

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

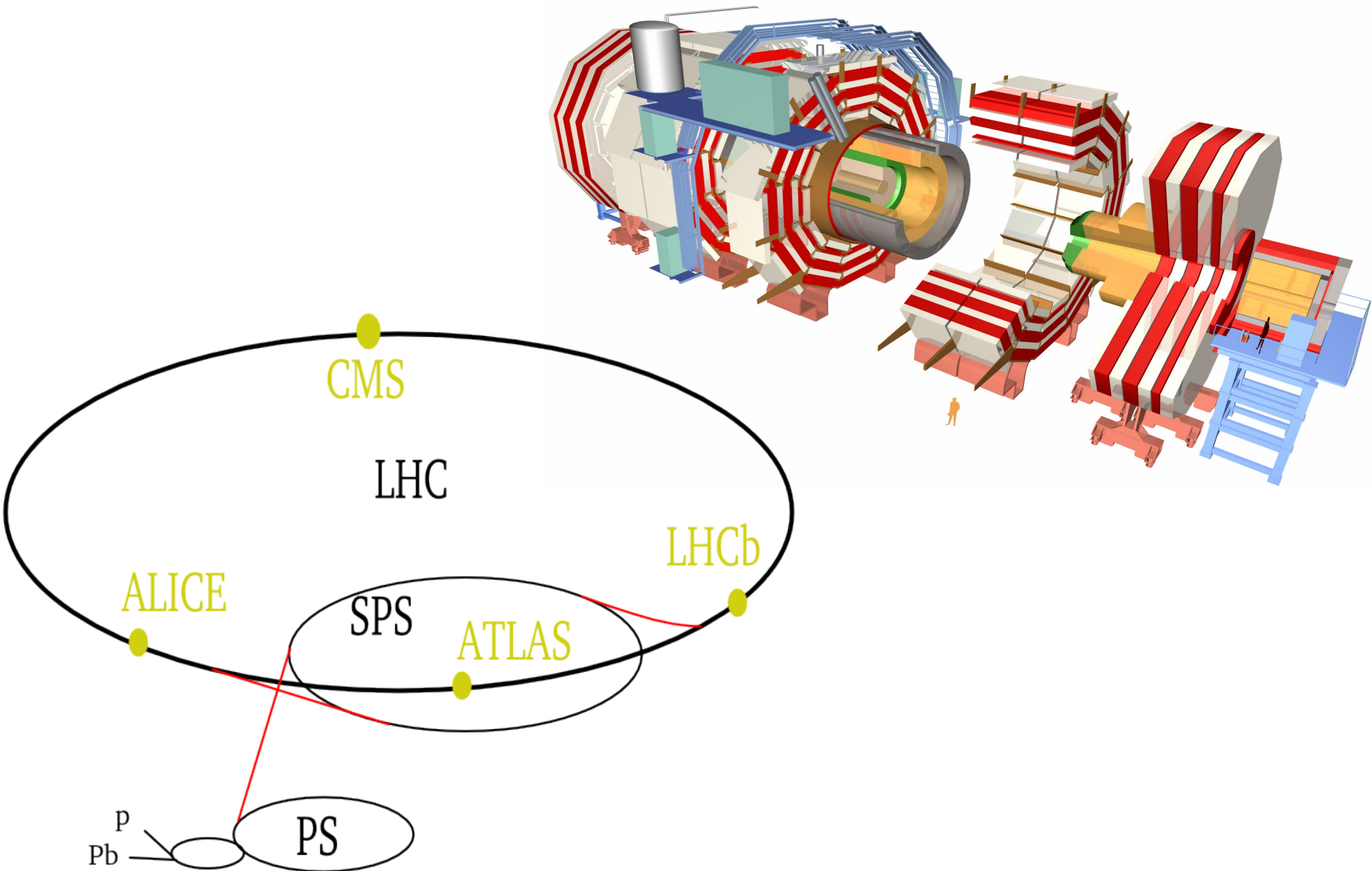
Introduction sur les bruits des faisceaux du LHC
Manifestation dans le détecteur CMS
Quelques méthodes de filtrage

