

Outils de pointe pour la reconstruction QCD aux collisionneurs

Matteo Cacciari & Gavin Salam

LPTHE

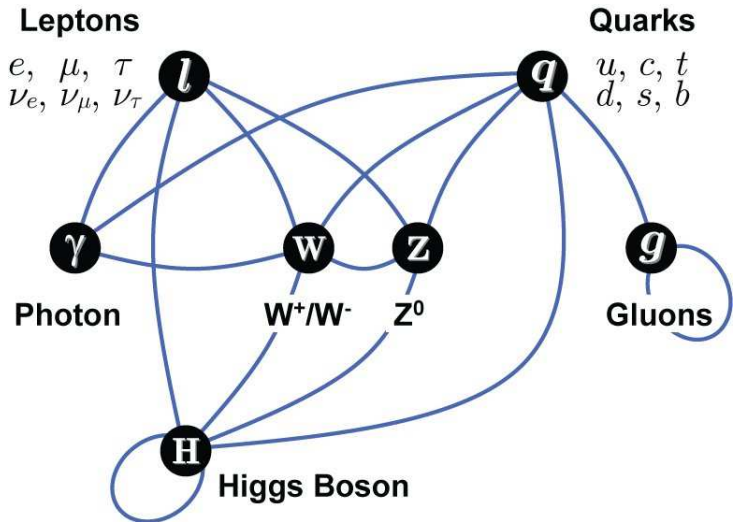
Université Pierre et Marie Curie — Paris VI

Université Denis Diderot — Paris VII

CNRS UMR 7589

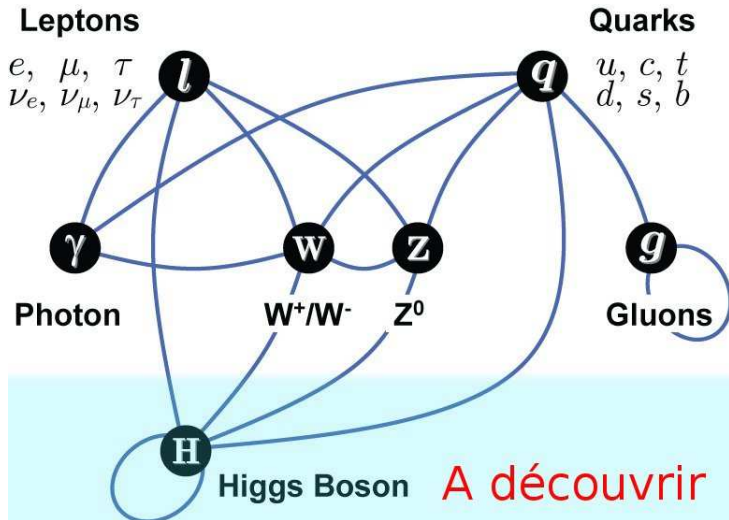
Colloque ANR des Jeunes Chercheurs SDU Physique
Université d'Orléans, 11 avril 2007

Les particules élémentaires et leurs interactions



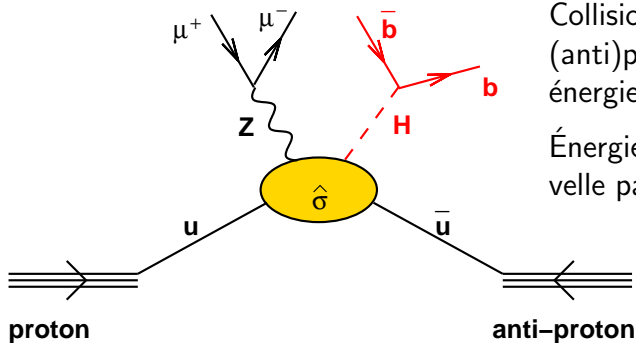
Et de nouvelles particules (supersymétrie ?), nouvelles dimensions ?

Les particules élémentaires et leurs interactions



Et de nouvelles particules (supersymétrie ?), nouvelles dimensions ?

