

Développement d'un algorithme de suivi de particules pour l'ILC.

Outils de surveillance en ligne de qualité de données

Rémi ÉTÉ
Directeur de thèse : Imad LAKTINEH

Institut de Physique Nucléaire de Lyon

8 mars 2017



Sommaire

1 Contexte théorique et expérimental

- Le modèle standard
- Le collisionneur linéaire international
- Le calorimètre hadronique semi-digital
- Performances du SDHCAL

2 Logiciel de surveillance de données

- Introduction
- Logiciel DQM4HEP
- Surveillance de la prise de données du SDHCAL

3 Les algorithmes de suivi de particules

- Introduction
- Principe d'ArborPFA
- ArborPFA pour le SDHCAL
- ArborPFA pour le détecteur ILD

4 Conclusion et perspectives

Contexte théorique et expérimental

1 Contexte théorique et expérimental

- Le modèle standard
- Le collisionneur linéaire international
- Le calorimètre hadronique semi-digital
- Performances du SDHCAL

2 Logiciel de surveillance de données

- Introduction
- Logiciel DQM4HEP
- Surveillance de la prise de données du SDHCAL

3 Les algorithmes de suivi de particules

- Introduction
- Principe d'ArborPFA
- ArborPFA pour le SDHCAL
- ArborPFA pour le détecteur ILD

4 Conclusion et perspectives



Contexte théorique et expérimental

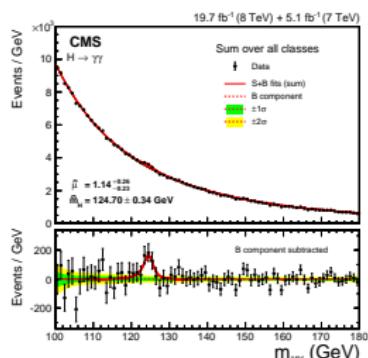
Le modèle standard

Le modèle standard

Théorie décrivant 3 des 4 interactions fondamentales :

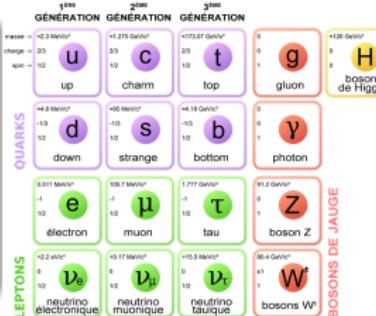
- L'interaction électromagnétique
- L'interaction faible
- L'interaction forte

Théorie de jauge $SU(3) \otimes SU_L(2) \otimes U(1)$



The CMS collaboration

Eur. Phys. J. C (2014) 74: 3076



Des familles de particules

- 12 fermions
- 4 bosons de jauge
- 1 boson de Higgs

Modèle incomplet

- Pas de gravitation
- Masse/oscillation neutrinos
- Asymétrie matière/anti-matière



Contexte théorique et expérimental

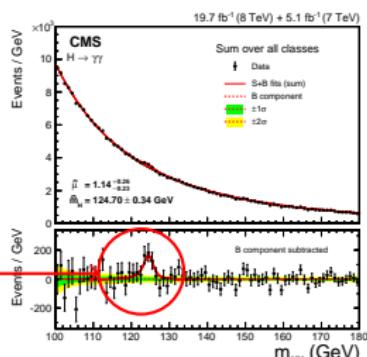
Le modèle standard

Le modèle standard

Théorie décrivant 3 des 4 interactions fondamentales :

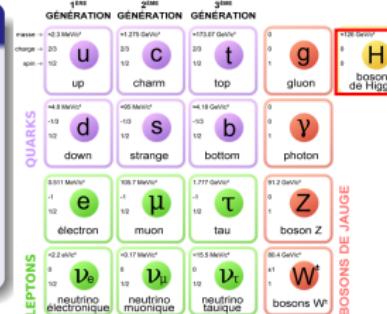
- L'interaction électromagnétique
- L'interaction faible
- L'interaction forte

Théorie de jauge $SU(3) \otimes SU_L(2) \otimes U(1)$



The CMS collaboration

Eur. Phys. J. C (2014) 74: 3076



Des familles de particules

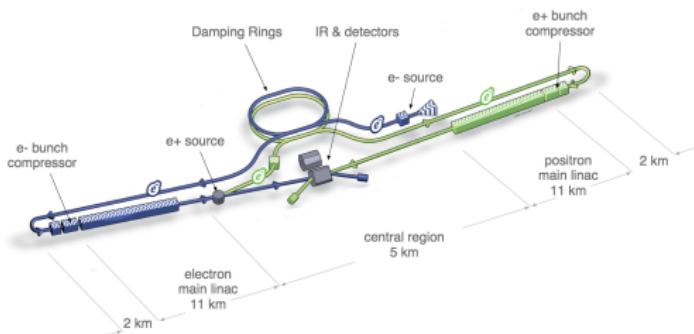
- 12 fermions
- 4 bosons de jauge
- 1 boson de Higgs

Modèle incomplet

- Pas de gravitation
- Masse/oscillation neutrinos
- Asymétrie matière/anti-matière

Contexte théorique et expérimental

Le collisionneur linéaire international - ILC



Caractéristiques du collisionneur

- Particules : $e^+ e^-$
 - Énergie : 250-500 GeV (1 TeV ?)
 - Luminosité : $0.75 \cdot 10^{34} - 1.8 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
 - Fréquence de collisions : 5 Hz
 - Nb de particules par croisement : $2 \cdot 10^{10}$
 - Faisceaux polarisés : e^- (80%) - e^+ (20%)

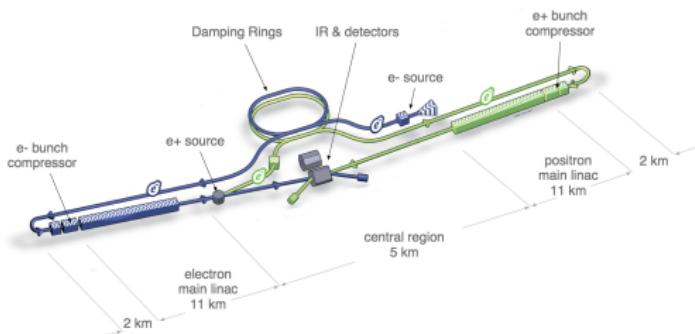


ILC Technical Design Report, Vol. 1 Executive Summary

arXiv:1306.6327

Contexte théorique et expérimental

Le collisionneur linéaire international - ILC



Caractéristiques du collisionneur

- Particules : $e^+ e^-$
 - Énergie : 250-500 GeV (1 TeV ?)
 - Luminosité : $0.75 \cdot 10^{34} - 1.8 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - Fréquence de collisions : 5 Hz
 - Nb de particules par croisement : $2 \cdot 10^{10}$
 - Faisceaux polarisés : e^- (80%) - e^+ (20%)



ILC Technical Design Report, Vol. 1 Executive Summary

arXiv:1306.6327

Contexte théorique et expérimental

Le programme physique

Énergie	Réaction	Mesure physique
91 GeV	$e^+ e^- \rightarrow Z$	Mesure de précision électrofaible
160 GeV	$e^+ e^- \rightarrow WW$	Masse du boson W
250 GeV	$e^+ e^- \rightarrow Zh$	Couplage du Higgs
350 – 400 GeV	$e^+ e^- \rightarrow t\bar{t}$ $e^+ e^- \rightarrow WW$ $e^+ e^- \rightarrow v\bar{v}h$	Couplages et masse du quark top Couplages du W Couplages du Higgs
500 GeV	$e^+ e^- \rightarrow ff$ $e^+ e^- \rightarrow t\bar{t}h$ $e^+ e^- \rightarrow Zhh$ $e^+ e^- \rightarrow \tilde{\chi}\tilde{\chi}$ $e^+ e^- \rightarrow AH, H^+H^-$	Recherche d'un boson Z' Couplages du Higgs au quark top Auto-couplage du Higgs Recherche de supersymétrie Recherche de nouveaux états du Higgs
700 – 1000 GeV	$e^+ e^- \rightarrow v\bar{v}hh$ $e^+ e^- \rightarrow v\bar{v}VV$ $e^+ e^- \rightarrow v\bar{v}t\bar{t}$ $e^+ e^- \rightarrow \tilde{t}\tilde{t}^*$	Auto-couplage du Higgs Secteur du Higgs composite Secteur du Higgs composite et quark top Recherche de supersymétrie

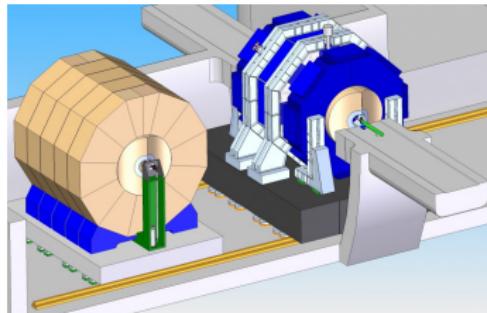
Contexte théorique et expérimental

ILD et SiD

Deux détecteurs génériques :

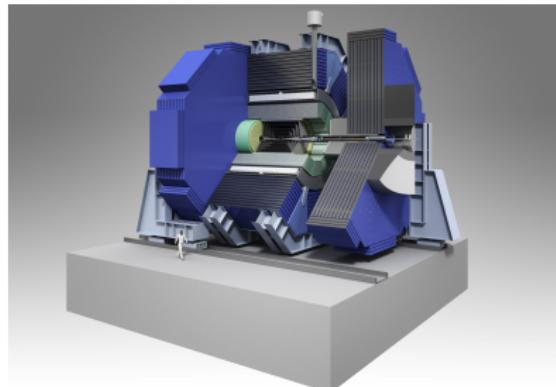
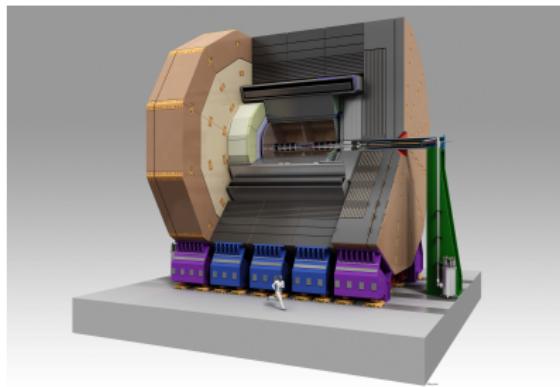
- ILD : TPC, plus large, $B = 3.5 - 4$ T
 - SiD : Tracker en silicium, plus compact, $B = 5$ T

Installation sur rail coulissant



ILC Technical Design Report, Vol.4 Detectors

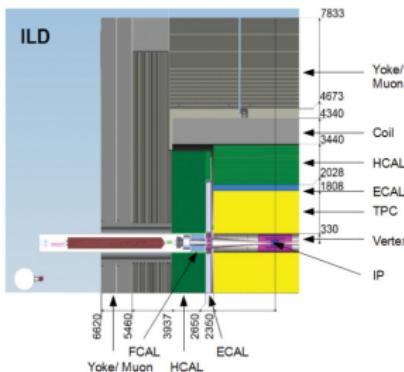
arXiv:1306.6329



Contexte théorique et expérimental

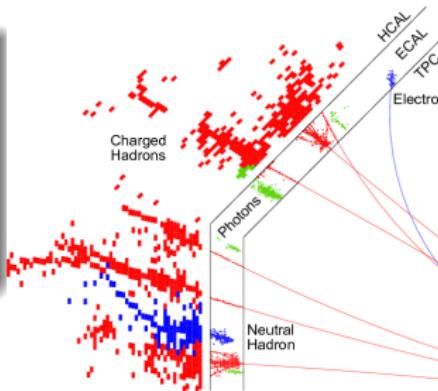
Les sous détecteurs de l'ILD

Détecteur	Mesure	Performance
Trajectographe	$1 / \delta_p$	$10^{-5} \text{ (GeV/c)}^{-1}$
Tracking + Calo (jet)	$\frac{\Delta E}{E}$	3-4 %
Vertex	Résolution spatial Budget matière Rayon premier layer	$< 3 \mu m$ $< 0.15 \% X_0/\text{layer}$ $\simeq 1.6 cm$



Des calorimètres pour le suivi de particules

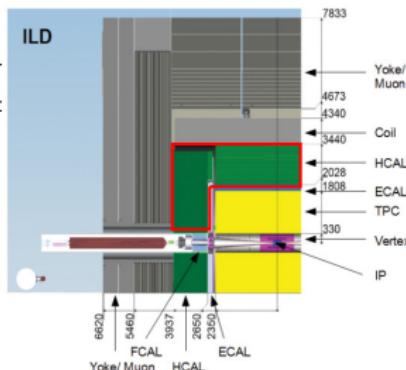
- ECAL (résolution $\simeq 12\%/\sqrt{E}$):
 - SiWECal : $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$
 - ScWECal : $5\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ + SSA
 - HCAL (résolution $\simeq 60\%/\sqrt{E}$):
 - AHCAL : $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$
 - SDHCAL : $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$



Contexte théorique et expérimental

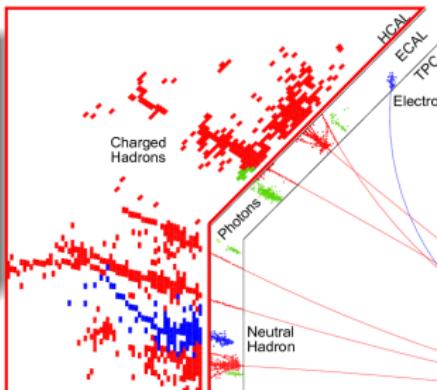
Les sous détecteurs de l'ILD

Détecteur	Mesure	Performance
Trajectographe	$1/\delta_p$	$10^{-5} \text{ (GeV/c)}^{-1}$
Tracking + Calo (jet)	$\frac{\Delta E}{E}$	3-4 %
	Résolution spatial	$< 3 \mu m$
Vertex	Budget matière	$< 0.15 \% X_0/\text{layer}$
	Rayon premier layer	$\simeq 1.6 \text{ cm}$



Des calorimètres pour le suivi de particules

- ECAL (résolution $\simeq 12\%/\sqrt{E}$) :
 - SiWECal : $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$
 - ScWECal : $5\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ + SSA
 - HCAL (résolution $\simeq 60\%/\sqrt{E}$) :
 - AHCAL : $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$
 - SDHCAL : $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$



Contexte théorique et expérimental

Le calorimètre hadronique semi-digital

Semi-Digital Hadron Calorimeter

- Calorimètre à échantillonnage
 - 48 plans :
 - Absorbeur en acier
 - Milieu actif : GRPC

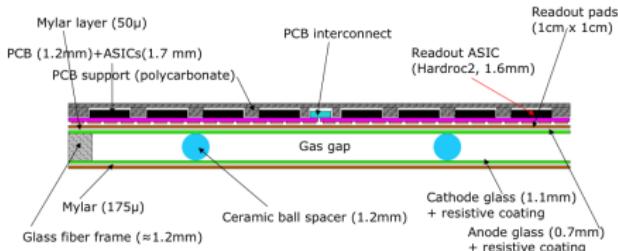
The Calice Collaboration

JINST 11 P04001



Glass Resistive Plate Chamber

- Mélange gazeux :
 - $C_2H_2F_4$ (93%)
 - CO_2 (5%)
 - SF_6 (2%)
 - Résistivité $\rho = 10^{12} \Omega.cm$
 - Segmentation :
 - Transverse : 1 cm x 1 cm
 - Longitudinale : 2.67 cm (abs. + act.)
 - Tension dans les chambres $\sim 6.9 kV$
 - Lecture semi-digitale à 3 seuils



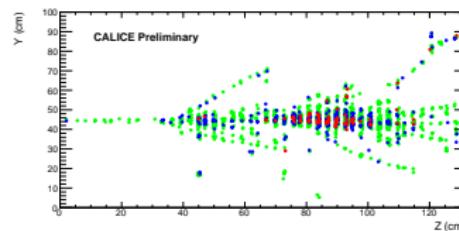
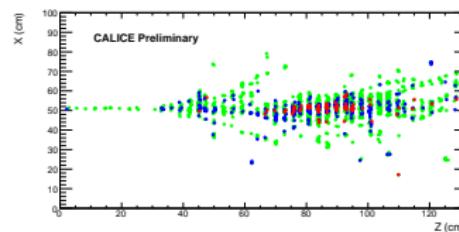
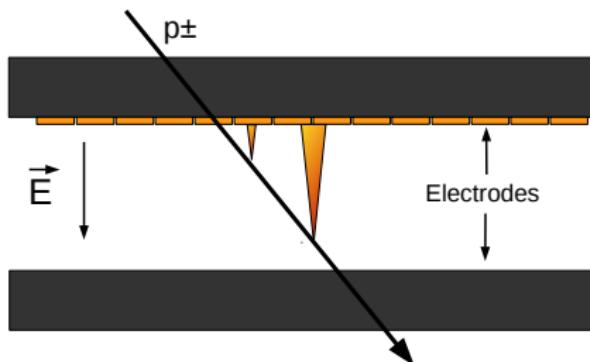
Contexte théorique et expérimental

Le calorimètre hadronique semi-digital

La lecture semi-digitale

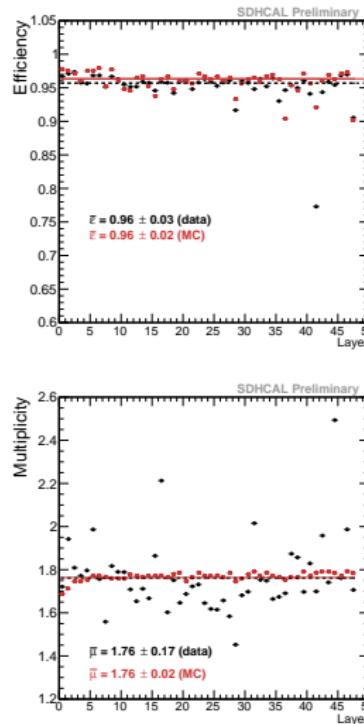
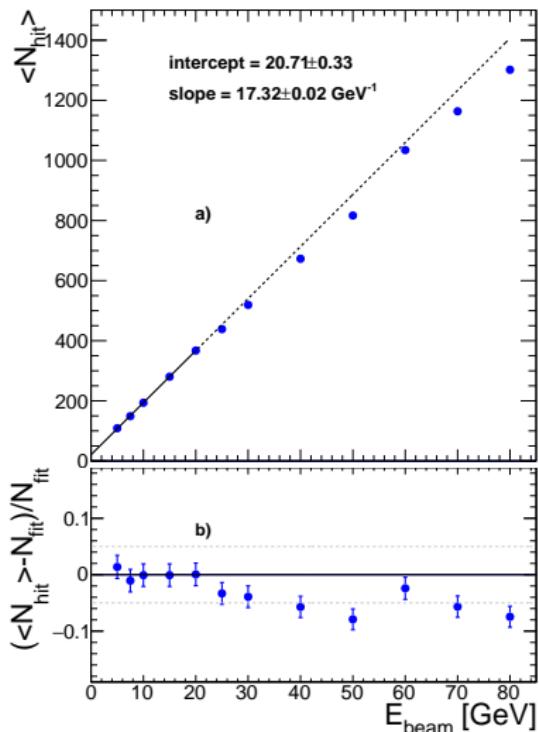
Charge déposée échantillonnée sur 3 seuils :

- seuil 1 : 114 fC
 - seuil 2 : 5 pC
 - seuil 3 : 15 pC



Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL



Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , N_1 , N_2 , N_3

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , N_1 , N_2 , N_3

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Formule linéaire

$$E = \alpha \cdot N_1 + \beta \cdot N_2 + \gamma \cdot N_3 \quad (1)$$

avec α , β et γ trois constantes.