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

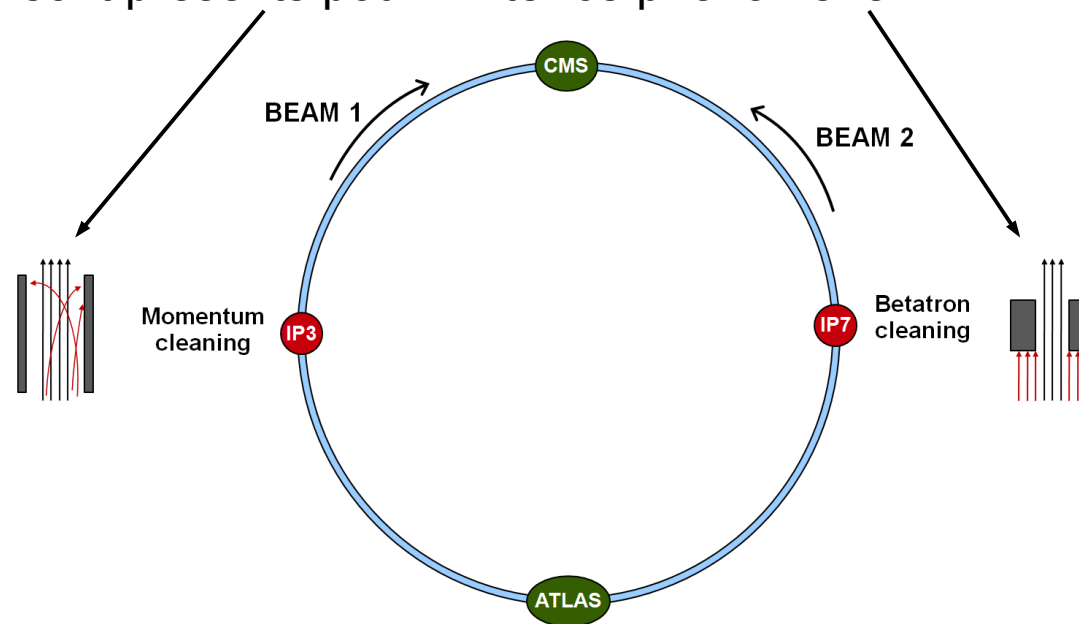
Particules accompagnant les faisceaux

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

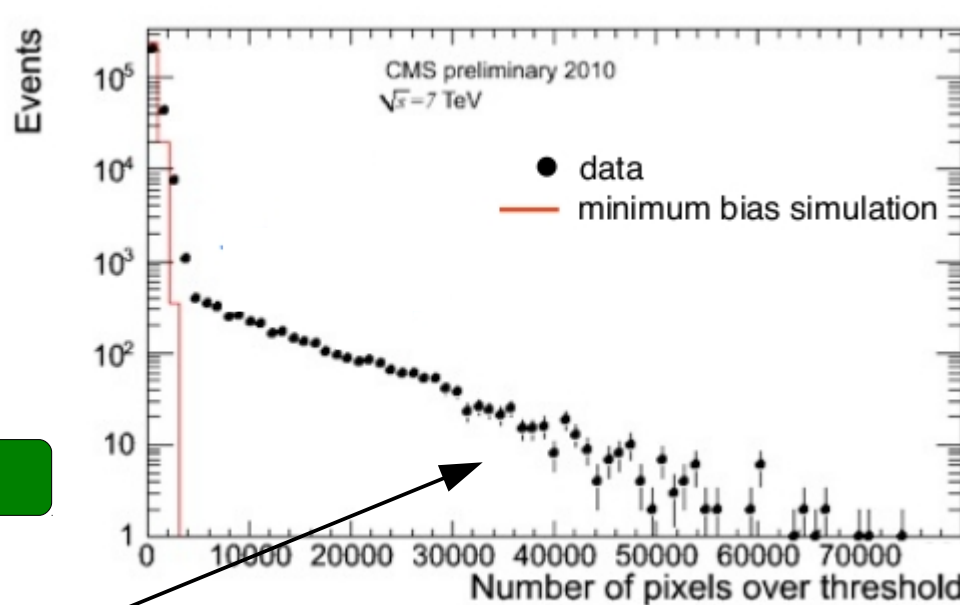
Le vide dans les tubes du LHC n'est pas total : collisions élastiques/inélastiques