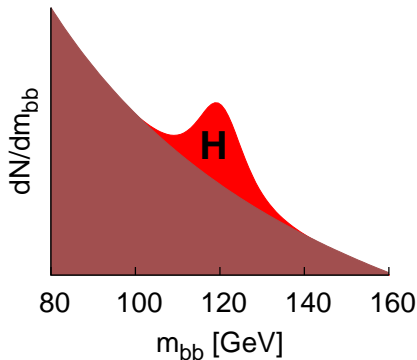
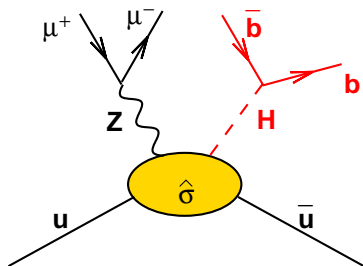
Comment créer de nouvelles particules ?



Collisionner des protons et (anti)protons à très haute énergie.

Énergie \rightarrow masse de la nouvelle particule.

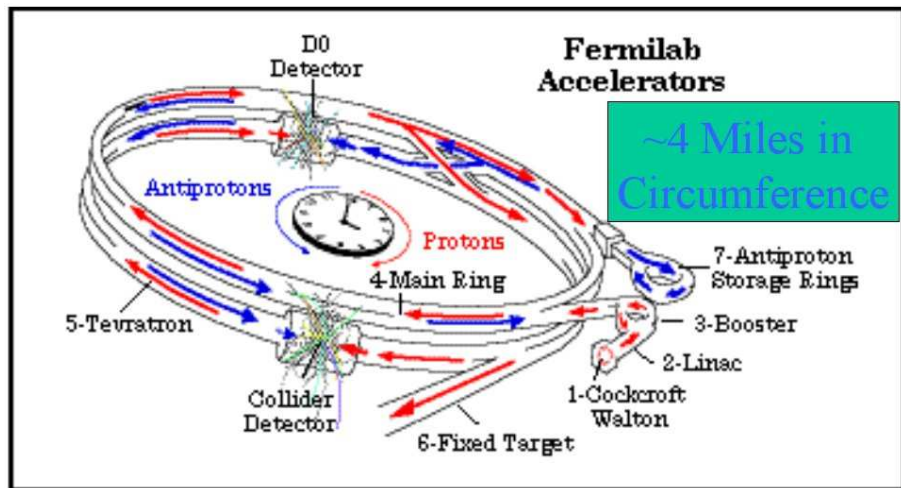
Comment identifier de nouvelles particules ?



Chercher des paires de quarks b et \bar{b} , mesurer leur impulsion, examiner la distribution en masse du système $b\bar{b}$, $m_{b\bar{b}}$.

Pic de masse: nouvelle particule.

Collisionneurs: Tevatron, $p\bar{p}$ @ 2 TeV, 1983–2009



Collisionneurs: LHC, pp @ 14 TeV, fin 2007-'20

LHC : 27 km long
100m underground

pp, B-Physics,
CP Violation

General Purpose,
 pp , heavy ions

Heavy ions, pp

The image shows an aerial view of the LHC tunnel with several callout boxes. The LHC tunnel is shown as a large blue cylinder. The callouts include: 1) A photograph of the tunnel interior. 2) A 3D cutaway of the LHC tunnel showing the superconducting magnets. 3) A 3D cutaway of the ATLAS detector. 4) A 3D cutaway of the CMS detector. 5) A 3D cutaway of the ALICE detector. The background is a green landscape with a red dashed line representing the LHC tunnel path.

