

# Recherche de particules supersymétriques de troisième génération avec l'expérience CMS

Présenté par Raphaël Hulsken

Sous la direction de Eric Chabert et de Caroline Collard

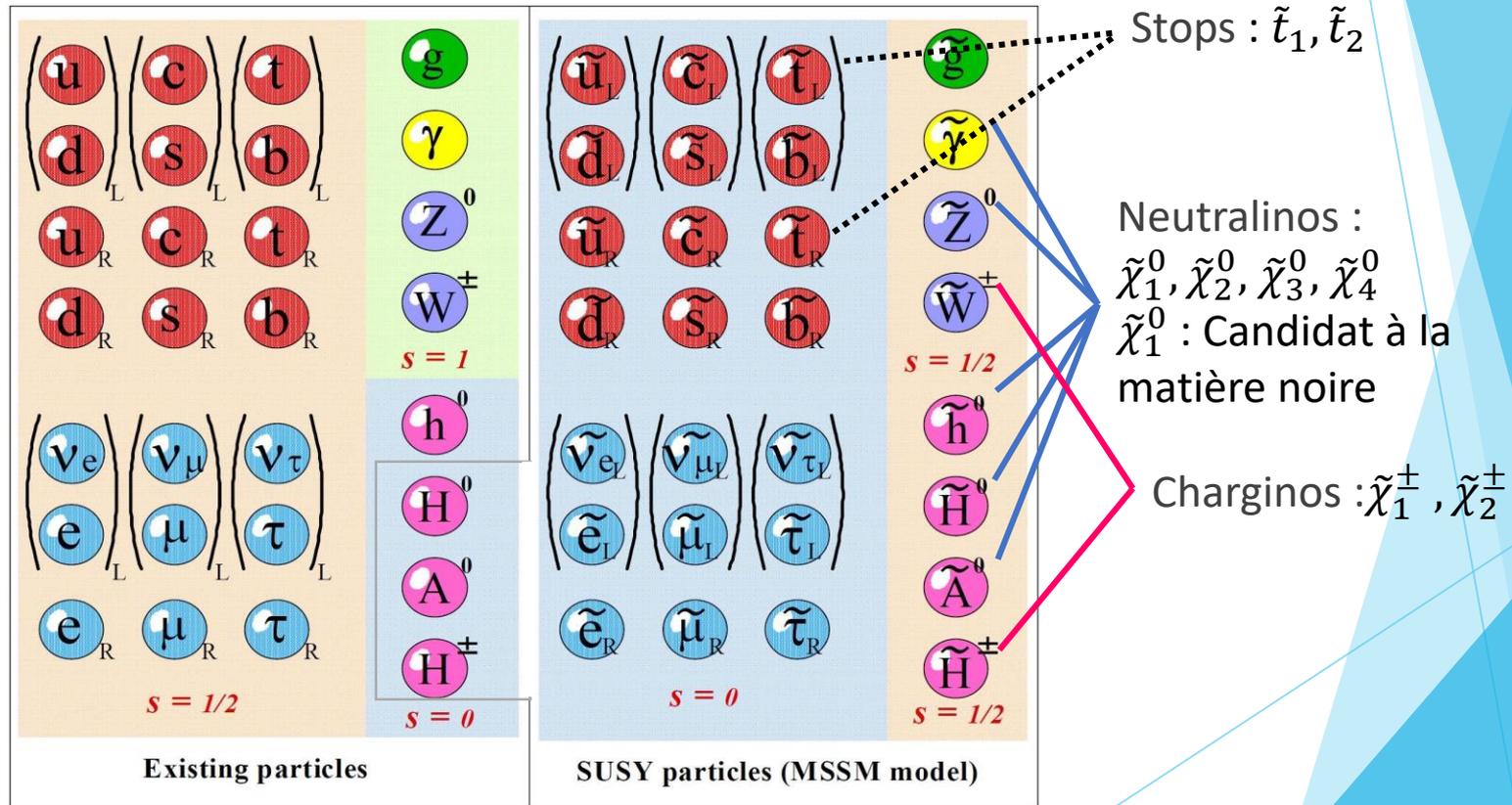


# Sommaire

- ▶ Motivation pour la supersymétrie et pour la particule de troisième génération (stop)
- ▶ Description de l'analyse
- ▶ Les résultats publiés par l'expérience CMS
- ▶ Proposition d'une nouvelle méthodologie
- ▶ Mes résultats

# La supersymétrie : une extension possible du modèle standard

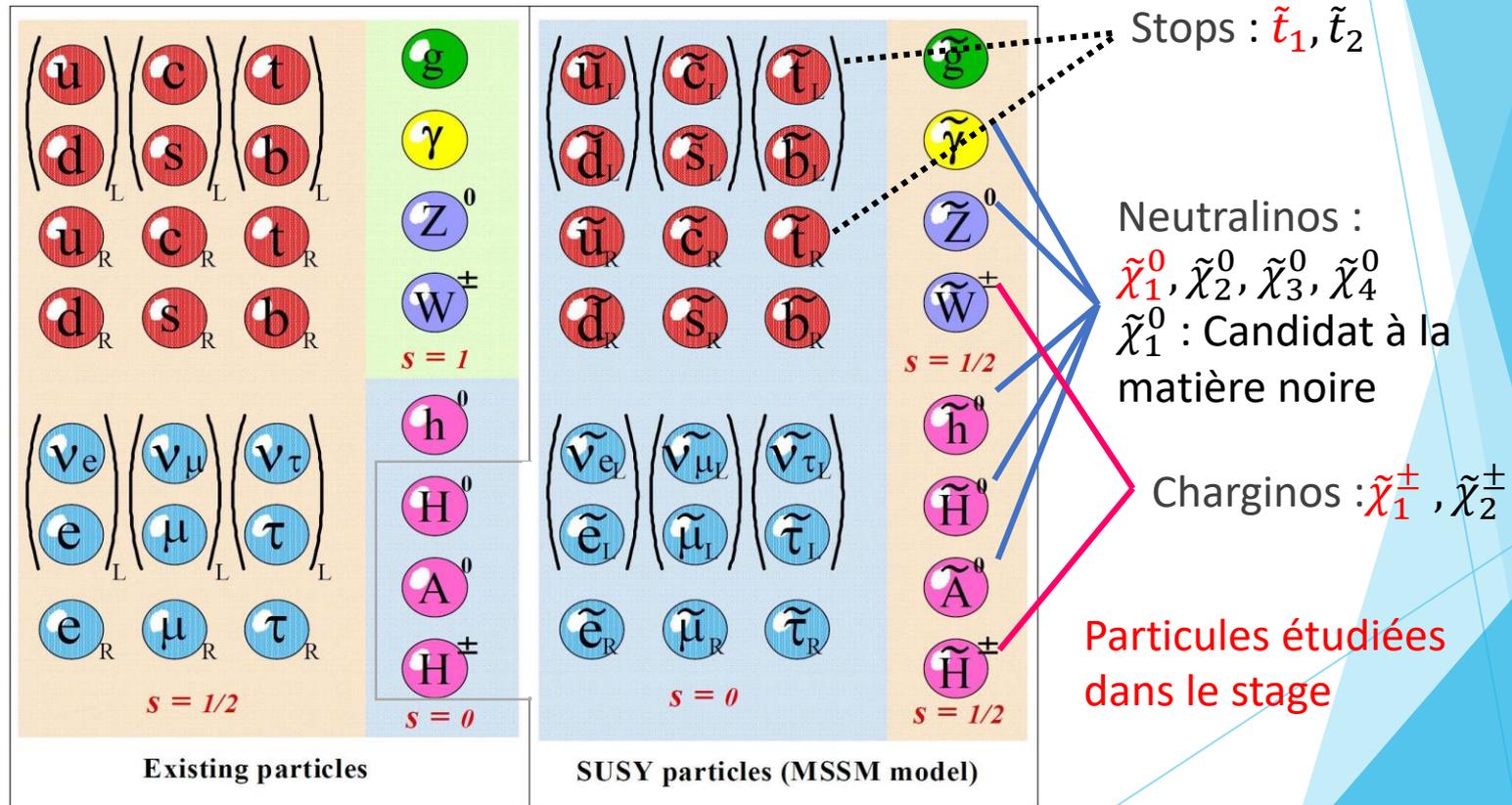
- ▶ Nouvelle symétrie => symétrie de spin
- ▶ Associe une particule pour chaque degré de liberté du modèle standard
- ▶ MSSM (minimal supersymmetric standard model)



- ▶ Symétrie brisée => recherche de particules supersymétriques plus massives

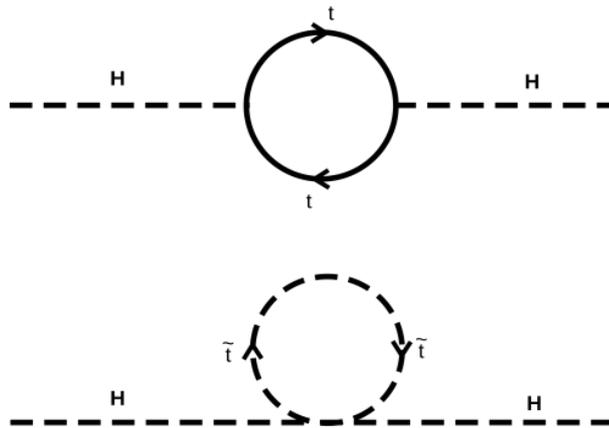
# La supersymétrie : une extension possible du modèle standard

- ▶ Nouvelle symétrie => symétrie de spin
- ▶ Associe une particule pour chaque degré de liberté du modèle standard
- ▶ MSSM (minimal supersymmetric standard model)



