

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

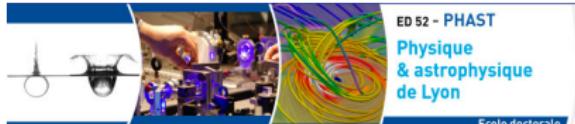
Outils de surveillance en ligne de qualité de données

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 ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

- Introduction aux algorithmes de suivi de particules
- Principe d'ArborPFA
- Algorithmes et résultats

## 4 ArborPFA pour le détecteur ILD

- Les algorithmes
- Calibration en énergie dans l'ILD
- Les performances physiques

## 5 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 ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

- Introduction aux algorithmes de suivi de particules
- Principe d'ArborPFA
- Algorithmes et résultats

## 4 ArborPFA pour le détecteur ILD

- Les algorithmes
- Calibration en énergie dans l'ILD
- Les performances physiques

## 5 Conclusion et perspectives

## Contexte théorique et expérimental

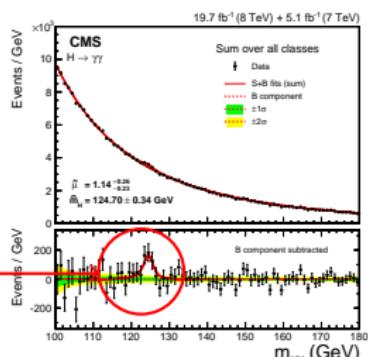
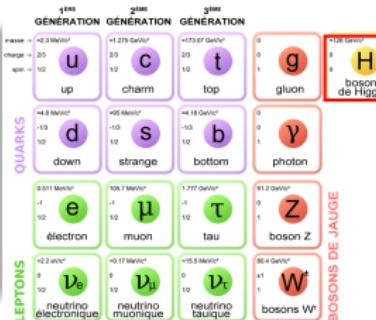
### Le modèle standard

## Le modèle standard

### Théorie décrivant 3 des 4 interactions fondamentales

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

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



The CMS collaboration

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

## Des familles de particules

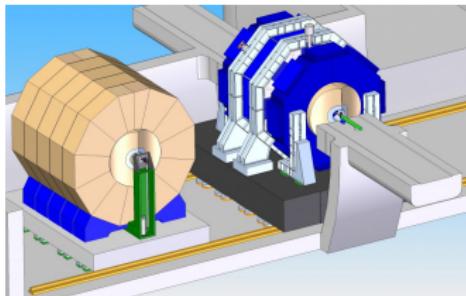
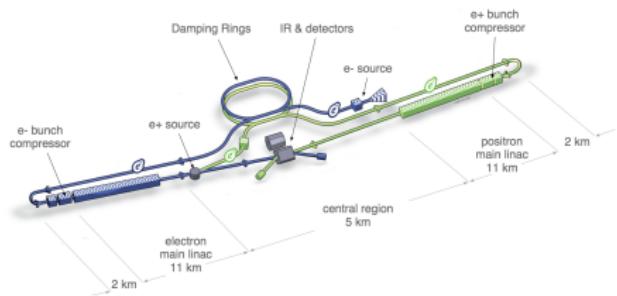
- 12 fermions
  - 4 bosons de jauge
  - 1 boson de Higgs

## 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 :  $\sim 1 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Fréquence de collisions : 5 Hz
- Nb de particules par croisement :  $2 \cdot 10^{10}$
- Faisceaux polarisés :  $e^-$  (80%) -  $e^+$  (30%)
- Deux détecteurs au points de collision : ILD et SiD

## - Japanese Mountainous Sites -



*ILC Technical Design Report,  
Vol.1 Executive Summary*

arXiv:1306.6327

# Contexte théorique et expérimental

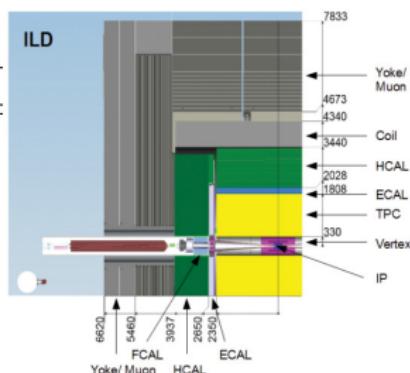
Le programme physique

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	$e^+ e^- \rightarrow f\bar{f}$ $e^+ e^- \rightarrow t\bar{t}h$ $e^+ e^- \rightarrow Zhh$ $e^+ e^- \rightarrow \tilde{\chi}\tilde{\chi}$ $e^+ e^- \rightarrow AH, H^+H^-$	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

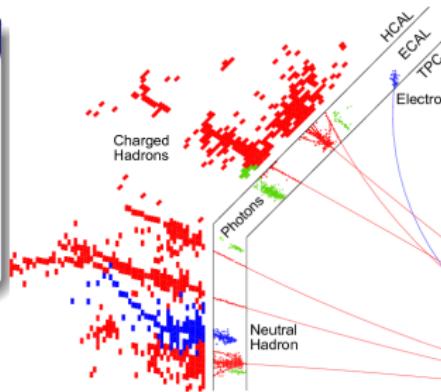
CONTENTS

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



## Des calorimètres pour le suivi de particules

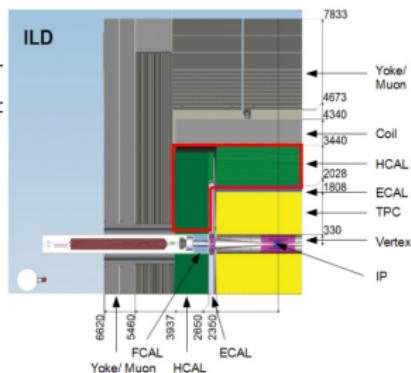
- ECAL (résolution  $\simeq 12\%/\sqrt{E}$ ) :
    - SiWECal :  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$
    - ScWECal :  $5\text{ mm} \times 45\text{ mm}$  + SSA
  - HCAL (résolution  $\simeq 60\%/\sqrt{E}$ ) :
    - AHCAL :  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$
    - SDHCAL :  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$



# Contexte théorique et expérimental

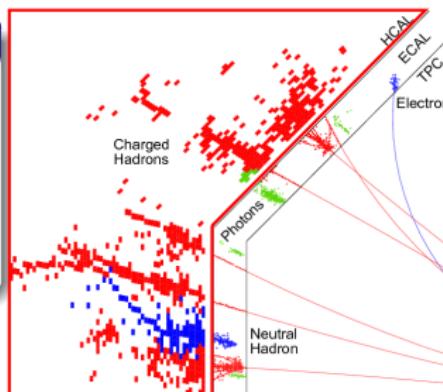
Le détecteur ILD

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



## Des calorimètres pour le suivi de particules

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



ILC Technical Design Report, Vol.4 Detectors

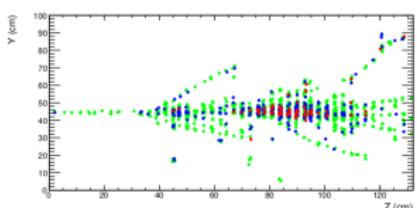
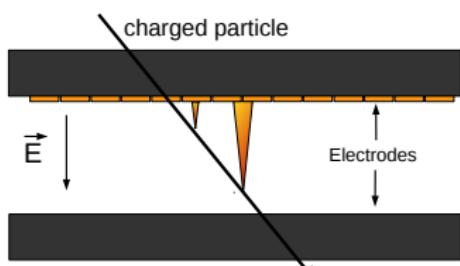
arXiv:1306.6329

# Contexte théorique et expérimental

Le calorimètre hadronique semi-digital

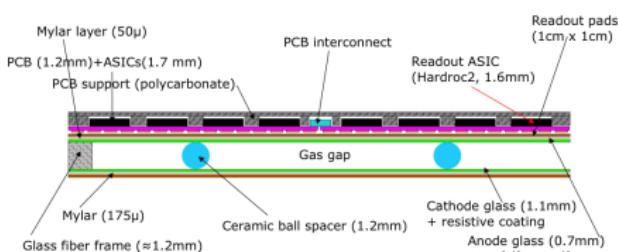
## Semi-Digital Hadron Calorimeter

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



## Glass Resistive Plate Chamber

- Mélange gazeux :  $C_2H_2F_4 / CO_2 / SF_6$
- Résitivité  $\rho = 10^{13} \Omega.cm$
- Segmentation :
  - Transverse : 1 cm x 1 cm
  - Longitudinale : 2.8 cm (abs. + actif)
- Tension dans les chambres  $\sim 6.9 \text{ kV}$
- Lecture semi-digitale à 3 seuils (1, 2, 3)

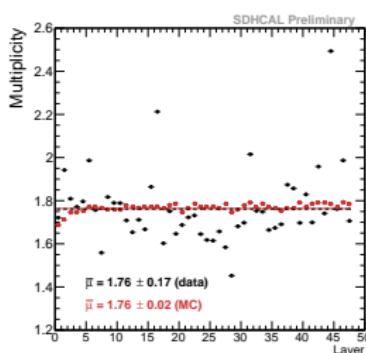
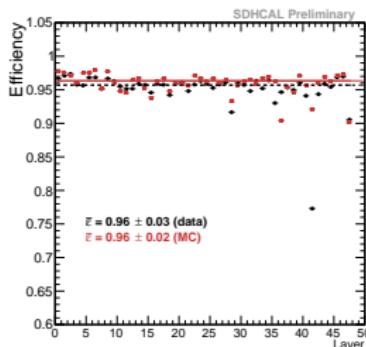
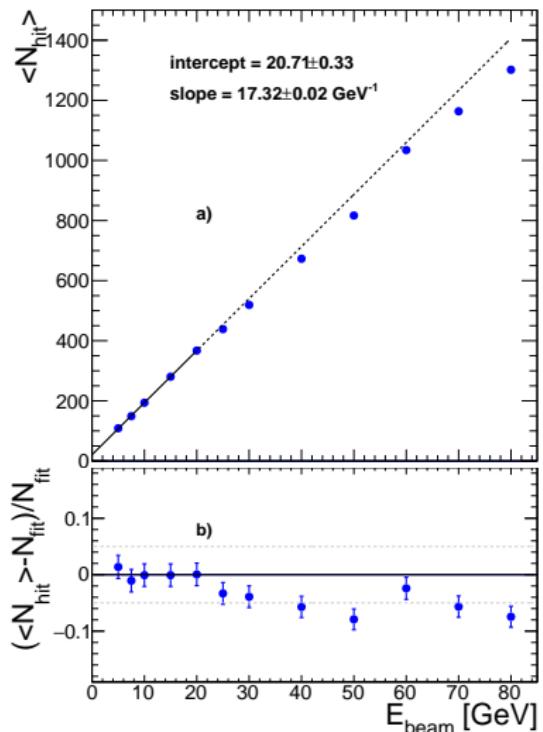


The Calice Collaboration

JINST 11 P04001

# 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 !

## Formule linéaire

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

avec  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  trois constantes.