ATLAS

Heavy ions, pp

ALICE

CMS

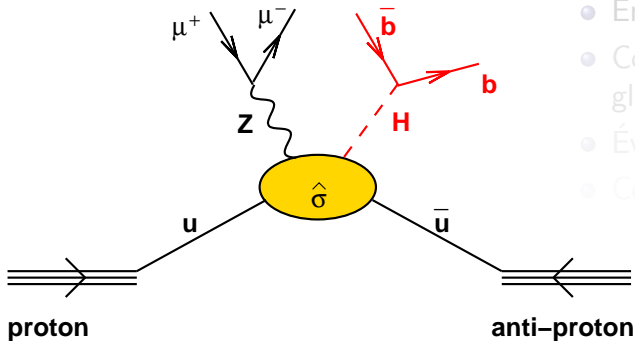
vacuum chamber
central detector
electromagnetic calorimeter
hadronic calorimeter
superconducting coil
return yoke
muon chambers

+TOTEM

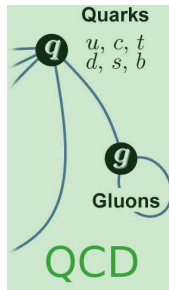
G. Dissertori

4

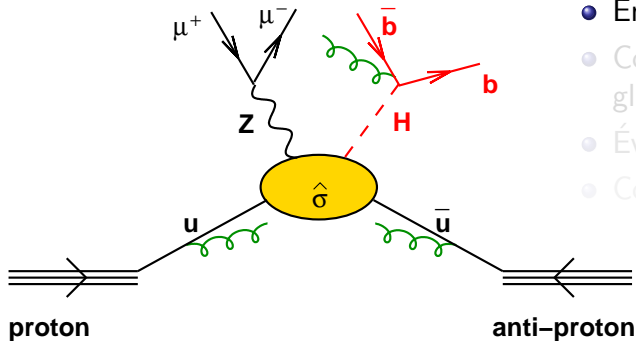
Complexité: chromodynamique quantique (QCD)



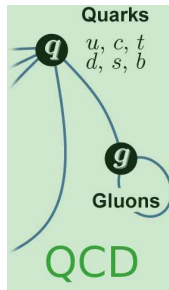
- Émission de gluons
- Conversion quarks, gluons $\rightarrow \pi^\pm$, etc.
- Évènement sous-jacent
- Collisions multiples



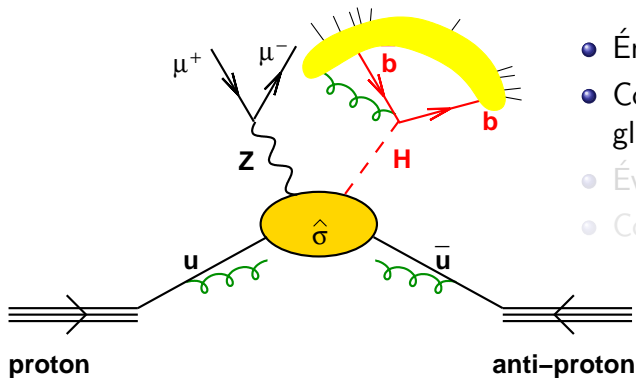
Complexité: chromodynamique quantique (QCD)



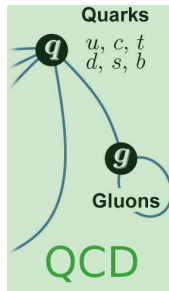
- Émission de gluons
- Conversion quarks, gluons $\rightarrow \pi^\pm$, etc.
- Évènement sous-jacent
- Collisions multiples



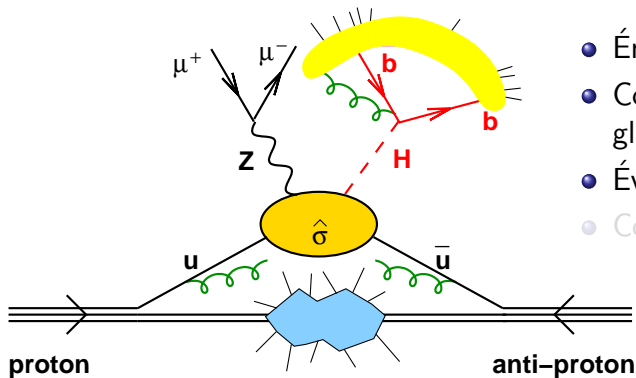
Complexité: chromodynamique quantique (QCD)