- ▶ Symétrie brisée => recherche de particules supersymétriques plus massives

# Naturalité de la masse du boson de Higgs



Termes divergents dûs aux diagrammes en boucle

$$m_h^2 = m_h^{0^2} + \Delta m_0^2$$

$$\text{avec : } \Delta m_0^2 \propto m_f^2 \Lambda^2$$

Présence de nouvelles particules => nouvelles boucles

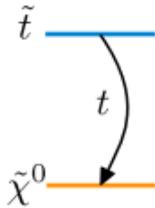
Correction des termes quadratiques divergents

$$\Delta m_0^2 \propto (m_f^2 - m_b^2) \ln\left(\frac{\Lambda}{m_b}\right)$$

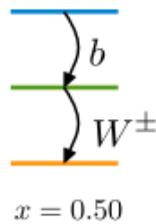
# Production et désintégration du stop

- ▶ Chaines de désintégrations dépendent de la présence de particules supersymétriques plus légères

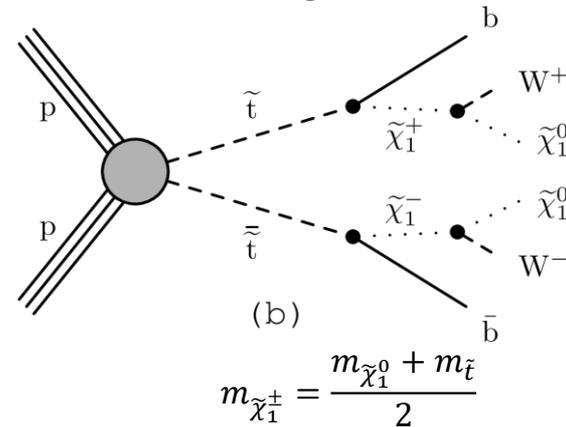
$$\tilde{t} \rightarrow t\tilde{\chi}^0$$



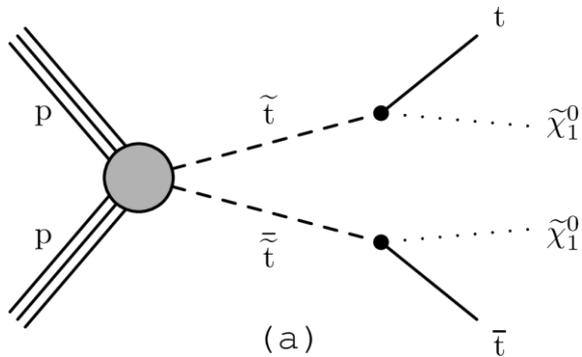
$$\tilde{t} \rightarrow b\tilde{\chi}^\pm \rightarrow bW\tilde{\chi}^0$$



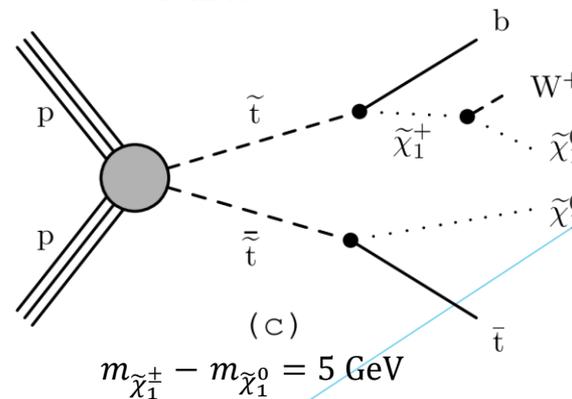
2 Charginos



No Chargino



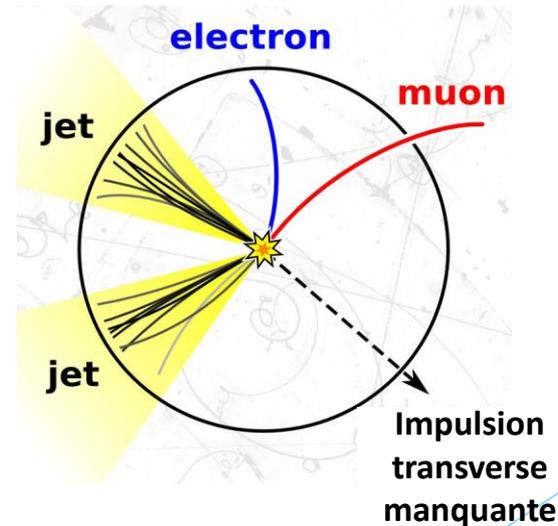
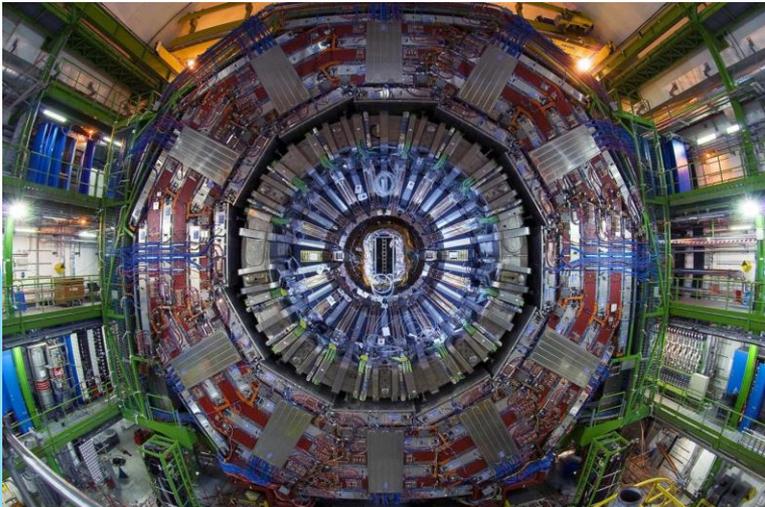
Mixt



# LHC

- ▶ Période de prise de données, Run II, (2015-2018)
- ▶ Collision p-p  $\sqrt{s} = 13$  TeV
- ▶  $L=36 \text{ fb}^{-1}$  (2016)  $\Rightarrow$  120-150  $\text{fb}^{-1}$  (fin 2018)

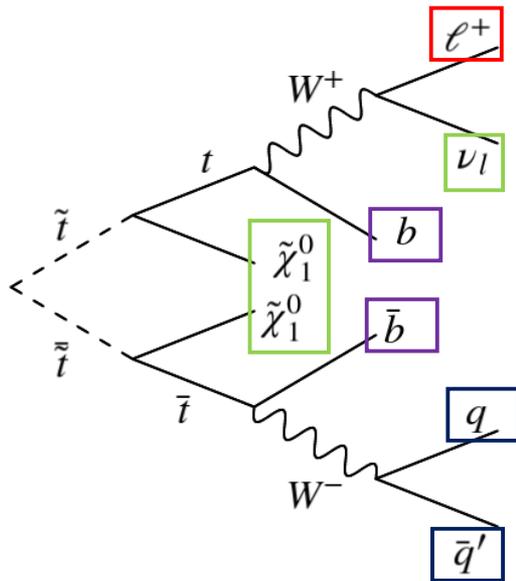
Données récoltées par le détecteur CMS, un des quatre grands détecteurs du LHC



$$\vec{P}_{T \text{ miss}} = - \sum \vec{P}_{T \text{ detected}}$$

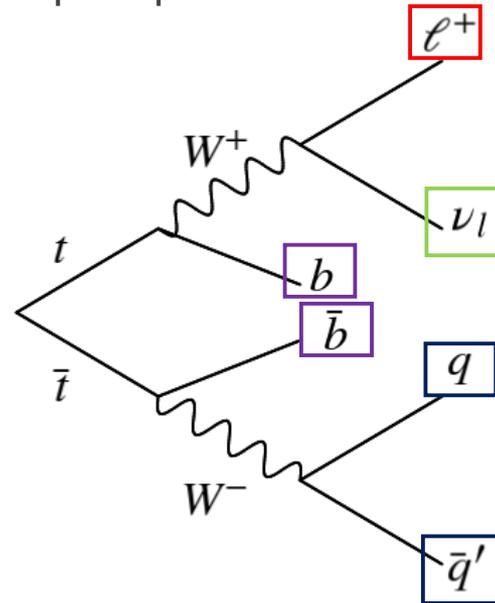
# Signal et bruits de fond

## ► Signal



## ► Bruits de fond

- lepton venant d'un top
- lepton perdu

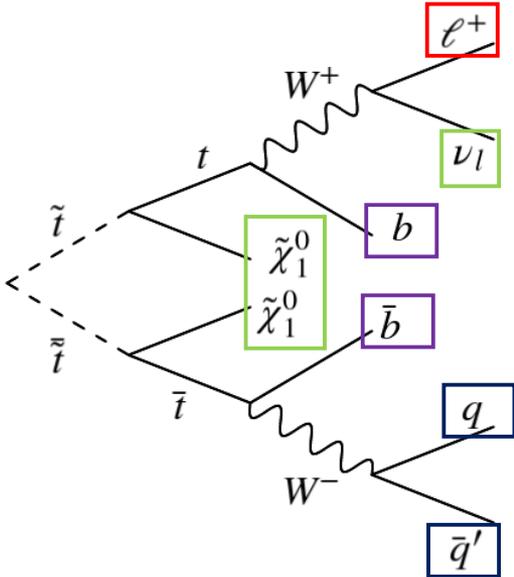


État final:

- Impulsion transverse manquante
- Présence de jets (dont au moins un b)
- Un seul lepton