- ✓ Application très simple aux techniques de *PFA*
- ✗ Mauvaise linéarité à haute énergie

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , N_1 , N_2 , N_3

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Formule linéaire

$$E = \alpha \cdot N_1 + \beta \cdot N_2 + \gamma \cdot N_3 \quad (1)$$

avec α , β et γ trois constantes.

- ✓ Application très simple aux techniques de *PFA*
- ✗ Mauvaise linéarité à haute énergie

Formule quadratique

$$E = \alpha(NHit) \cdot N_1 + \beta(NHit) \cdot N_2 + \gamma(NHit) \cdot N_3 \quad (2)$$

avec :

$$\alpha(NHit) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot NHit + \alpha_3 \cdot NHit^2 \quad (3)$$

$$\beta(NHit) = \beta_1 + \beta_2 \cdot NHit + \beta_3 \cdot NHit^2 \quad (4)$$

$$\gamma(NHit) = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot NHit + \gamma_3 \cdot NHit^2 \quad (5)$$

- ✓ Bonne linéarité et résolution sur toute la gamme en énergie
- ✗ Application aux techniques de *PFA* plus complexe

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , N_1 , N_2 , N_3

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

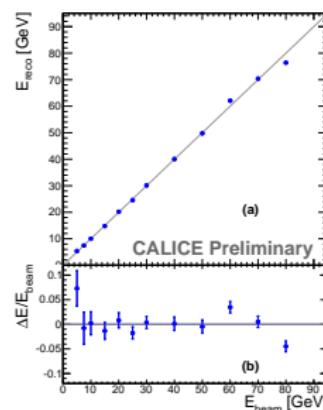
Formule linéaire

$$E = \alpha \cdot N_1 + \beta \cdot N_2 + \gamma \cdot N_3 \quad (1)$$

avec α , β et γ trois constantes.

✓ Application très simple aux techniques de PFA

✗ Mauvaise linéarité à haute énergie



Formule quadratique

$$E = \alpha(NHit) \cdot N_1 + \beta(NHit) \cdot N_2 + \gamma(NHit) \cdot N_3 \quad (2)$$

avec :

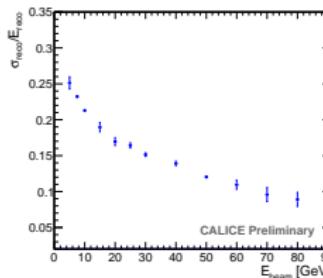
$$\alpha(NHit) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot NHit + \alpha_3 \cdot NHit^2 \quad (3)$$

$$\beta(NHit) = \beta_1 + \beta_2 \cdot NHit + \beta_3 \cdot NHit^2 \quad (4)$$

$$\gamma(NHit) = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot NHit + \gamma_3 \cdot NHit^2 \quad (5)$$

✓ Bonne linéarité et résolution sur toute la gamme en énergie

✗ Application aux techniques de PFA plus complexe

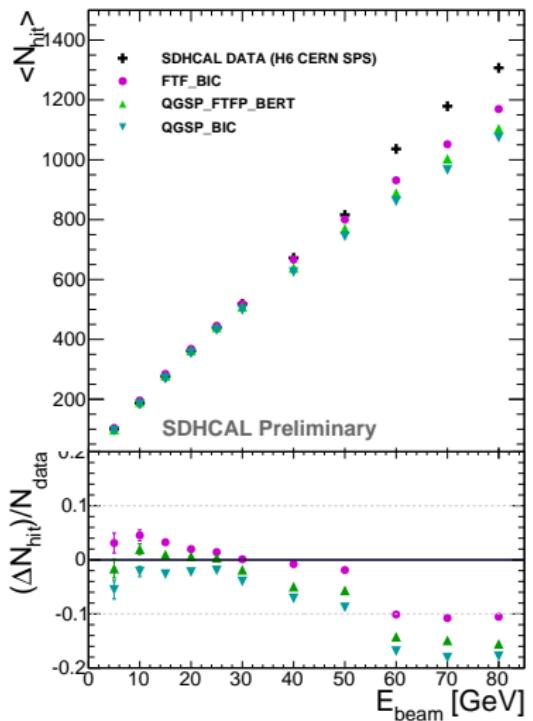


The Calice Collaboration

JINST **11** P04001

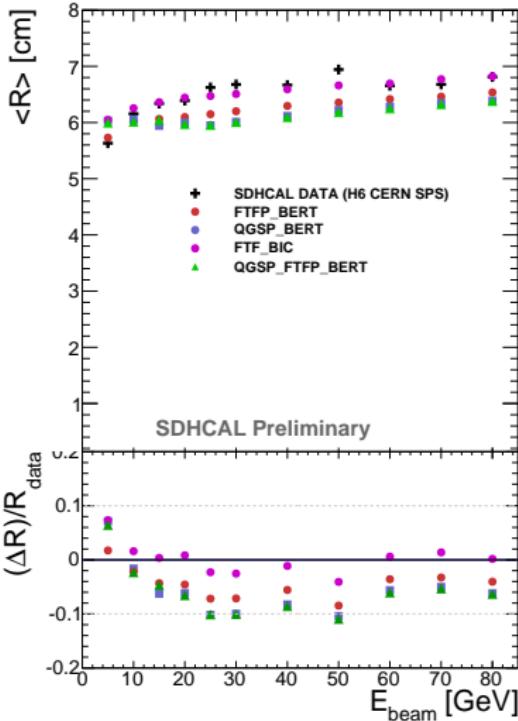
Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- quelques désaccords ...



Thèse A. Steen

2015LY010230



Logiciel de surveillance de données

1 Contexte théorique et expérimental

- Le modèle standard
- Le collisionneur linéaire international
- Le calorimètre hadronique semi-digital
- Performances du SDHCAL

2 Logiciel de surveillance de données

- Introduction
- Logiciel DQM4HEP
- Surveillance de la prise de données du SDHCAL

3 Les algorithmes de suivi de particules

- Introduction
- Principe d'ArborPFA
- ArborPFA pour le SDHCAL
- ArborPFA pour le détecteur ILD

4 Conclusion et perspectives

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies (i.e CMSSW ou AMORE)
- Évalue la **qualité** des données (en ligne / hors ligne)
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Principe général :
 - ① collecte et distribution des données
 - ② analyse des données
 - ③ collecte et distribution des histogrammes
 - ④ visualisation des histogrammes

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies (i.e CMSSW ou AMORE)
- Évalue la **qualité** des données (en ligne / hors ligne)
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Principe général :
 - ① collecte et distribution des données
 - ② analyse des données
 - ③ collecte et distribution des histogrammes
 - ④ visualisation des histogrammes

Des fonctionnalités communes ...

- Couplage au système d'acquisition
- Analyse de données en ligne / hors ligne
- Tests de la qualité des données
- Environnements distribués
(multi-processus + réseau)

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies (i.e CMSSW ou AMORE)
- Évalue la **qualité** des données (en ligne / hors ligne)
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Principe général :
 - ① collecte et distribution des données
 - ② analyse des données
 - ③ collecte et distribution des histogrammes
 - ④ visualisation des histogrammes

Des fonctionnalités communes ...

- Couplage au système d'acquisition
- Analyse de données en ligne / hors ligne
- Tests de la qualité des données
- Environnements distribués
(multi-processus + réseau)

... mais des implémentations différentes

- **Contenu des données entrantes**
- **Format des données entrantes**
- Contenu des analyses



Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies (i.e CMSSW ou AMORE)
- Évalue la **qualité** des données (en ligne / hors ligne)
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Principe général :
 - ① collecte et distribution des données
 - ② analyse des données
 - ③ collecte et distribution des histogrammes
 - ④ visualisation des histogrammes

Des fonctionnalités communes ...

- Couplage au système d'acquisition
- Analyse de données en ligne / hors ligne
- Tests de la qualité des données
- Environnements distribués
(multi-processus + réseau)

... mais des implémentations différentes

- **Contenu des données entrantes**
- **Format des données entrantes**
- Contenu des analyses

Logiciel commun ? ? ?

Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP

Points clés

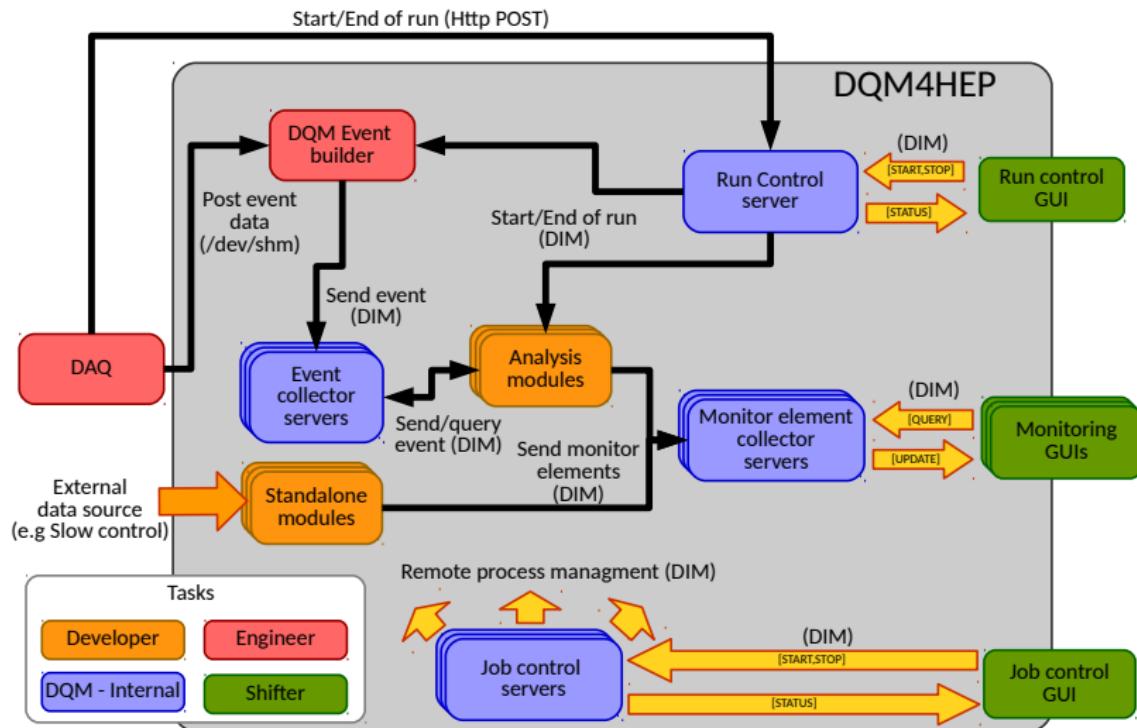
- Nouveau logiciel : DQM4HEP (*Data Quality Monitoring for High Energy Physics*)
- Regroupement des fonctionnalités communes des logiciels de DQM
- Implémentations spécifiques → **Abstraction + interfaces programmables**

Les fonctionnalités

- **Système de plug-in**
- **Abstraction des événements (modèle/format)**
- Environnement d'analyse de données dédié au DQM
- Environnement distribué (serveur/client)
 - Données brutes (DAQ)
 - Éléments de surveillance (histogrammes, graphes, ...)
- Interface graphique de visualisation (opérateurs)

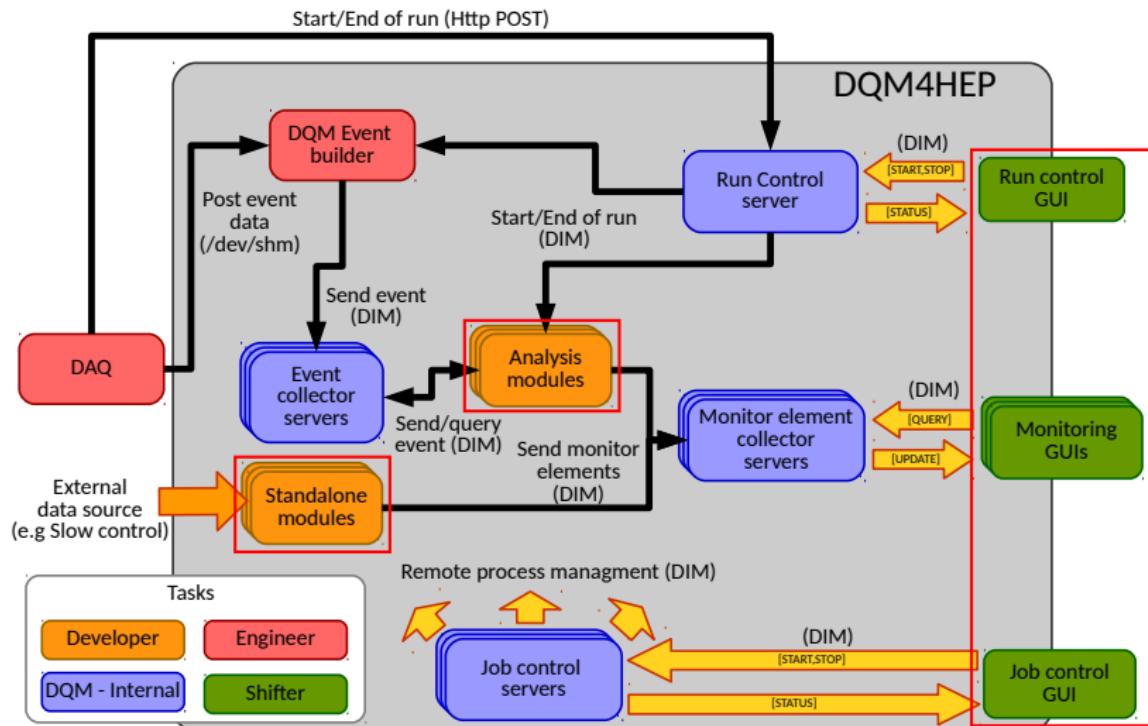
Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- architecture logicielle



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- architecture logicielle



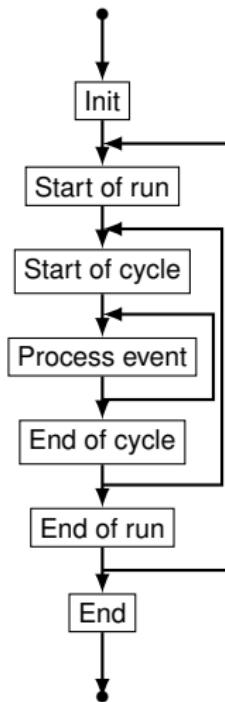
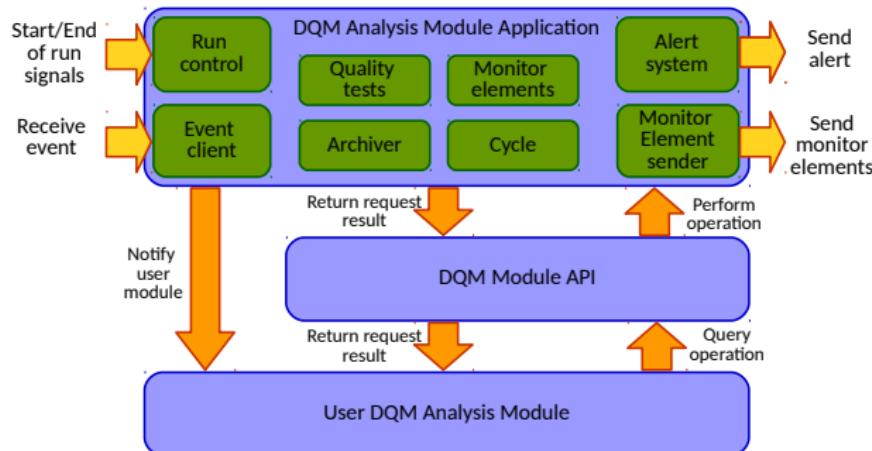


Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- analyse des données provenant des détecteurs

Module d'analyse de données

- Conçu pour l'analyse de données (raw data, tracking, PFA, etc ...)
- Produit des éléments de surveillance (histogrammes, graphes, ...)
- Évalue la qualité des données (Q-tests)
- Structuré en séquence de runs et de cycles