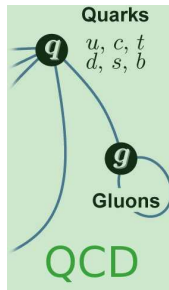
- Émission de gluons
- Conversion quarks, gluons $\rightarrow \pi^\pm$, etc.
- Évènement sous-jacent
- Collisions multiples



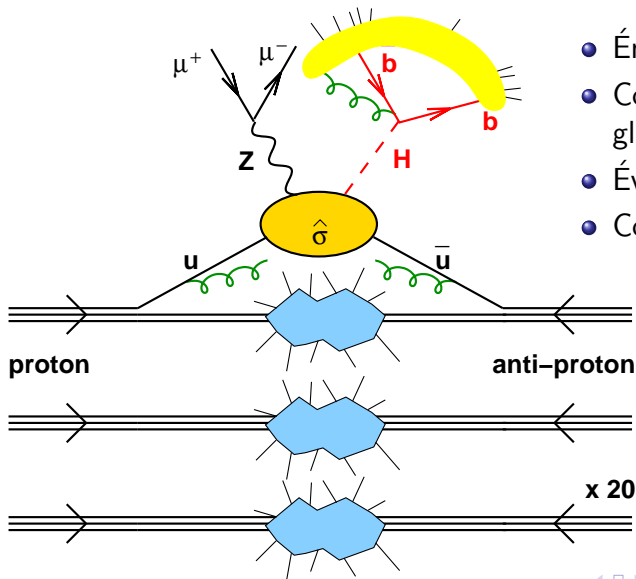
Complexité: chromodynamique quantique (QCD)



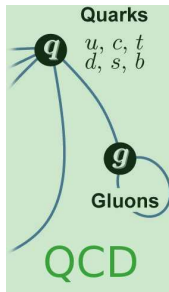
- Émission de gluons
- Conversion quarks, gluons $\rightarrow \pi^\pm$, etc.
- Évènement sous-jacent
- Collisions multiples



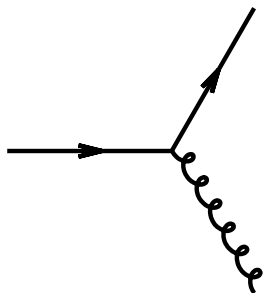
Complexité: chromodynamique quantique (QCD)



- Émission de gluons
- Conversion quarks, gluons $\rightarrow \pi^\pm$, etc.
- Évènement sous-jacent
- Collisions multiples



Conserver l'information: les jets

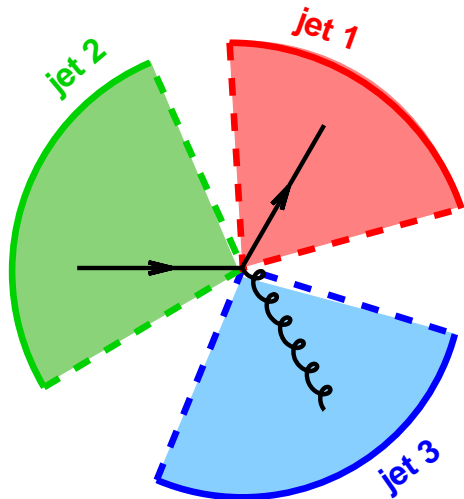


Un *algorithme de jet* regroupe les particules en jets (gerbes).

Les propriétés (cinématique) des jets sont peu sensibles au processus de fragmentation.

Élément central des analyses au Tevatron et LHC

Conserver l'information: les jets

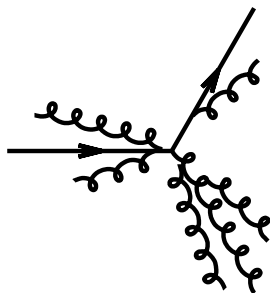


Un *algorithme de jet* regroupe les particules en jets (gerbes).

