

# Expérience CMS

Étude du bruit induit par les faisceaux du LHC  
*(Travail de 1ère année de thèse)*

Recherche de supersymétrie avec  
violation de la parité R  
*(Travail à venir)*

Mehdi KARIM – GRPHE – Université de Haute Alsace



## ***Étude du bruit induit par les faisceaux du LHC***

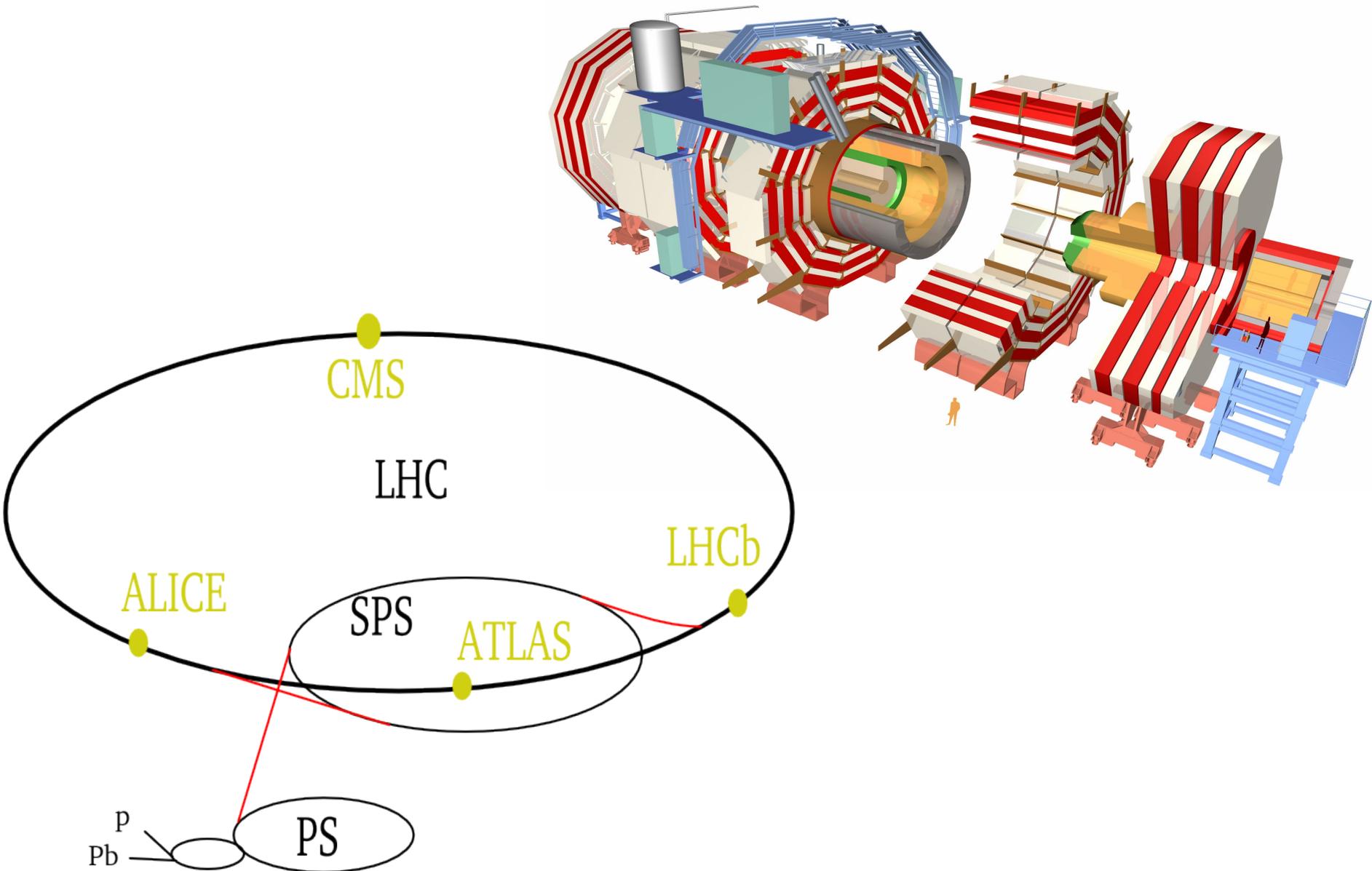
Introduction sur les bruits des faisceaux du LHC  
Manifestation dans le détecteur CMS  
Quelques méthodes de filtrage

## ***Recherche de supersymétrie sans conservation de la parité R***

Courte introduction à la supersymétrie  
Définition de la parité R  
Non conservation de la parité R

# Étude du bruit induit par les faisceaux du LHC

# Le LHC et le détecteur CMS



# Bruit induit par les faisceaux du LHC – introduction

La présence de particules parasites avec les faisceaux du LHC est attendue  
→ halo