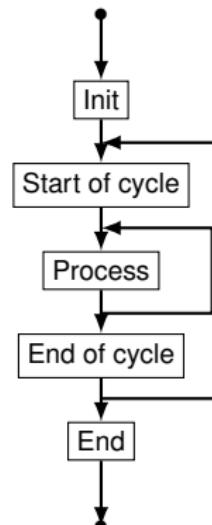
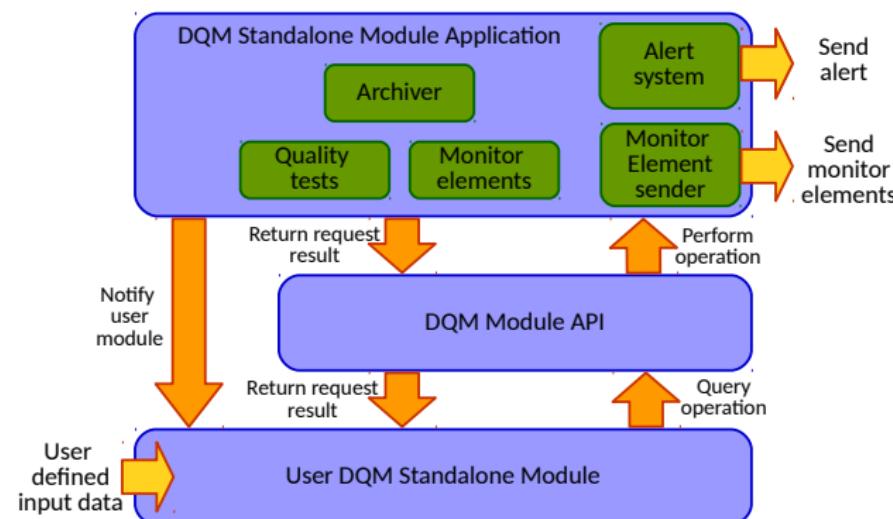


Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- analyse des données environnementales

Module environnemental

- Traitement de données environnementales (T, P, HV, gaz, ...)
- Pas de donnée transmise au module
- Produit des éléments de surveillance (histogrammes, graphes, ...)
- Évalue la qualité des données (Q-tests)



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- Les interfaces graphiques

Interfaces pour les opérateurs (QtGui)

① Gestionnaire graphique des runs

- Configuration, démarrage, arrêt et statut de runs

② Gestionnaire graphique de processus à distance

- Configuration, démarrage, arrêt, statut et journaux des processus

③ Interface graphique de visualisation d'histogrammes

- Client graphique multi-collecteurs : requête, filtrage, sélection d'histogrammes
- Affichage d'histogrammes multi-canvas
- Import/export des histogrammes ⇒ préparation des test sur faisceau



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- interface de gestion de processus

AUTOMATIC UPDATES

Stop	Update period (secs) :	2	Up	Down										
job interface														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">KILL METHOD</th> <th>Set Kill Method</th> <th>INT (Interrupt): 2</th> <th>▼</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					KILL METHOD		Set Kill Method	INT (Interrupt): 2	▼					
KILL METHOD		Set Kill Method	INT (Interrupt): 2	▼										
PROCESS TABLE														
Job Control	Program Name	PID	Status											
↳ ysodhcal10	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_run_control_server /opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_event_collector /opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_event_collector /opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_monitor_element_collector	11045 12154 12157 12164	S (sleeping) S (sleeping) S (sleeping) S (sleeping)											
↳ ysodhcal7	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module /opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module /opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module /opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31189 31251 31268	R (running) R (running) D (disk sleep) X (dead)											
↳ ysodhcal9	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_standalone_module	31280 31292 31301 31308	R (running) D (disk sleep) R (running) R (running)											
↳ ShmDriver	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_shm_driver	21002	S (sleeping)											

ARGS and ENV

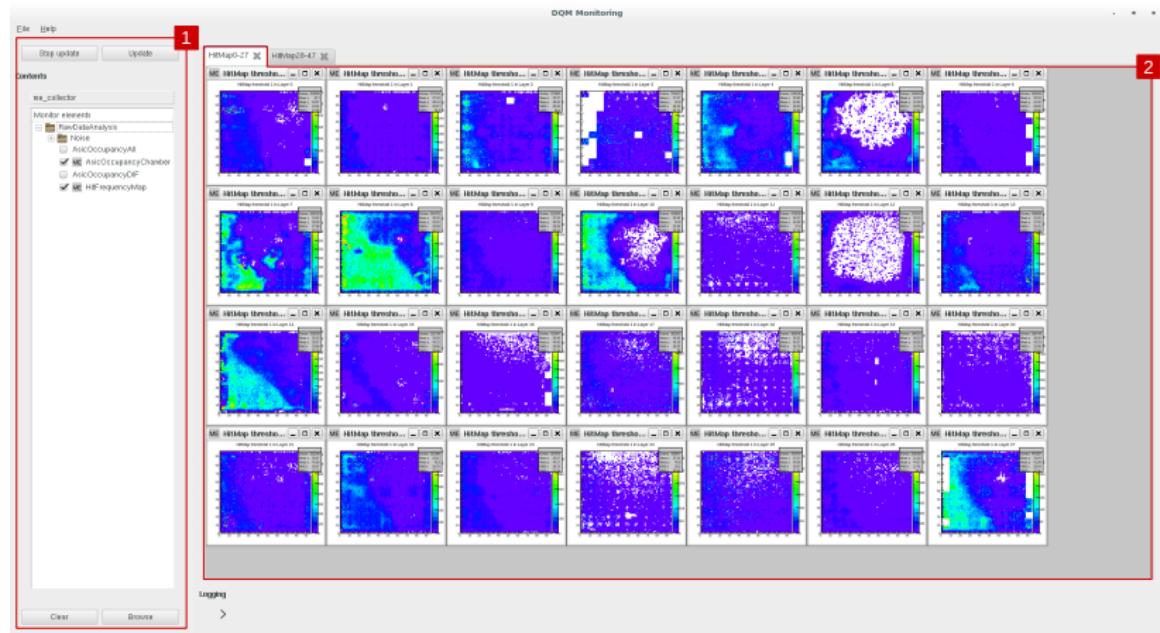
ACTIONS

Load file | Reload file | OpenLogFile | Update



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)



Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCAL

Test sur faisceau combiné au SPS (CERN) - Juin 2016

- Test sur faisceau combiné SiWEcal + SDHCAL (DAQ)
- Test du logiciel DQM4HEP
 - Prise en main par les opérateurs ?
 - Performances graphiques, réseau, mémoire ?
 - Détection de problème(s) ?

Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCALE

Test sur faisceau combiné au SPS (CERN) - Juin 2016

- Test sur faisceau combiné SiWEcal + SDHCAL (DAQ)
- Test du logiciel DQM4HEP
 - Prise en main par les opérateurs ?
 - Performances graphiques, réseau, mémoire ?
 - Détection de problème(s) ?

Les analyses de données (format LCIO)

- **Module RawDataAnalysis**
Cartes de comptage de hits et ASICs
- **Module EventDisplay**
Profiles 2D et vues 3D des événements
- **Module BeamAnalysis**
Structure du faisceau : spill, particules
- **Module SlowControl**
T, P (global) et HV, LV, I (par chambre)
- **Module EcalAnalysis**
Cartes de comptage de hits, adc par plan

Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCAL

Test sur faisceau combiné au SPS (CERN) - Juin 2016

- Test sur faisceau combiné SiWEcal + SDHCAL (DAQ)
- Test du logiciel DQM4HEP
 - Prise en main par les opérateurs ?
 - Performances graphiques, réseau, mémoire ?
 - Détection de problème(s) ?

Les analyses de données (format LCIO)

- **Module RawDataAnalysis**
Cartes de comptage de hits et ASICs
- **Module EventDisplay**
Profiles 2D et vues 3D des événements
- **Module BeamAnalysis**
Structure du faisceau : spill, particules
- **Module SlowControl**
T, P (global) et HV, LV, I (par chambre)
- **Module EcalAnalysis**
Cartes de comptage de hits, adc par plan

Bilan du test sur faisceau

- Performances mémoires → perfectible
- Performances réseau → OK
- Déploiement du logiciel → perfectible
- Prise en main du logiciel → OK

Les algorithmes de suivi de particules

1 Contexte théorique et expérimental

- Le modèle standard
- Le collisionneur linéaire international
- Le calorimètre hadronique semi-digital
- Performances du SDHCAL

2 Logiciel de surveillance de données

- Introduction
- Logiciel DQM4HEP
- Surveillance de la prise de données du SDHCAL

3 Les algorithmes de suivi de particules

- Introduction
- Principe d'ArborPFA
- ArborPFA pour le SDHCAL
- ArborPFA pour le détecteur ILD

4 Conclusion et perspectives

Les algorithmes de suivi de particules

Introduction

Définition

Algorithme(s) de reconstruction visant à reconstruire les particules individuellement en combinant les informations des sous-détecteurs les plus appropriés pour effectuer une mesure en énergie.

Les algorithmes de suivi de particules

Introduction

Définition

Algorithme(s) de reconstruction visant à reconstruire les particules individuellement en combinant les informations des sous-détecteurs les plus appropriés pour effectuer une mesure en énergie.

PFA = Logiciel + Détecteur !



Les algorithmes de suivi de particules

Introduction

Définition

Algorithm(e)s de reconstruction visant à reconstruire les particules **individuellement** en **combinant les informations** des **sous-détecteurs** les plus appropriés pour effectuer une **mesure en énergie**.

PFA = Logiciel + Détecteur !

Sous-détecteurs appropriés

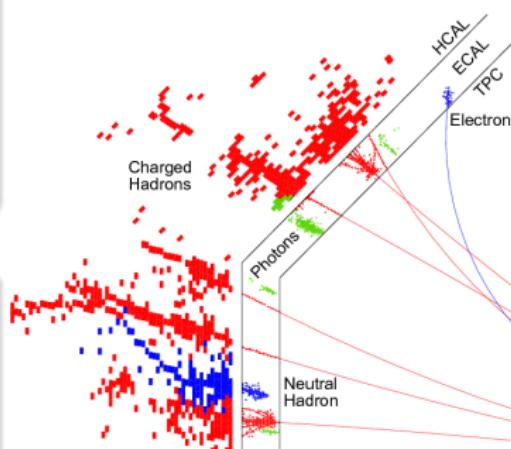
- e^\pm : **Tracker + Ecal**
- h^\pm : **Tracker + Ecal + Hcal**
- μ^\pm : **Tracker + Ecal + Hcal + chambres à muons**
- γ : **Ecal**
- h^0 : **Ecal + Hcal**

Composition moyenne d'un jet de 100 GeV

- 65 % particules chargées
- 25 % photons
- 10 % hadrons neutres

O. Lobban, A. Sriharan, R. Wigmans

NIM **A495** (2002), 107-120

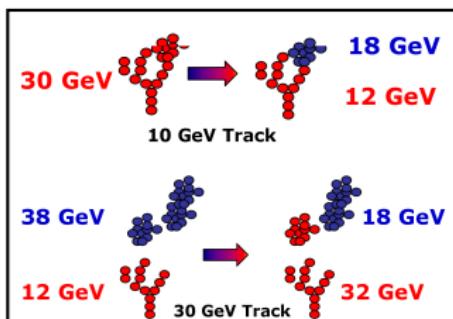
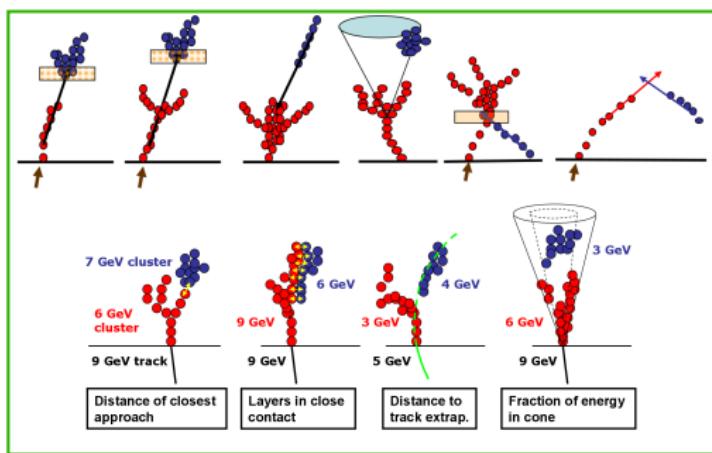
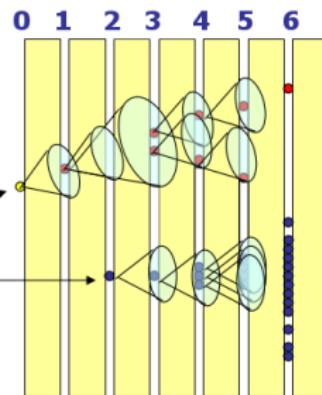


Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- PandoraPFA

PandoraPFA

- 1 Clustering en cône récursifs
 - 2 Associations topologiques
 - Association trace \leftrightarrow cluster
 - Association cluster \leftrightarrow cluster
 - 3 Re-clustering statistique
 - Compatibilité $E - p$
 - Clustering local

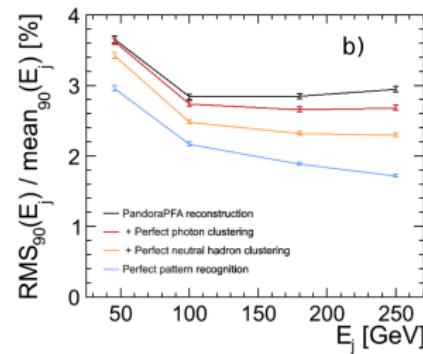
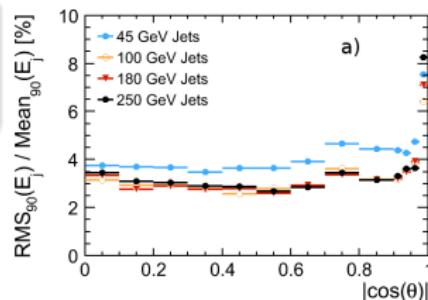


Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- les performances de PandoraPFA

Extraction des performances

- $e^+ e^- \rightarrow jj$
- Énergies : 91, 200, 360 et 500 GeV



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009

Les algorithmes de suivi de particules

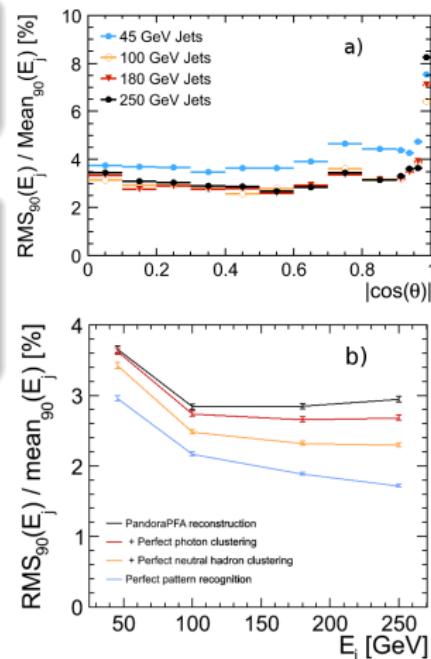
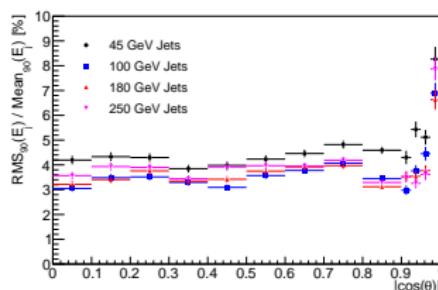
Introduction- les performances de PandoraPFA

Extraction des performances

- $e^+ e^- \rightarrow jj$
- Énergies : 91, 200, 360 et 500 GeV

Les limites de PandoraPFA

- Conçu pour un Hcal analogique
- Optimisé pour une taille de cellule 3 cm x 3 cm
- Calcul d'énergie analogique dans les algorithmes



Les algorithmes de suivi de particules

Principe d'ArborPFA

Principe

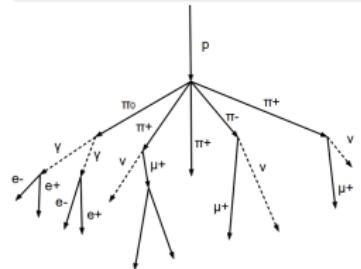
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.

Les algorithmes de suivi de particules

Principe d'ArborPFA

Principe

Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



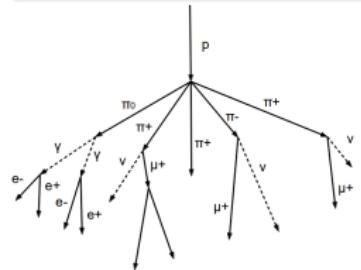
Gerbe hadronique

Les algorithmes de suivi de particules

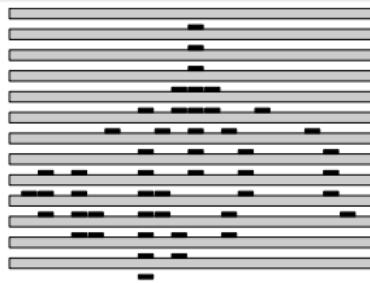
Principe d'ArborPFA

Principe

Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



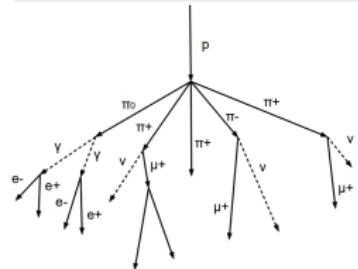
dans un calorimètre

Les algorithmes de suivi de particules

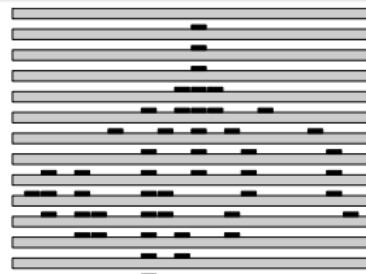
Principe d'ArborPFA

Principe

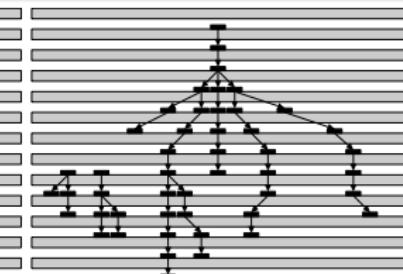
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



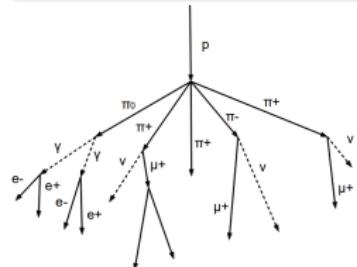
avec ArborPFA

Les algorithmes de suivi de particules

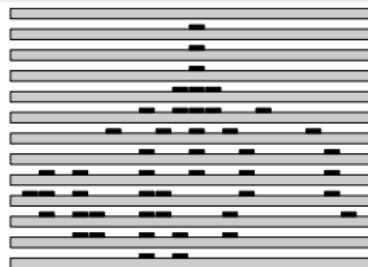
Principe d'ArborPFA

Principe

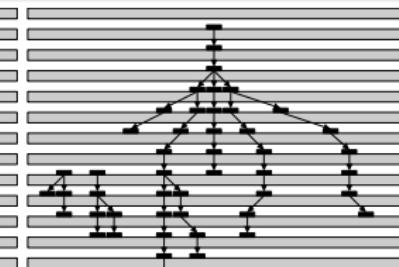
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



avec ArborPFA

Quelques définitions

- **Vertex** : Point (sommet) dans l'espace relié par un ou plusieurs connecteurs (+ vertex racines et feuilles)
- **Connecteur** : Lien (arrête) orienté liant deux vertex
- **Arbre** : Ensemble de vertex reliés par des connecteurs (*arbre enraciné*).
 - il est connexe
 - possède un unique vertex sans prédecesseur,
 - tous les autres vertex possèdent un unique prédecesseur.