Les propriétés (cinématique) des jets sont peu sensibles au processus de fragmentation.

Élément central des analyses au Tevatron et LHC

Conserver l'information: les jets

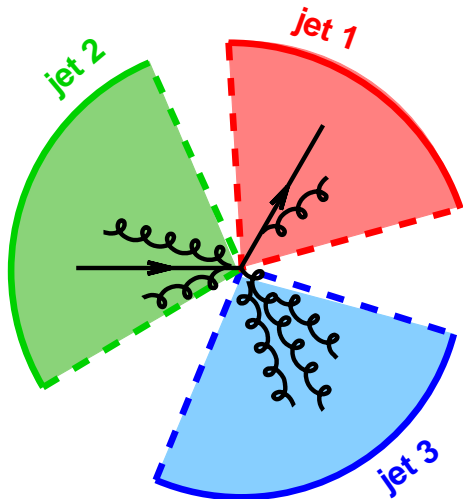


Un *algorithme de jet* regroupe les particules en jets (gerbes).

Les propriétés (cinématique) des jets sont peu sensibles au processus de fragmentation.

Élément central des analyses au Tevatron et LHC

Conserver l'information: les jets

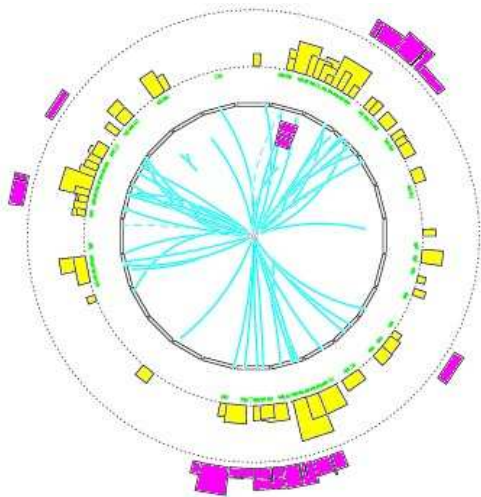


Un *algorithme de jet* regroupe les particules en jets (gerbes).

Les propriétés (cinématique) des jets sont peu sensibles au processus de fragmentation.

Élément central des analyses au Tevatron et LHC

Conserver l'information: les jets

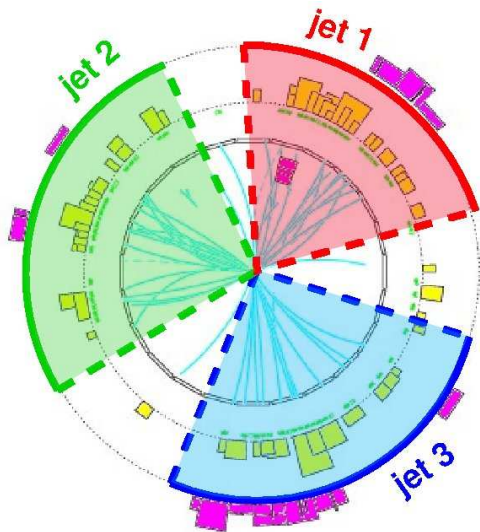


Un *algorithme de jet* regroupe les particules en jets (gerbes).

Les propriétés (cinématique) des jets sont peu sensibles au processus de fragmentation.

Élément central des analyses au Tevatron et LHC

Conserver l'information: les jets



Un *algorithme de jet* regroupe les particules en jets (gerbes).

Les propriétés (cinématique) des jets sont peu sensibles au processus de fragmentation.

Élément central des analyses au Tevatron et LHC

Ce projet

Maximiser ce qu'on peut apprendre sur un évènement, malgré la complexité de la dynamique QCD :

- 1 Rendre *pratiques* les algorithmes de jet actuels pour extraire l'information cinématique au LHC.

Complication : des milliers de particules

- 2 Comprendre et améliorer le lien entre la cinématique des jets et celle des particules (H, etc.) qu'on essaie de retrouver.