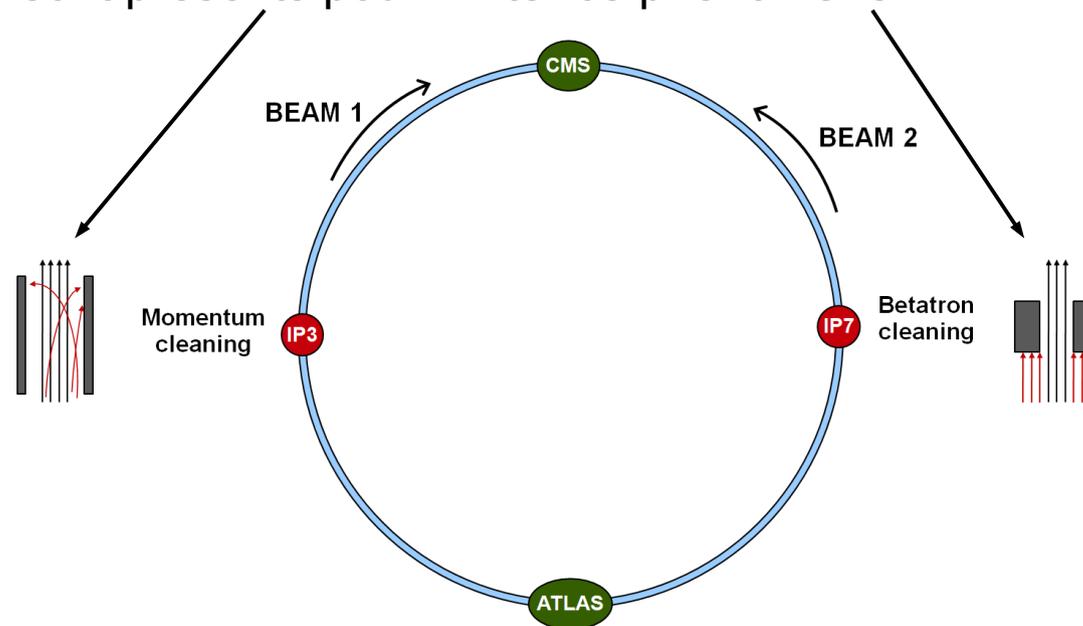
Particules accompagnant les faisceaux

Origines :

à la création des faisceaux

paquets de protons pas assez compacts : interactions avec les tubes du faisceau, les collimateurs, ...

Des dispositifs sont présents pour limiter ce phénomène



→ interaction avec du gaz résiduel dans les tubes des faisceaux

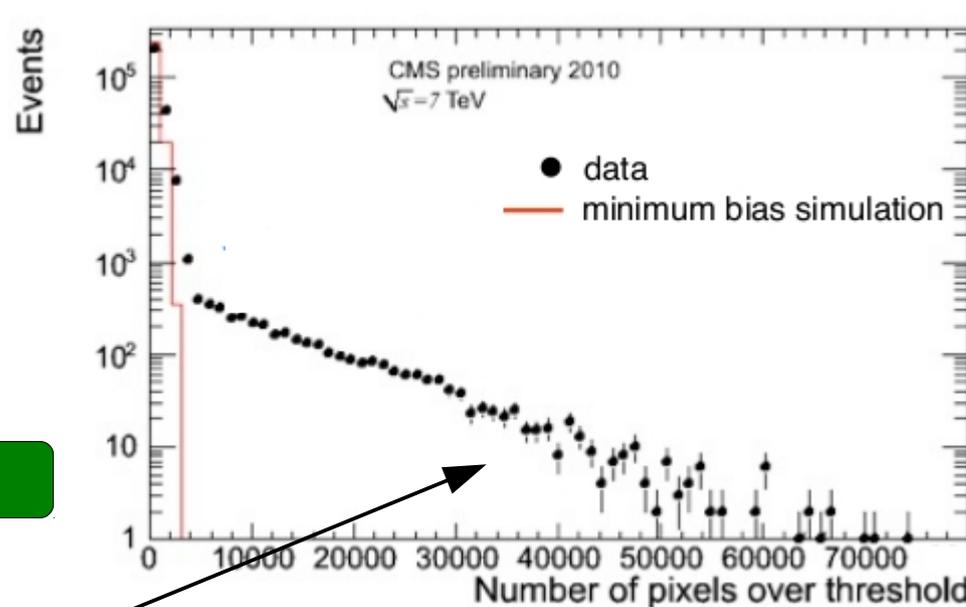
Le vide dans les tubes du LHC n'est pas total : collisions élastiques/inélastiques