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

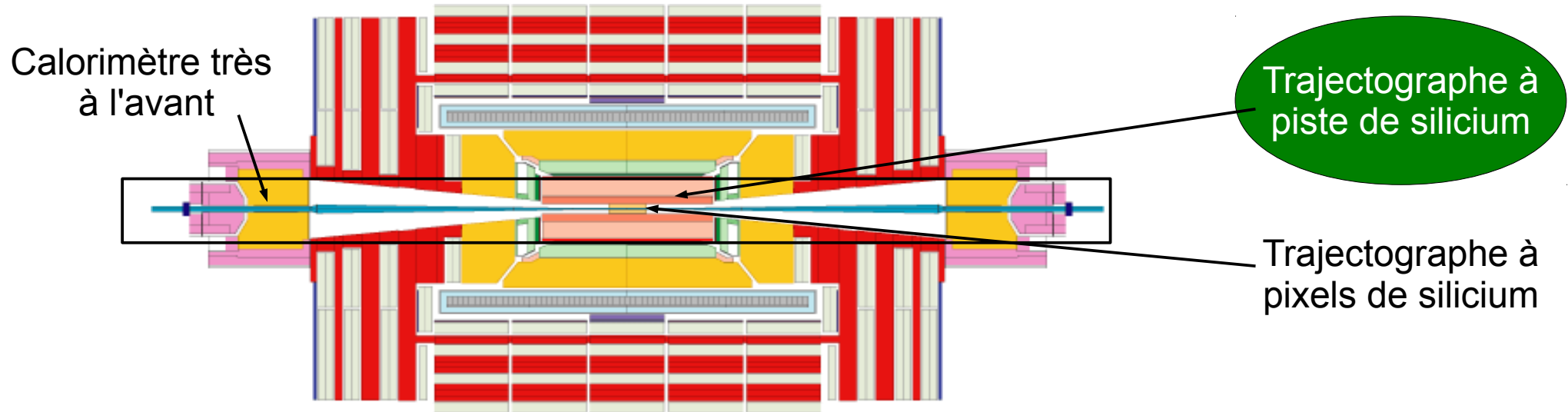


Événements à très forte activité :

- 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 concentré 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 :