# Signal et bruits de fond

► Signal

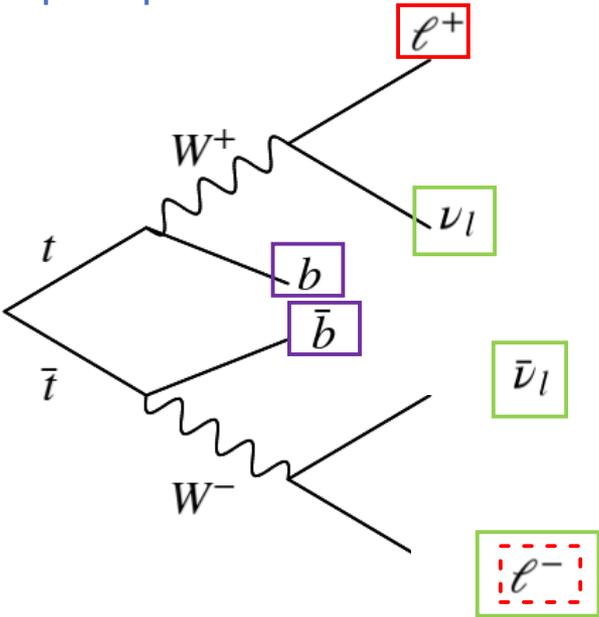


État final:

- Impulsion transverse manquante
- Présence de jets (dont au moins un b)
- Un seul lepton
- - lepton perdu

► Bruits de fond

- lepton venant d'un top
- lepton perdu



# Méthodologie et sélection

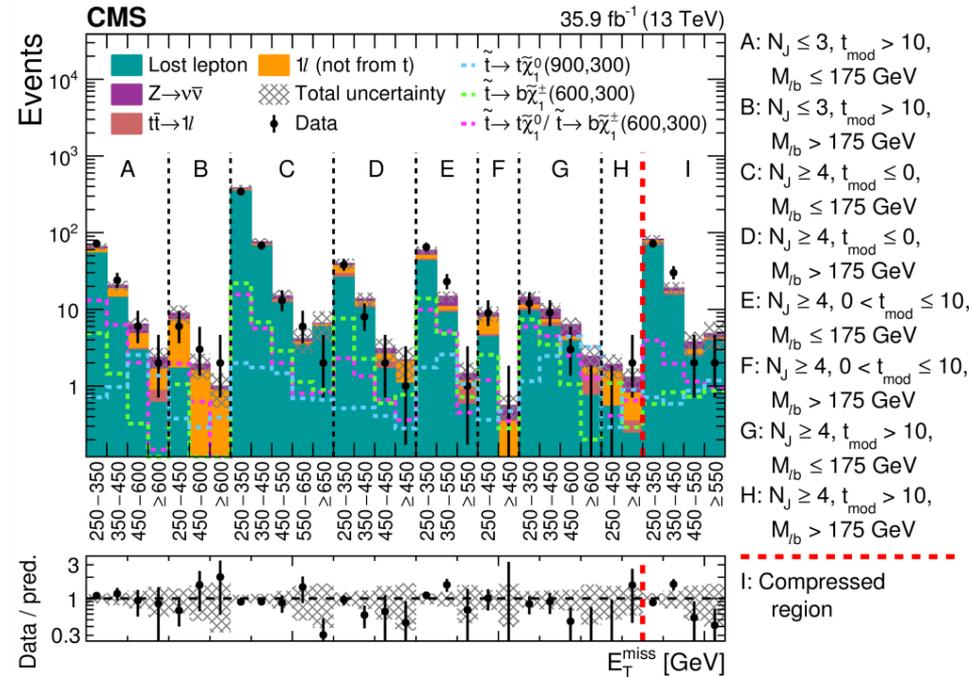
► Catégorisation basée sur des observables :

- Nombre de jets
- Impulsion transverse manquante
- Modified topness :

$$t_{mod} = \ln(\min S), \text{ with } S = \frac{(m_W^2 - (p_\nu + p_l)^2)^2}{a_W^4} + \frac{(m_t^2 - (p_b + p_W)^2)^2}{a_t^4}$$

Equivalent d'un chi 2 pour reconstruire le bruit de fond lepton perdu

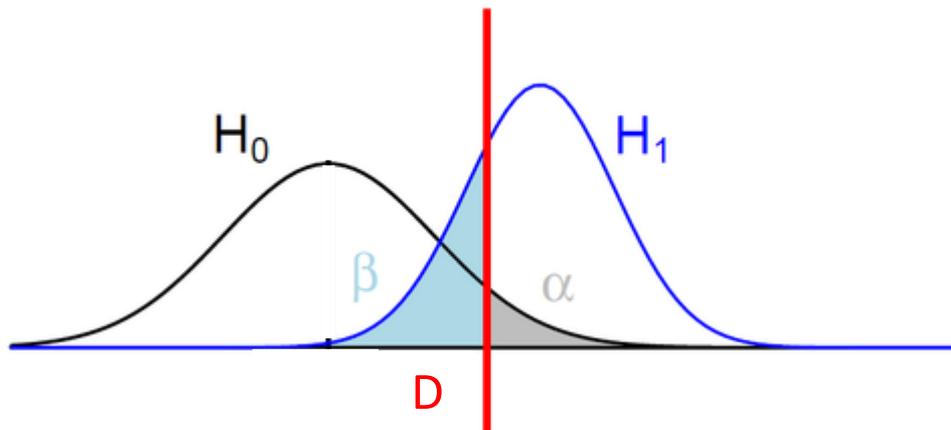
- $M_{lb}$  : Masse reconstruite du quark b et du lepton permettant d'identifier des quarks top. Permet de classifier le bruit de fond avec un lepton venant du top



Pas de présence d'excès

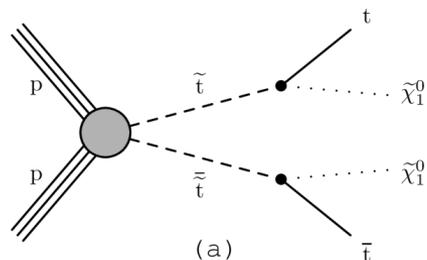
# Test d'hypothèse : méthode CLs

- ▶  $H_0$ : hypothèse de bruit de fond (modèle standard)
- ▶  $H_1$ : hypothèse bruit de fond plus signal (Supersymétrie)
- ▶  $D$ : Nombre de données mesurées
- ▶  $\alpha$ : accepter  $H_1$  alors que  $H_0$  vraie (mise en évidence  $3\sigma$  et  $5\sigma$ )
- ▶  $\beta$ : accepter  $H_0$  alors que  $H_1$  vraie (seuil :  $\beta < 0.05$  pour l'exclusion)

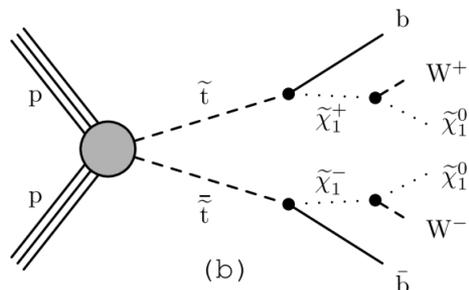


# Résultats de CMS (2016)

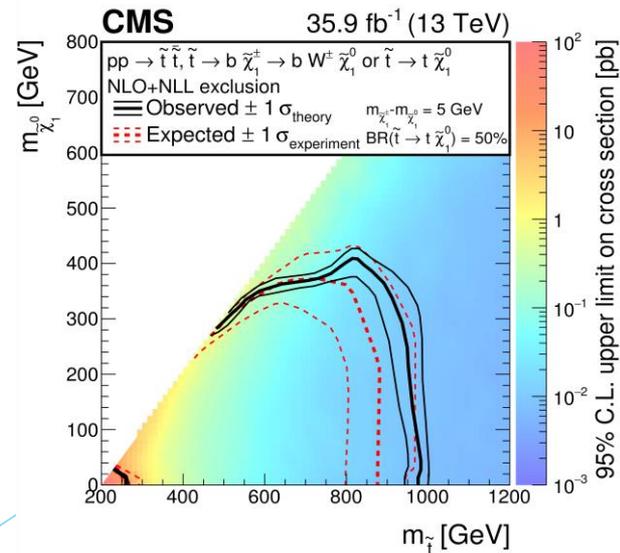
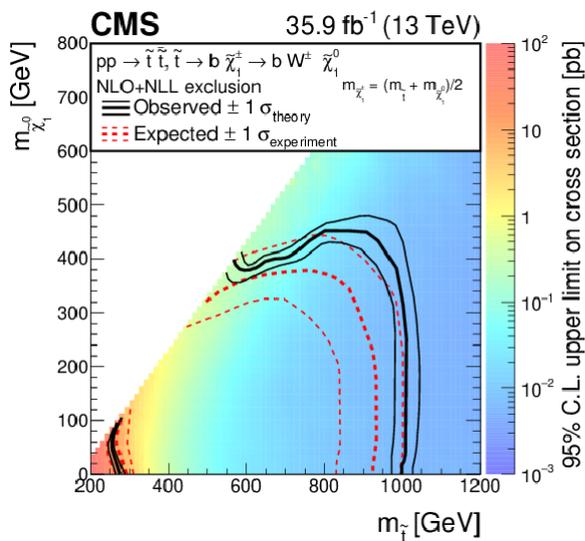
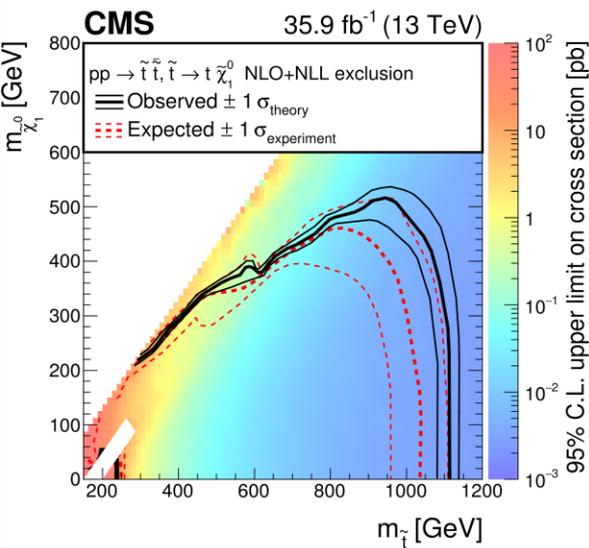
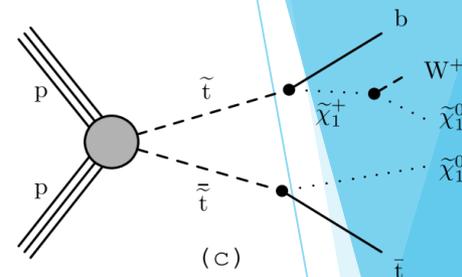
No Charginos