# Bruit induit par les faisceaux du LHC – observations dans CMS

Observation d'événements avec une très forte activité proche du faisceau

*Comparaison  
données / simulation  
de l'activité très proche  
du faisceau*

→ sous estimation dans les simulations

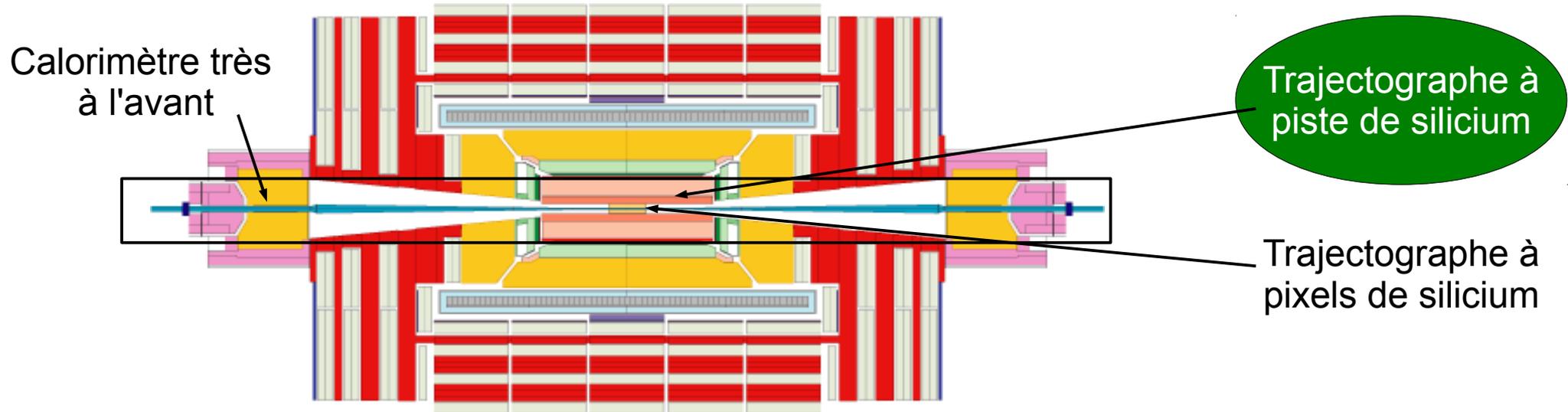


Événements à très forte activité :

- lié uniquement à la présence des faisceaux (et pas aux collisions)
- intensité / fréquence proportionnelles à celles des faisceaux
- phénomène également observé dans le détecteur ATLAS (pas d'information pour les autres expériences)

# Bruit induit par les faisceaux du LHC – observations dans CMS

Le bruit est concentrée autour des faisceaux  
étude centrée sur les sous détecteurs proches du faisceau



Rappel :

trajectographe à pixels de silicium : reconstruction des vertex (et des trajectoires)

trajectographe à pistes de silicium : reconstruction des trajectoires

calorimètre très à l'avant : énergie des hadrons aux faibles angles

## Introduction sur le travail en cours

---

### Motivations :

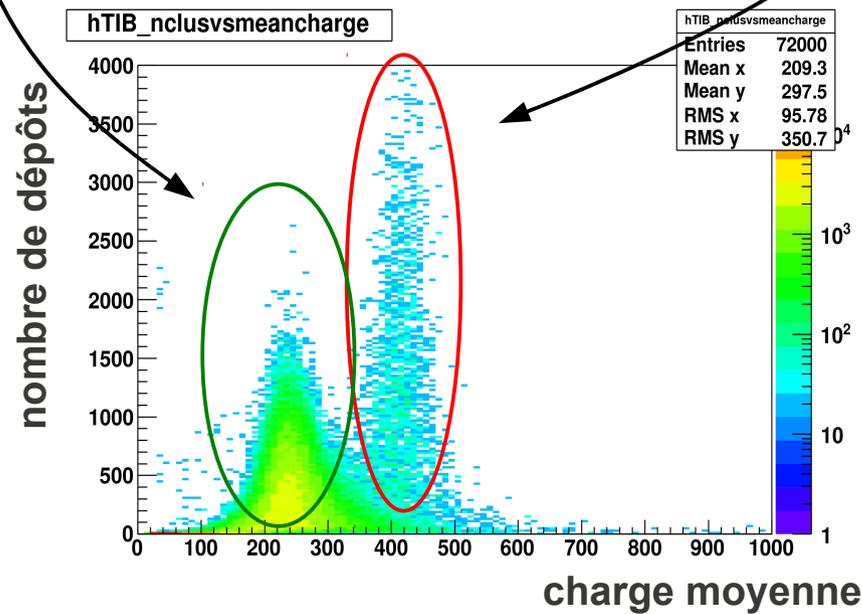
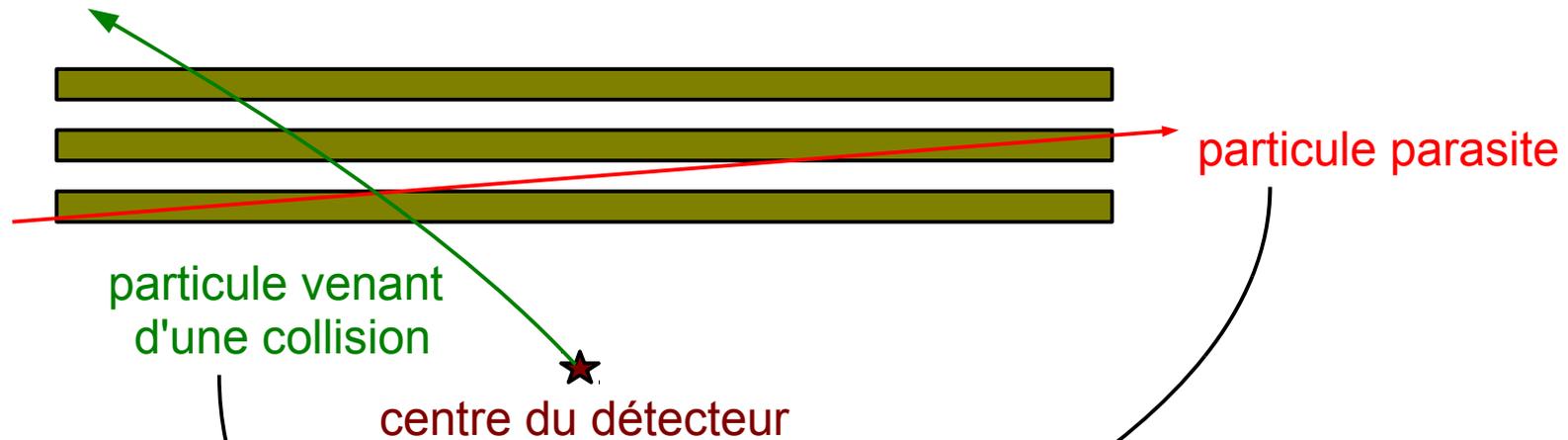
- les analyses préalables sont basées sur des simulations
- des filtres supplémentaires doivent être appliqués
- l'analyse du bruit peut également apporter des informations sur les faisceaux du LHC