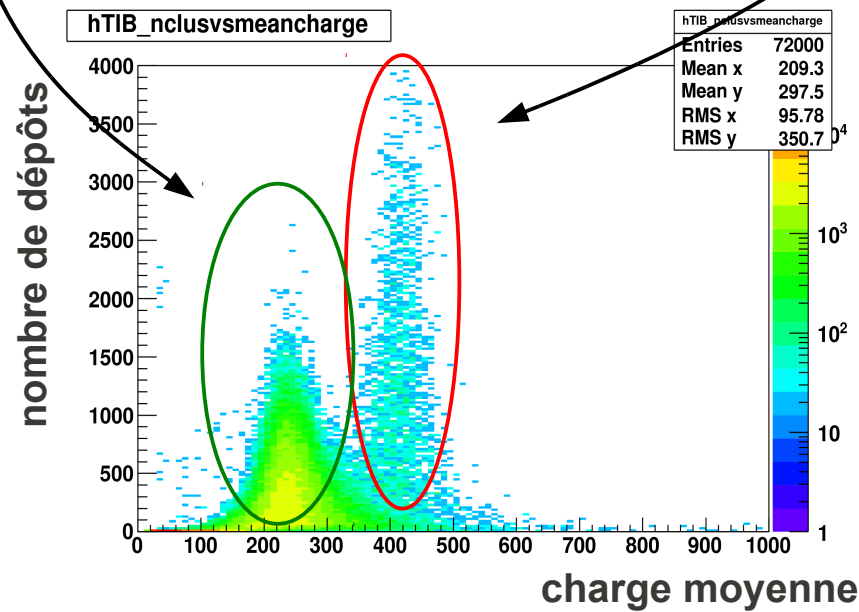
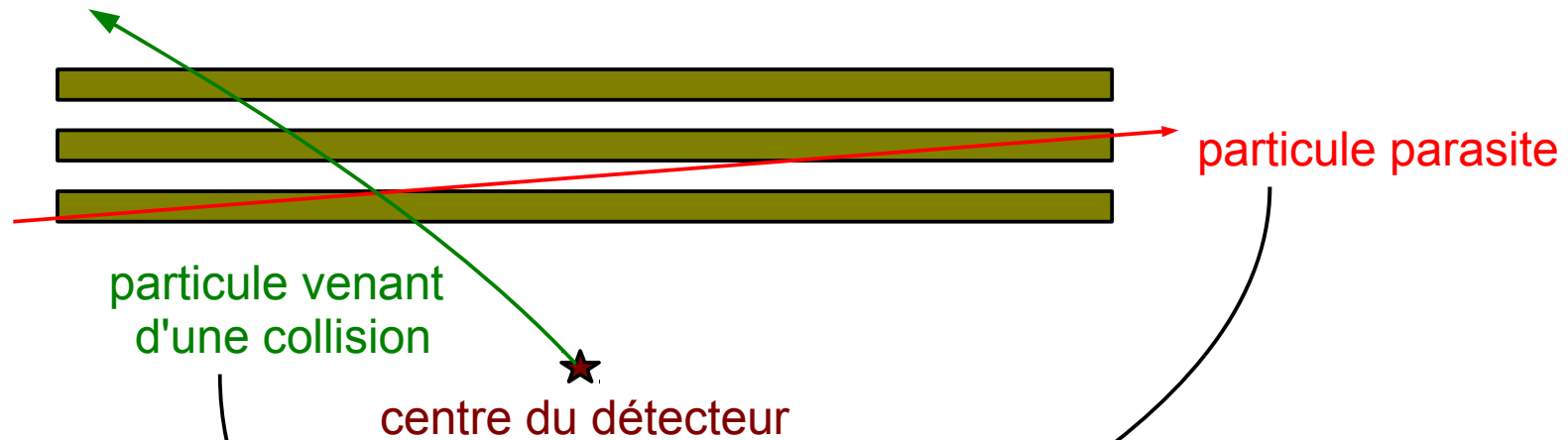
- les analyses préalables sont basées sur des simulations
- des filtres supplémentaires doivent être appliqués
- l'analyse du bruit peut également apporter des informations sur les faisceaux du LHC

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)