2 Charginos

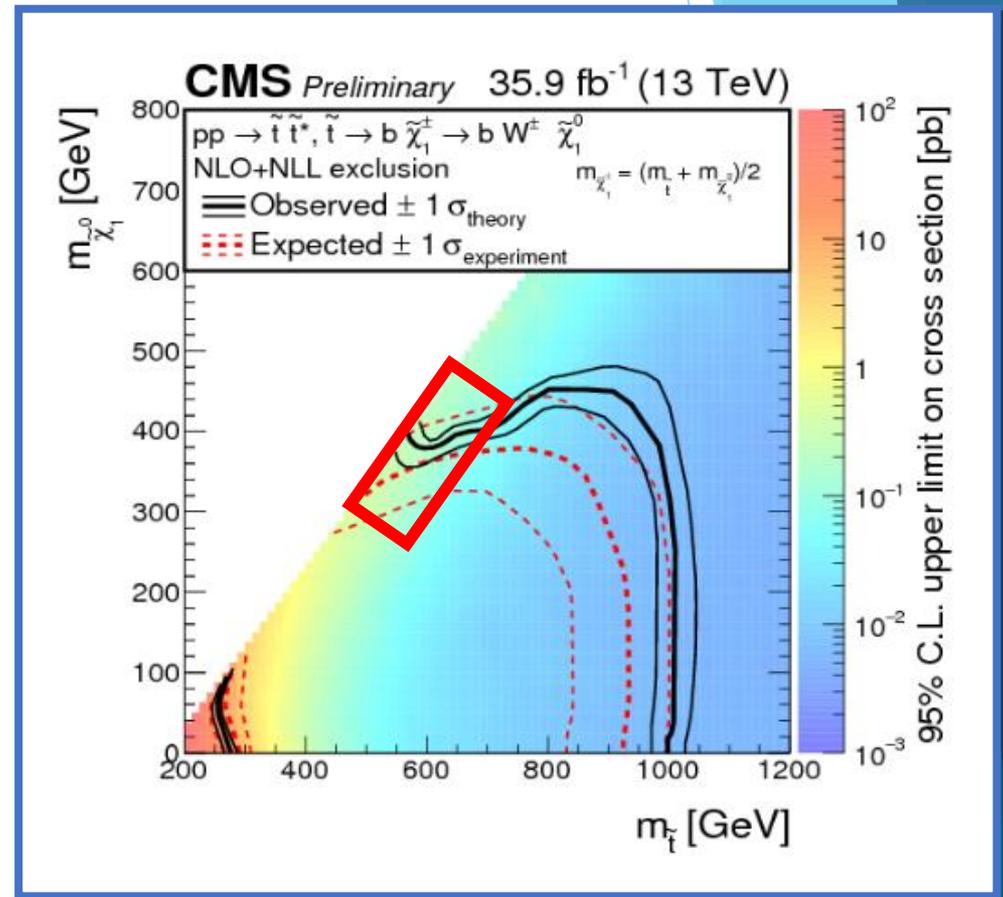


Mixt



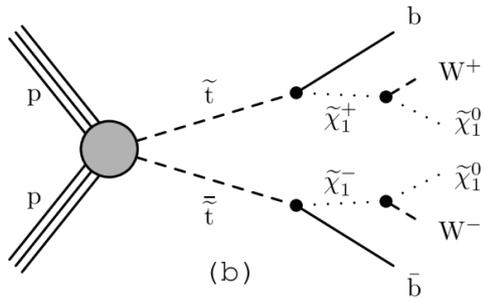
# Etude de la région compressée

- ▶ Masse du neutralino proche de la masse du stop
- ▶  $\Delta m_0^2 \propto (m_f^2 - m_b^2) \ln\left(\frac{\Lambda}{m_b}\right)$



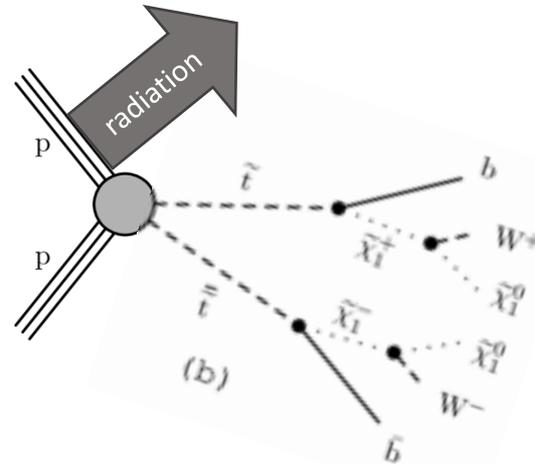
# Amélioration : nouvelles coupures pour la région compressée

## Cas général



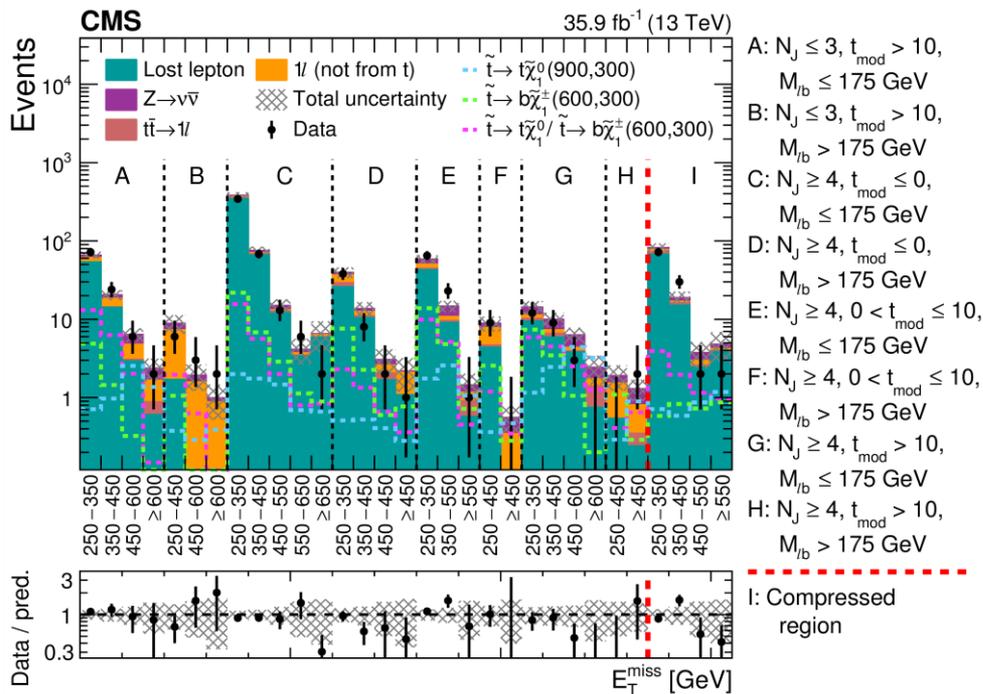
- ▶ Différence de masse faible  
=> moins d'impulsion pour le neutralino  
=> efficacité réduite pour le critère de sélection (impulsion transverse manquante)
- ▶ Peu de signal détecté

## Présence de radiations de quarks ou de gluons



- ▶ Booste le système  
=> plus efficace pour le critère de sélection
- ▶ Plus de jets  
=> critère plus sélectif pour nombre de jets
- ▶ Réduction du bruit de fond

# Inclusion des régions I



## ▶ Régions I:

- Nombre de jets  $\geq 5$

- Jet de plus grande impulsion transverse non issu du quark b

- Catégorisation en impulsion transverse manquante  $E_T^{\text{miss}}$  [GeV]

## ▶ Analyse de référence:

-Régions A-H :

interprétation par défaut

-Régions I : utilisées le scénario No Chargino pour  $\Delta m \leq 250 \text{ GeV}$

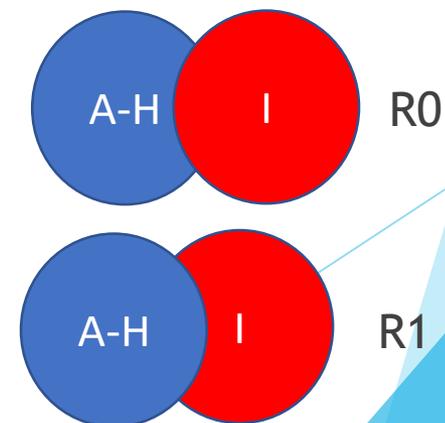
## ▶ Objectif du stage :

-Combiner toutes les régions pour tous les scénarios et pour tous les points de masse