### Techniques de filtrage :

- détecteurs servant au contrôle des faisceaux
- topologie des événements
  - charge déposée
- caractéristiques des trajectoires reconstruites
  - proportionnalité entre différentes quantités en présence de collisions
  - qualité de la reconstruction (vertex primaires, trajectoires)

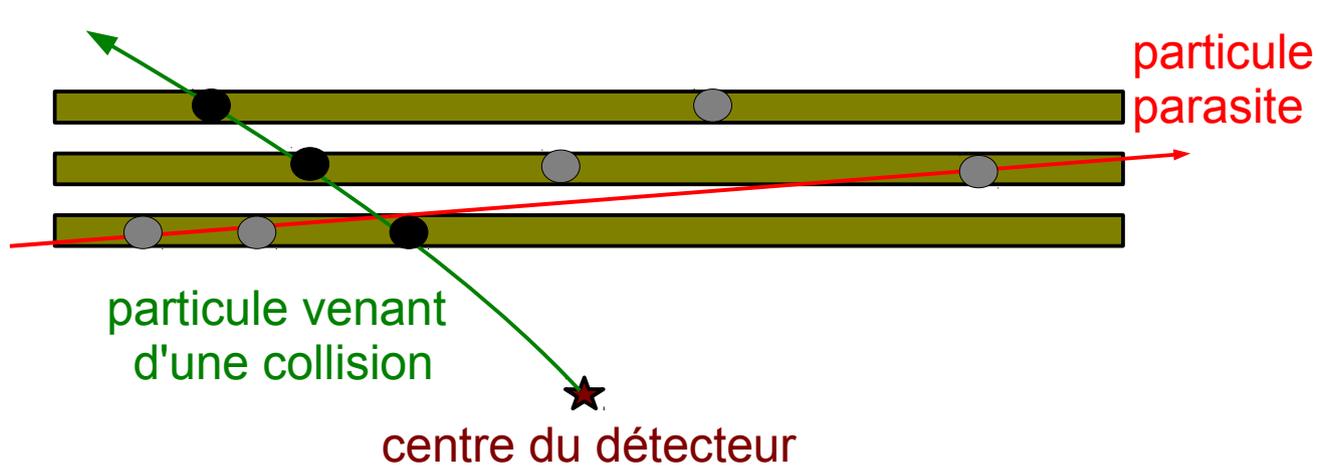
# Charge déposée

→ les particules parasites traversent plus de matière que celles issues de collisions



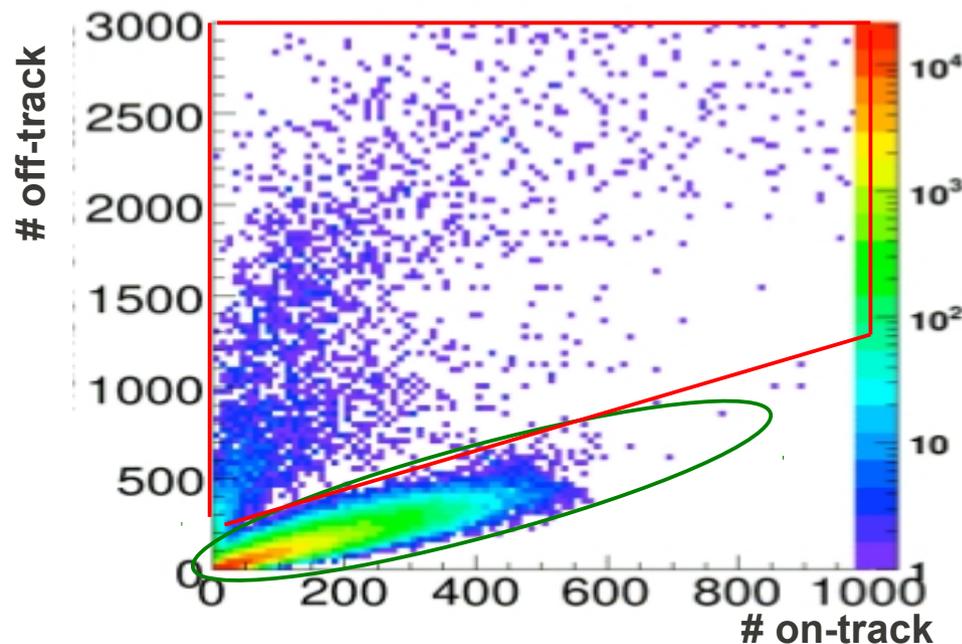
seuil sur la charge collectée

# Résultat de la reconstruction des trajectoires



- Dépôt **utilisé** pour une trajectoire (on-track)
- Dépôt **pas utilisé** pour une trajectoire (off-track)