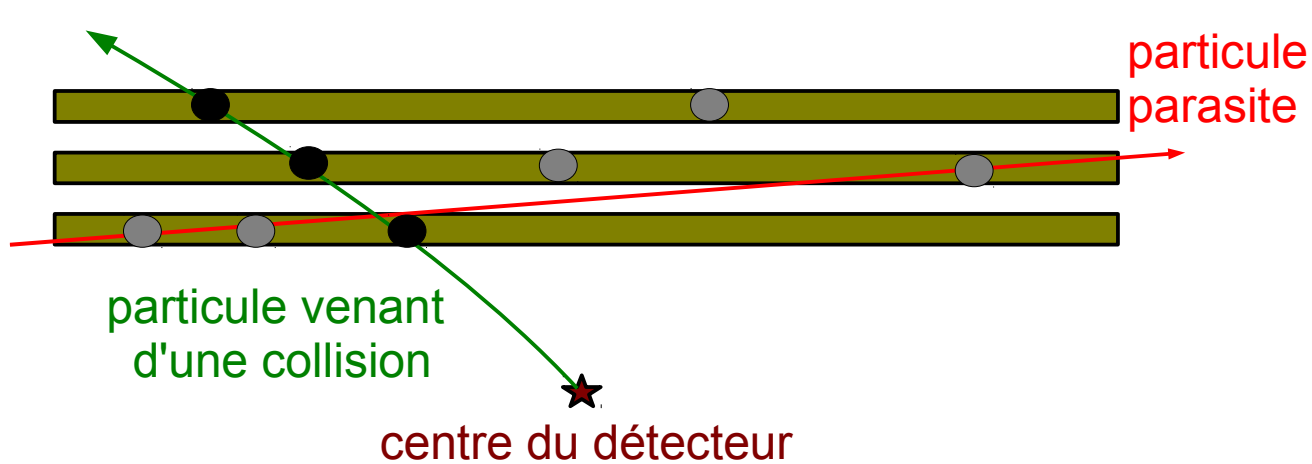
Charge déposée

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



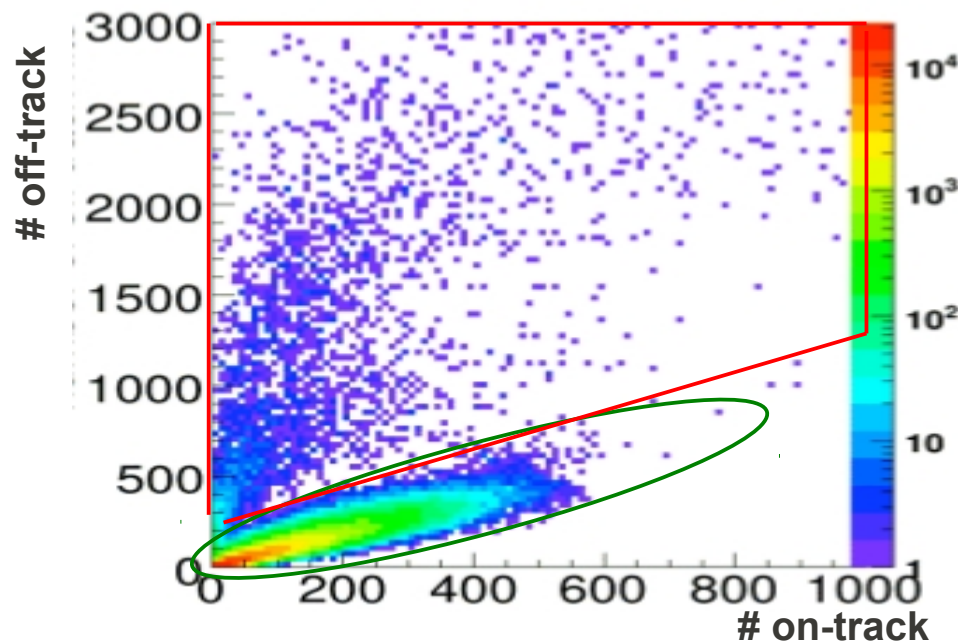
seuil sur la charge collectée

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

Introduction à la supersymétrie

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

λ : couplage entre sleptons (nombre leptonique non conservé)

λ' : couplage entre squarks (nombre leptonique non conservé)

λ'' : 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 λ' et λ''
($\lambda'_{11k} * \lambda''_{11k} < 10^{-27}$)

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

→ la LSP se désintègre en particules du MS

Expérimentalement

- un des λ 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 λ

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 λ , λ' et λ''

Expérimentalement :

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

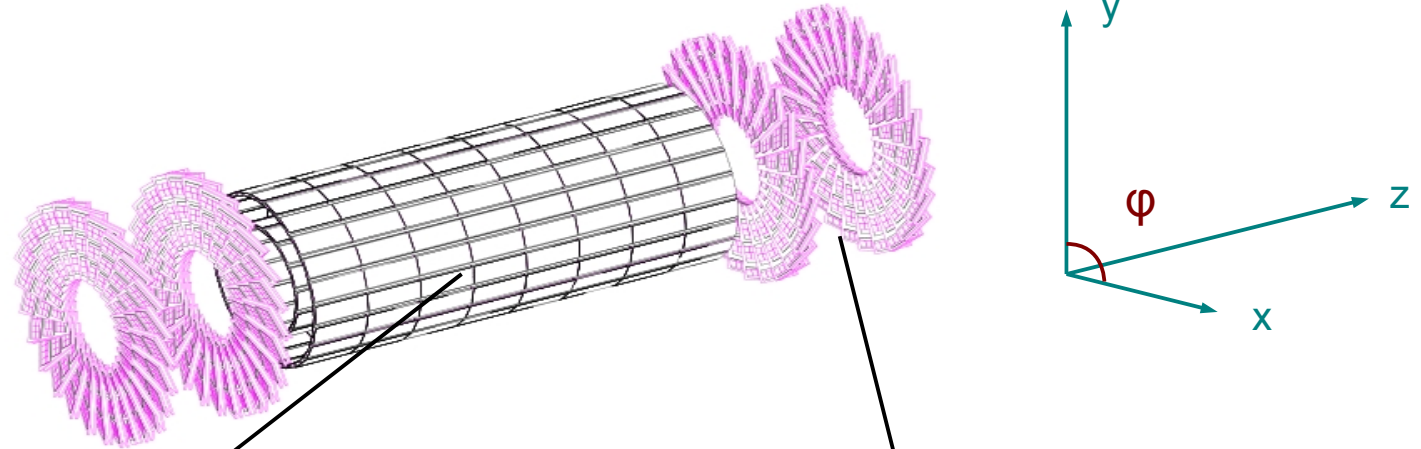
→ sinon : on néglige 2 couplages pour en privilégier 1
on cherche à mettre des limites sur les couplages λ , λ' et λ''