-Créer de nouveaux ensembles de régions indépendantes

$$R0 : I + [(A-H) - (A-H \cap I)]$$

$$R1 : (A-H) + [I - (I \cap A-H)]$$



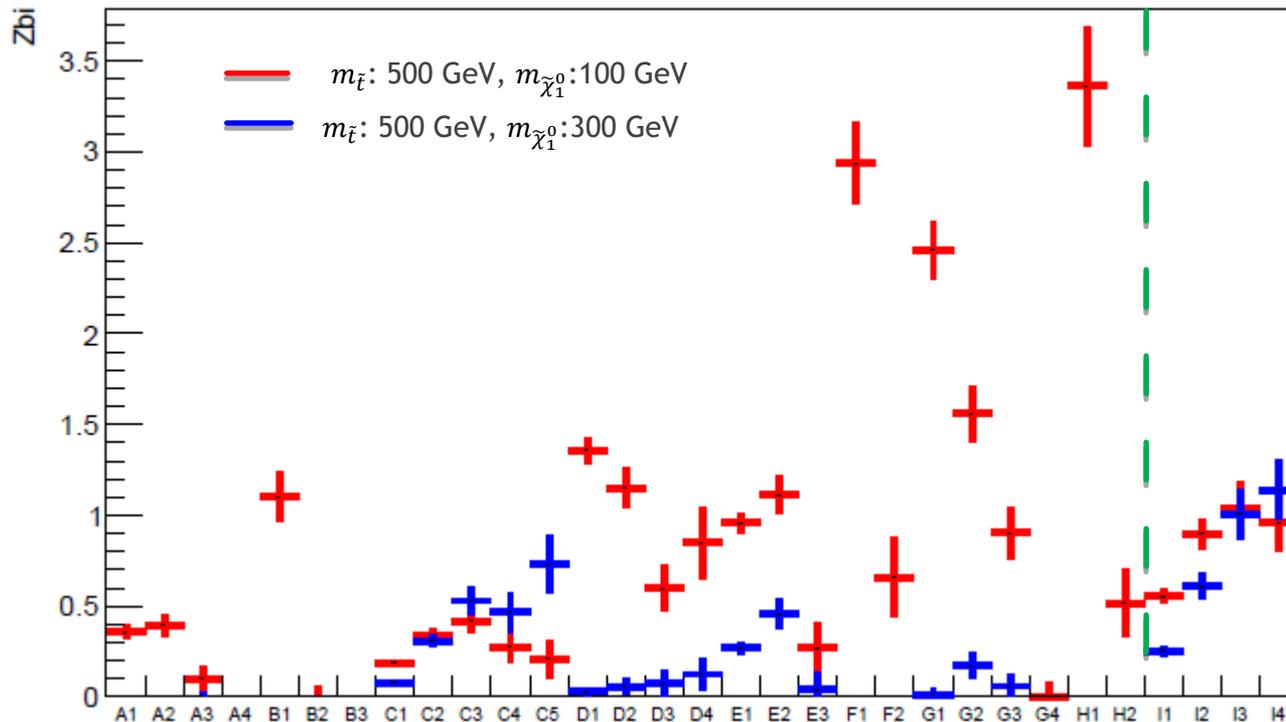
# Mon travail

- ▶ Données issues de générateurs d'événements puis de simulations
- ▶ Caractérisation des **zones de sensibilité** et amélioration:
  - Classification des événements dans les régions de signal
  - Table avec les nombres d'événements par régions
  - Test de signficance (Zbi)** pour un point de masse et pour une seule région (estimation rapide)
  - Changement des sélections pour observer l'impact des sélections sur la signficance
- ▶ Proposition d'une méthodologie
- ▶ Utilisation du logiciel *combine* avec la méthode *CLs* pour tous les événements (long à exécuter)

# Test avec $Z_{bi}$

- ▶ Calcul de la signficance en prenant en compte des régions de contrôle (région avec du bruit de fond uniquement) pour le calcul dans les régions de signal

Deux cas de masses pour le scénario 2 Charginos



- ▶ Intérêt des régions I quand l'écart de masse est faible

# Mes résultats

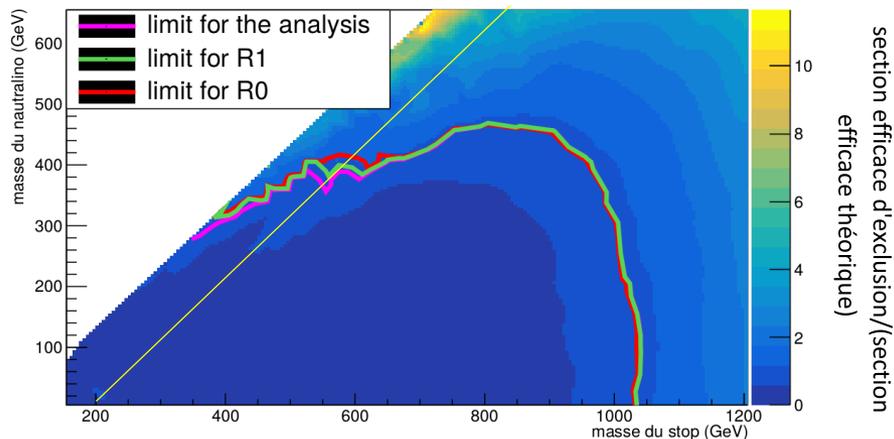
simulation à 36 fb<sup>-1</sup>

$$R0 : I + [(A-H) - (A-H \cap I)]$$

$$R1 : (A-H) + [I - (I \cap A-H)]$$

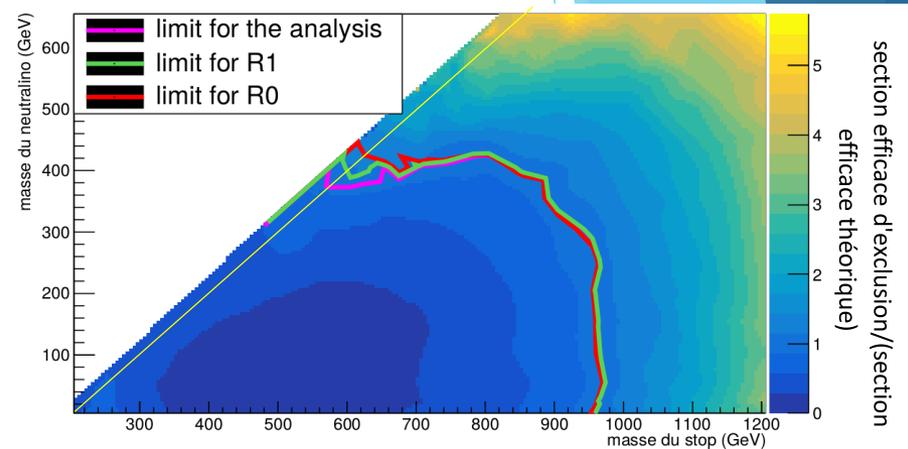
▶ No Chargino :

Augmentation de 30 GeV  
pour les deux masses  
à  $\Delta m=200$  GeV



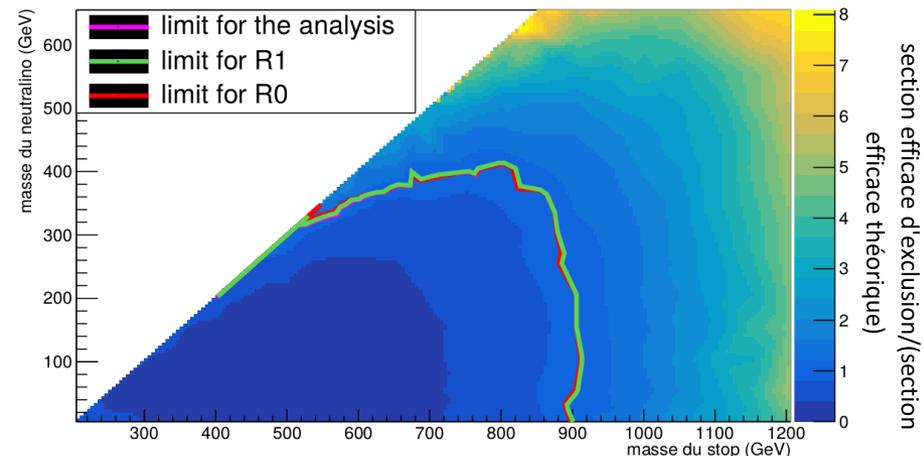
▶ 2 Chargino :

Augmentation de 50 GeV  
pour les deux masses  
à  $\Delta m=200$  GeV

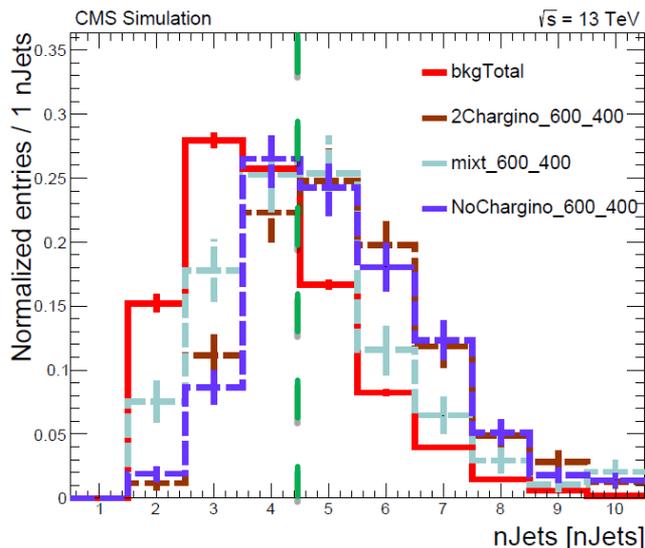


▶ Mixt :