**pas (ou peu) de trajectoire reconstruite pour des événements avec bruit !**  
Les algorithmes de reconstruction des trajectoires ne trouvent pas de dépôts à lier



seuil sur le rapport  
off-track / on-track

## Synthèse et état de progression actuel de l'étude

---

L'apparition de particules parasites accompagnant les faisceaux du LHC était prévu

Mais il y eu une **sous estimation** de l'intensité du phénomène dans les simulations

→ la simulation de ce phénomène est en train d'être revue

Il faut donc trouver des méthodes pour **rejeter ces évènements**

→ leur reconstruction est perturbée, de mauvaise qualité

→ plusieurs méthodes existent, principalement basée sur la qualité de la reconstruction des trajectoires (et d'un vertex primaire)

On peut également « **nettoyer** » les données :

→ conditions supplémentaires pour reconstruire une trajectoire

Pour après

→ regarder la **combinaison** des 2 variables (charge & rapport off-track / on-track)

→ regarder la **corrélation** entre toutes les méthodes disponibles

→ **quantifier** les résultats

On veut **sélectionner ces évènements**

→ pour contrôler l'état des faisceaux (fréquence d'apparition, intensité, ..)

# Recherche de supersymétrie avec violation de R-parité

## Motivations

- Le Modèle Standard (MS) n'est pas totalement satisfaisant
- En particulier concernant :
  - le problème de hiérarchie (masse du Higgs diverge quadratiquement...)
  - l'unification des couplages (GUT) pas réalisée avec le MS

## Principe général

→ introduction d'une nouvelle symétrie : bosons  $\leftrightarrow$  fermions

quarks	$\leftarrow \rightarrow$	squarks ( <i>boson</i> )
leptons	$\leftarrow \rightarrow$	sleptons ( <i>boson</i> )
bosons de Higgs	$\leftarrow \rightarrow$	higgsinos ( <i>fermion</i> )
bosons de Jauge	$\leftarrow \rightarrow$	gauginos ( <i>fermion</i> )

## Brisure de la supersymétrie

→ les masses des fermions et bosons reliés aux particules du MS doivent être les mêmes

MAIS expérimentalement, aucune particule supersymétrique n'a été observée

→ implique que les masses des particules supersymétriques sont plus grandes que celles des particules du MS

## Principe

- nouveau nombre quantique (multiplicatif)
- vaut 1 pour les particules du MS, -1 pour les particules supersymétriques

## Motivations de la conservation de la parité R

- dans la théorie de la supersymétrie, il n'y a pas conservation des nombres leptonique (L) et baryonique (B)
- d'où le problème de la désintégration du proton (*incompatible avec l'expérience, temps de vie du proton  $> 10^{31}$  années*)
- historiquement c'est ce qui a motivé la phénoménologie avec conservation de parité R

## Conséquences de la conservation de la parité R

- les particules supersymétriques ne sont produites que par paire
- les particules supersymétriques se désintègrent toujours en donnant 1 autre particule supersymétrique
- donc il existe une particule supersymétrique la plus légère, qui est stable (LSP)

## Expérimentalement

- signature privilégiée : beaucoup d'énergie manquante

# Non conservation de la parité R

---

Il est tout de même possible d'envisager la non conservation de la parité R

## Introduction de nouveaux couplages

$\lambda$  : couplage entre sleptons (nombre leptonique non conservé)

$\lambda'$  : couplage entre squarks (nombre leptonique non conservé)

$\lambda''$  : couplage squarks / sleptons (nombre baryonique non conservé)

Ce sont ces couplages qui impliquent la non conservation de la parité R

## Conséquences

→ le temps de vie du proton implique des contraintes sur les couplages  $\lambda'$  et  $\lambda''$   
( $\lambda'_{11k} * \lambda''_{11k} < 10^{-27}$ )

→ possibilité de production résonante de particules supersymétriques (particule célibataire)

→ la LSP se désintègre en particules du MS

## Expérimentalement

- un des  $\lambda$  est dominant (les autres sont négligés)
- l'énergie manquante n'est plus forcément la signature principale
- recherches de nouveaux signaux (*par expl 2 leptons de même signe + 2 jets*)
- relativement peu de bruit de fond MS

## Recherche inclusive

- définir les états finaux que l'on recherche
- adapter les méthodes standards de recherche de supersymétrie (avec conservation de parité R)
- comparaison du signal avec des simulations Monte Carlo
- toute divergence entre données et simulation doit être interprétée en fonction des modèles
- limite sur la valeur d'un des couplage  $\lambda$