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

Implémentation

- **Création de vertex**
- Construction des arbres et clusters
 - Connexions des vertex
 - Nettoyage des connexions
- Association traces → clusters
- Association clusters → clusters
- Création de PFOs



Les algorithmes de suivi de particules

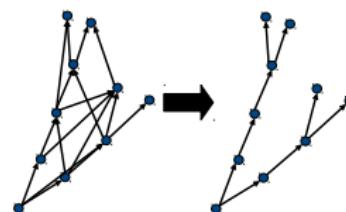
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

Implémentation

- Création de vertex
- **Construction des arbres et clusters**
 - Connexions des vertex
 - Nettoyage des connexions
- Association traces → clusters
- Association clusters → clusters
- Création de PFOs



Les algorithmes de suivi de particules

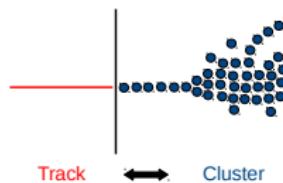
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

Implémentation

- Création de vertex
- Construction des arbres et clusters
 - Connexions des vertex
 - Nettoyage des connexions
- **Association traces → clusters**
- Association clusters → clusters
- Création de PFOs



Les algorithmes de suivi de particules

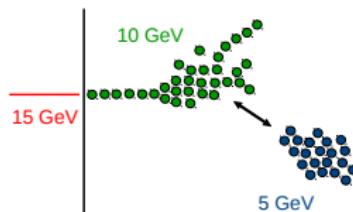
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

Implémentation

- Création de vertex
- Construction des arbres et clusters
 - Connexions des vertex
 - Nettoyage des connexions
- Association traces → clusters
- **Association clusters → clusters**
- Création de PFOs



Les algorithmes de suivi de particules

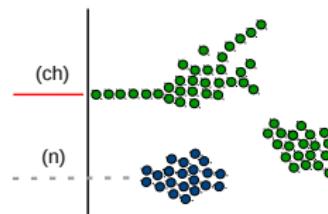
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

Implémentation

- Création de vertex
- Construction des arbres et clusters
 - Connexions des vertex
 - Nettoyage des connexions
- Association traces → clusters
- Association clusters → clusters
- **Création de PFOs**



Les algorithmes de suivi de particules

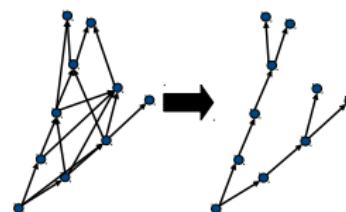
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire une particule isolée
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un chargé

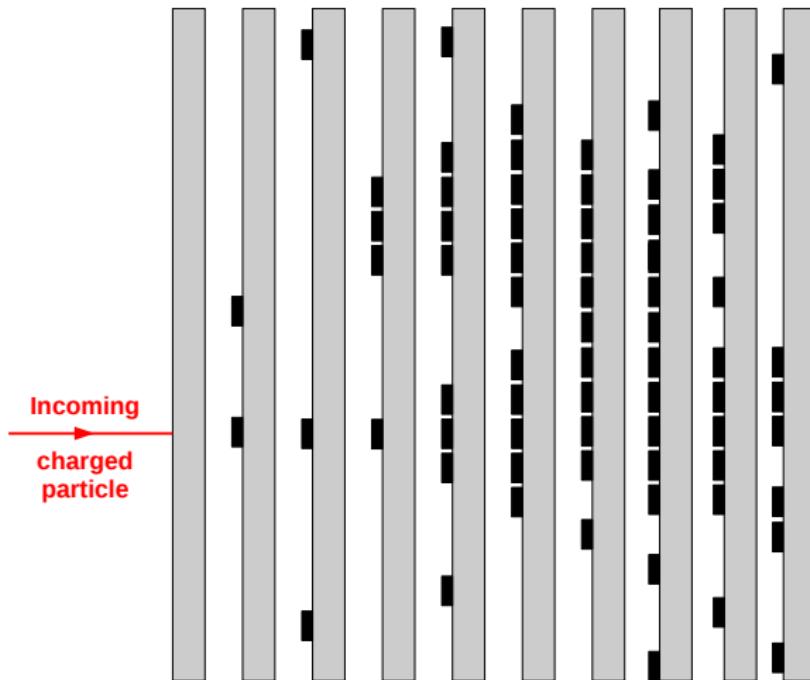
Implémentation

- Création de vertex
- **Construction des arbres et clusters**
 - Connexions des vertex
 - Nettoyage des connexions
- Association traces → clusters
- Association clusters → clusters
- Création de PFOs



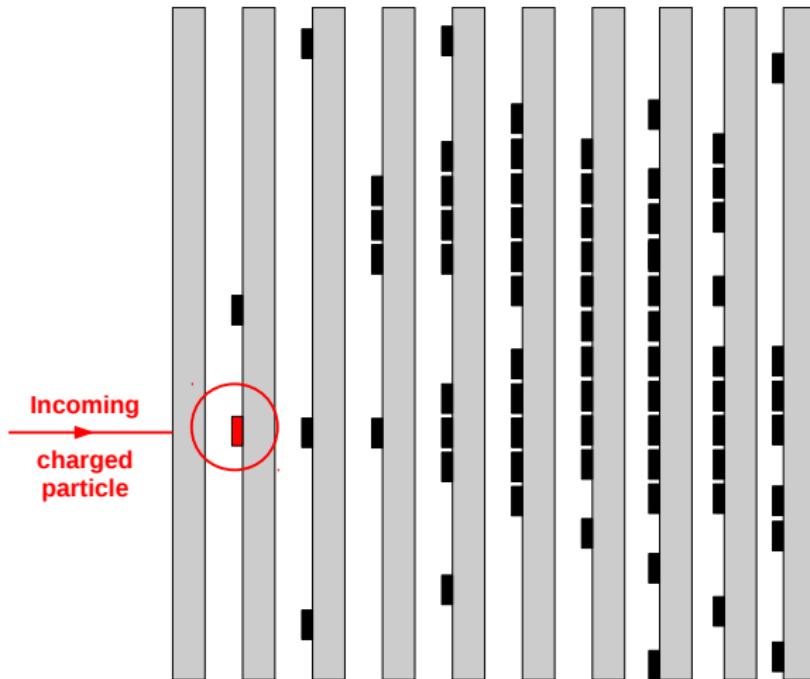
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



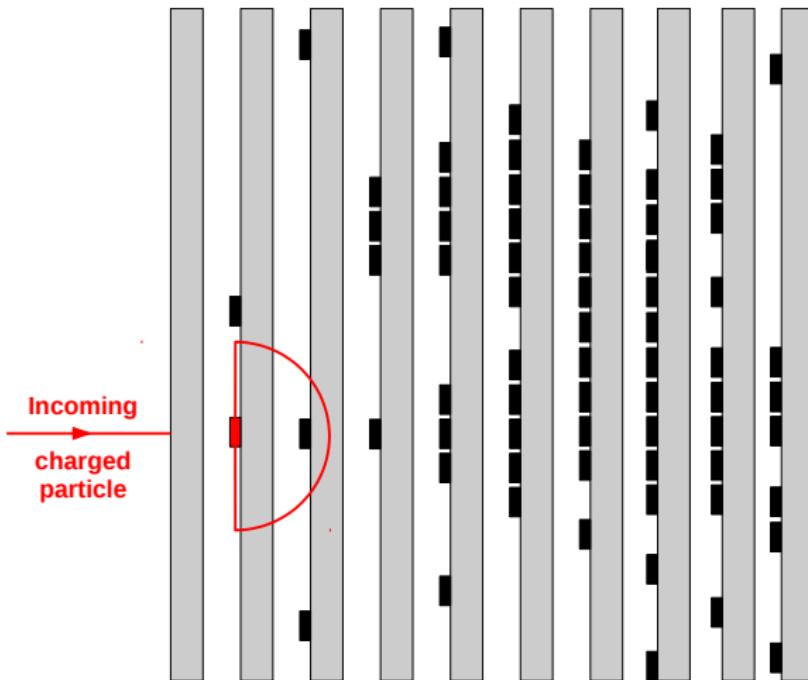
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



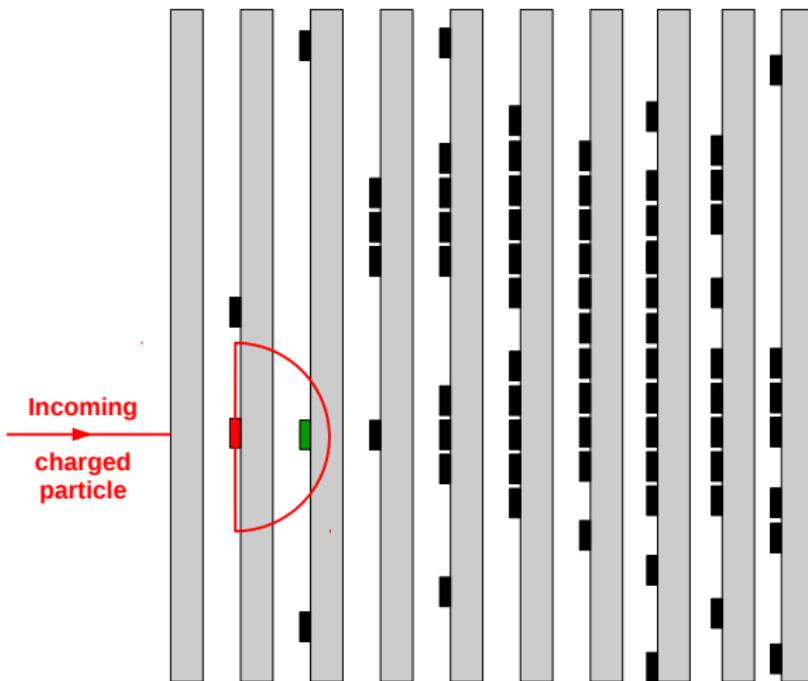
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



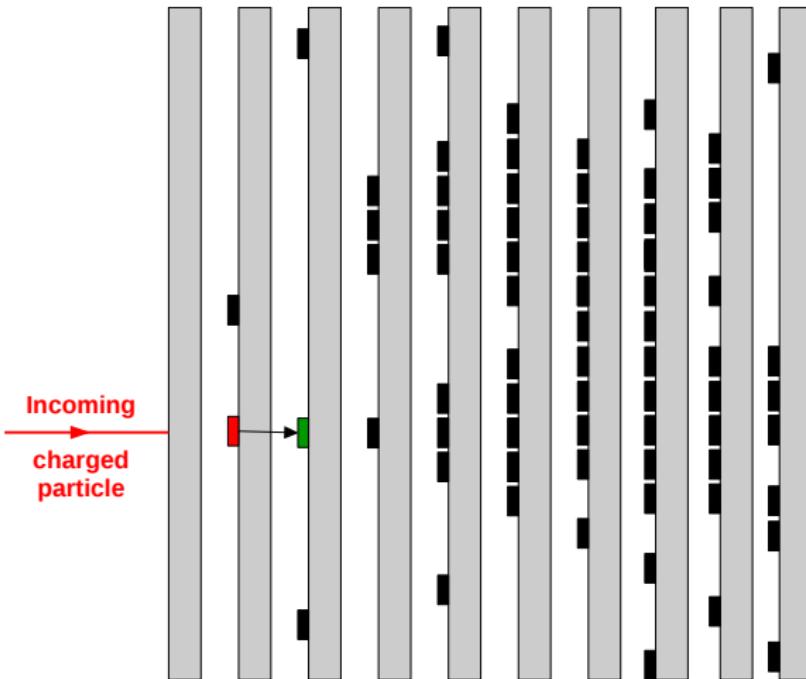
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



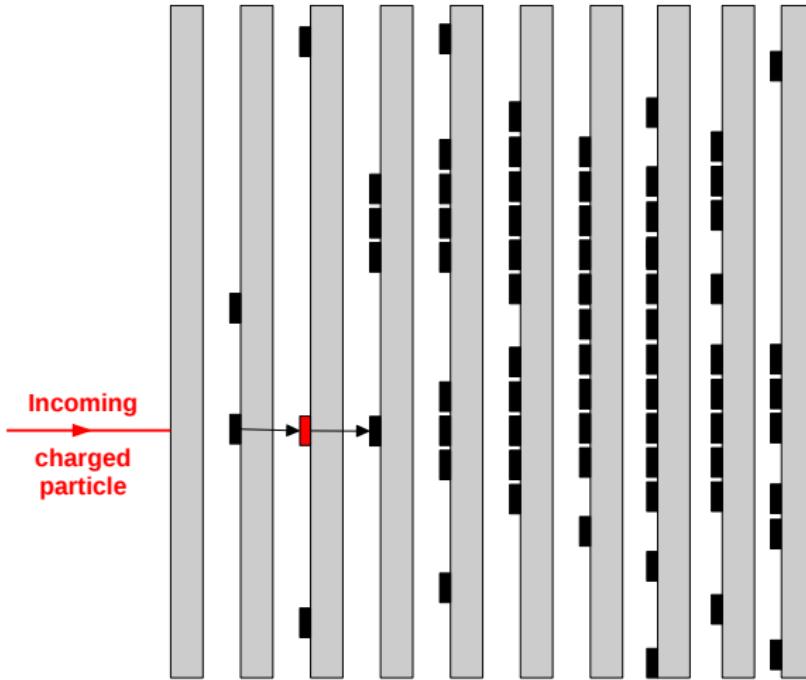
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



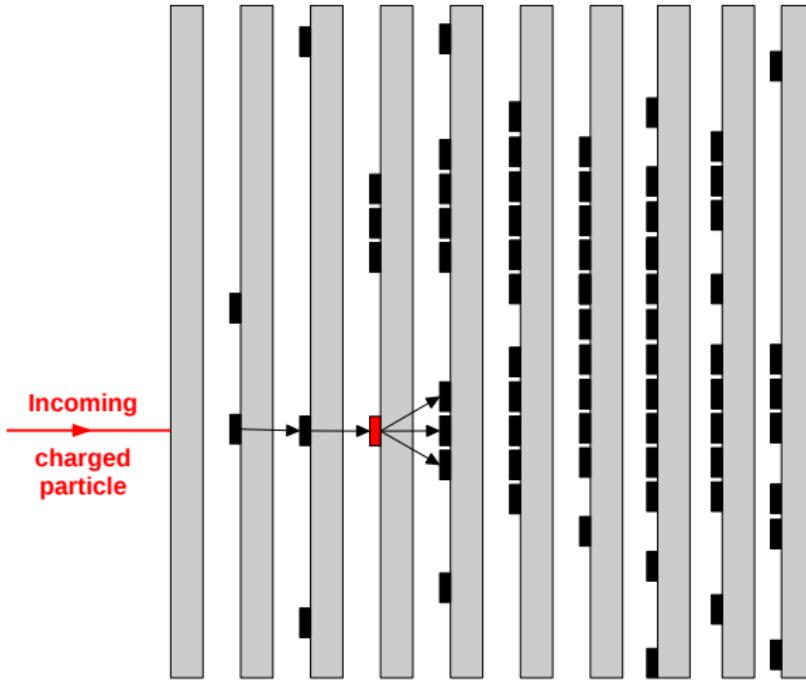
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



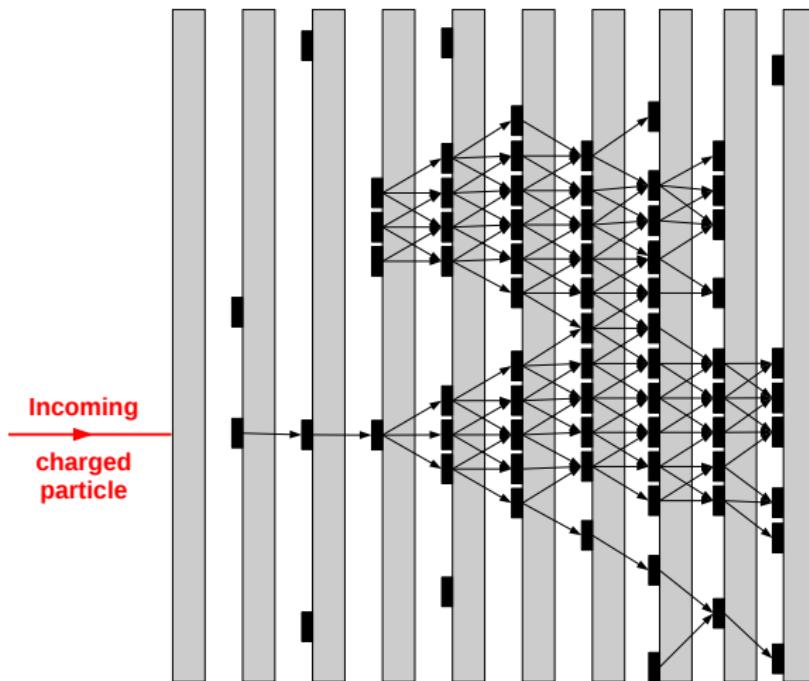
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



