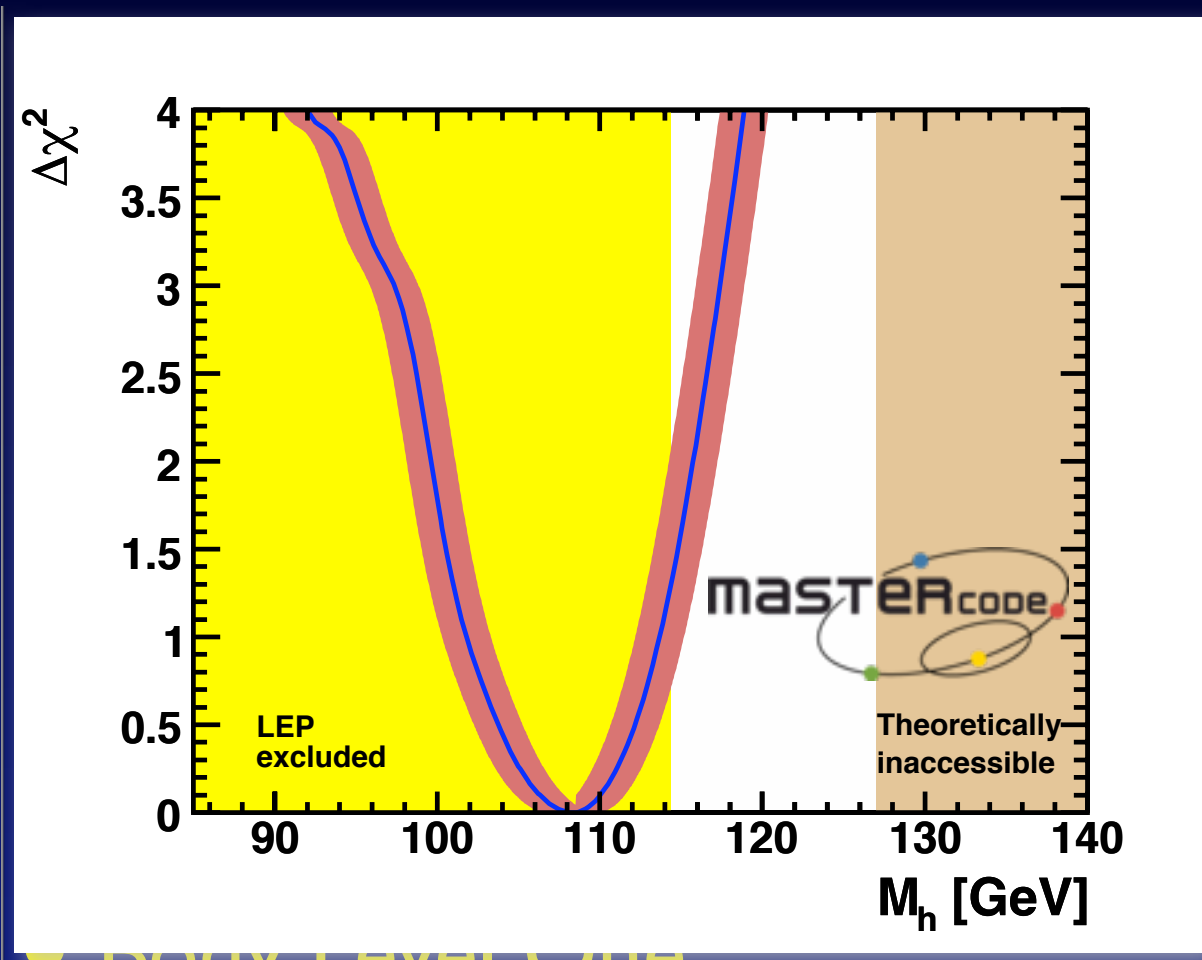
arXiv:0808.4128 [hep-ph]