# ***Synthèse – recherche de supersymétrie avec non conservation de la parité R***

---

Prédiction de l'existence d'une symétrie entre fermions et bosons

Symétrie brisée : les particules supersymétriques sont plus massives que celle du MS

Introduction « à la main » d'un nouveau nombre quantique : R

→ à la base pour conservation des nombres leptonique et baryonique

→ si R se conserve, la LSP est stable

→ sinon elle se désintègre, via les couplages  $\lambda$ ,  $\lambda'$  et  $\lambda''$

Expérimentalement :

→ si conservation de la parité R : l'énergie manquante est la signature privilégiée

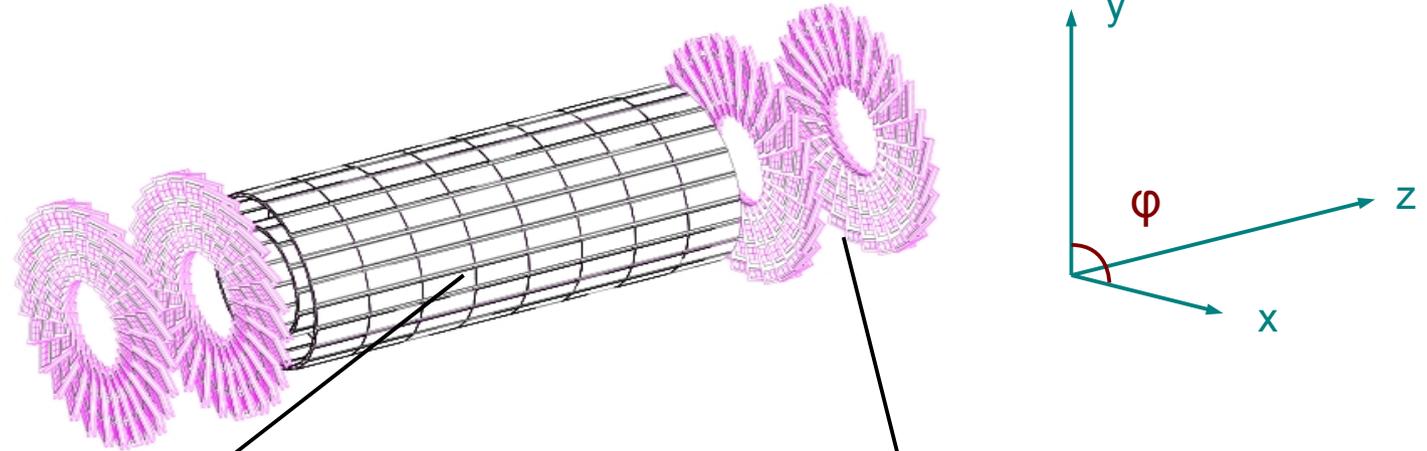
→ sinon : on néglige 2 couplages pour en privilégier 1  
on cherche à mettre des limites sur les couplages  $\lambda$ ,  $\lambda'$  et  $\lambda''$

# Compléments

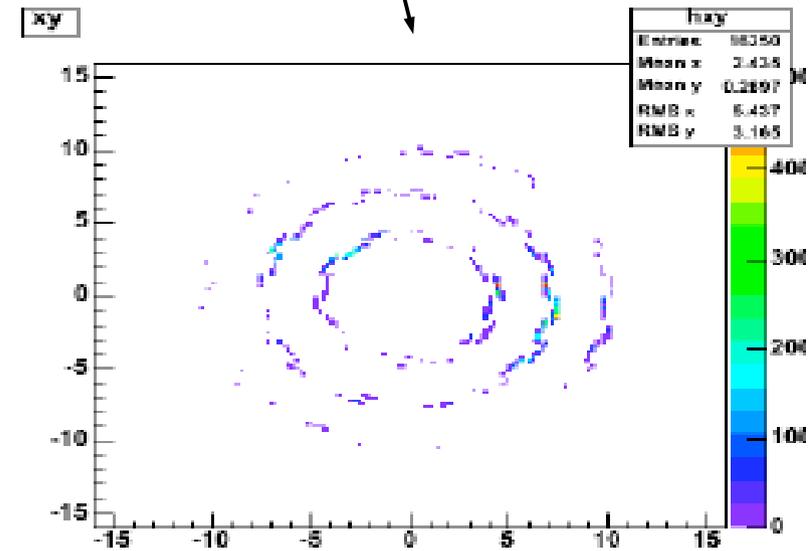
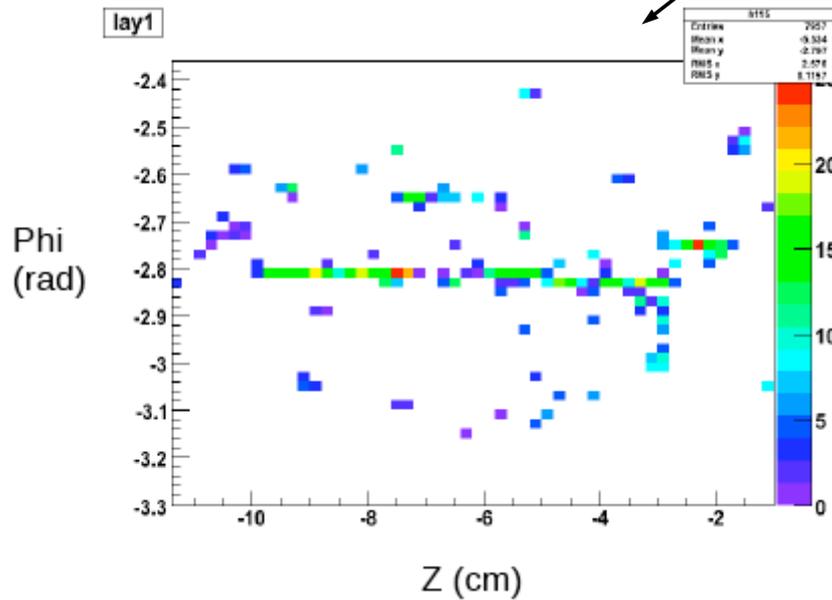
# Bruit induit par les faisceaux du LHC – observations dans CMS