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

## Formule quadratique

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

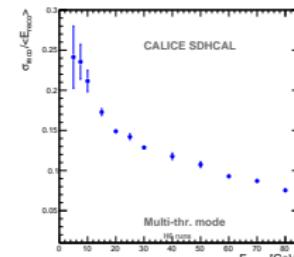
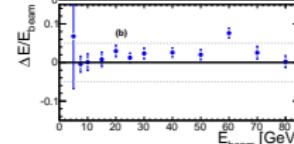
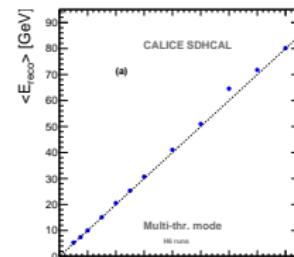
avec :

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

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

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

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

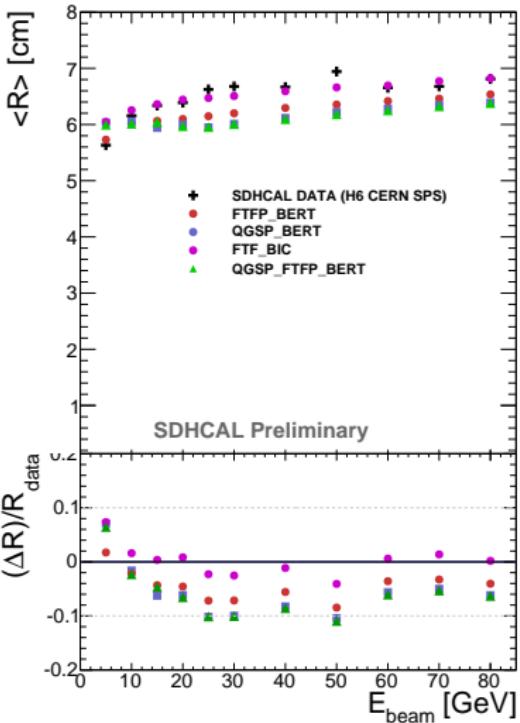
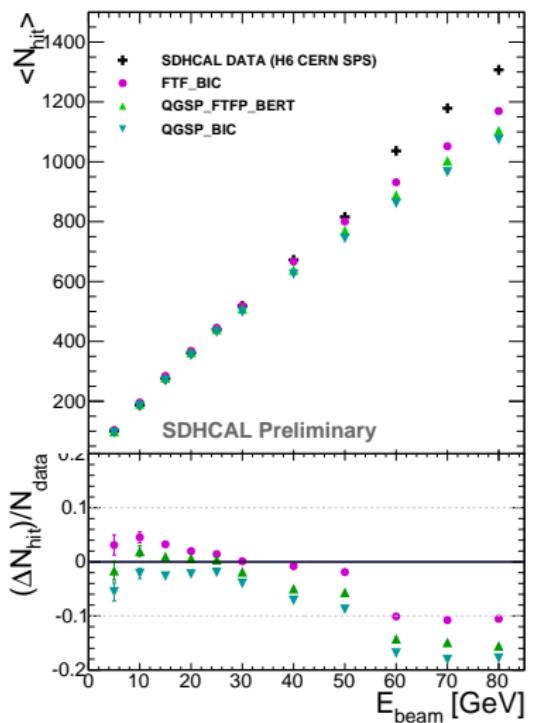


The Calice Collaboration

JINST **11** P04001

# Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- quelques désaccords ...



# 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 ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

- Introduction aux algorithmes de suivi de particules
- Principe d'ArborPFA
- Algorithmes et résultats

## 4 ArborPFA pour le détecteur ILD

- Les algorithmes
- Calibration en énergie dans l'ILD
- Les performances physiques

## 5 Conclusion et perspectives

# Logiciel de surveillance de données

## Introduction

### Les systèmes de DQM

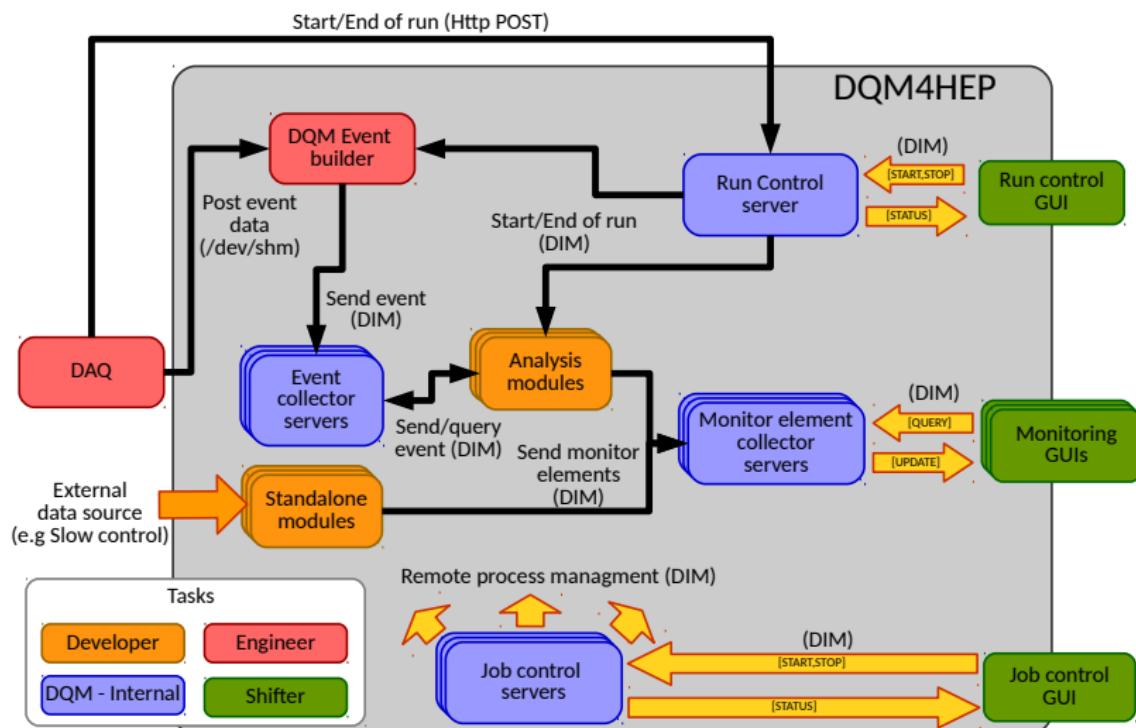
- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies (i.e CMSSW ou AMORE)
- Évalue la **qualité** des données et **alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection
- Principe général :
  - ① collecte et distribution des données
  - ② analyse des données
  - ③ collecte et distribution des histogrammes
  - ④ visualisation des histogrammes
- Principale différence : **contenu/format des données**

### Nouveau logiciel : DQM4HEP

- Généricité : **Système de plug-in + abstraction des événements (modèle/format)**
- Analyses de données dédiées au DQM
- Interface graphique pour les opérateurs :
  - ① Gestionnaire graphique des runs
  - ② Gestionnaire graphique de processus à distance
  - ③ Interface graphique de visualisation d'histogrammes

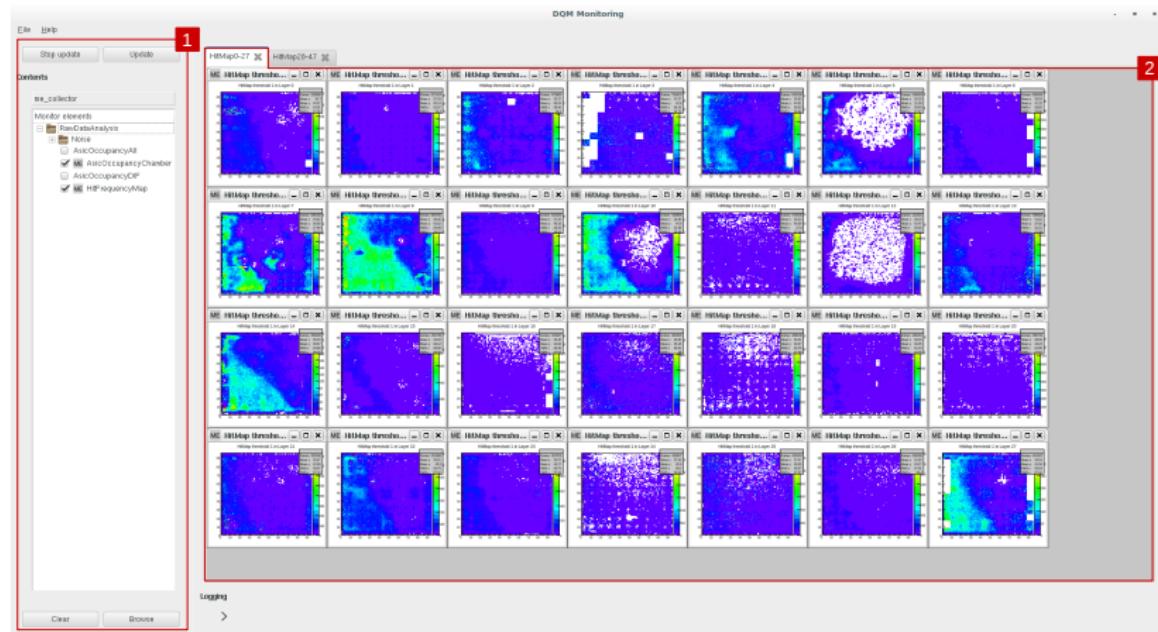
# Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- architecture logicielle



# Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)



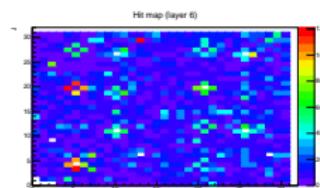
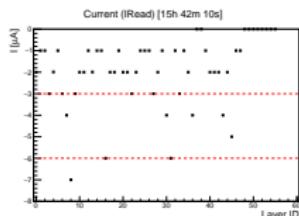
- Client graphique multi-collecteurs : requête, filtrage, sélection d'histogrammes
- Affichage d'histogrammes multi-canvas
- Import/export des histogrammes ⇒ préparation des tests sur faisceau