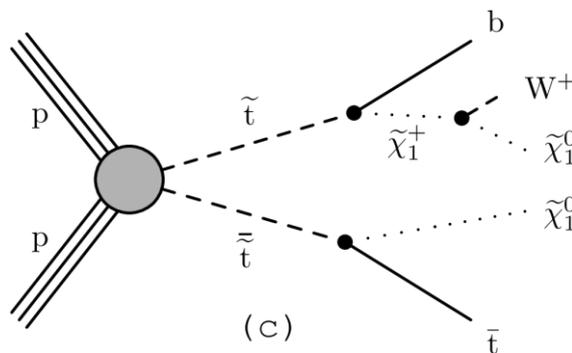
Pas d'augmentation



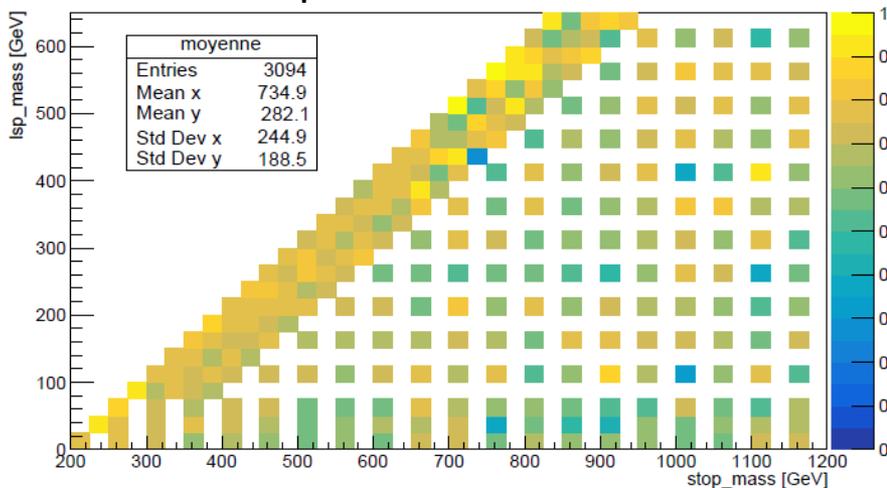
# Explication pour les differences entre les scénarios



Coupure sur le nombre de jets plus importante pour le signal mixt



Ratio de jet de plus grande impulsion non issus d'un quark b dans le scénario mixt

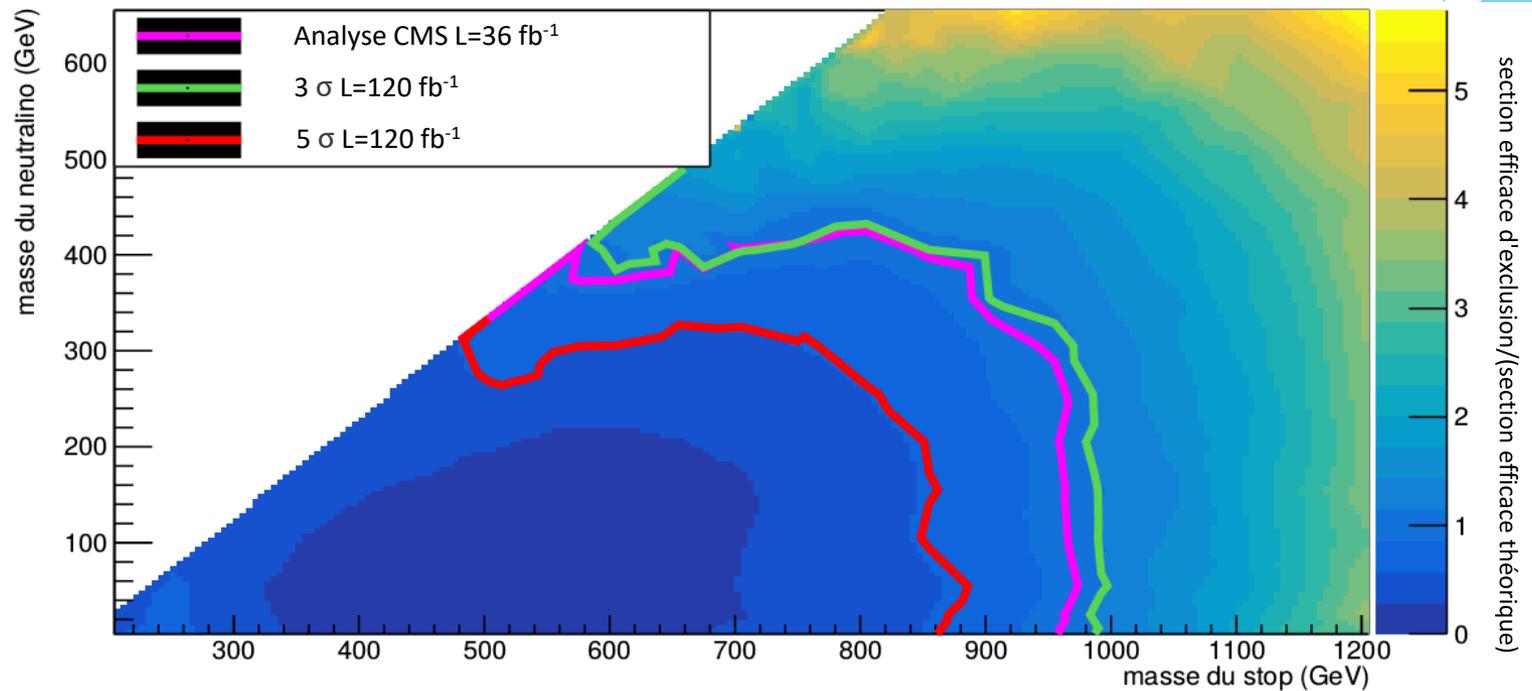


Ratio bruit de fond : 0.8

Ratio scénario mixt : 0.6-0.8

Significance :  $\frac{s}{\sqrt{B}} < 1$   
pas d'amélioration

# Valeur de la prédiction de découverte avec la nouvelle luminosité ( $120 \text{ fb}^{-1}$ ) pour le scénario 2 Charginos



# Conclusion

## ▶ Stage actuel :

- Mise en évidence d'améliorations pour la région compressée (pour les scénarios 2 Charginos et No Chargino)
- Explications données pour le cas sans amélioration (scénario mixt)
- Travail préparatoire pour l'ensemble des données du Run II (2015-2018), sensibilité à  $3\sigma$  pour des points non exclus

## ▶ Poursuite dans le stage de *magistère* :

- Continuer l'**optimisation des zones de sensibilité** de la région compressée
- étendre les zones de sensibilité  
*Ex : Zone à haute masse de stop*