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



Prédiction de la masse du Higgs

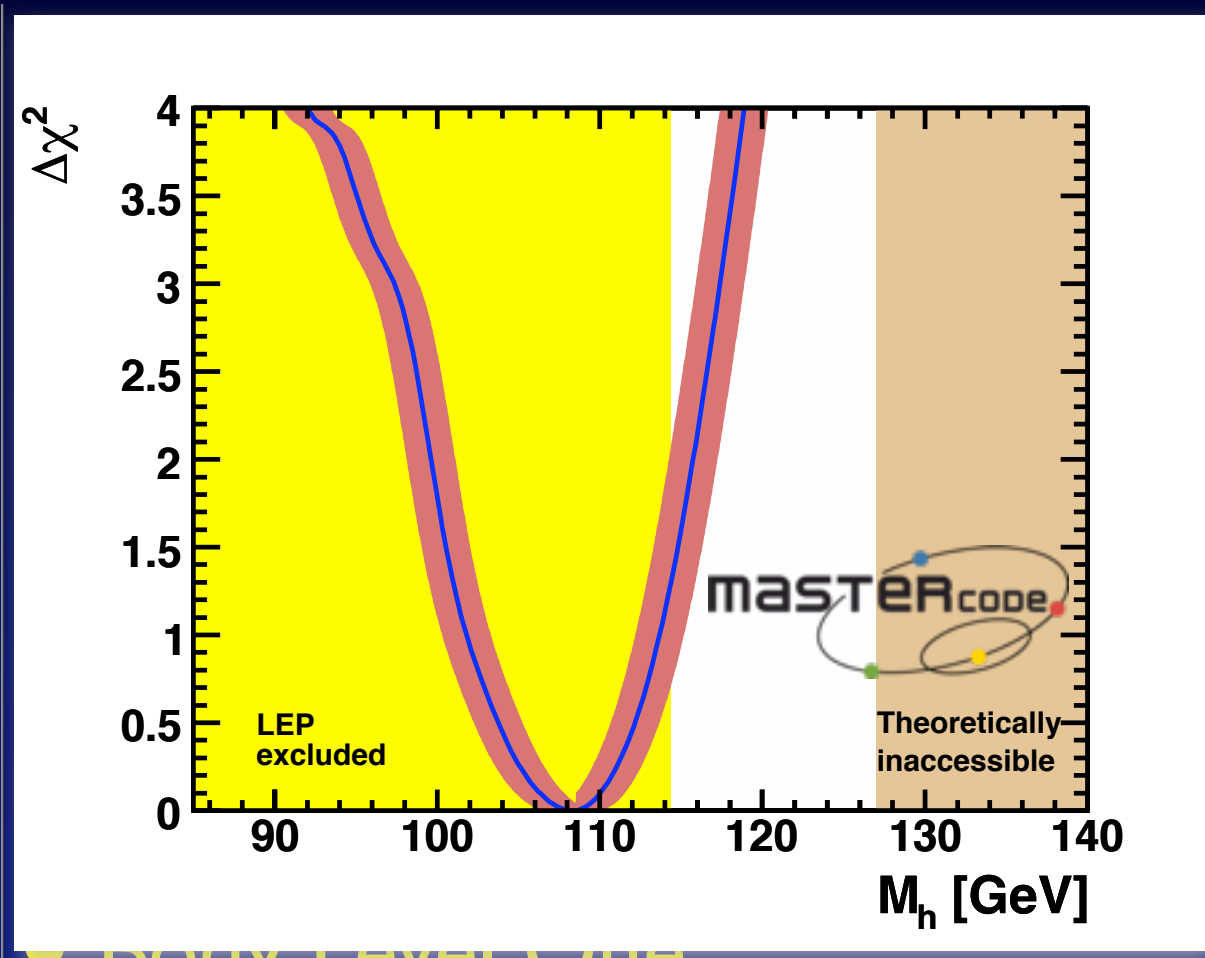
arXiv: 0907.5568 [hep-ph]



- Body Level One
 - Body Level Two
 - Body Level Three
- CMSSM**
- Higgs mass at best fit point: 108 GeV
- χ^2 value at limit: 0.7