# Logiciel de surveillance de données

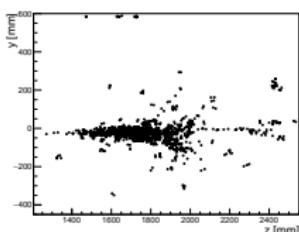
Surveillance de la prise de données du SDHCAL

## Test sur faisceau combiné CALICE SiWEcal-SDHCAL au SPS (CERN) en Juin 2016

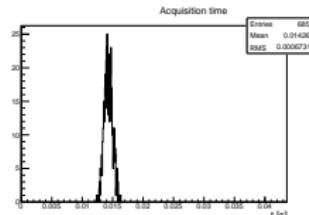


Données environnementales : T, P, HV, LV, I

Analyse des données du SiWEcal



Event display



Analyse des données brutes

## Bilan du test sur faisceau

- Performances mémoires et réseau → perfectible
- Bonne prise en main du logiciel par les opérateurs

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

## 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 ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

- Introduction aux algorithmes de suivi de particules
- Principe d'ArborPFA
- Algorithmes et résultats

## 4 ArborPFA pour le détecteur ILD

- Les algorithmes
- Calibration en énergie dans l'ILD
- Les performances physiques

## 5 Conclusion et perspectives

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Introduction aux algorithmes de suivi de particules

## 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.

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Introduction aux algorithmes de suivi de particules

## 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 !**

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Introduction aux algorithmes de suivi de particules

## 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 !**

### Sous-détecteurs appropriés

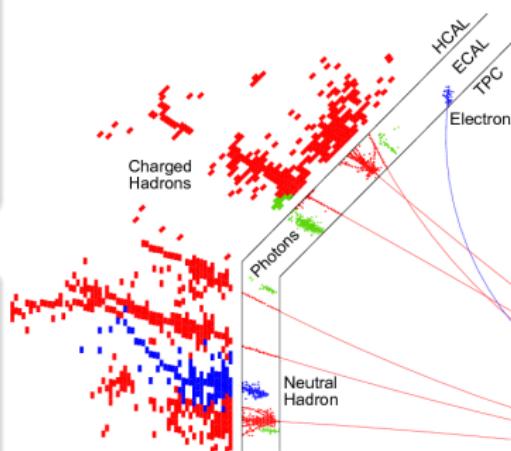
- $e^\pm$  : **Tracker + Ecal**
- $h^\pm$  : **Tracker + Ecal + Hcal**
- $\mu^\pm$  : **Tracker + Ecal + Hcal + chambres à muons**
- $\gamma$  : **Ecal**
- $h^0$  : **Ecal + Hcal**

### 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

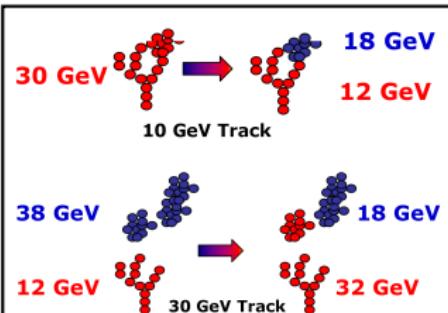
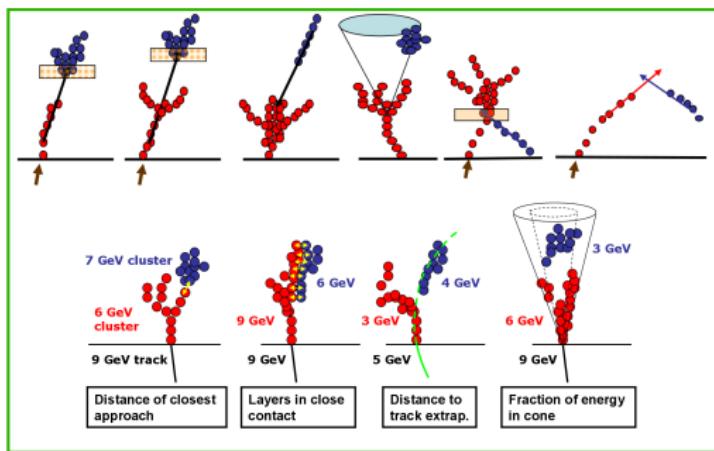
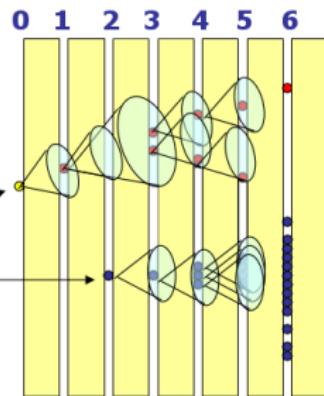


ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Introduction aux algorithmes de suivi de particules- PandoraPFA

PandoraPFA

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

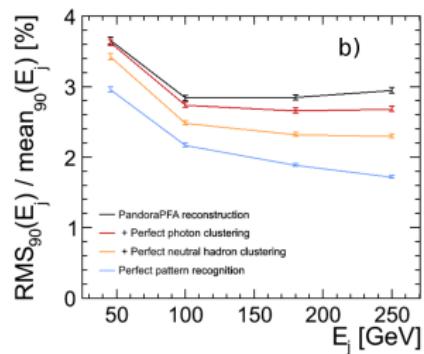
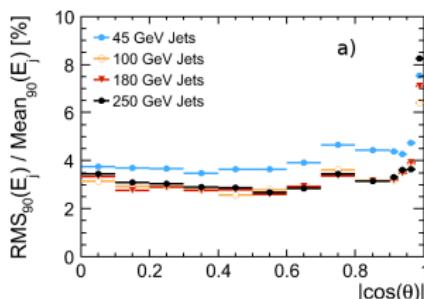


ArborPEA pour le prototype du SDHCAI

Introduction aux algorithmes de suivi de particules- les performances de PandoraPEA

## Extraction des performances

- $e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}$
  - Énergies : 91, 200, 360 et 500 GeV



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009

ArborPEA pour le prototype du SDHCAI

## Introduction aux algorithmes de suivi de particules- les performances de PandoraPEA

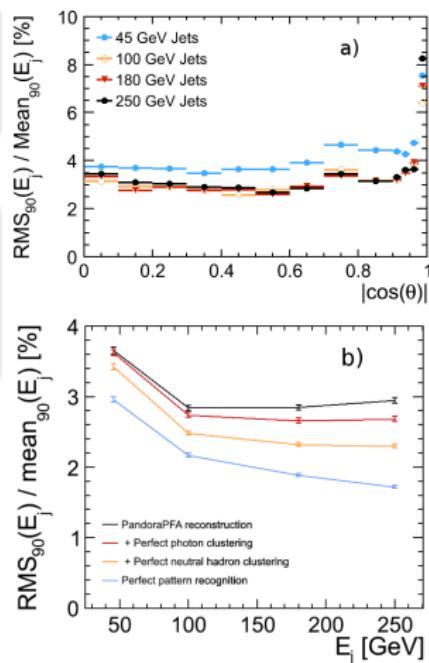
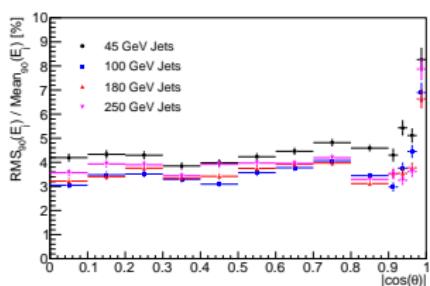
## Extraction des performances

- $e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}$
  - Énergies : 91, 200, 360 et 500 GeV

Les limites de PandoraPEA

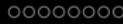
- Conçu pour un Hcal analogique
  - Optimisé pour une taille de cellule  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$
  - Calcul d'énergie analogique dans les algorithmes

PandoraPFA  
avec  
le SDHCAL



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Principe d'ArborPFA

## Principe

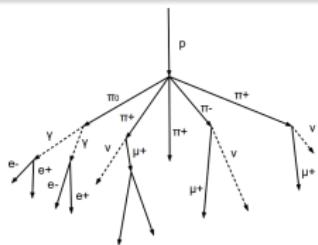
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Principe d'ArborPFA

## Principe

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



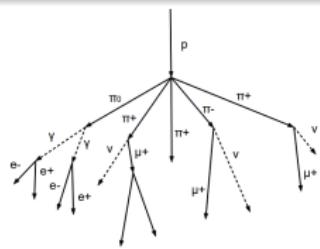
Gerbe hadronique

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

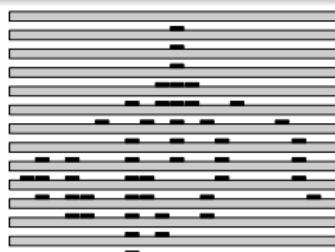
Principe d'ArborPFA

## Principe

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



Gerbe hadronique



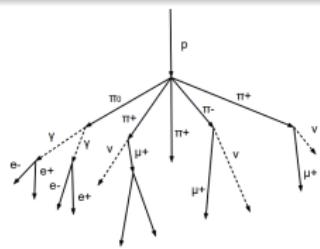
dans un calorimètre

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

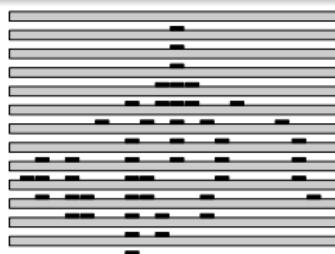
Principe d'ArborPFA

## Principe

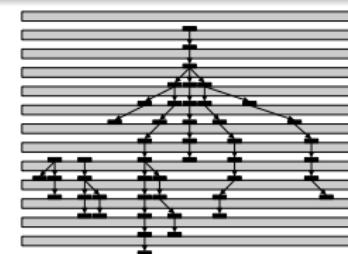
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



avec ArborPFA

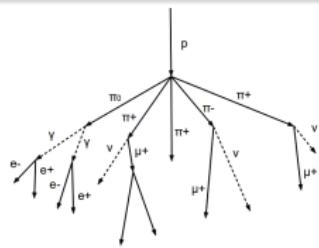
H. Videau (ALEPH), M. Ruan (LCC)