Observation d'évènements avec une très forte activité proche du faisceau

Exemple d'un évènement



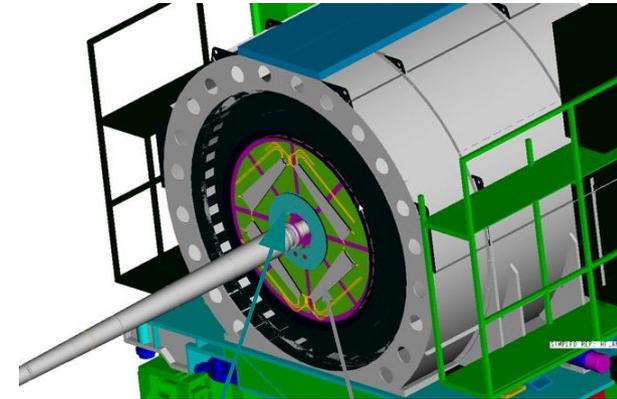
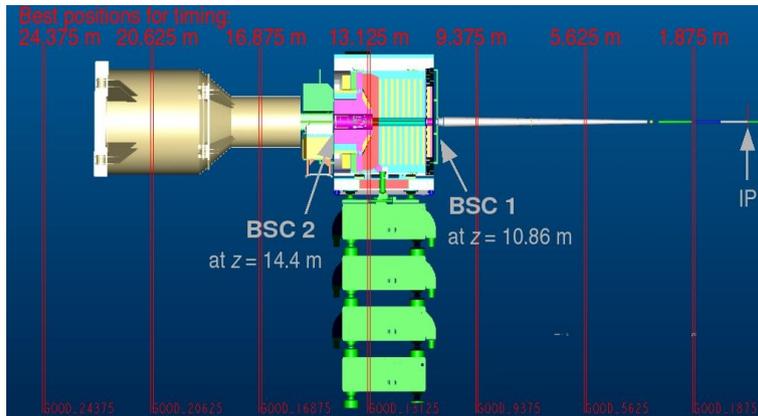
Trajectographe à pixels



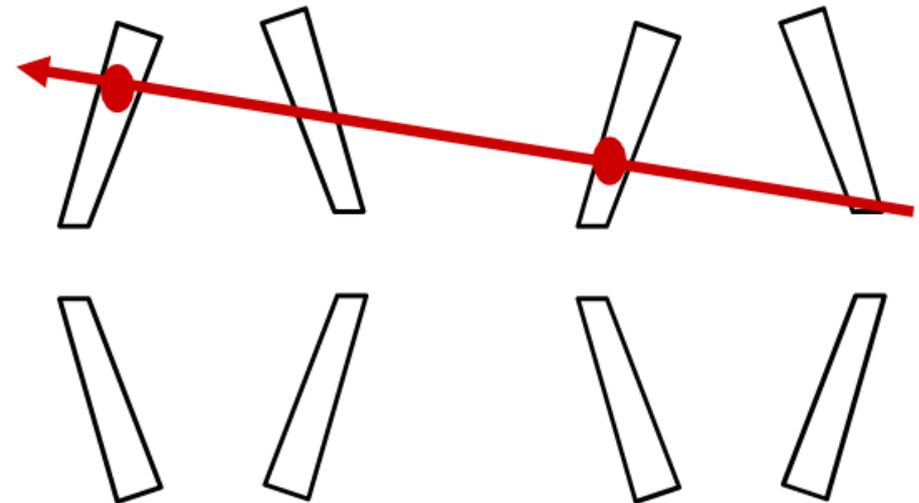
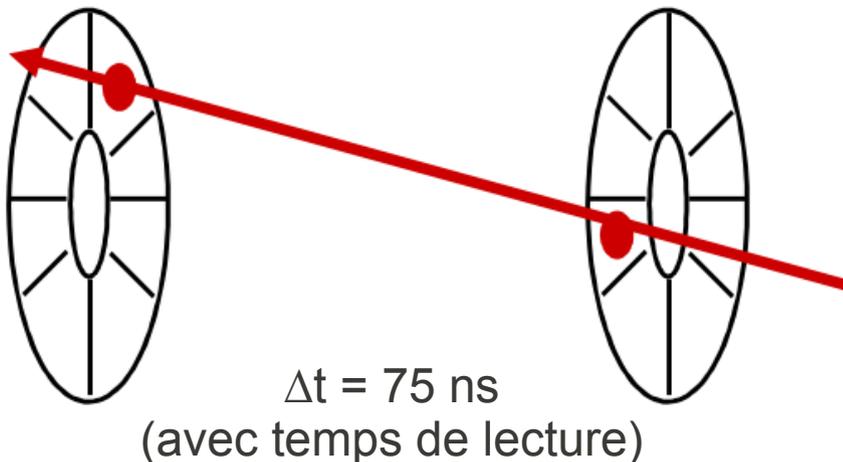
# Détecteur servant au contrôle des faisceaux