Compléments

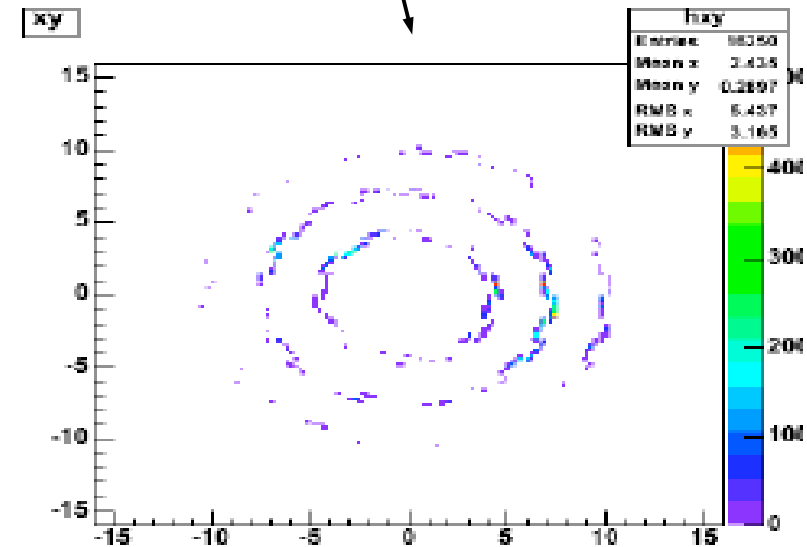
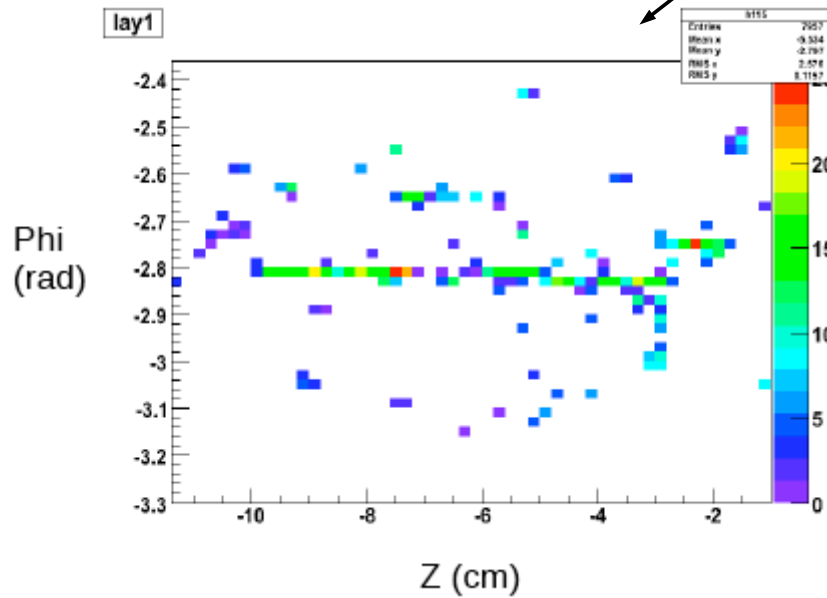
Bruit induit par les faisceaux du LHC – observations dans CMS