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

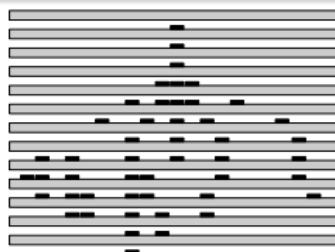
Principe d'ArborPFA

## Principe

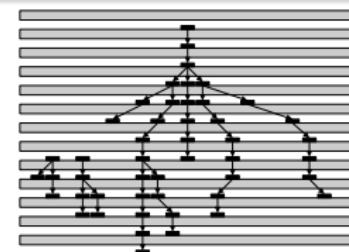
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



avec ArborPFA

H. Videau (ALEPH), M. Ruan (LCC)

## 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.

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

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

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

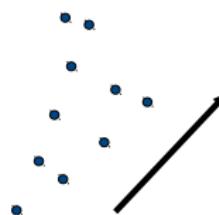
## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire un hadron isolé
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un hadron 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



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

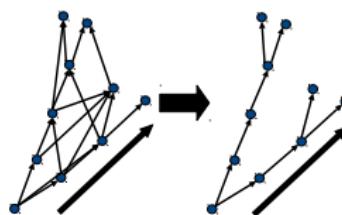
## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire un hadron isolé
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un hadron 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



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

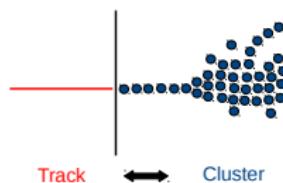
## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire un hadron isolé
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un hadron 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



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

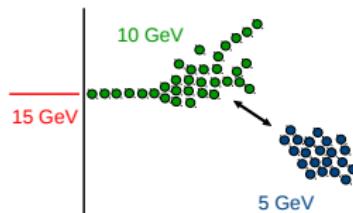
## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire un hadron isolé
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un hadron 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



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

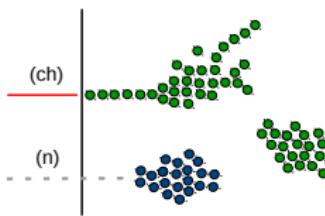
## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

- Test du principe de l'algorithme
- Capacité à reconstruire un hadron isolé
- Capacité à séparer un hadron neutre d'un hadron 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**



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

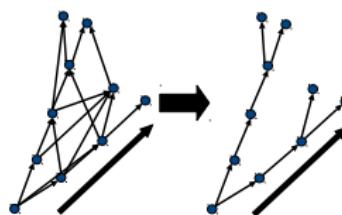
## Algorithmes et résultats

### ArborPFA pour le SDHCAL

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

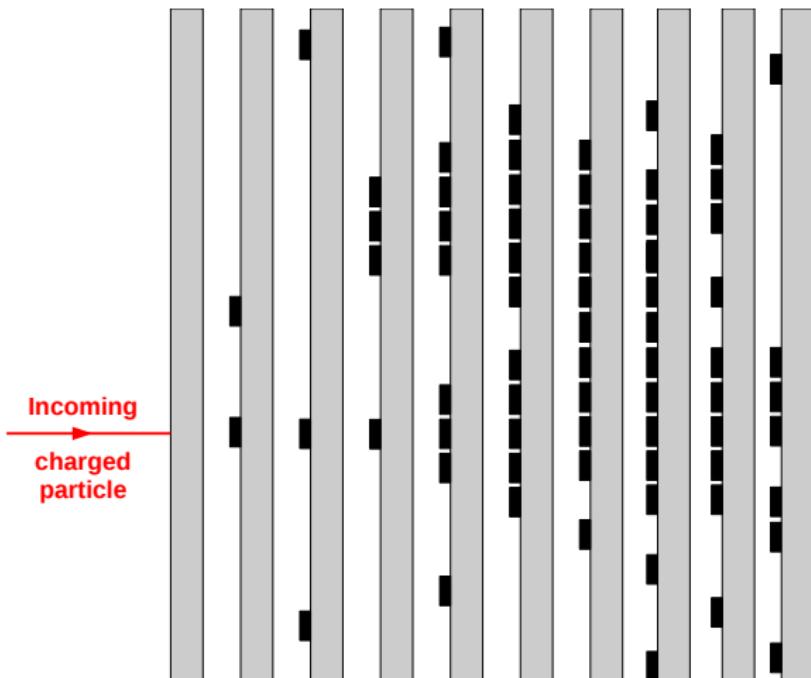
### Implémentation

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



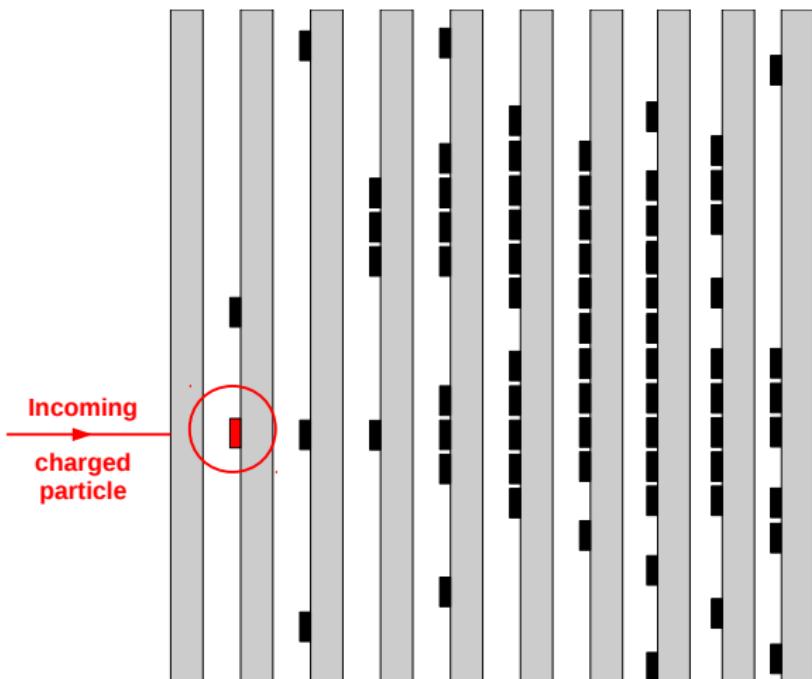
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



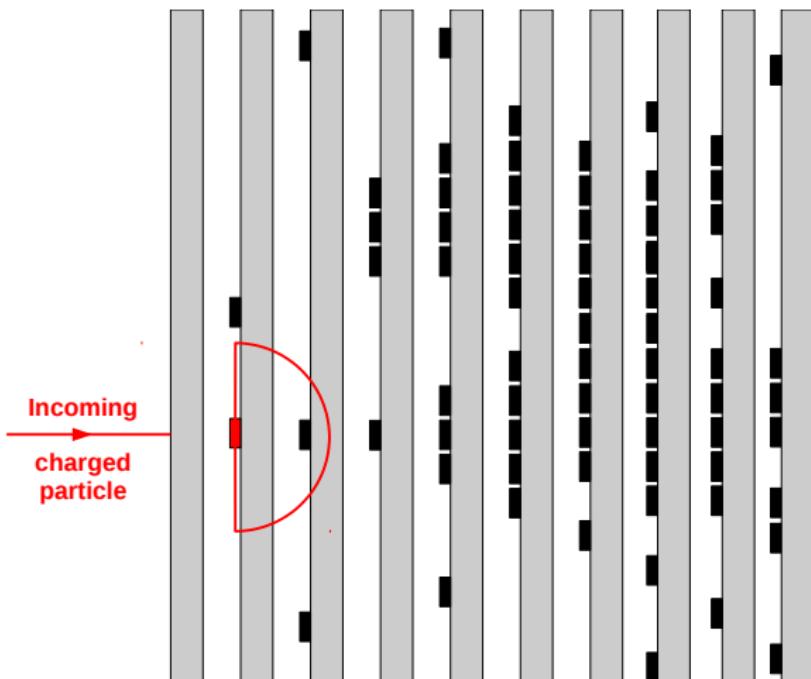
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



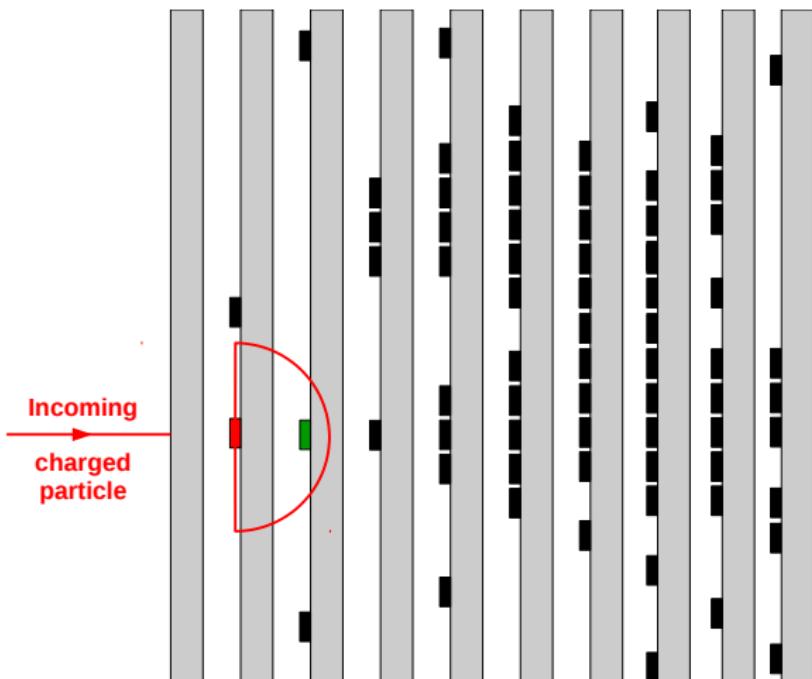
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



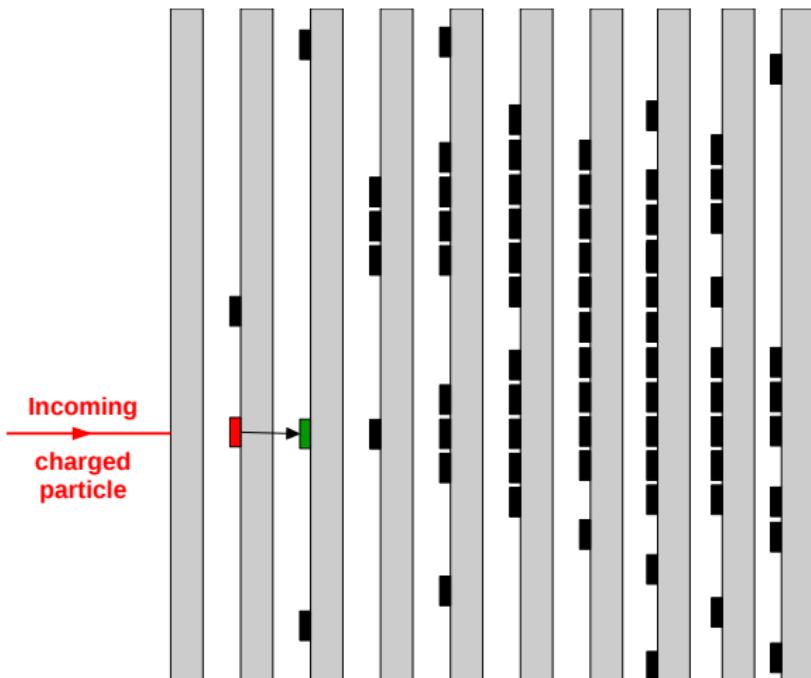
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