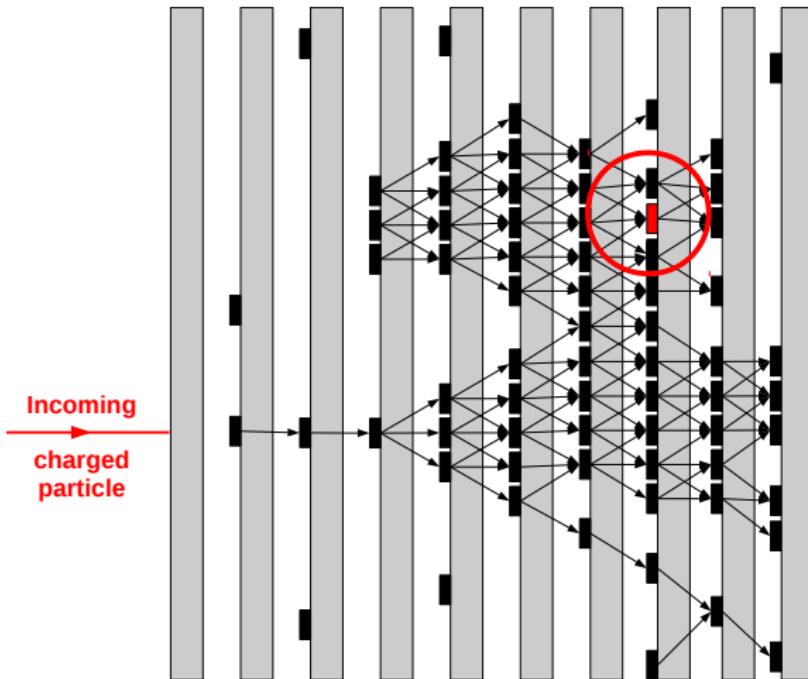
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

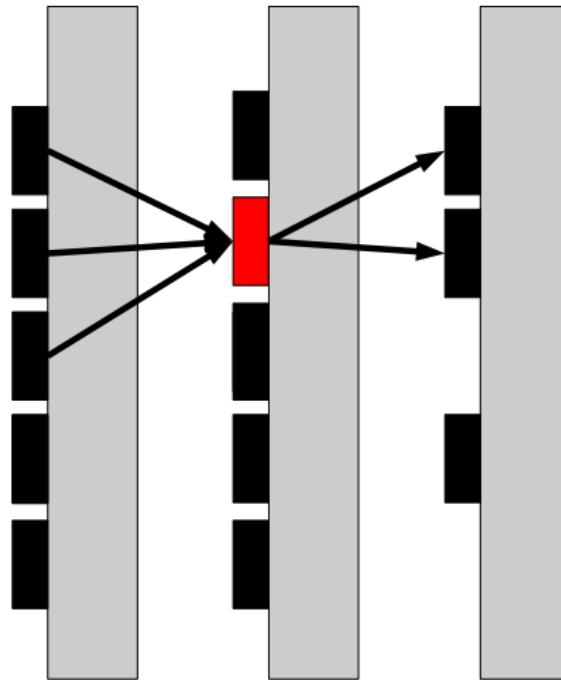


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\vec{C}_{ref} = w_{bck} \cdot \sum_b \vec{c}_b + w_{fwd} \cdot \sum_f \vec{c}_f$$

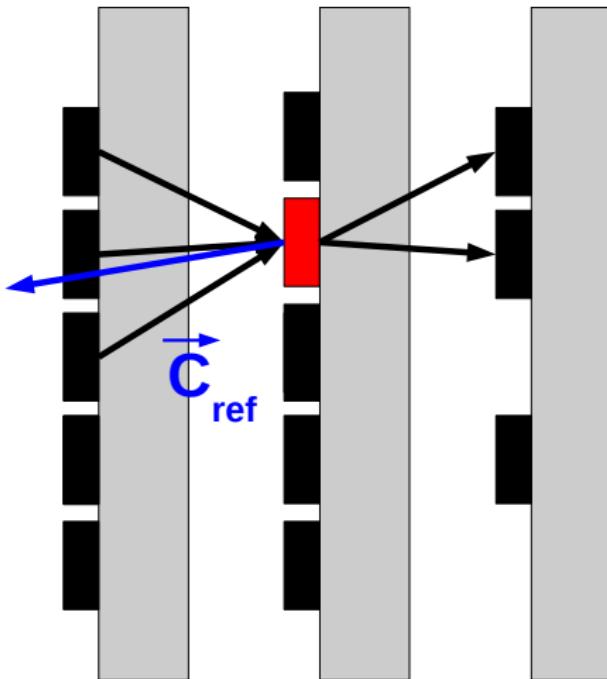


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\begin{aligned} -\vec{C}_{ref} = & w_{bck} \cdot \sum_b \vec{c}_b \\ & + w_{fwd} \cdot \sum_f \vec{c}_f \end{aligned}$$



Les algorithmes de suivi de particules

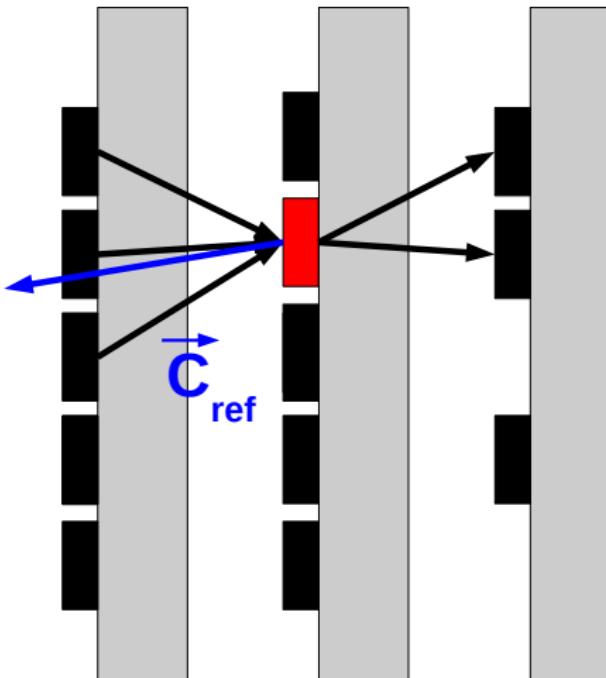
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\begin{aligned} -\vec{C}_{ref} = & w_{bck} \cdot \sum_b \vec{c}_b \\ & + w_{fwd} \cdot \sum_f \vec{c}_f \end{aligned}$$

Paramètre d'ordre :

$$\kappa = \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^{p_\theta} \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta_{max}}\right)^{p_\Delta}$$



Les algorithmes de suivi de particules

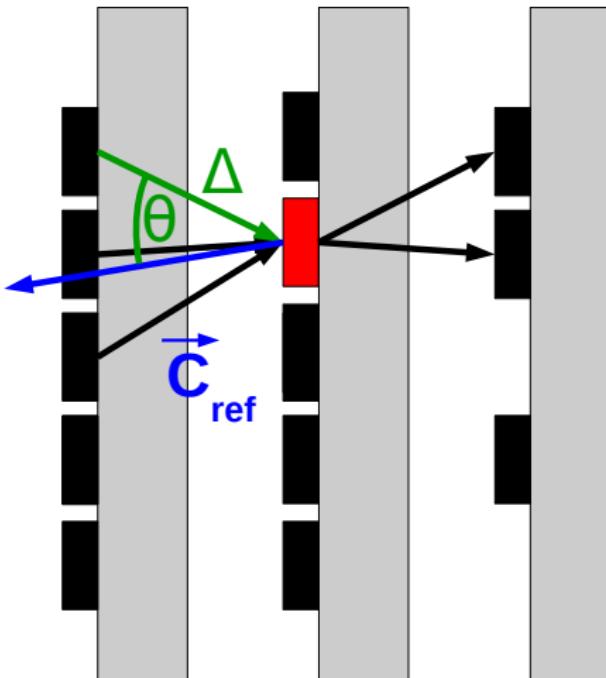
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\begin{aligned} -\vec{C}_{ref} = & w_{bck} \cdot \sum_b \vec{c}_b \\ & + w_{fwd} \cdot \sum_f \vec{c}_f \end{aligned}$$

Paramètre d'ordre :

$$\kappa = \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^{p_\theta} \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta_{max}}\right)^{p_\Delta}$$



Les algorithmes de suivi de particules

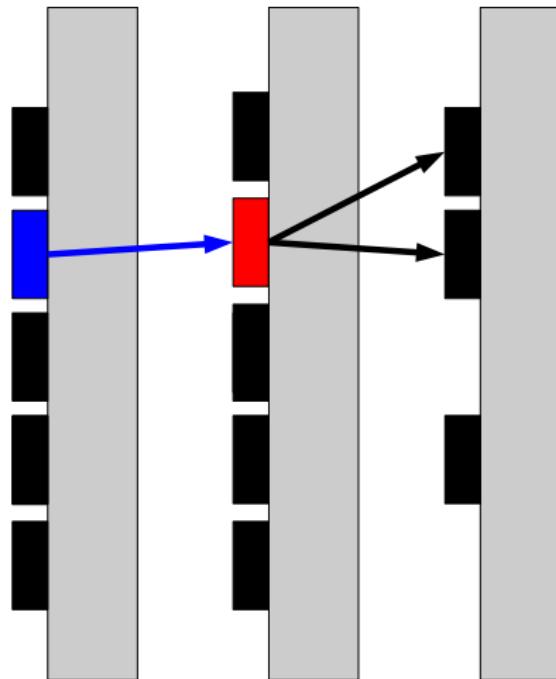
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$-\vec{C}_{ref} = w_{bck} \cdot \sum_b \vec{c}_b + w_{fwd} \cdot \sum_f \vec{c}_f$$

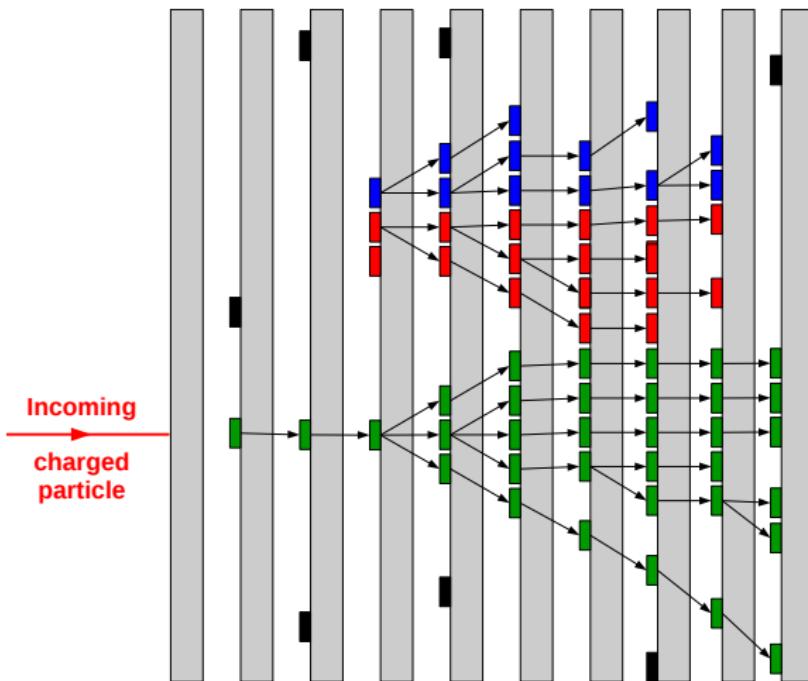
Paramètre d'ordre :

$$\kappa = \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^{p_\theta} \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta_{max}}\right)^{p_\Delta}$$



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Hadrons isolés

Définition

Efficacité de clustering ε_s :

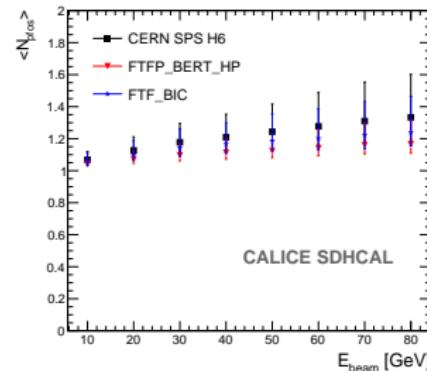
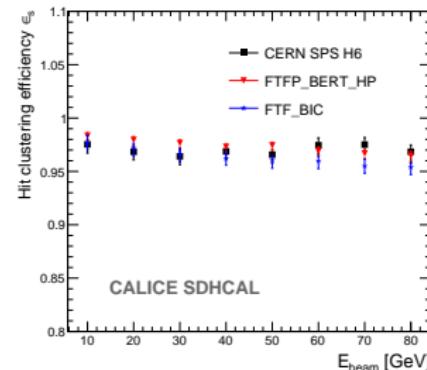
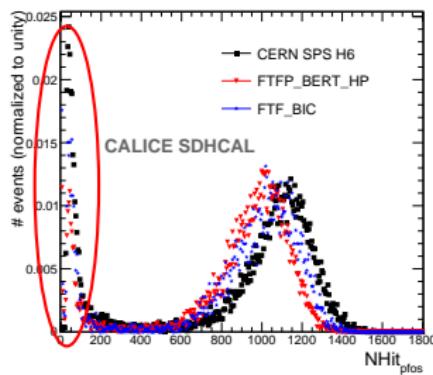
$$\varepsilon_s = N_{hit, ch} / N_{hit, tot}$$

Efficacité :

- $\varepsilon_s > 95\%$ sur toute la gamme en énergie

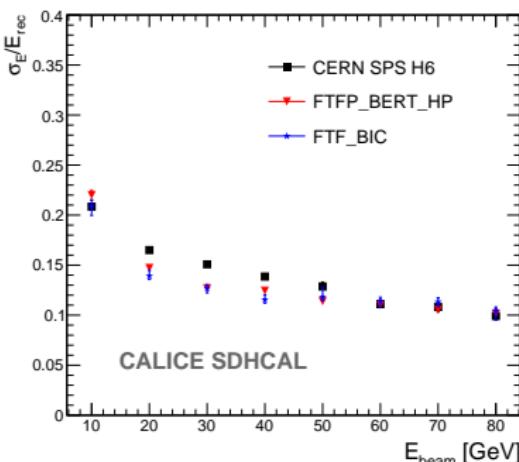
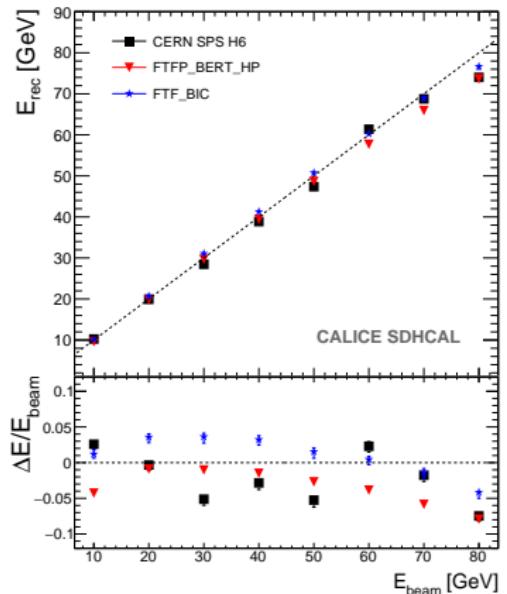
Nombre de PFOs :

- $1 < N_{PFO} < 1.35$
- Fragmentation $\nearrow E_{beam} \nearrow$



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Hadrons isolés

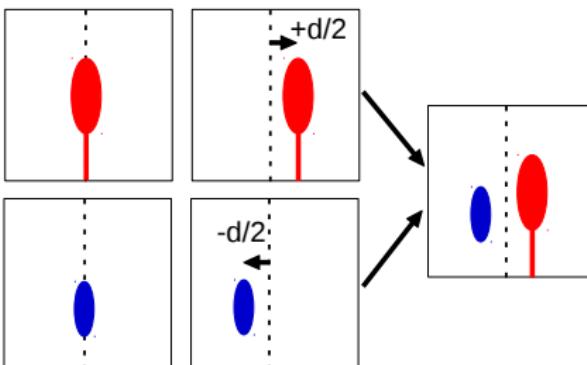


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons

Jeu de données

- 1 hadron chargé
 - $E_{beam} = 10, 30 \text{ GeV}$
- 1 hadron chargé
 - $E_{beam} = 10 \text{ GeV}$
 - hits de la trace primaire retirés
→ émulation d'un hadron neutre



Superposition de deux événements hadronique

- Détermination des points d'entrées et barycentres.
- Suppression des hits du segment de trace primaire du hadron de 10 GeV
- Centrage au centre du calorimètre (x et y) puis décalage de $\pm d/2$ dans la direction x
- Hit superposé : le seuil le plus haut est assigné à ce hit
- Les hits sont étiqueté 1, 2 ou 3 (superposé).