Question peu étudiée, mais fondamentale

- 3 Développer les méthodes qui donnent accès à une information sur la « saveur » a l'origine d'un jet

Est-ce un gluon, un quark, quel type de quark ?

Point de départ: la vitesse des algorithmes de jet

Tevatron: 200–400 particules par évènement, 10^6 évènements

LHC: 400–5000 particules par évènement, 10^8 évènements

Algorithme	temps pour N	temps pour $N = 5000$
k_t	N^3	100s
Cam/Aachen	N^3	100s
Cone (exacte)	$N2^N$	10^{800} ans
Cone (approx.)	N^3	30s

Faisable, mais limite

Géométrie algorithmique

Tous les algorithmes de jets se réduisent à des problèmes de géométrie algorithmique (2D).

Algorithme	problème en G.A.	temps pour N
k_t	dynamic nearest neighbour graph	$N^3 \rightarrow N \ln N$
Cam/Aachen	dynamic nearest closest pair	$N^3 \rightarrow N \ln N$
Cone (exacte)	distinct circular enclosures	$N2^N \rightarrow N^2 \ln N$
Cone (approx.)	—	—

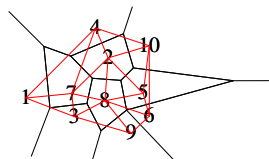


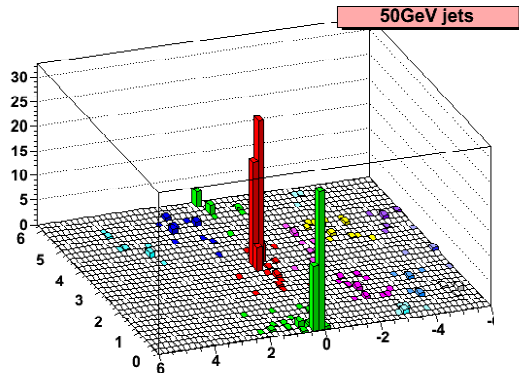
diagramme de Voronoi

Cacciari & GPS, Phys.Lett. B641 (2006) 57
Soyez & GPS, arXiv:0704.0292 [hep-ph]

Méthodes G.A.:

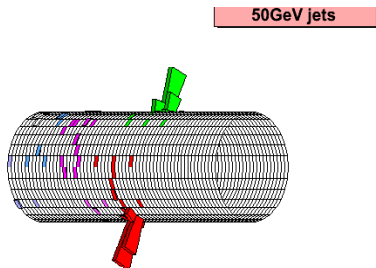
Voronoi dynamique: CGAL (INRIA et autres)
shuffles + quad-trees: Chan '02

Applications de la vitesse ?

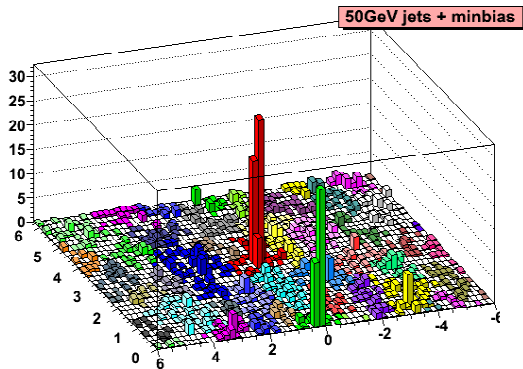


~ 200 particules
Facile même avant

Évènement standard
2 jets bien isolés



Applications de la vitesse ?