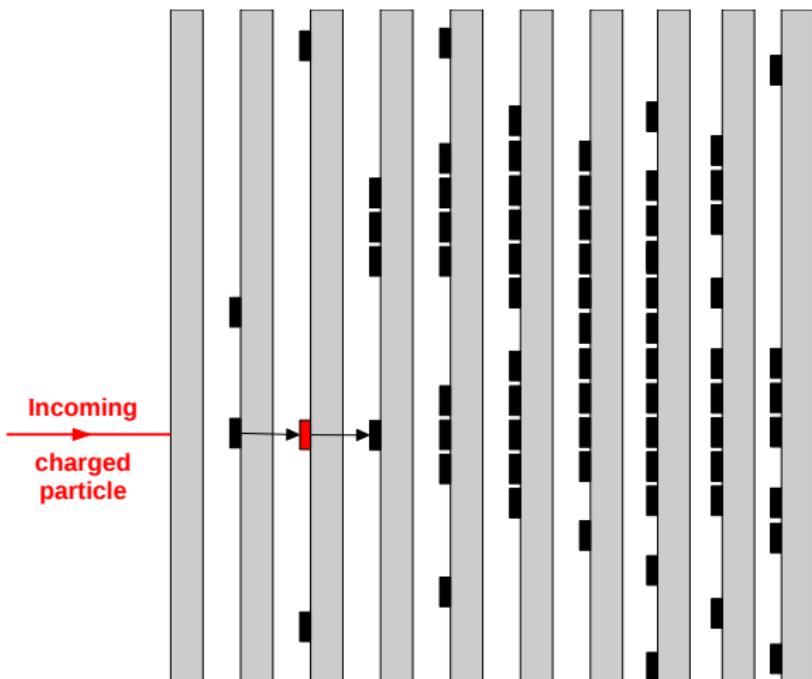
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



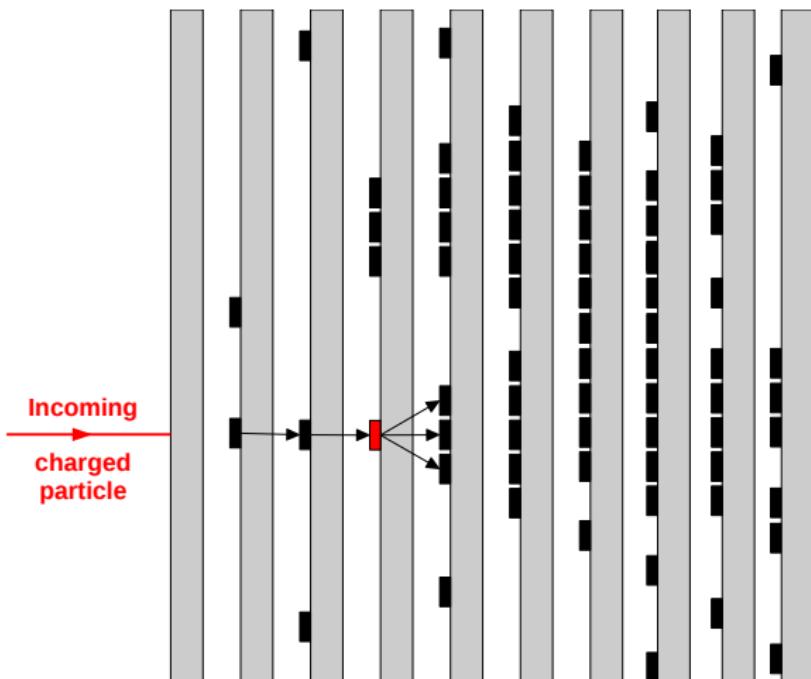
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



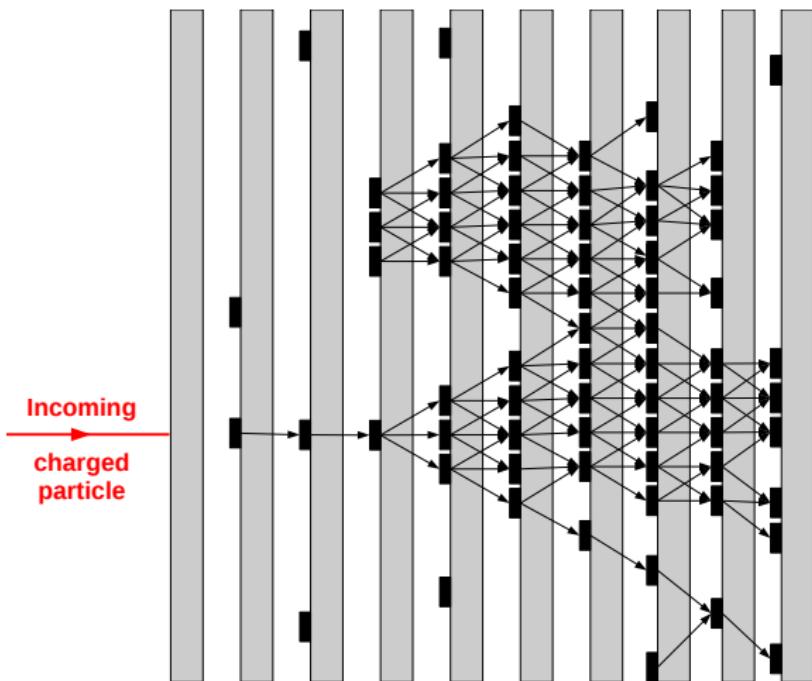
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



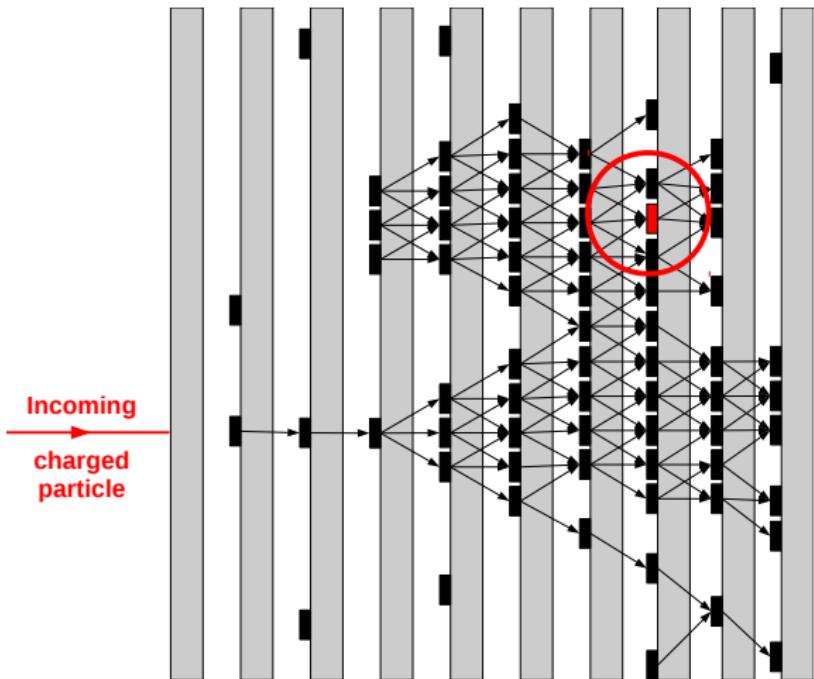
# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions



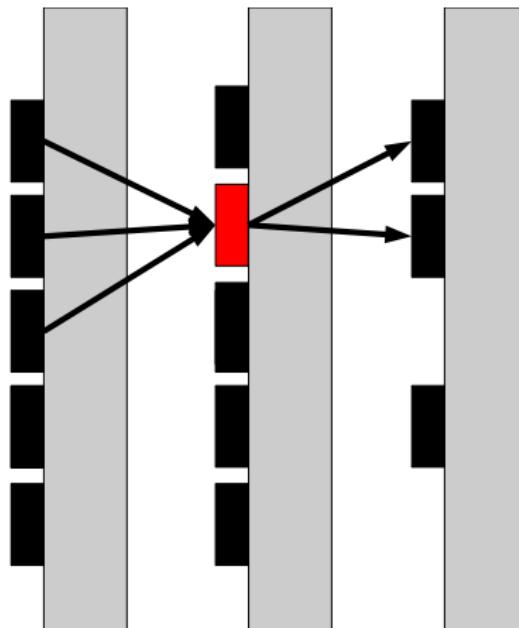
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

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

→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

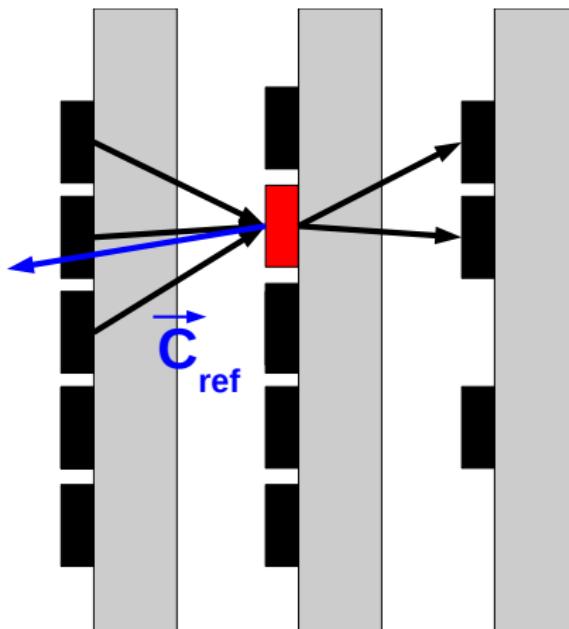
Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