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons

Définition

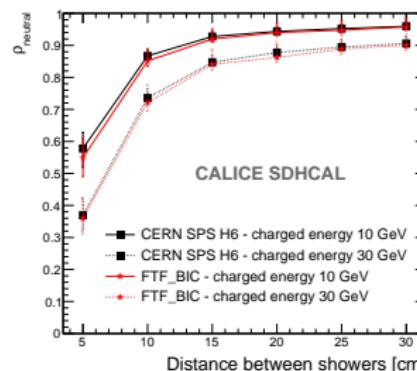
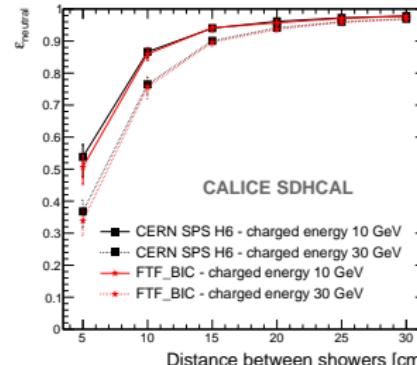
Efficacité ε_n du hadron neutre :

$$\varepsilon_n = N_{good} / N_{init,tot}$$

Pureté ρ_n du hadron neutre :

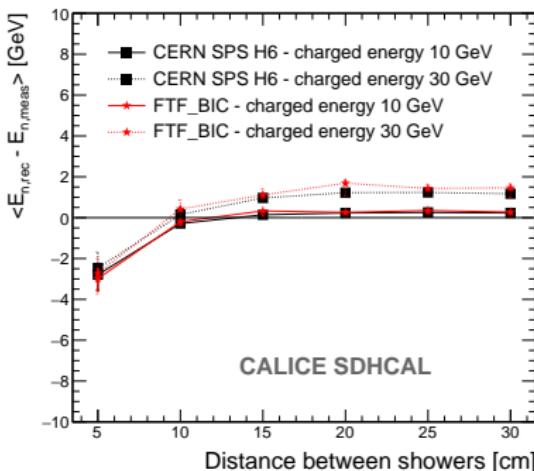
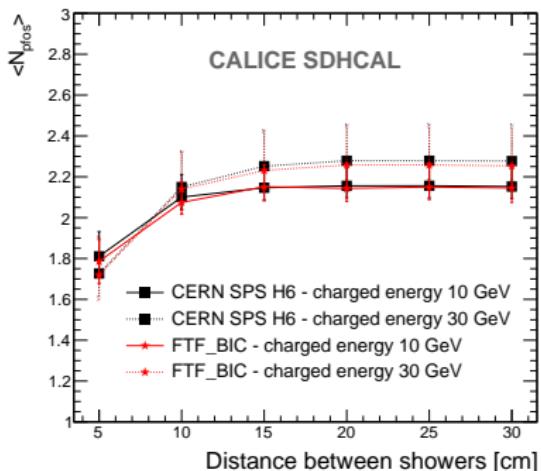
$$\rho_n = N_{good} / N_{rec,tot}$$

- Distance de séparation $\searrow \Rightarrow \varepsilon_n \searrow \rho_n \searrow$
- Chevauchement des gerbes = confusion
- Confusion \nearrow quand $E_{beam} \nearrow$



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons



N_{PFO} :

Distance $\propto N_{PFO} \propto$

→ Fusion du hadron neutre dans le hadron chargé plus fréquent

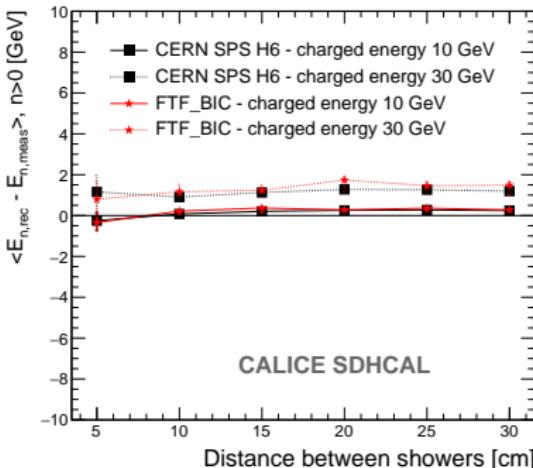
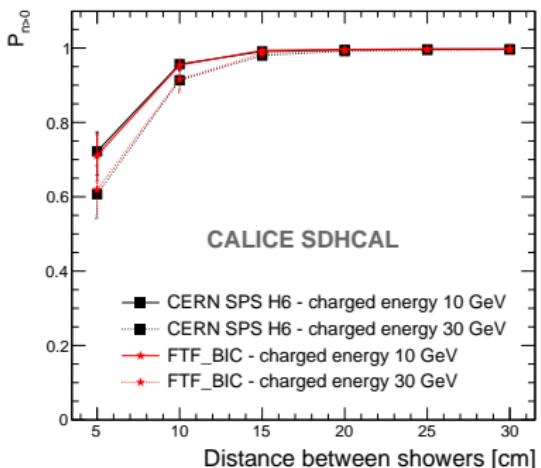
Énergie reconstruite :

Estimateur d'énergie quadratique

Distance $\propto E_{n,rec} \propto$

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons



Énergie reconstruite pour $n > 0 \rightarrow$ constante pour toutes les distances de séparation

A faible distance de séparation

⇒ comportement binaire de la reconstruction :

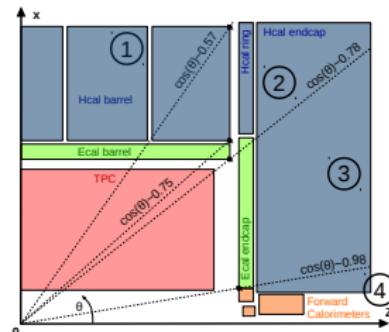
- soit au moins un hadron neutre + énergie neutre correctement estimée
- soit pas de hadron neutre → fusionné dans le hadron chargé

Les algorithmes de suivi de particules

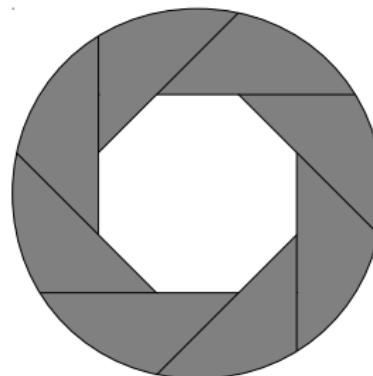
ArborPFA pour le détecteur ILD

ArborPFA pour le détecteur ILD

- Sous détecteurs additionnels :
 - Connexion/nettoyage dans le ECAL
 - Connexion ECAL-HCAL
 - Prise en compte du champs magnétique
 - Étude de linéarité et de résolution en énergie pour les hadrons neutres K_0^L
 - Calibration initiale de référence
 $\rightarrow \phi = 0$ et $\theta = 1.5 \text{ rad}$
 - Correction en énergie près des interstices dans le tonneau central (5 modules)
 - Correction en énergie en fonction de l'angle θ
 - Performances physiques sur un système di-jets $e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}$
 - Linéarité, résolution en énergie
 - Contribution de différents termes de confusions



Géométrie à la Videau



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

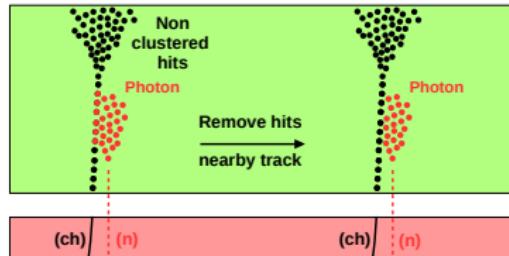
- Préparation de l'événement

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
- Reconstruction des photons

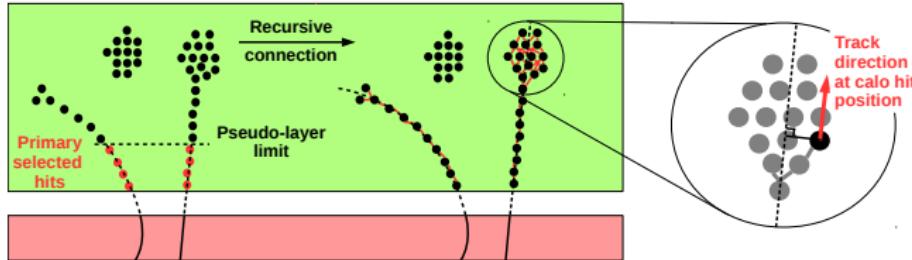


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
 - Reconstruction des photons
 - Clustering principal
 - Connexion des vertex et nettoyage des connexions

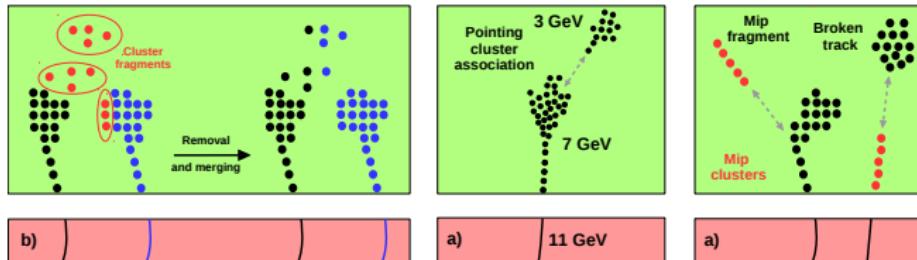


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
 - Reconstruction des photons
 - Clustering principal
 - Connexion des vertex et nettoyage des connexions
 - Associations topologiques

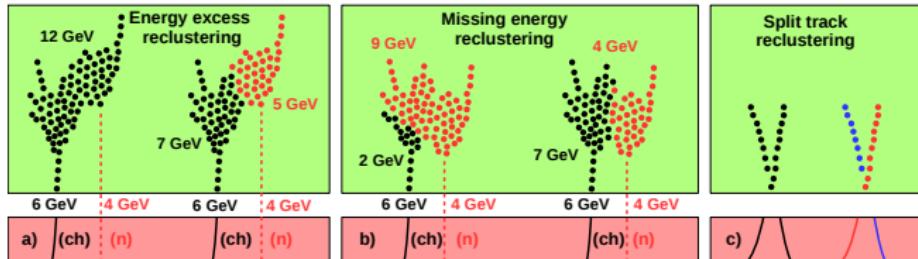


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
 - Reconstruction des photons
 - Clustering principal
 - Connexion des vertex et nettoyage des connexions
 - Associations topologiques
 - Reclustering
 - Reclustering en cas d'excès en énergie
 - Reclustering en cas d'énergie manquante
 - Reclustering en cas d'associations trace-cluster multiples

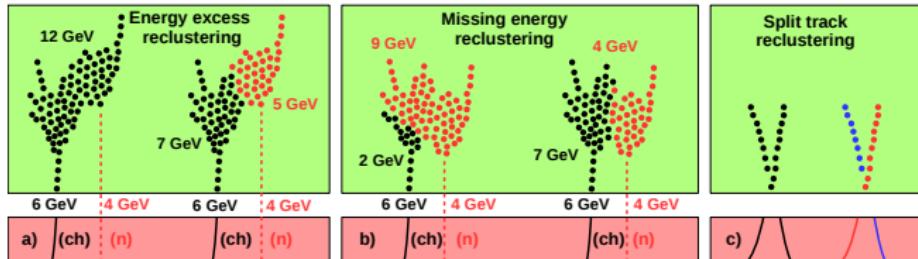


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
 - Reconstruction des photons
 - Clustering principal
 - Connexion des vertex et nettoyage des connexions
 - Associations topologiques
 - Reclustering
 - Reclustering en cas d'excès en énergie
 - Reclustering en cas d'énergie manquante
 - Reclustering en cas d'associations trace-cluster multiples

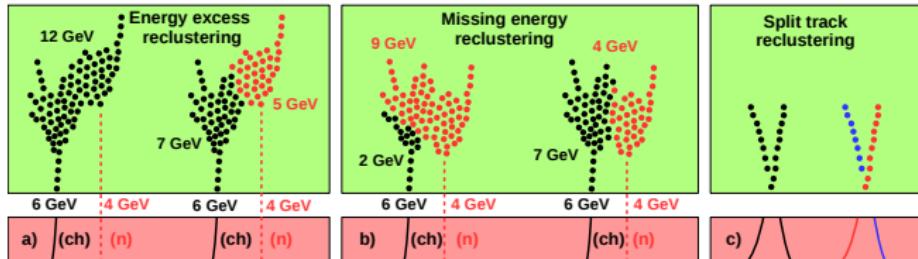


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
 - Reconstruction des photons
 - Clustering principal
 - Connexion des vertex et nettoyage des connexions
 - Associations topologiques
 - Reclustering
 - Reclustering en cas d'excès en énergie
 - Reclustering en cas d'énergie manquante
 - Reclustering en cas d'associations trace-cluster multiples
 - Création et **identification** des particules reconstruites



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Calibration et corrections en énergie

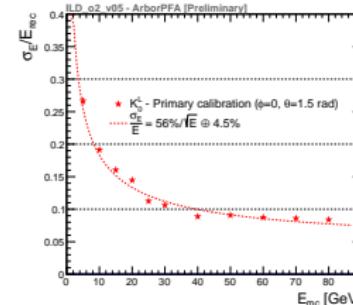
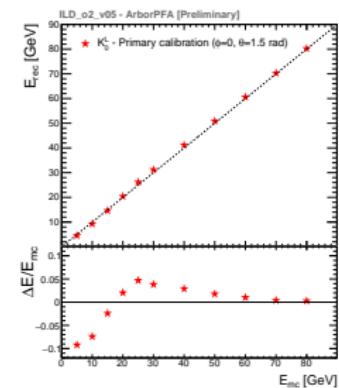
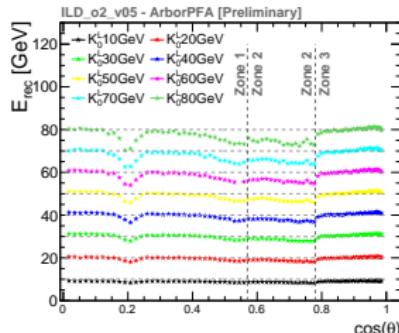
Calibration initiale ($\phi = 0, \theta = 1.5 \text{ rad}$)

- Kaons neutres $K_0^L, E = [5, 80] \text{ GeV}$
- Estimateur d'énergie :

$$E_{rec} = \sum_i (c_h^e \cdot e_i) + (\alpha \cdot N_1 + \beta \cdot N_2 + \gamma \cdot N_3)$$

avec :

- $c_h^e = 1.075 \text{ GeV}$
- $\alpha = 0.0433 \pm 10^{-4} \text{ GeV}$
- $\beta = 0.0884 \pm 10^{-4} \text{ GeV}$
- $\gamma = 0.4573 \pm 10^{-4} \text{ GeV}$



Les algorithmes de suivi de particules

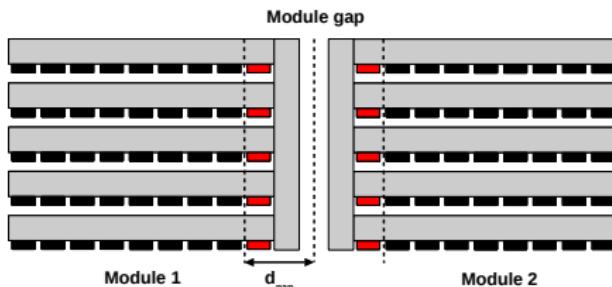
ArborPFA pour le détecteur ILD- Calibration et corrections en énergie

Correction près des interstices

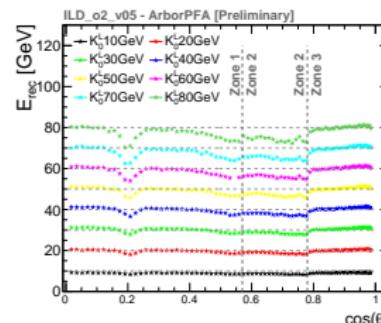
- Tonneau central séparé en 5 modules
- Budget matière plus important près des interstices
→ Énergie manquante !
- Correction en énergie :
Comptage de l'énergie déposé près des interstices E_{gap}

$$E_{rec,gap} = E_{rec} + \alpha_{gap} \cdot E_{gap}$$

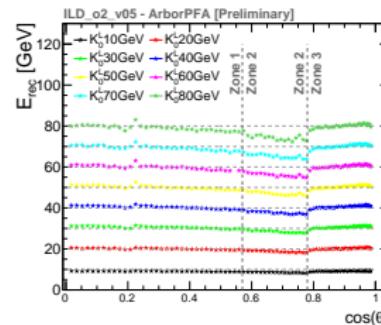
avec $\alpha_{gap} = 1.5254$



Avant correction



Après correction

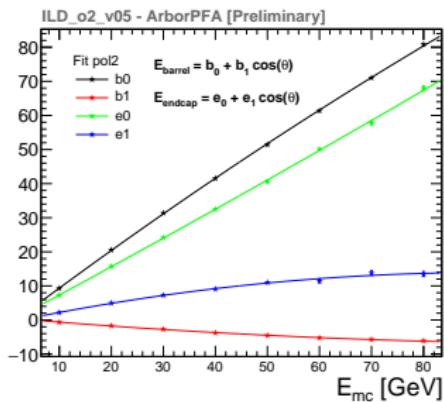


Les algorithmes de suivi de particules

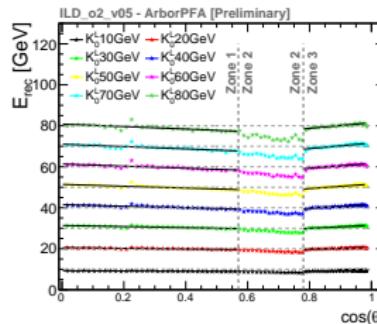
ArborPFA pour le détecteur ILD- Calibration et corrections en énergie

Correction en fonction de $\cos\theta$

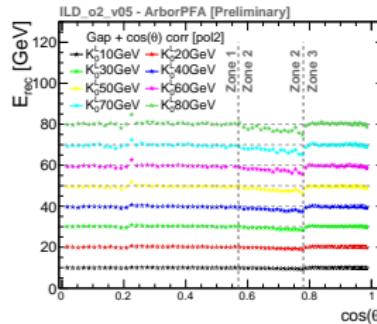
- Énergie manquante dans le tonneau et les bouchons
- Ajustement linéaire dans les régions 1 et 3
→ 4 paramètres / point d'énergie
→ Ajustement d'un polynôme d'ordre 1 ou 2



Avant correction



Après correction

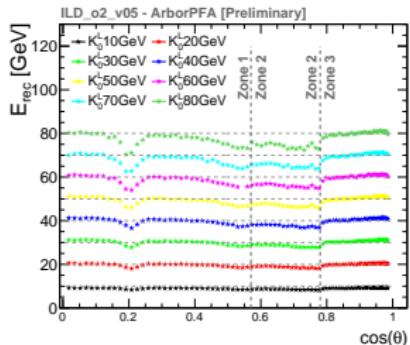




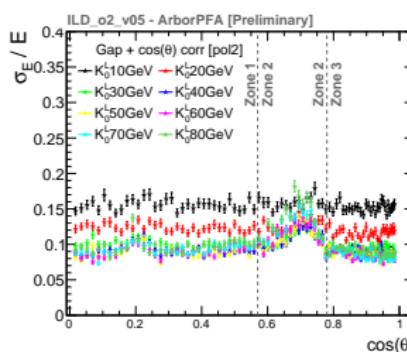
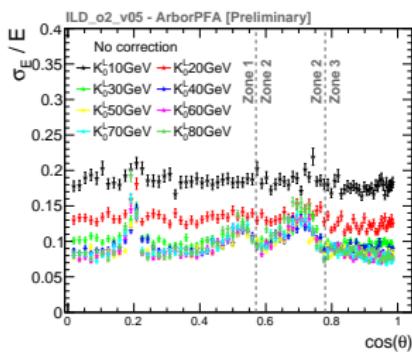
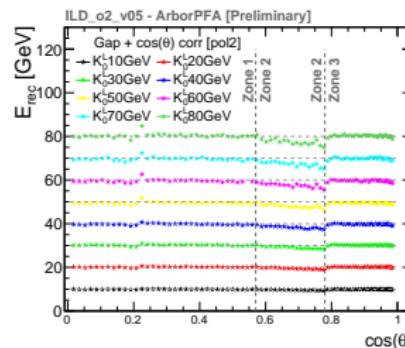
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Calibration et corrections en énergie