A partir des caractéristiques des faisceaux : utilisation des « BSC » (*Beam Scintillator Counters*)

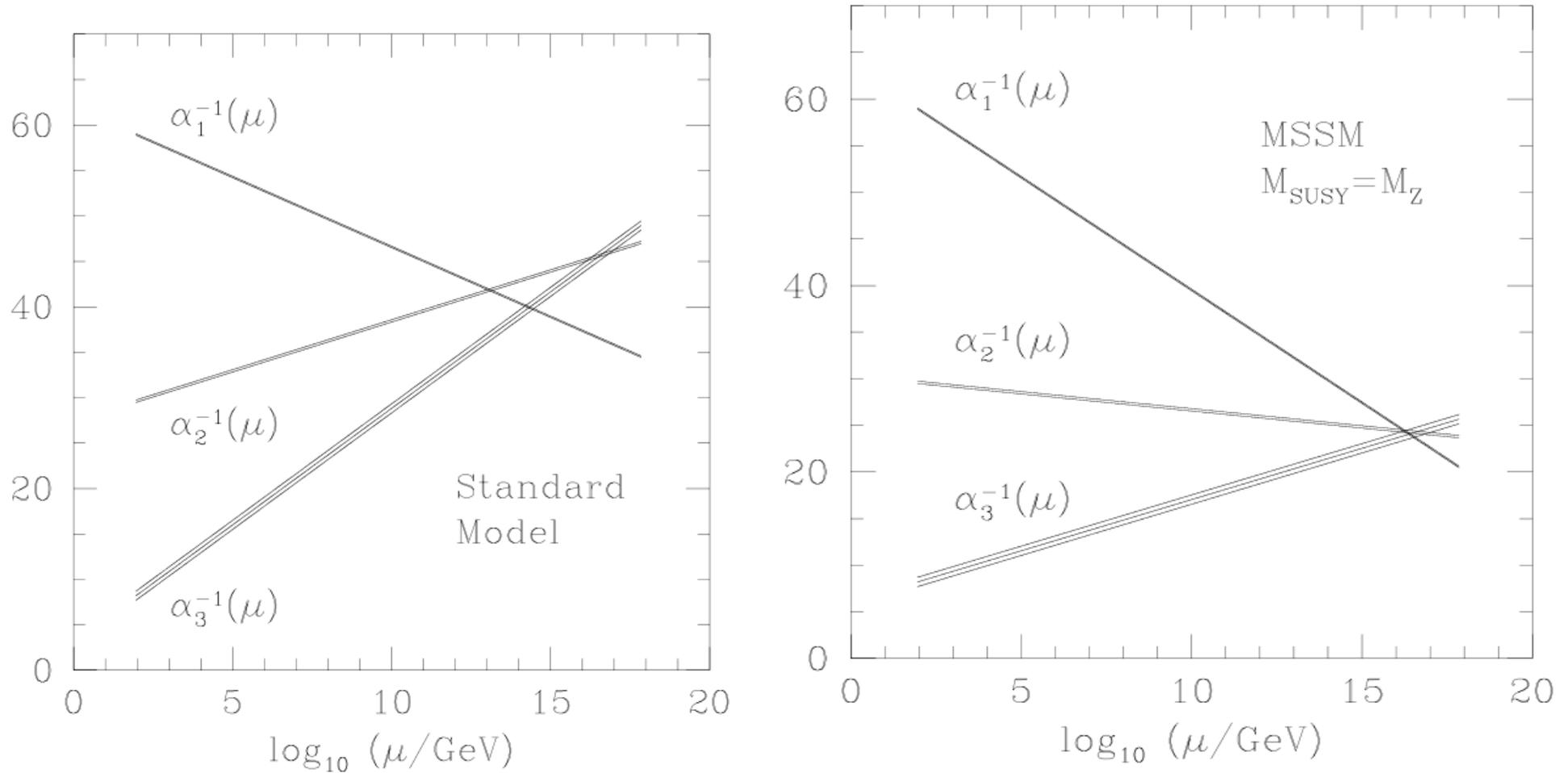
→ sert à contrôler l'état des faisceaux et au déclenchement du détecteur (*trigger*)



Placés aux extrémités du détecteur ( $|z| = 10.91$  m), très proche des faisceaux ( $r < 45$  cm)  
Exemple pour reconnaître un événement avec halo :



# Evolution des couplages en fonction de l'échelle d'énergie



Il s'agit là d'une conséquence de la théorie de la supersymétrie  
→ motivation de plus pour les recherches