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

$$+ w_{fwd} \cdot \sum_f \vec{c}_f$$

→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

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

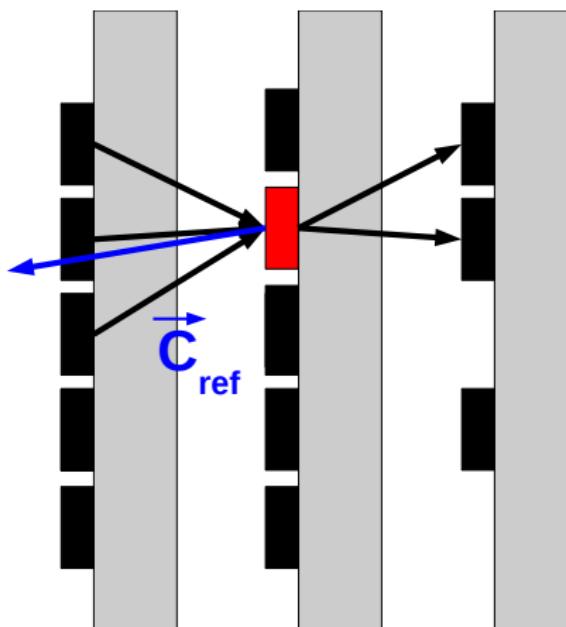
→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière

Paramètre d'ordre :

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

→ Alignement entre un connecteur et le vecteur de référence

$$(p_\theta = 1 \text{ et } p_\Delta = 5)$$



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

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

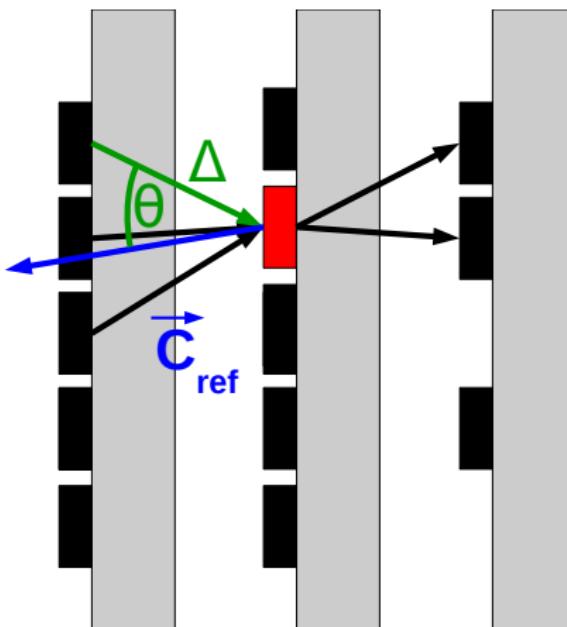
→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière

Paramètre d'ordre :

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

→ Alignement entre un connecteur et le vecteur de référence

$(p_0 = 1 \text{ et } p_\Delta = 5)$



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

## Vecteur de référence :

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

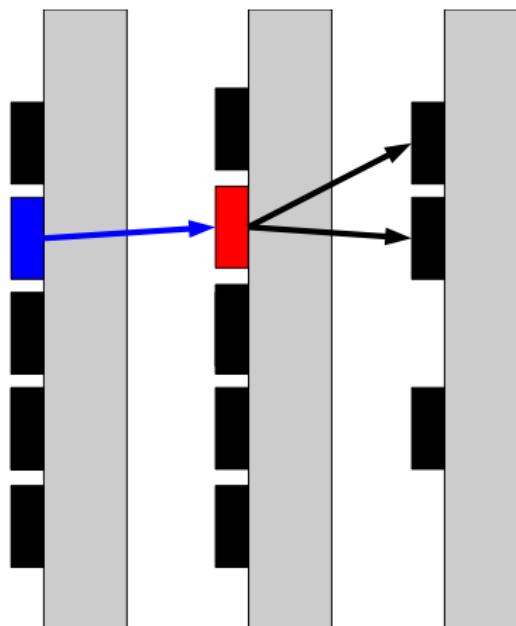
→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière

## Paramètre d'ordre :

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

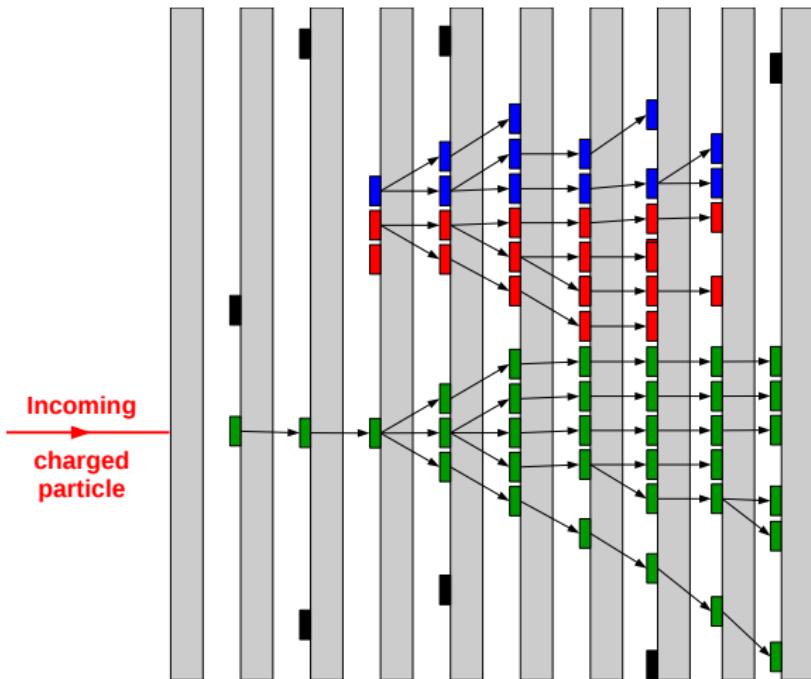
→ Alignement entre un connecteur et le vecteur de référence

$$(p_\theta = 1 \text{ et } p_\Delta = 5)$$



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Hadrons isolés

## Définition

Efficacité de clustering  $\varepsilon_s$  :

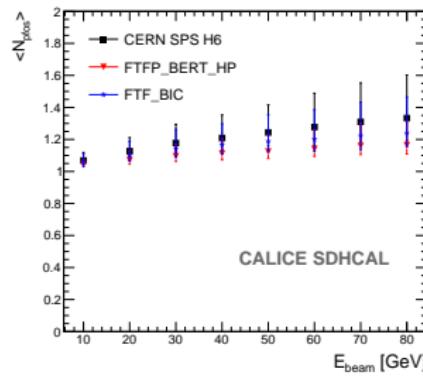
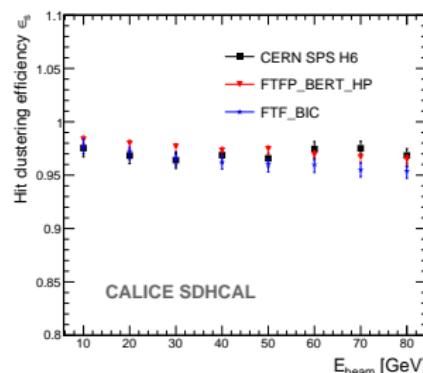
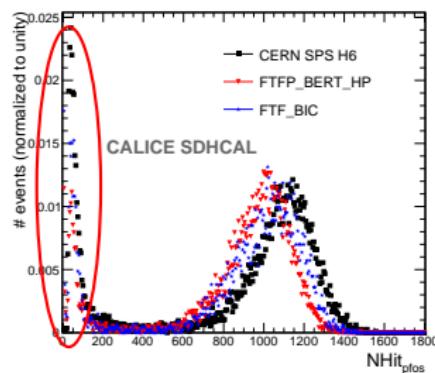
$$\varepsilon_s = N_{hit, ch} / N_{hit, tot}$$

Efficacité :

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

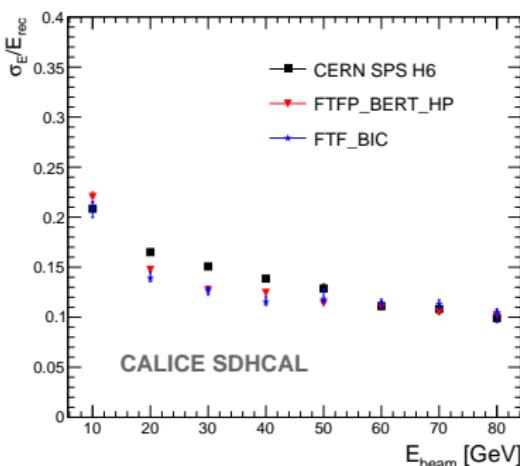
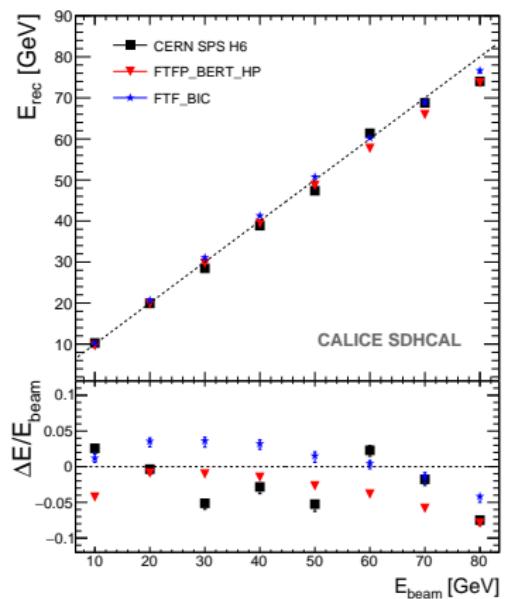
Nombre de PFOs :

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



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Hadrons isolés

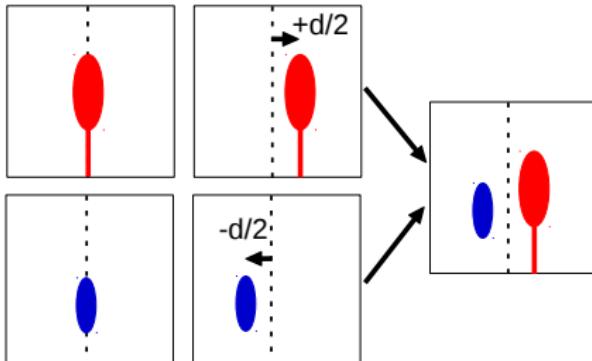


# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- 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 hadroniques

- Détermination des points d'entrée 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
- Hits superposés : le seuil le plus haut est assigné au nouveau hit superposé
- Les hits sont étiquetés suivant leur appartenance : hadron 1, 2 ou 3 (hits superposés).