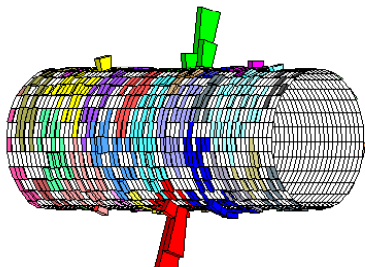


+ 10 évènements de fond
(collisions multiples)

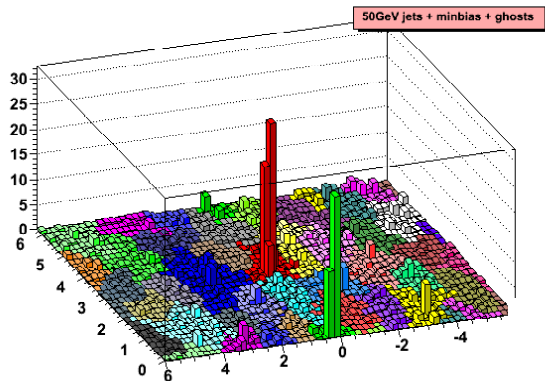
~ 2000 particules

$\mathcal{O}(10s)$ avec les anciennes méthodes.

20ms avec FastJet.



Applications de la vitesse ?



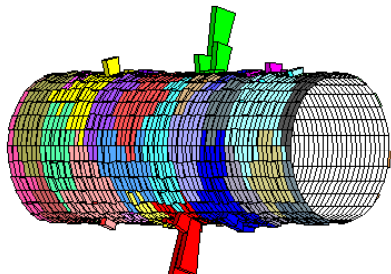
~ 10000 particules

~ 20 minutes précédemment.

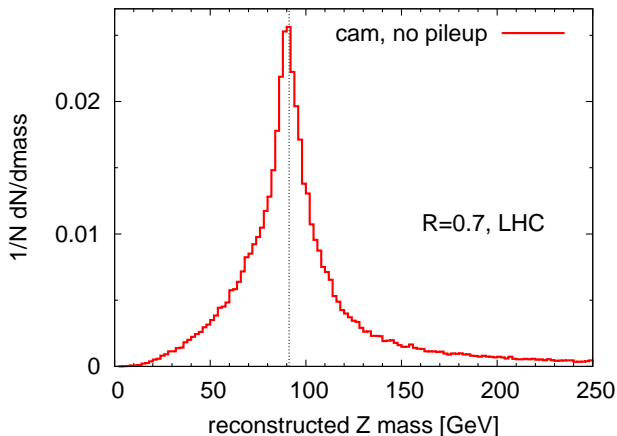
0.4s avec FastJet.

Couverture dense de « *particules fantômes* »

Compter le nombre dans le jet pour déduire sa superficie



Corrections cinématiques: reconstruire masse du Z



Évènements de fond:

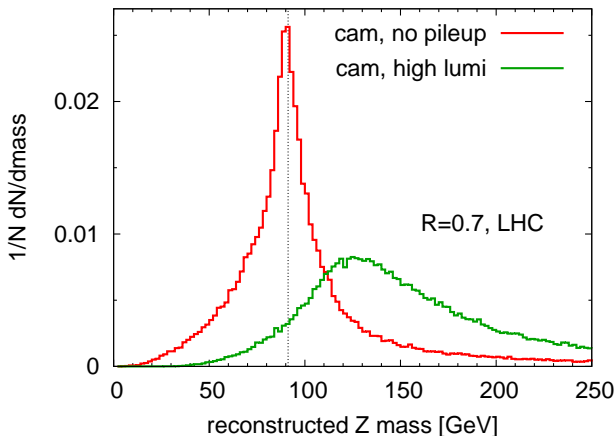
- masse faussée
- résolution réduite

Superficie des jets:

- mesure de la contamination
- permet correction sans paramètres

Cacciari & Salam, prel.