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

Exemple d'un évènement



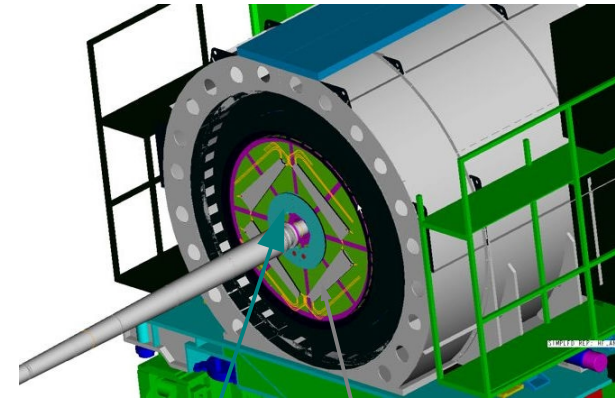
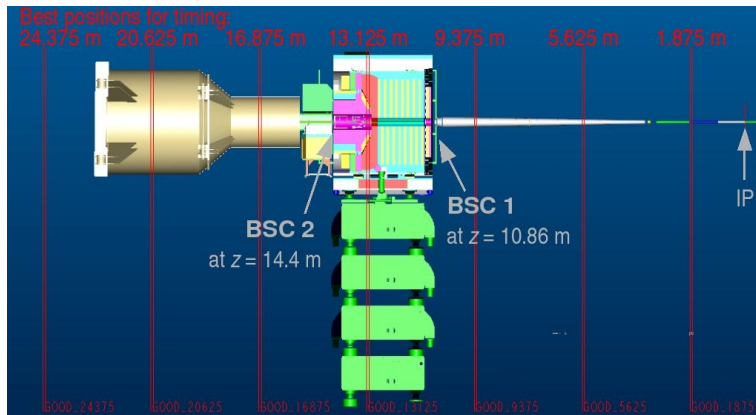
Trajectographe à pixels



Détecteur servant au contrôle des faisceaux

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

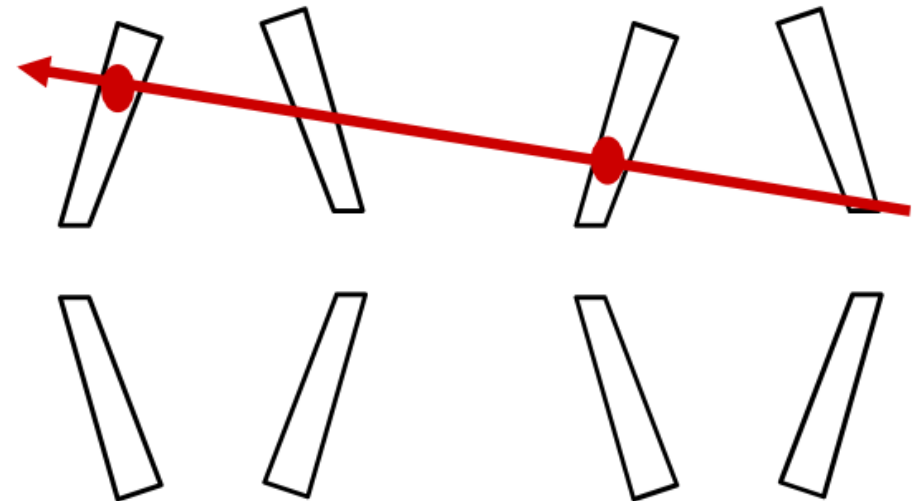
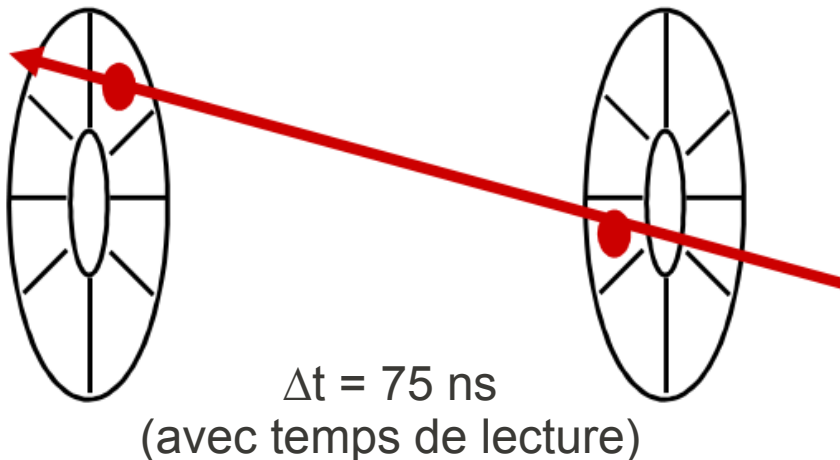
→ sert à contrôler l'état des faisceaux et au déclenchement du détecteur (*trigger*)