## ▶ Analyse de la totalité des données du Run II

**P&I** Faculté

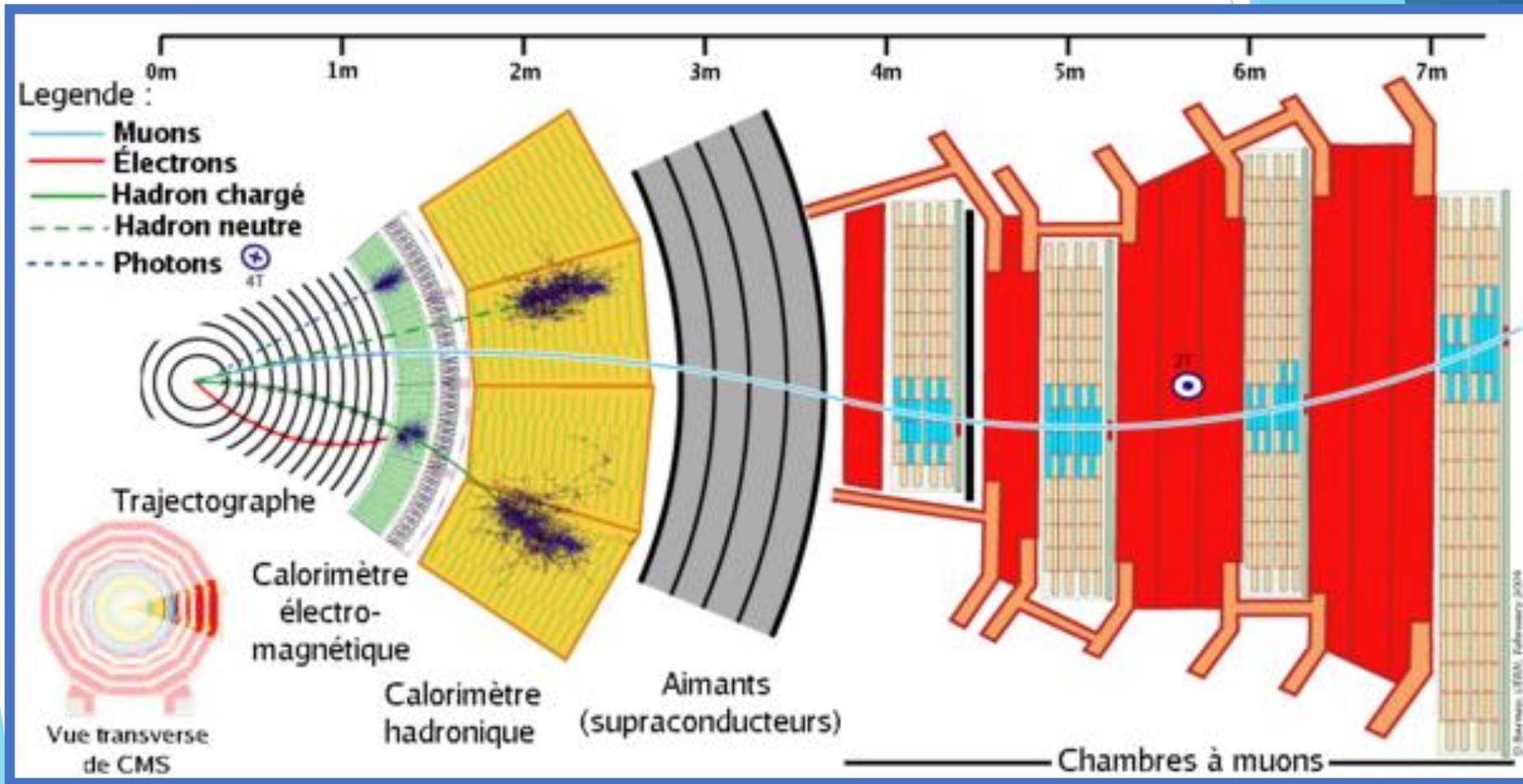
de **physique** et **ingénierie**

Université de Strasbourg



**MERCI POUR VOTRE  
ATTENTION !**

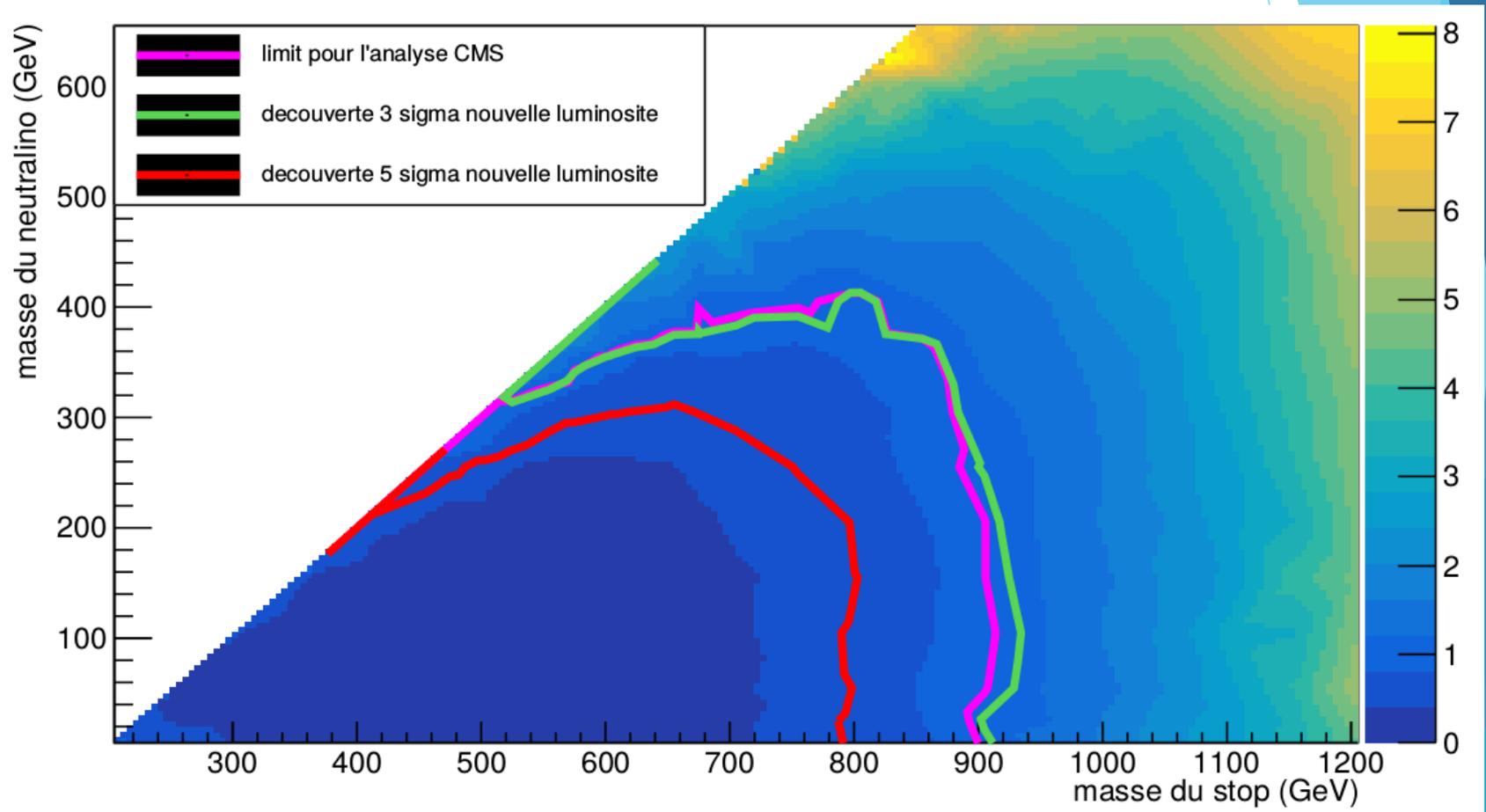
# Le détecteur CMS



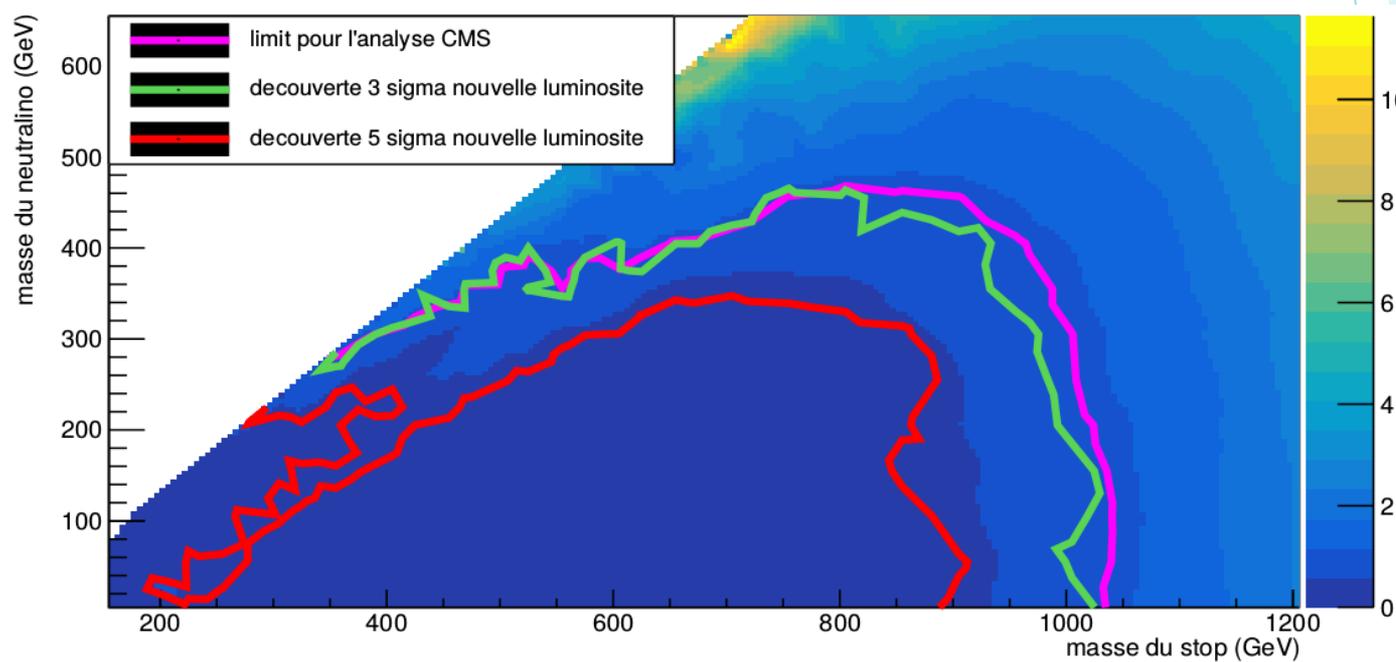
# Exemple d'un scénario possible avec les nouvelles données

	Luminosité	H0	H1	Données	Exclusion	découverte
Données jusqu'à 2016 avec une fluctuation basse	36 fb <sup>-1</sup>	100	120	100	95%	0 $\sigma$
Nouvelles données sans fluctuations	84 fb <sup>-1</sup>	233	280	280	0%	3.08 $\sigma$
Total	120 fb <sup>-1</sup>	333	400	380	68%	2.57 $\sigma$
Total sans fluctuations	120 fb <sup>-1</sup>	333	400	400	0%	3.67 $\sigma$

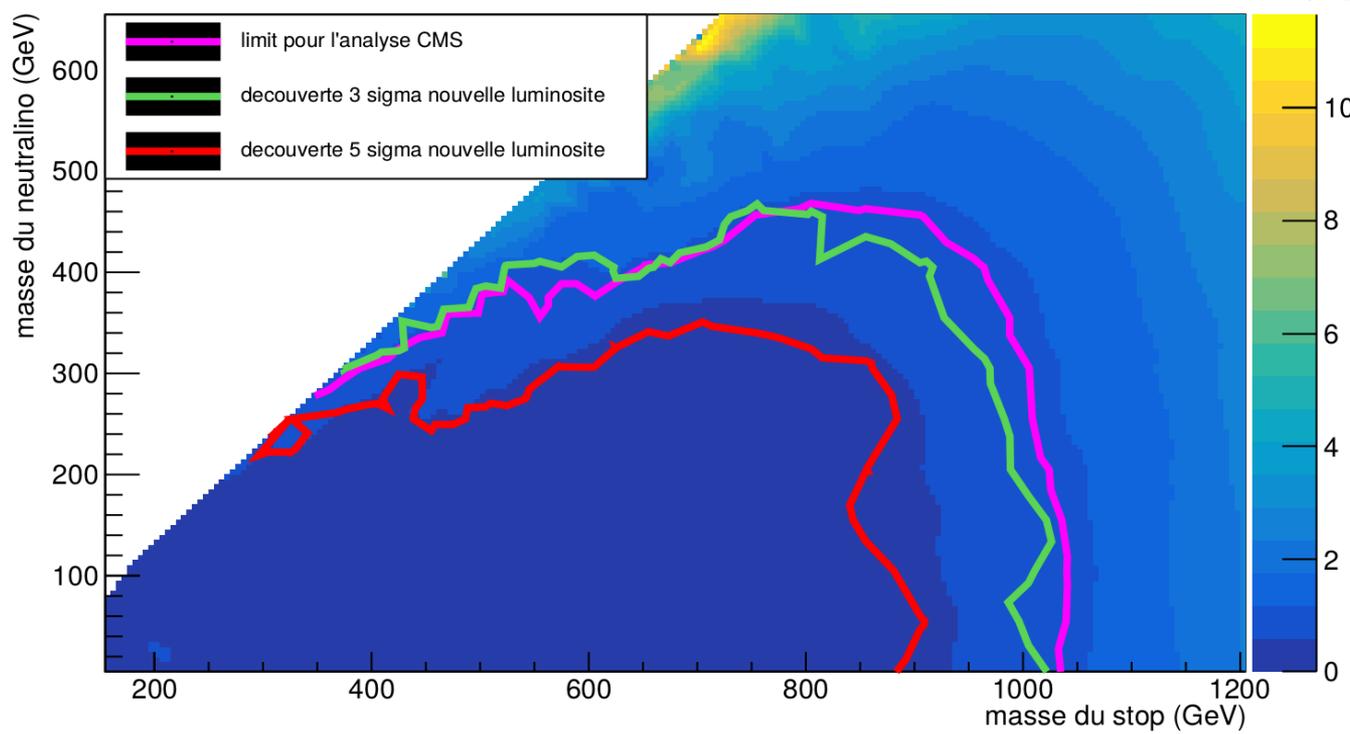
# Valeur de la prédiction de découverte avec la nouvelle luminosité ( $120 \text{ fb}^{-1}$ ) pour le scénario mixt