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Séparation de deux hadrons

## Définition

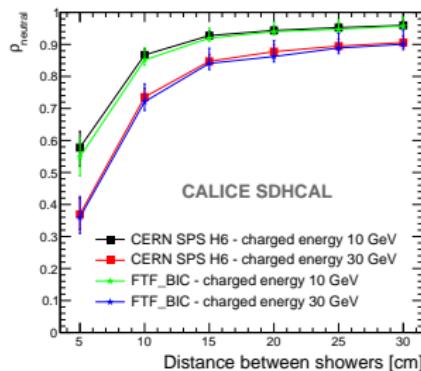
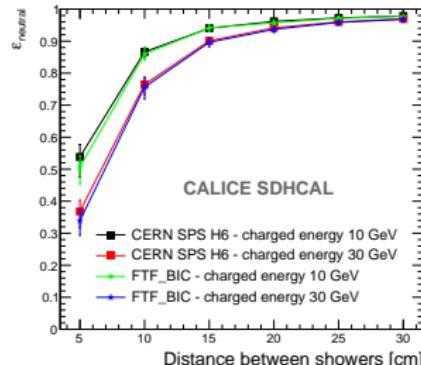
Efficacité  $\epsilon_n$  du hadron neutre :

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

Pureté  $\rho_n$  du hadron neutre :

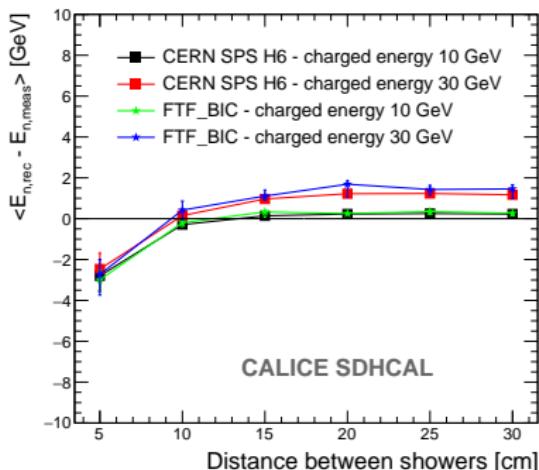
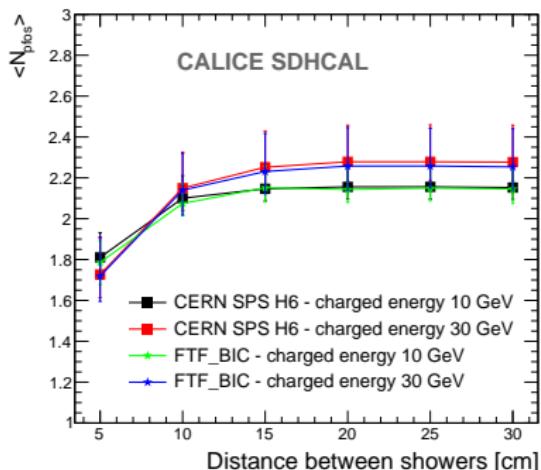
$$\rho_n = N_{good}/N_{rec,tot}$$

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



# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Séparation de deux hadrons



$N_{\text{PFO}}$  :

Distance de séparation  $\propto N_{\text{PFO}}$   $\propto$

→ Fusion du hadron neutre dans le hadron chargé plus fréquent

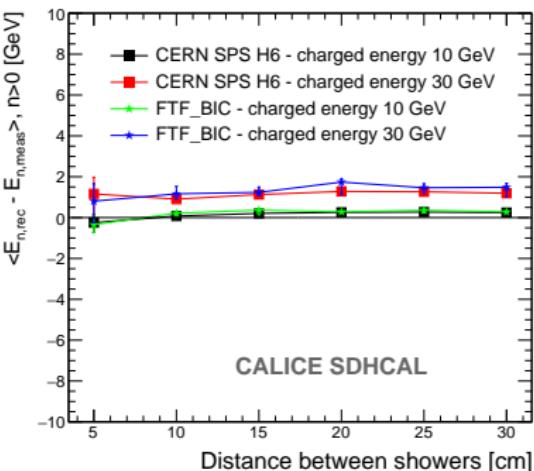
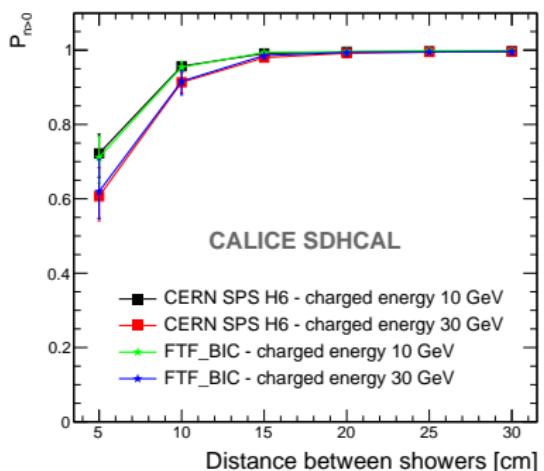
Énergie reconstruite :

Estimateur d'énergie quadratique

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

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- 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

# ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Erreurs systématiques

## Erreurs systématiques

- Variation des paramètres de l'algorithme
- 8 paramètres
- $\sigma_{tot} = \sigma_{stat} \oplus \sigma_{sys}$

Paramètres	Valeur nominale	Variation inférieure	Variation supérieure
Distance de connexion 1	45 mm	40 mm	50 mm
Distance de connexion 2	65 mm	60 mm	70 mm
Angle de connexion	0.7 rad	0.6 rad	0.8 rad
Poids des connexions vers l'arrière 1	2	1	3
Poids des connexions vers l'avant 1	3	2	4
Poids des connexions vers l'arrière 2	1	0.01	2
Poids des connexions vers l'avant 2	5	4	6
Coupure sur la taille des fragments	20	15	25

# ArborPFA pour le détecteur ILD

## 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 ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

- Introduction aux algorithmes de suivi de particules
- Principe d'ArborPFA
- Algorithmes et résultats

## 4 ArborPFA pour le détecteur ILD

- Les algorithmes
- Calibration en énergie dans l'ILD
- Les performances physiques

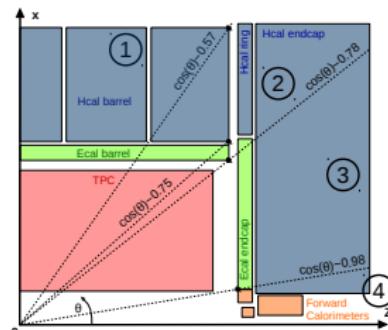
## 5 Conclusion et perspectives

## ArborPFA pour le détecteur ILD

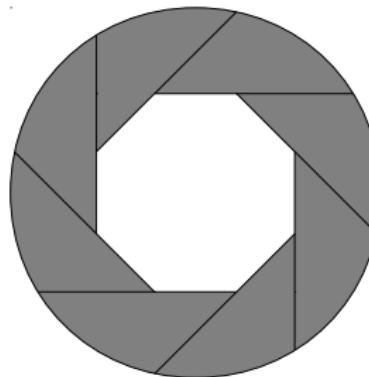
## Algorithmes et résultats

ArborPFA pour le détecteur ILD

- Utilisation de tous les détecteurs :
    - Connexion/nettoyage dans le ECAL
    - Connexion ECAL-HCAL
    - Prise en compte du champ 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  $\theta$
  - 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



# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- Les algorithmes de reconstruction

## Implémentation pour le détecteur ILD

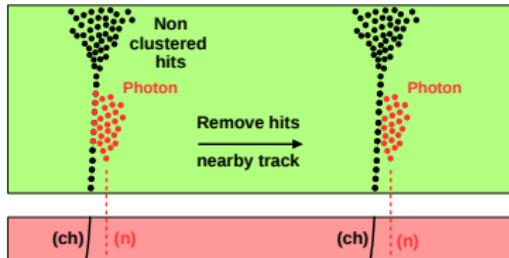
- Préparation de l'événement

# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- Les algorithmes de reconstruction

## Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
- Reconstruction des photons

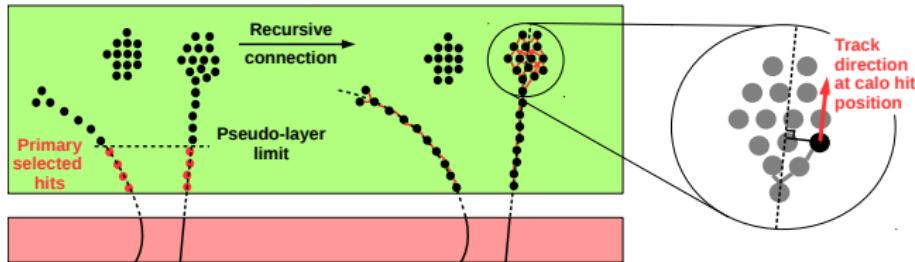


# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- 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

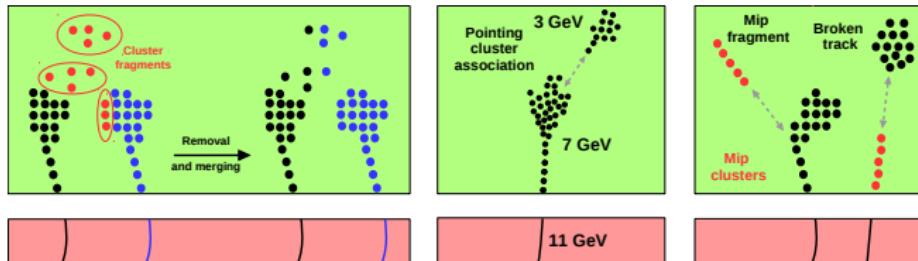


# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- 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