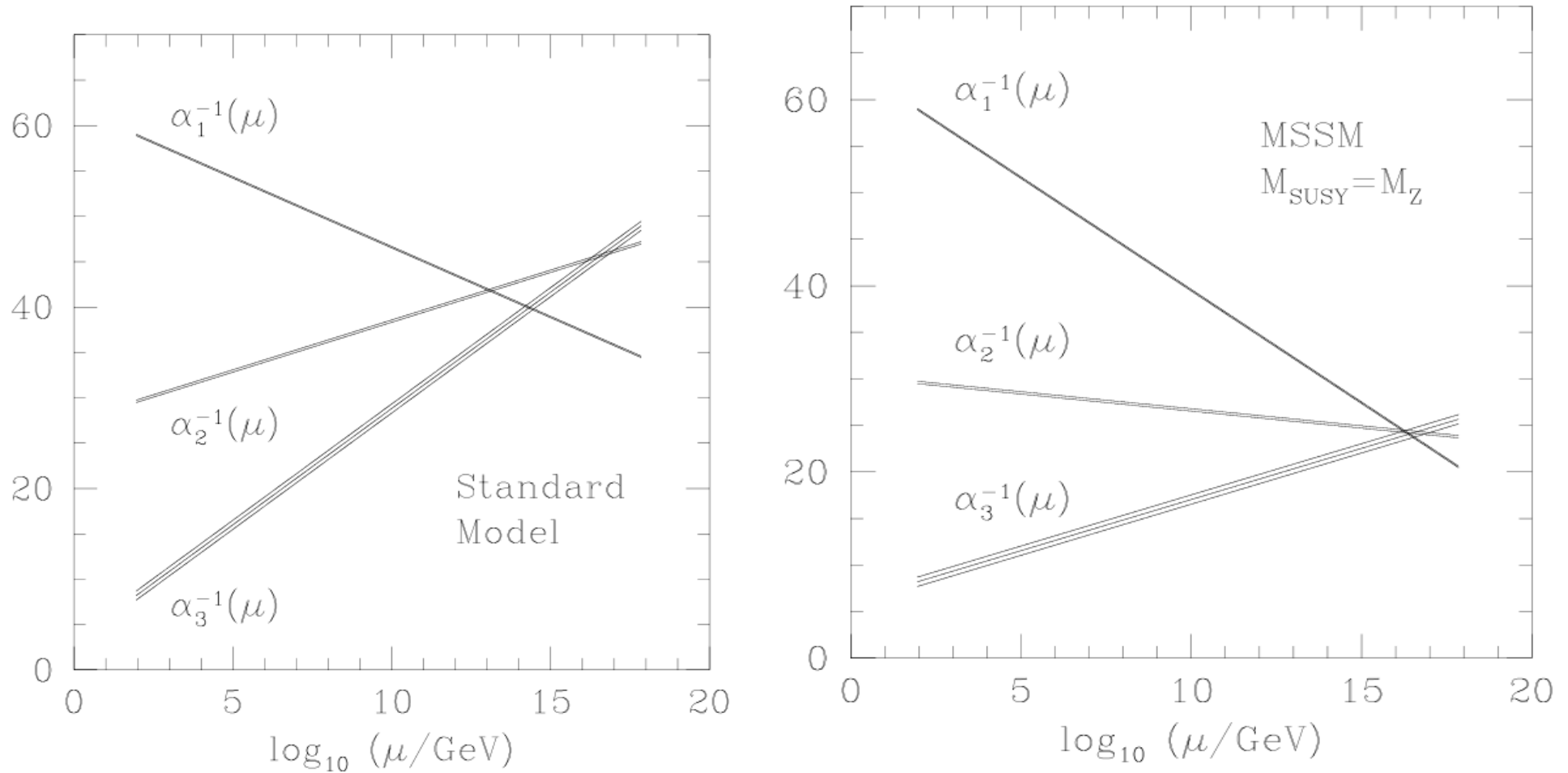
disque

palmes

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