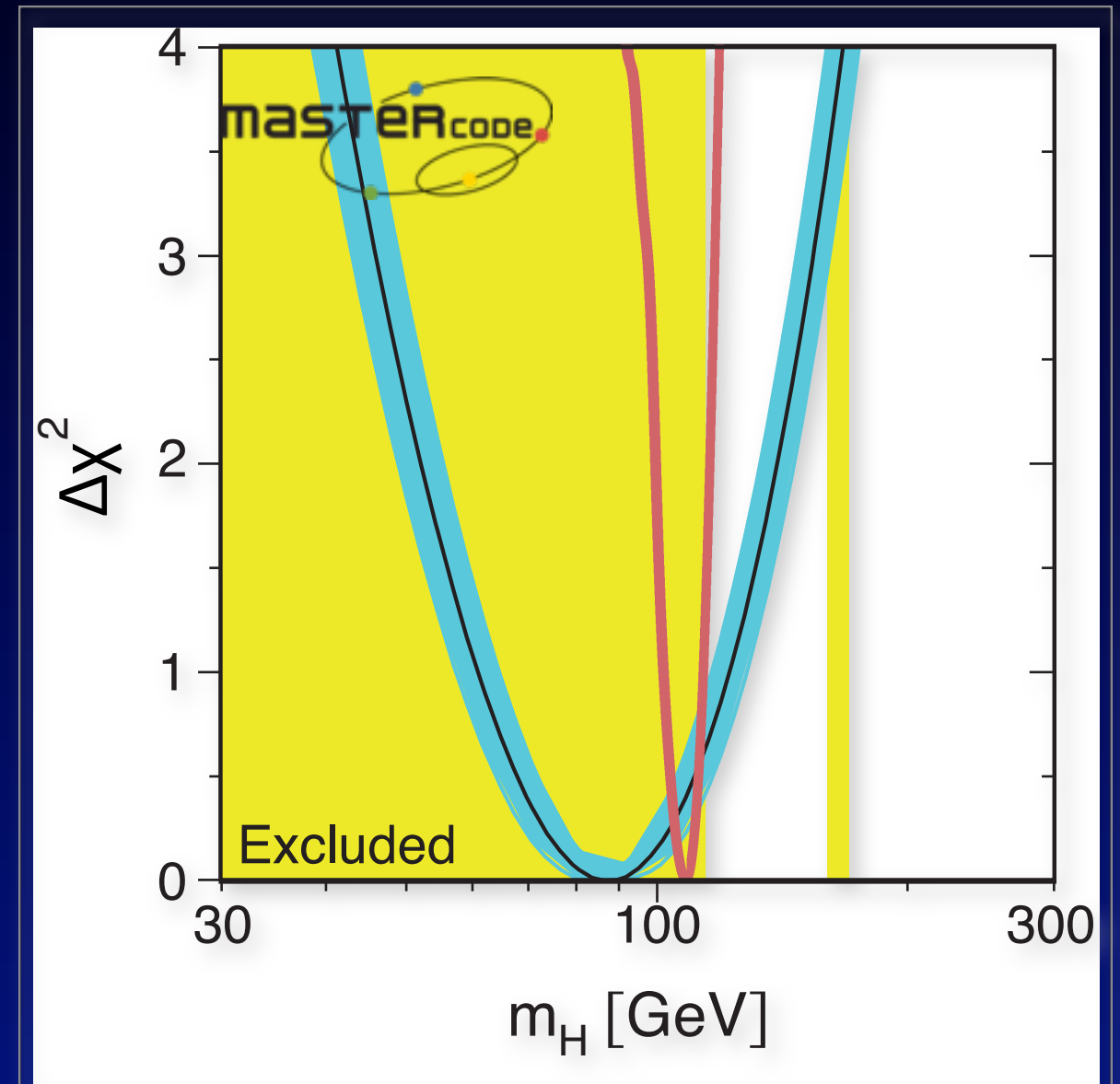
Prédiction de la masse du Higgs

arXiv: 0907.5568 [hep-ph]