Corrections cinématiques: reconstruire masse du Z



Évènements de fond:

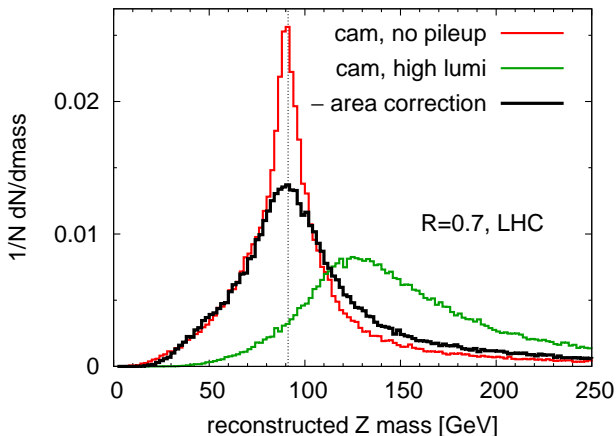
- masse faussée
- résolution réduite

Superficie des jets:

- mesure de la contamination
- permet correction sans paramètres

Cacciari & Salam, prel.

Corrections cinématiques: reconstruire masse du Z



Évènements de fond:

- masse faussée
- résolution réduite

Superficie des jets:

- mesure de la contamination
- permet correction sans paramètres

Cacciari & Salam, *prel.*

Saveur des jets

Rôle principal des jets: protéger l'information cinématique contre la fragmentation QCD.

L'évènement de base contient bien plus d'informations, surtout sur la saveur:

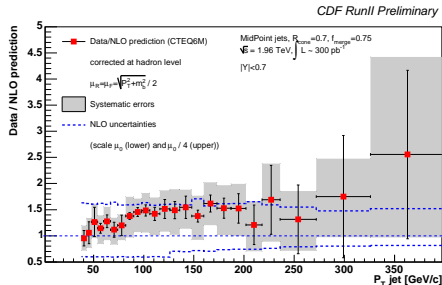
~ 350 articles ont << quark-jet >> ou << gluon-jet >> dans le titre

mais cela n'a aucun sens: l'information sur la saveur n'est pas protégée dans les algorithmes actuels

1er résultats:

- Algorithme qui conserve la saveur du jet à travers les branchements quark/gluon [Banfi, GPS & Zanderighi, Eur.Phys.J. C47 \(2006\) 113](#)
- Fonctionne également pour les saveurs lourdes (b)

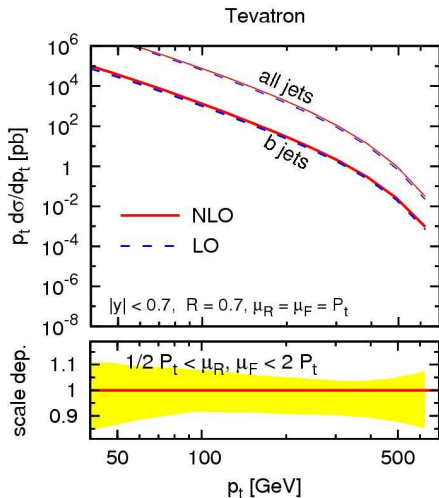
Jets de saveur « lourde » (b-jets)



Incertitudes des prédictions avec
la définition traditionnelle:
 $\sim 40 - 50\%$

Avec la nouvelle définition:

$\pm 15\%$



Banfi, GPS & Zanderighi, prel.

- Les jets seront fondamentaux pour la physique du LHC.
- L'expérience sur les jets aux collisionneurs précédents est insuffisante pour exploiter au mieux le LHC
- Nous créons des outils de pointe pour la physique des jets, exploitant le lien avec la géométrie algorithmique

<http://www.lpthe.jussieu.fr/~salam/fastjet/>

<http://projects.hepforge.org/siscone/>

Déjà en cours d'adoption par les expériences

- Et cherchons à mieux cerner les liens entre les jets et les particules qui les produisent à l'origine.

Participants au projet

Permanents

Matteo Cacciari
Gavin Salam

Post-docs

Juan Rojo-Chacon (ANR)
Grégory Soyez (FNRS Belge)
 ➔ Brookhaven

Thésard

Mathieu Rubin

Principaux collaborateurs

Andrea Banfi (Milano Bicocca)
Mrinal Dasgupta (Manchester)
Lorenzo Magnea (Torino)
Giulia Zanderighi (CERN)