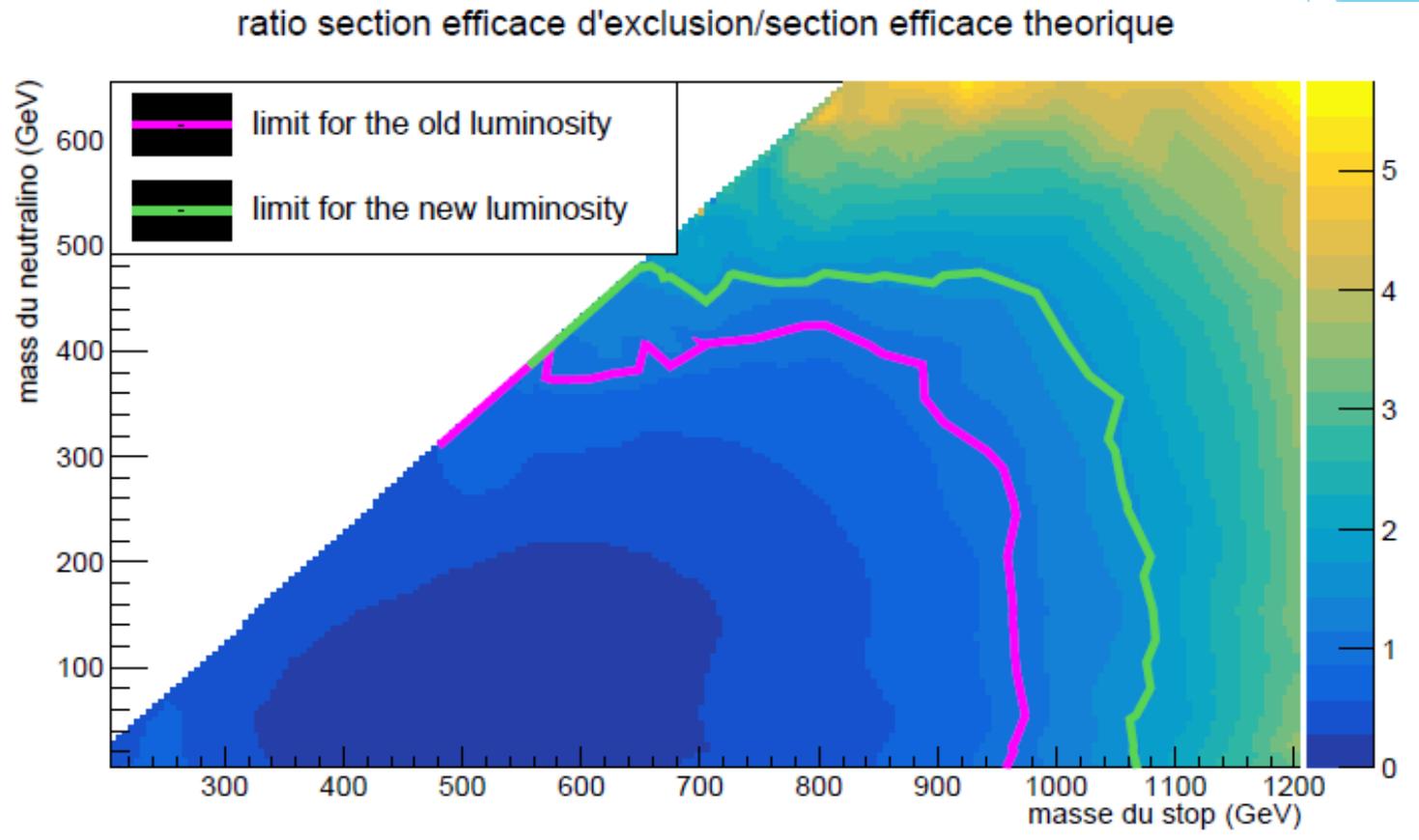
# Valeur de la prédiction de découverte avec la nouvelle luminosité ( $120 \text{ fb}^{-1}$ ) pour le scénario No Chargino

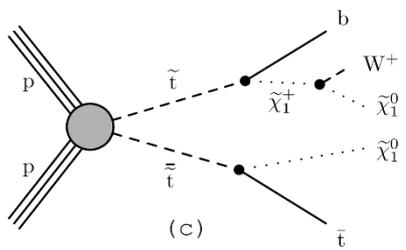


# Valeur de la prédiction de découverte avec la nouvelle luminosité ( $120 \text{ fb}^{-1}$ ) pour le scénario No chargino pour l'ensemble R0

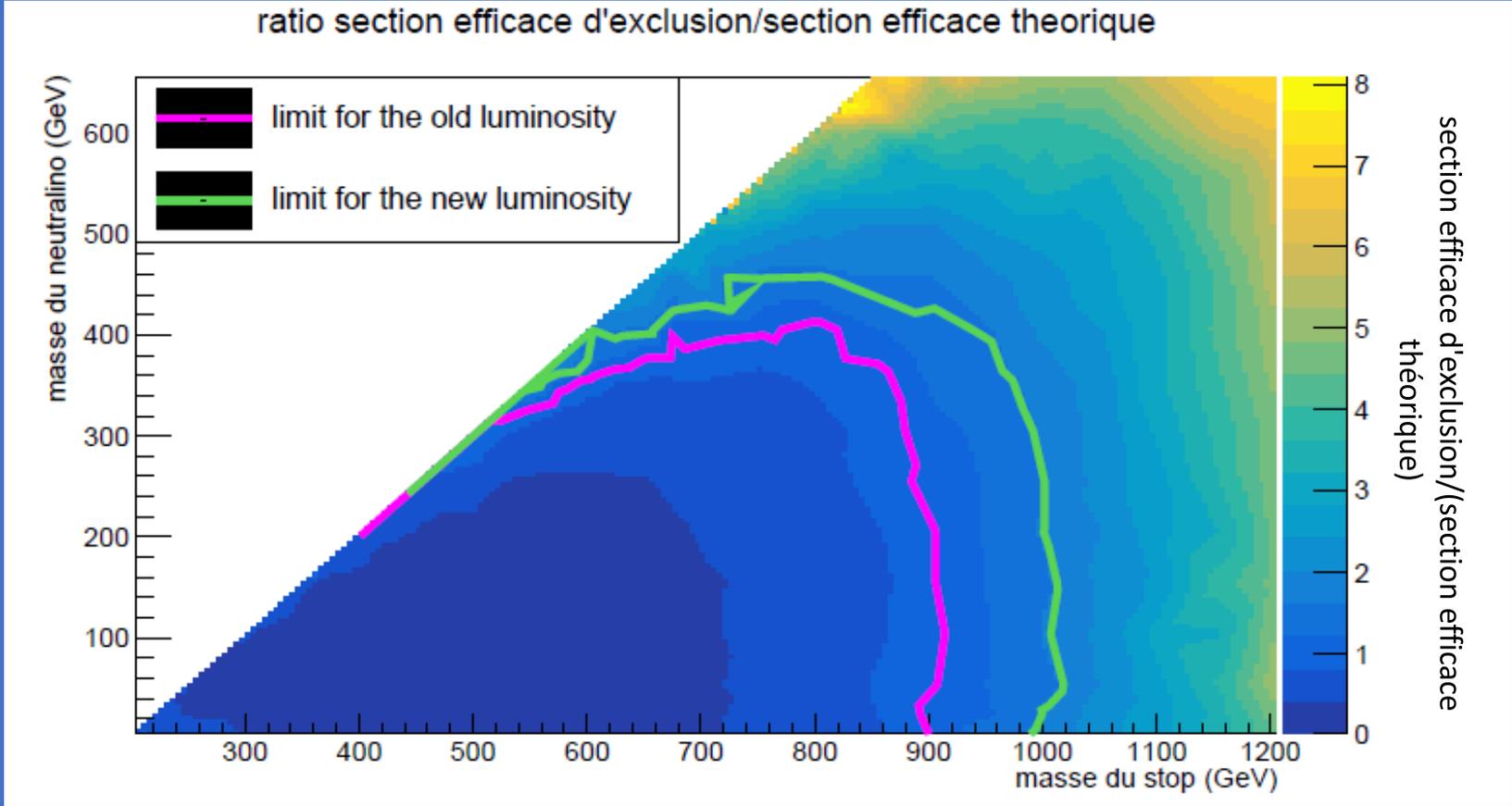


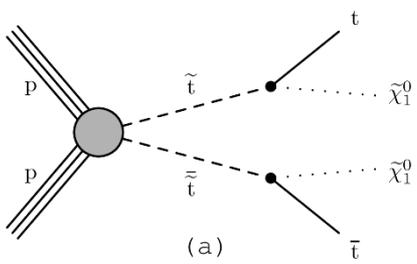
## Nouvelle luminosité pour scénario 2 Charginos





Nouvelle luminosité pour l'événement avec 1 chargino intermédiaire





Nouvelle luminosité pour l'événement sans charginos intermédiaires

ratio section efficace d'exclusion/section efficace theorique