CMSSM

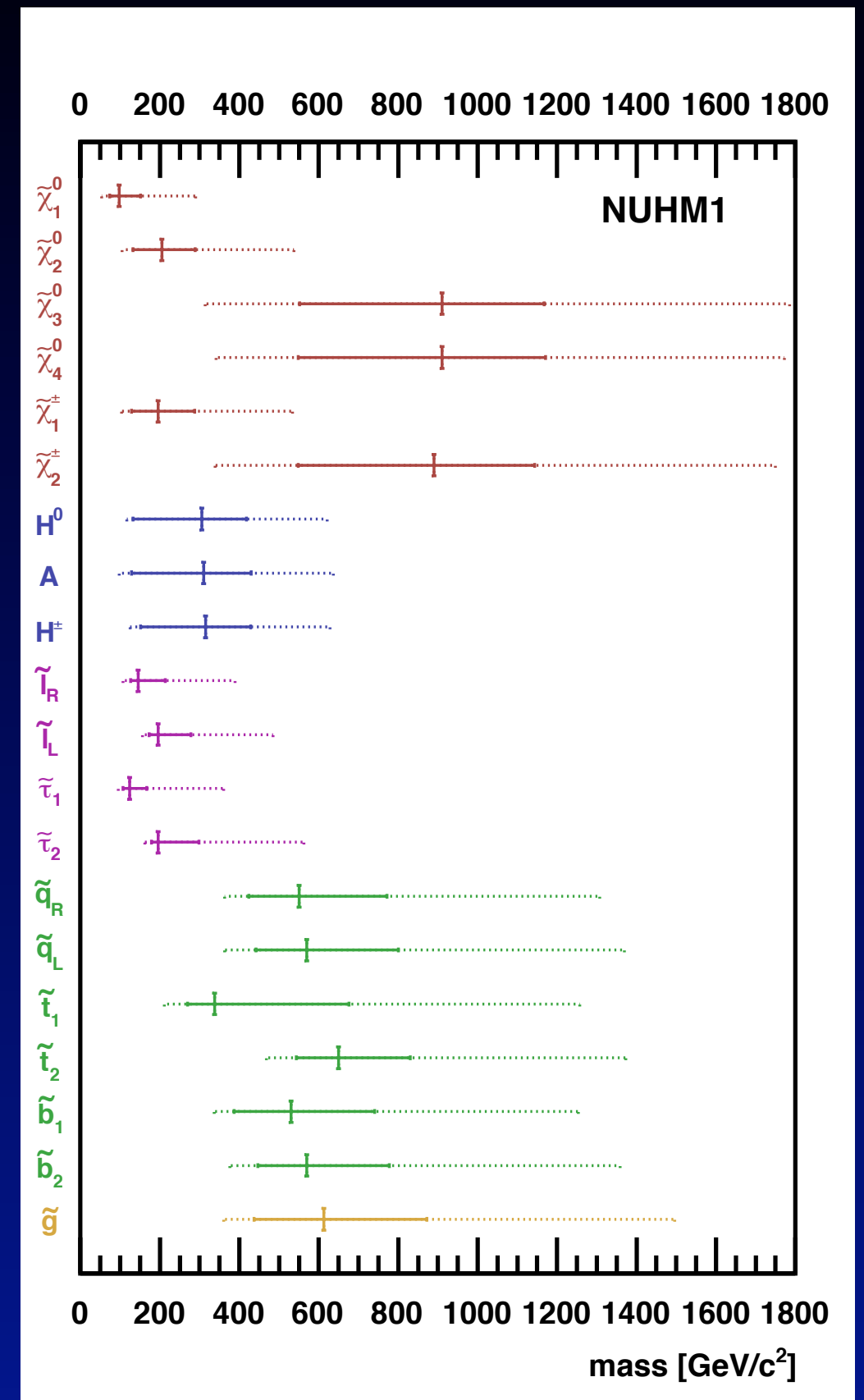
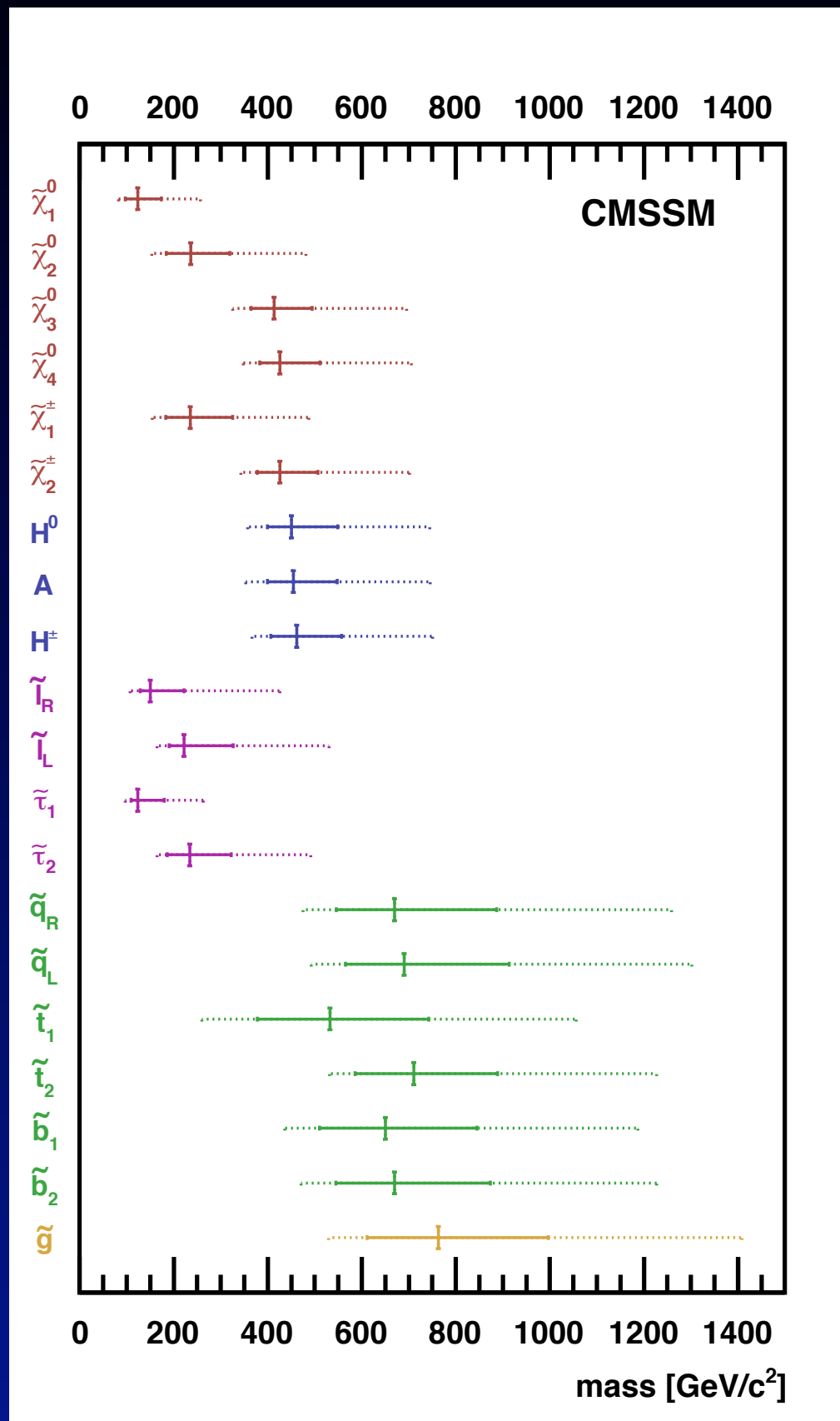
- **Body Level Two**
 - **Body Level Three**
- Higgs mass at best fit point: 108 GeV
 χ^2 value at limit: 0.7