Avant correction

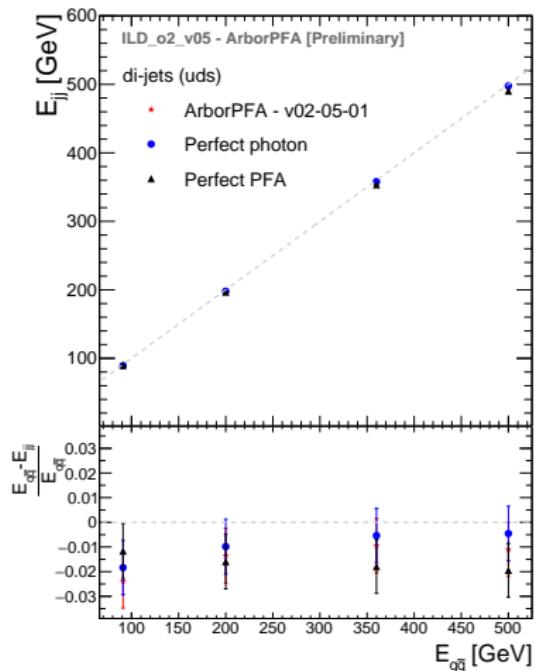


Après correction

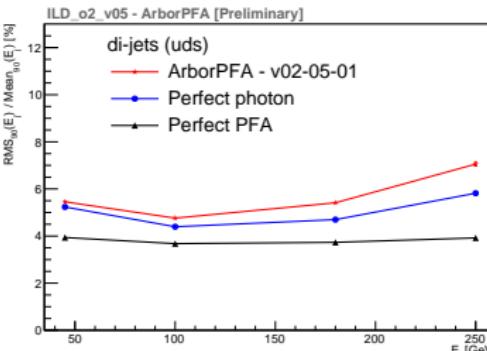


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD- Les performances physiques



- E_{tot} : déviation à la linéarité $\sim 10 - 15\%$
- E_{jet} : résolution relative $\sim 5 - 7\%$



Conclusion et perspectives

1 Contexte théorique et expérimental

- Le modèle standard
- Le collisionneur linéaire international
- Le calorimètre hadronique semi-digital
- Performances du SDHCAL

2 Logiciel de surveillance de données

- Introduction
- Logiciel DQM4HEP
- Surveillance de la prise de données du SDHCAL

3 Les algorithmes de suivi de particules

- Introduction
- Principe d'ArborPFA
- ArborPFA pour le SDHCAL
- ArborPFA pour le détecteur ILD

4 Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Conclusion

Contexte théorique et expérimental

- L'ILC est un des projets qui permettra de mesurer **précisement** les propriétés du boson de Higgs et de **contraindre le modèle standard**.
- La programme physique requiert le développement de **détecteurs à grande granularité** pour permettre l'application des **algorithmes de suivi de particules**
- L'algorithme de suivi de particules **PandoraPFA** est l'algorithme le plus abouti à ce jour mais **ne considère pas encore toutes les technologies** comme celle du SDHCAL.

Conclusion et perspectives

Conclusion

Contexte théorique et expérimental

- L'ILC est un des projets qui permettra de mesurer **précisement** les propriétés du boson de Higgs et de **contraindre le modèle standard**.
- La programme physique requiert le développement de **déTECTEURS à grande granularité** pour permettre l'application des **algorithmes de suivi de particules**
- L'algorithme de suivi de particules **PandoraPFA** est l'algorithme le plus abouti à ce jour mais **ne considère pas encore toutes les technologies** comme celle du SDHCAL.

Surveillance de la qualité des données pour le SDHCAL

- Un logiciel générique, DQM4HEP, a été développé. L'architecture a été présentée. Un effort particulier a été mis sur la **généricité du logiciel**
- Une solution dédiée à la combinaison des détecteurs SiWEcal et SDHCAL a été implémentée et déployée lors de plusieurs tests sur faisceaux
- Les performances *mémoires/réseaux/utilisateurs* ont montré un logiciel utilisable mais perfectible sur certains points
- Résultats présentés à IEEE (poster) et publiés dans un *conference record*
- Intégration au projet européen AIDA 2020 : WP5, Task 5.4 "*Development of data quality and slow control monitoring*"

Conclusion et perspectives

Conclusion

ArborPFA pour le SDHCAL

- Un logiciel de reconstruction par **méthode de suivi de particules** a été développé pour le SDHCAL
- Une **première implémentation** visant à tester le principe sous-jacent d'ArborPFA dans le **prototype du SDHCAL** a été développée :
 - Hadrons seuls → bonnes performances ($\varepsilon_s > 96\%$ et $\Delta_E/E < 10\%$)
 - Deux hadrons proches → bonnes performances jusqu'à 10cm.
Au delà (5cm) : $p_n=0.7 \Rightarrow \Delta_E/E < 5\%$
- Résultats publiés dans une note d'analyse CALICE (CAN-054)

ArborPFA pour le détecteur ILD

- Une **seconde version** a été implémentée pour le **détecteur ILD**
- Des **corrections en énergie** (hadrons isolés) ont été développées, mais ne s'avèrent pas encore suffisante
- De nouveaux algorithmes ont été développés pour tenir compte de **détecteurs additionnels** (ECAL, TPC) et de **nouveaux problèmes de topologie**
- Les performances physiques ont été évaluées :
 - E_{tot} : déviation à la linéarité $\sim 10 - 15\%$
 - JER $\simeq 5 - 7\%$
- Les performances obtenues avec la version actuelle ne sont pas en accord avec les performances requises par l'ILC (JER $\sim 3 - 4\%$)

Conclusion et perspectives

Perspectives

ArborPFA pour l'ILD

Points clés :

- ① Évaluation des performances de reconstruction/identification de chaque type de particules
→ Particule seule + séparation
- ② Amélioration des corrections en énergie
→ Modification des correction et ajout de nouvelles (région 2)
- ③ Optimisation des paramètres de l'algorithme
→ Procédure d'optimisation ??
- ④ Évaluation des erreurs systématiques pour la JER (+ autres)

Plus loin :

- Révision du *clustering* principal
→ Façon plus optimale de connecter les vertex ?
- Ajout d'associations topologiques supplémentaires
→ Support de la rétro-diffusion, etc ...
- Reconstruction des muons

Merci pour votre attention !

Backup

ILC - polarisation des faisceaux

Polarisation des faisceaux :

$$e_L^- e_R^+ \quad \text{ou} \quad e_L^+ e_R^- \quad \text{ou} \quad e_R^- e_R^+ \quad \text{ou} \quad e_L^- e_L^+$$

Conservation de l'hélicité $\rightarrow e_L^- e_R^+, e_L^+ e_R^-$ uniquement→ Augmentation de la luminosité ($\times 1.5 - 2$)!

- $e^+ e^- \rightarrow$ s-channel \Rightarrow couplage des hélicités $e^+ e^-$
- $e^+ e^- \rightarrow$ t-channel \Rightarrow couplage des états finaux

$$\sigma_{pol} = (1 - P_{e^-} P_{e^+}) \cdot \sigma_{unpol} \cdot (1 - P_{eff} \cdot A_{LR})$$

avec :

- $A_{LR} = \frac{\sigma_{-+} - \sigma_{+-}}{\sigma_{-+} + \sigma_{+-}} \cdot \frac{1 - P_{e^-} \cdot P_{e^+}}{P_{e^+} - P_{e^-}}$
- $P_{eff} = (P_{e^-} \cdot P_{e^+}) / (1 - P_{e^-} \cdot P_{e^+})$

Processus	P_{e^-}	P_{e^+}	$\sigma_{pol}/\sigma_{unpol}$
$e^+ e^- \rightarrow ZH$	0.8	0	~ 1.13
$e^+ e^- \rightarrow ZH$	0.8	0.3	~ 1.44
$e^+ e^- \rightarrow ZH$	0.8	0.55	~ 1.71
$e^+ e^- \rightarrow H\nu_e \bar{\nu}_e$	0.8	0	~ 1.90
$e^+ e^- \rightarrow H\nu_e \bar{\nu}_e$	0.8	0.3	~ 2.40
$e^+ e^- \rightarrow H\nu_e \bar{\nu}_e$	0.8	0.55	~ 2.95

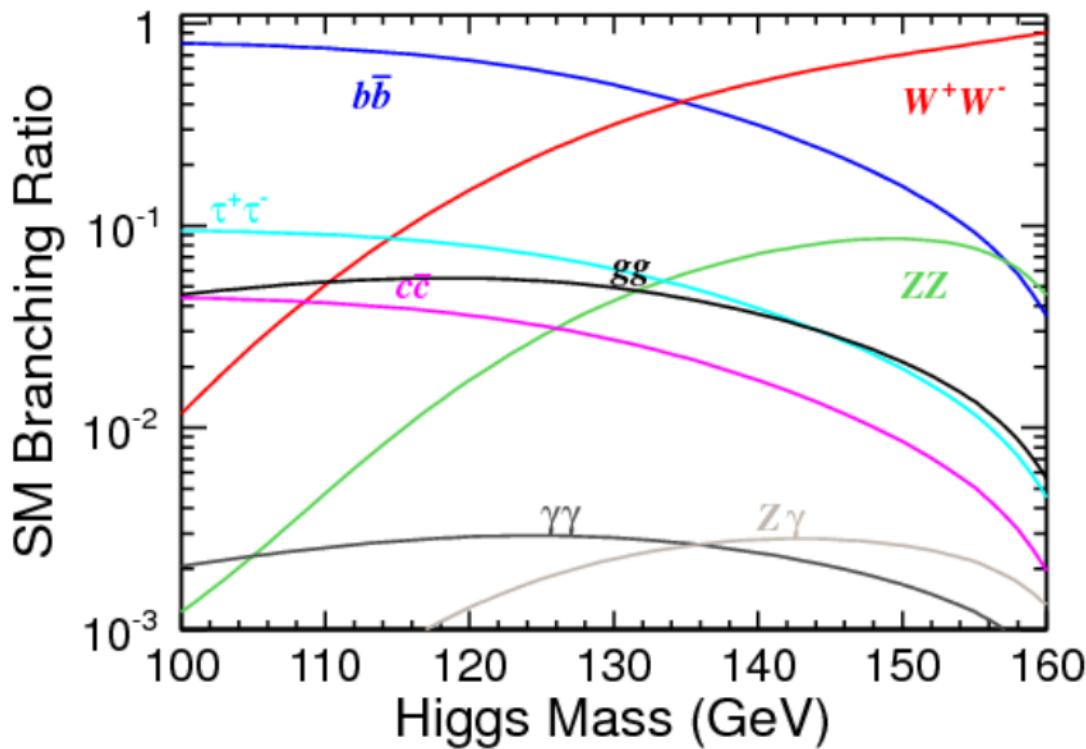
Backup

ILC - Higgs coupling precisions

Mode	LHC	ILC(250)	ILC(500)	ILC(1000)
WW	4.1 %	1.9 %	0.24	0.17 %
ZZ	4.5 %	0.44 %	0.30 %	0.27 %
$b\bar{b}$	13.6 %	2.7 %	0.94 %	0.69 %
gg	8.9 %	4.0 %	2.0 %	1.4 %
$\gamma\gamma$	7.8 %	4.9 %	4.3 %	3.3 %
$\tau^+\tau^-$	11.4 %	3.3 %	1.9 %	1.4 %
$c\bar{c}$	-	4.7 %	2.5 %	2.1 %
$t\bar{t}$	15.6 %	14.2 %	9.3 %	3.7 %
$\mu^+\mu^-$	-	-	-	16 %
<i>self</i>	-	-	104 %	26 %
$BR(\text{invis.})$	< 9 %	< 0.44 %	< 0.30 %	< 0.26 %
$\Gamma_T(h)$	20.3 %	4.8 %	1.6 %	1.2 %

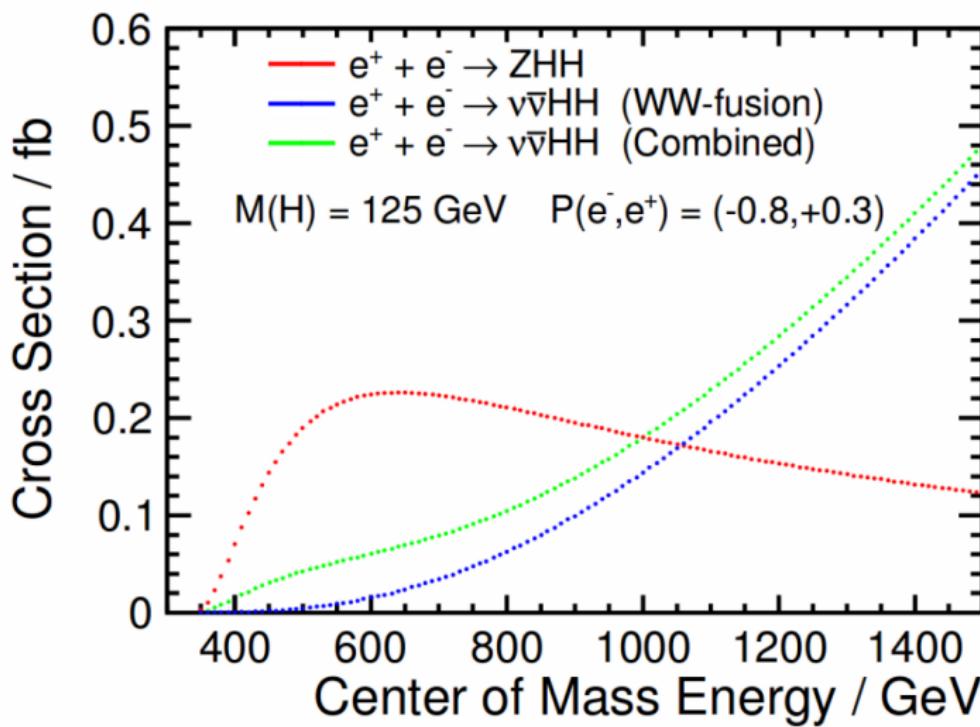
Backup

ILC - Higgs branching ratios

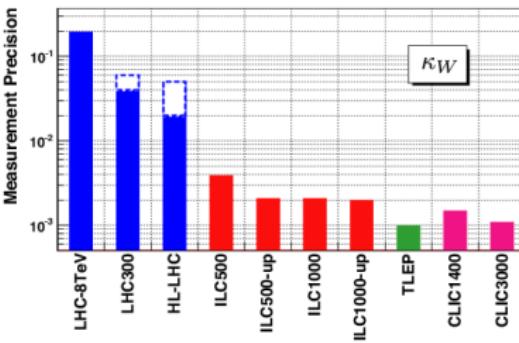
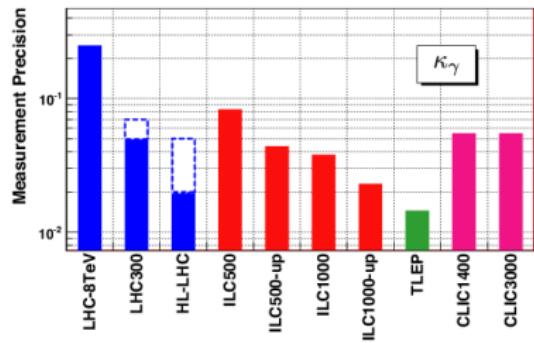


Backup

ILC - Higgs self coupling



Backup

ILC - Facteur κ_A 

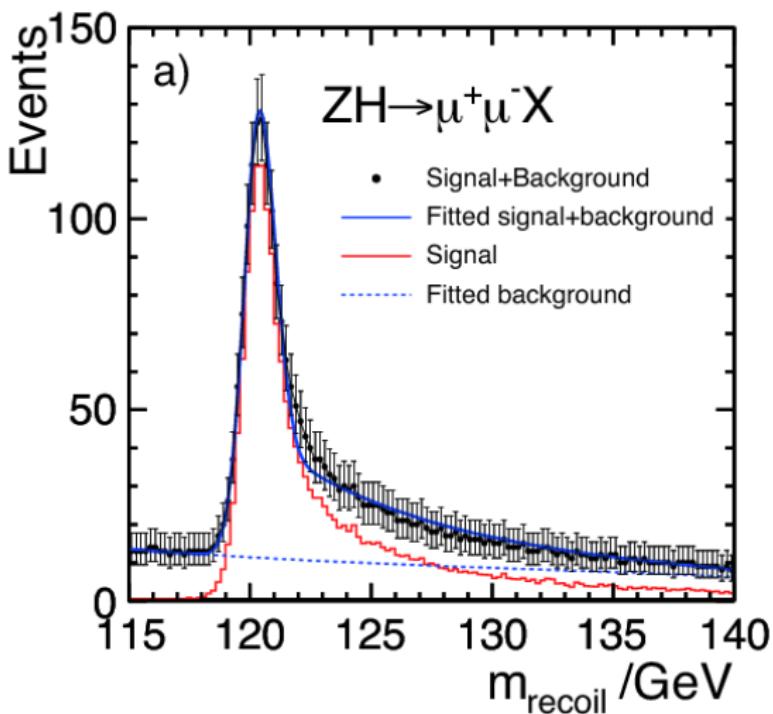
Backup

ILC - Paramètres machine ILC

Énergie au centre de masse	E_{CM}	GeV	Machine standarde 500 GeV			Amélioration 1 TeV
			250	350	500	
Taux de collisions	f_{rep}	Hz	5	5	5	4
Nombre de paquets	n_b		1312	1312	1312	2450
Nombre de particules par paquet	N	$\times 10^{10}$	2	2	2	2.74
Séparation entre les paquets	δt_b	ns	554	554	554	366
Courant de pulsation	I_{beam}	mA	5.8	5.8	5.8	7.6
Gradient d'accélération	G_a	$MV.m^{-1}$	14.7	21.4	31.5	38.2
Puissance moyenne du faisceau	P_{beam}	MW	2.9	7.3	10.5	27.2
Polarisation des électrons	P_-	%	80	80	80	80
Polarisation des positons	P_+	%	30	30	30	20
Étalement en énergie des électrons	$\Delta p/p$	%	0.190	0.158	0.124	0.083
Étalement en énergie des positons	$\Delta p/p$	%	0.152	0.100	0.070	0.043
Longueur des paquets	σ_z	mm	0.3	0.3	0.3	0.250
Taille horizontale du faisceau au point de collision	σ_x^*	nm	729.0	683.5	474	481
Taille verticale du faisceau au point de collision	σ_y^*	nm	7.7	5.9	5.9	2.8
Luminosité	L	$\times 10^{34} cm^{-2}s^{-1}$	0.75	1.0	1.8	3.6