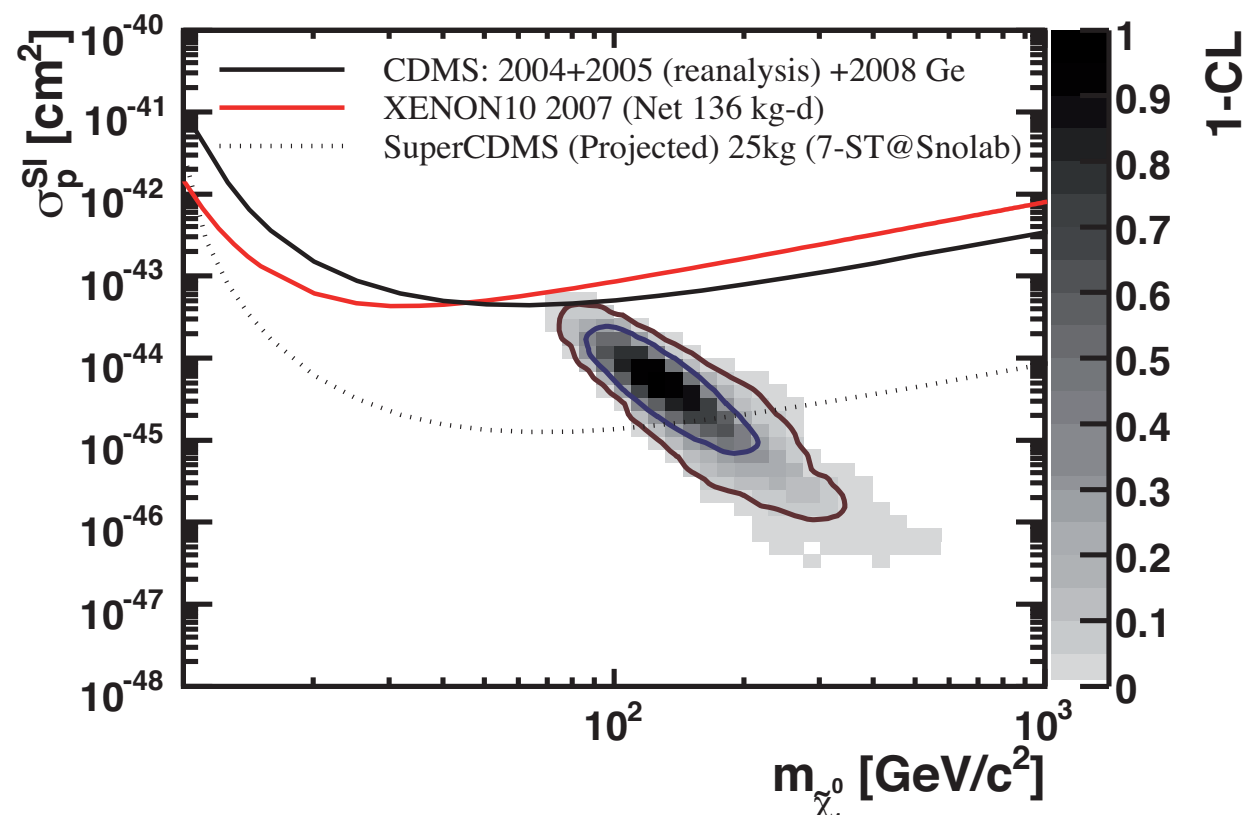
Standard Model

- Higgs mass at best fit point: 87 GeV
 χ^2 value at limit: 0.9

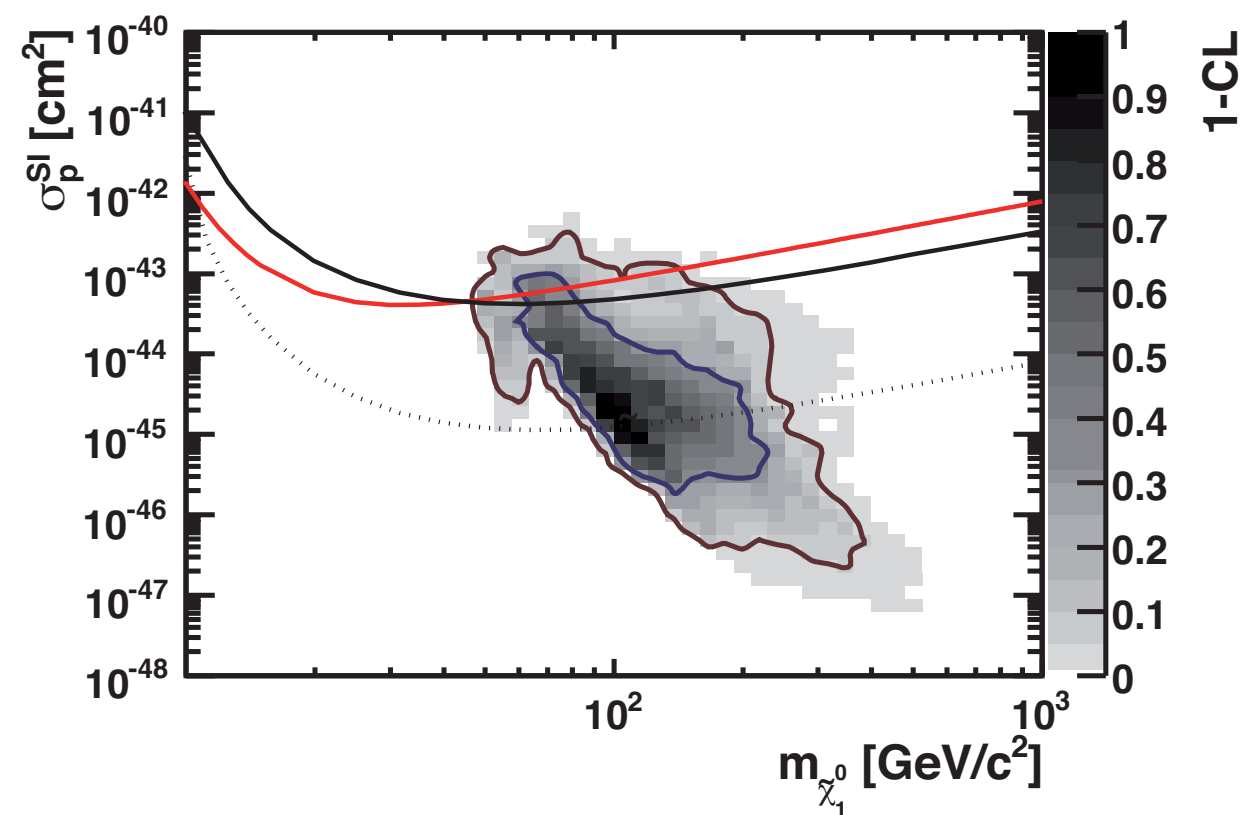
Spectres de mass



Cosmologie



Spin-independent cross-section vs. LSP mass
CMSSM



Spin-independent cross-section vs. LSP mass
NUHM1