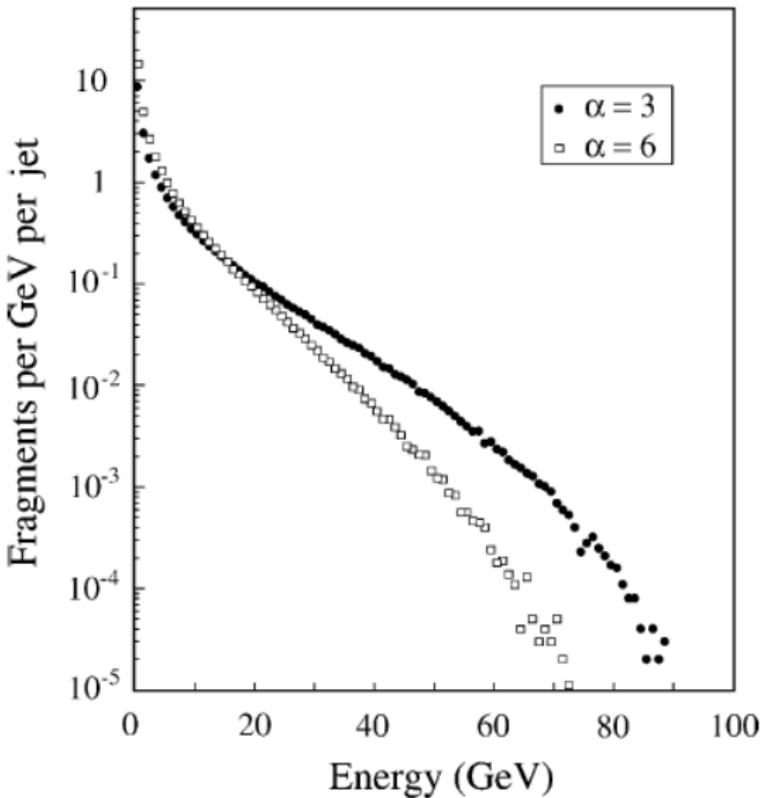
Backup

ILC - Higgs recoil mass (TPC resolution)



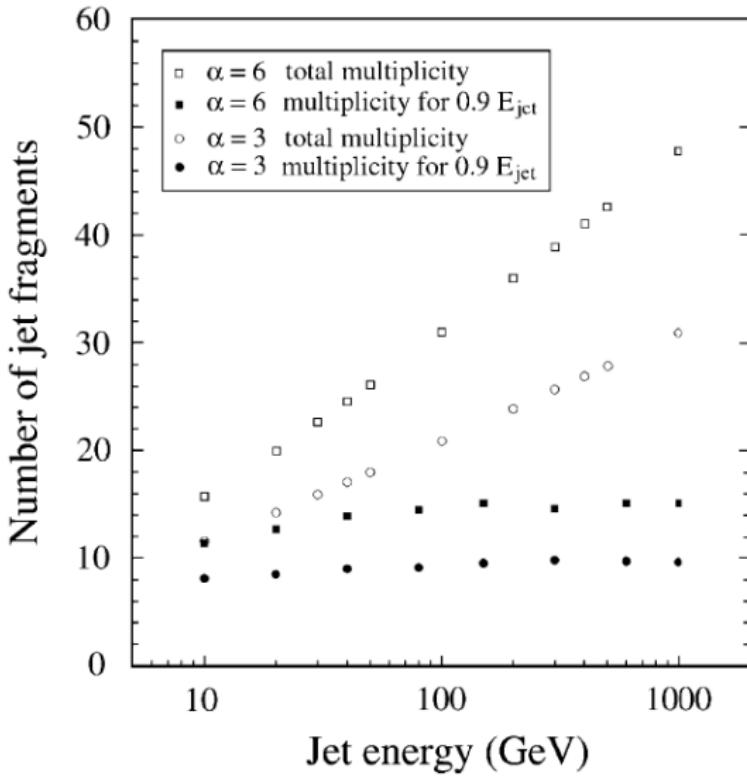
Backup

Jets statistics - Jet fragment energy



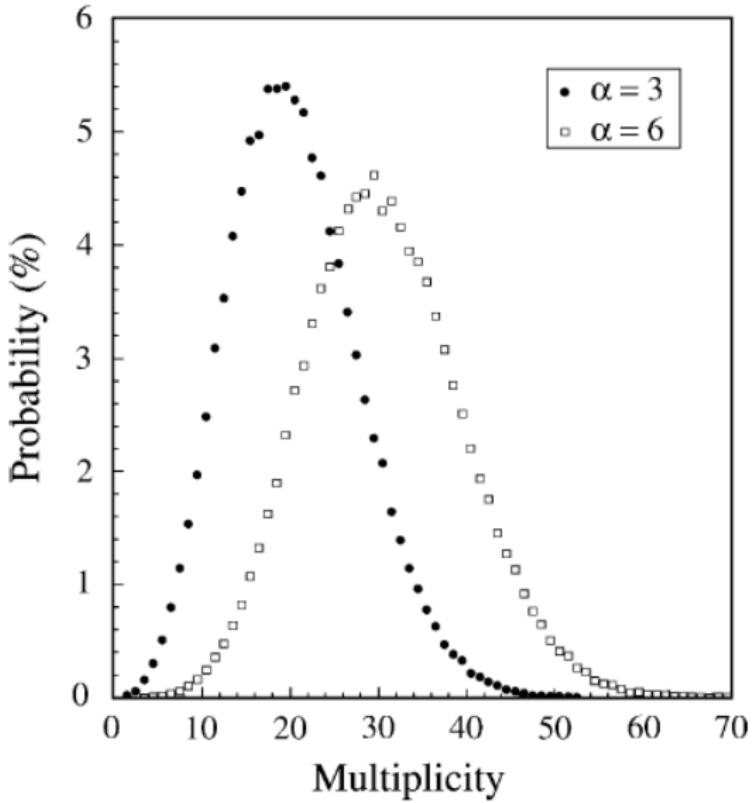
Backup

Jets statistics - Jet fragments



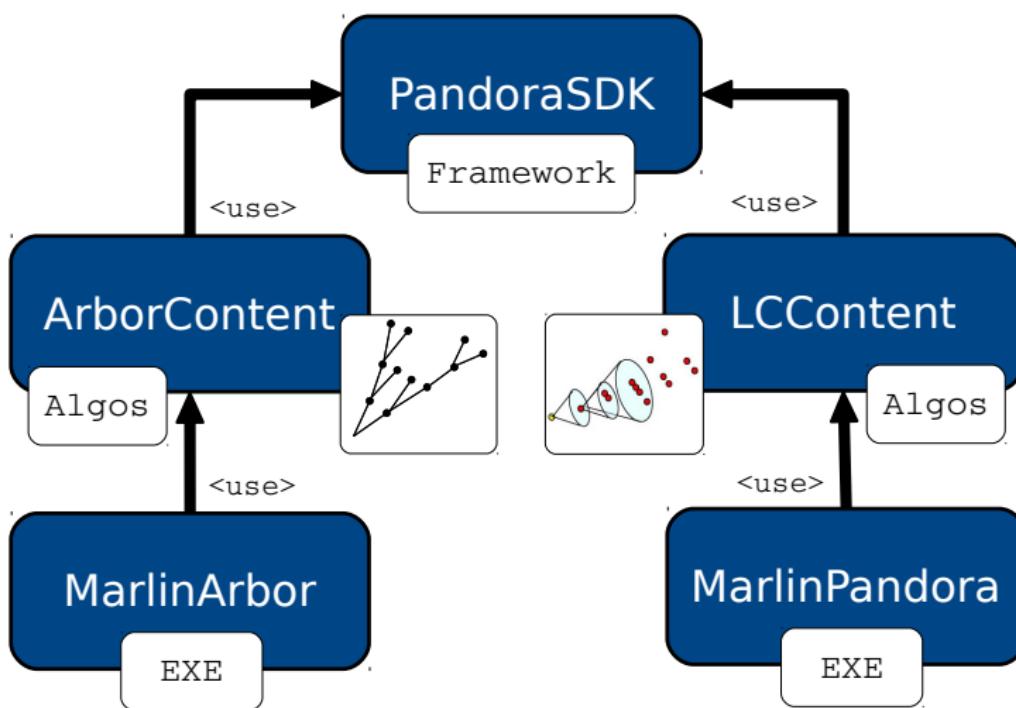
Backup

Jets statistics - Jet multiplicity



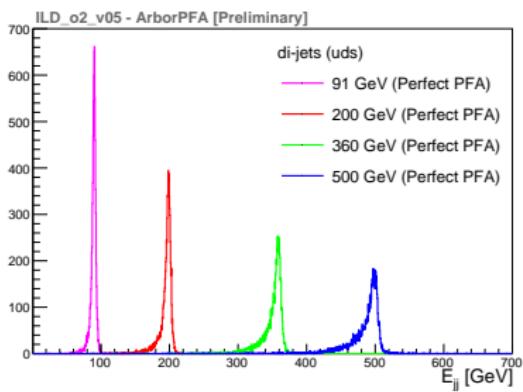
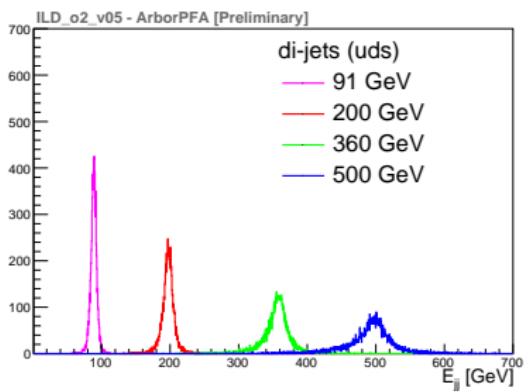
Backup

ArborPFA - La partie logicielle



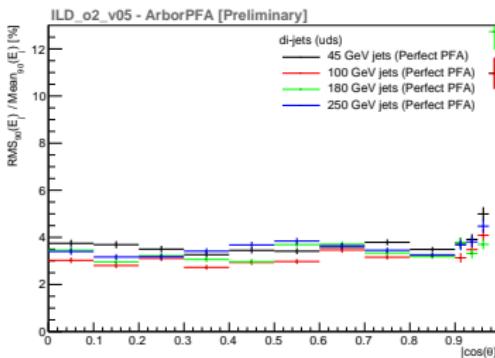
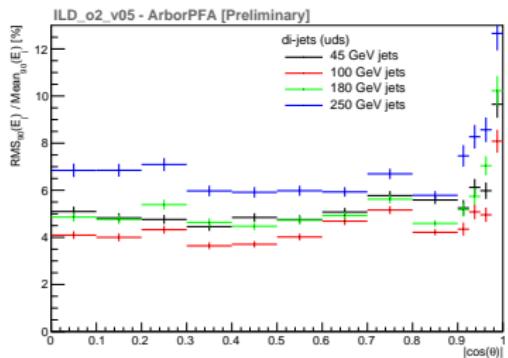
Backup

ArborPFA ILD - Les performances physiques



Backup

ArborPFA ILD - Les performances physiques



Backup

DQM4HEP

Les performances mémoires

Processus	Mémoire virtuelle (KB)	Mémoire résiduelle (KB)	% Mémoire	% CPU
Slow control	619600	256194	3.23	19.75
Analyse ECal	<u>410477</u>	<u>89444</u>	<u>1.13</u>	7.35
Analyse données brutes	580559	221993	2.8	32.4
<i>Event display</i>	545670	237811	3	50.4
Collecteur d'éléments de surveillance	607924	305080	3.72	<u>5.05</u>
Collecteur d'événements physiques 1	558420	270784	3.3	13.57
Collecteur d'événements physiques 2	518524	252332	3.08	7.57
Gestionnaire de run	-	-	-	(0.03)
Convertisseurs SHM	1061870	638328	7.79	7.76

Backup

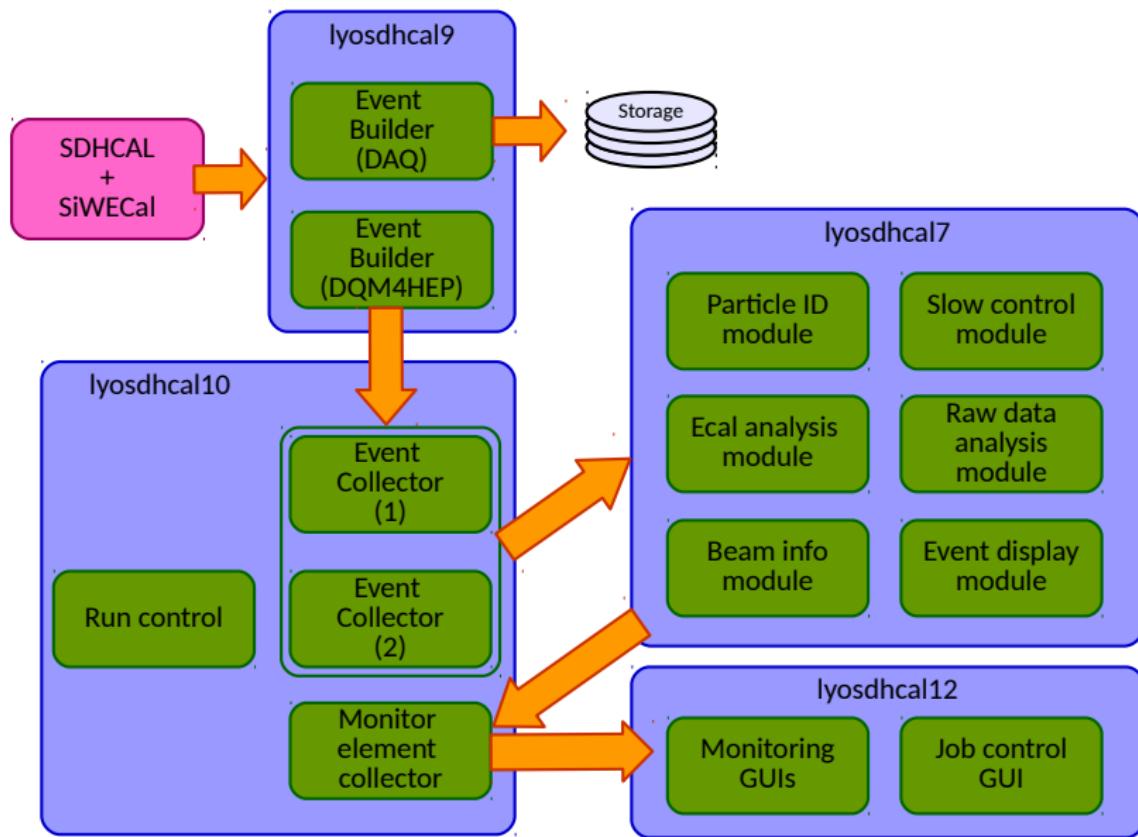
DQM4HEP

Les performances réseau

Serveur/processus sortant		Serveur/processus entrant	Bande passante (MB/s)
lyosdhcal9/Convertisseurs	→	lyosdhcal10/Collecteurs d'événements physique	12
lyosdhcal10/Collecteurs d'événements physique	→	lyosdhcal7/Modules d'analyse de données	41
lyosdhcal7/Modules d'analyse de données	→	lyosdhcal10/Collecteur d'éléments de surveillance	12

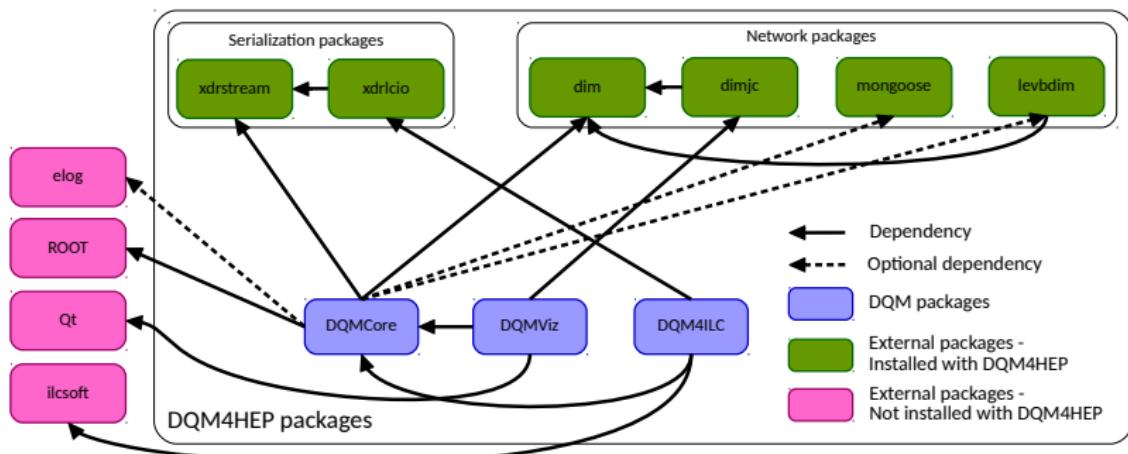
Backup

DQM4HEP - Déploiement SiWEcal/SDHCal



Backup

DQM4HEP - les paquets



Backup

DQM4HEP - les perspectives

DQM4HEP

- Remplacement de ROOT pour les histogrammes
 - Amélioration des performances mémoires
 - Interface graphique Qt pure, plus adaptée au contexte
 - Implémentation d'une conversion DQM4HEP ↔ ROOT
- *Refactoring* de la couche réseau
 - Meilleure maintenance sur le long terme
- Extension de la configuration du logiciel
 - Solution plus centralisée (DB) et plus "*user friendly*" (XML, json, yaml, ...)
- Interface web de visualisation
 - Pas d'installation du logiciel pour les opérateurs
- Application de suivi de déploiement du logiciel
 - Surveillance des performances de chacune des applications en direct
- Rédaction d'une documentation développeur/utilisateur/opérateur