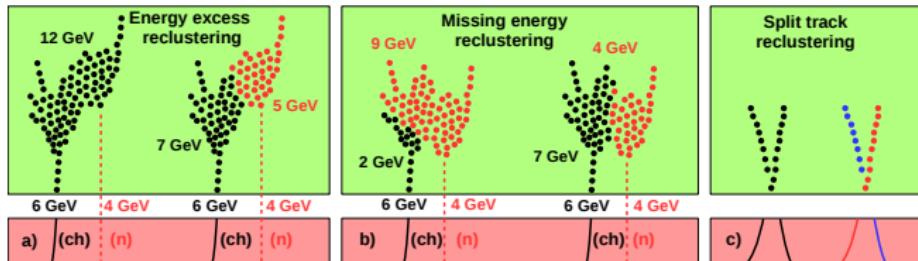


oooooooooooo ArborPFA pour le détecteur II D

### 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

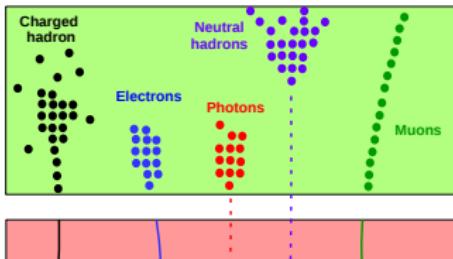


# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- 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



ArborPEA pour le détecteur IL D

#### Calibration en énergie dans l'IL D- Calibration et corrections en énergie

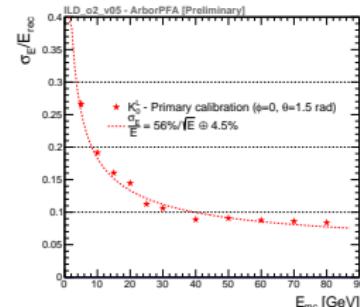
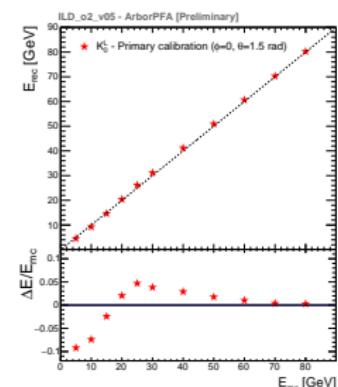
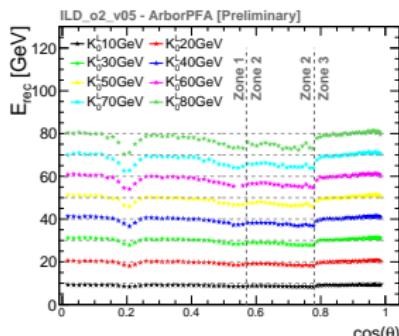
### Calibration initiale ( $\phi = 0$ , $\theta = 1.5 \text{ rad}$ )

- Kaons neutres  $K_0^L$ ,  $E = [5, 80]$  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 :

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



# ArborPFA pour le détecteur ILD

Calibration en énergie dans l'ILD- Calibration et corrections en énergie

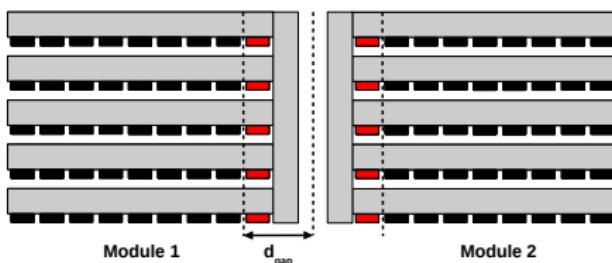
## Correction près des interstices

- 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  $E_{gap}$

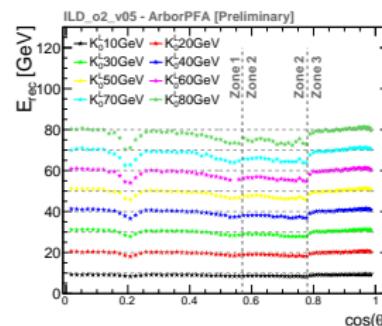
$$E_{rec,gap} = E_{rec} + \alpha_{gap} \cdot E_{gap}$$

avec  $\alpha_{gap} = 1.5254$

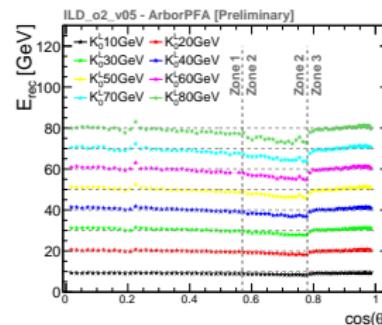
Module gap



## Avant correction



## Après correction

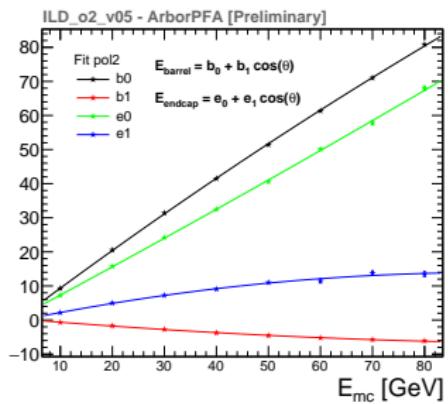


# ArborPFA pour le détecteur ILD

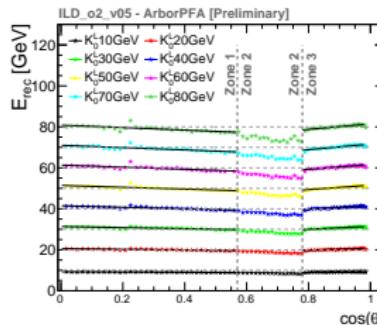
Calibration en énergie dans l'ILD- Calibration et corrections en énergie

## Correction en fonction de $\cos\theta$

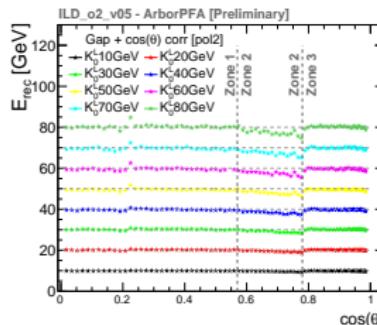
- Énergie manquante dans le tonneau et les bouchons
- Ajustement linéaire dans les régions 1 et 3  
→ 4 paramètres / point d'énergie  
→ Ajustement d'un polynôme d'ordre 2



## Avant correction



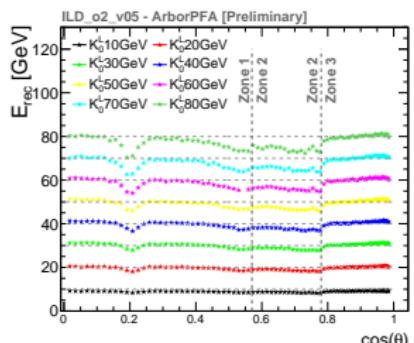
## Après correction



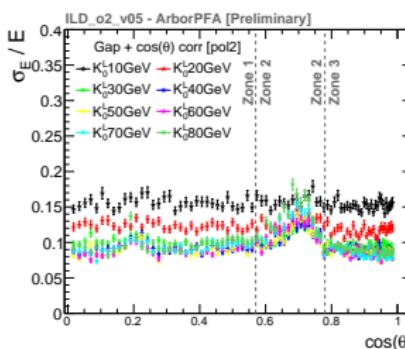
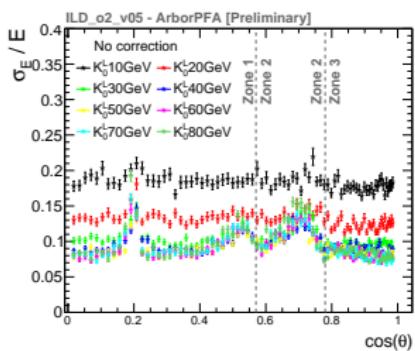
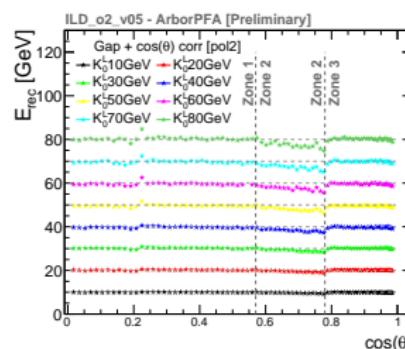
# ArborPFA pour le détecteur ILD

Calibration en énergie dans l'ILD- Calibration et corrections en énergie

Avant correction

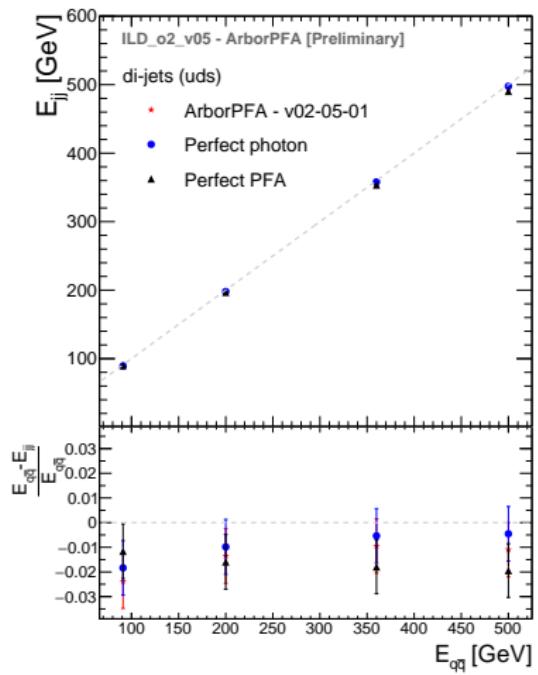


Après correction



# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les performances physiques - Les performances physiques

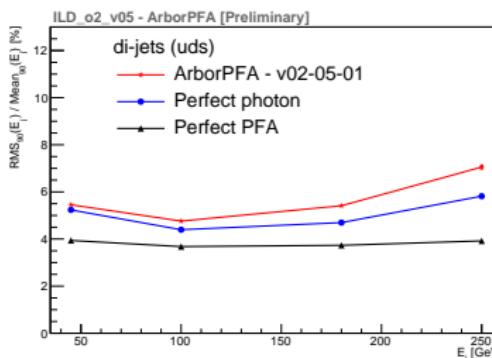


## Performances ArborPFA :

- $E_{tot}$  : déviation à la linéarité  $\sim 1 - 2\%$
- $E_{jet}$  : résolution relative (JER)  $\sim 5 - 7\%$

## Confusions :

- Perfect photon : JER  $\sim 4.5 - 6\%$
- Perfect PFA : JER  $\sim 4\%$



# ArborPFA pour le détecteur ILD

Les performances physiques- Les performances physiques

## Résolution en énergie des jets (JER) :

- Basse énergie → résolution du détecteur
- Haute énergie → confusion dans les jets

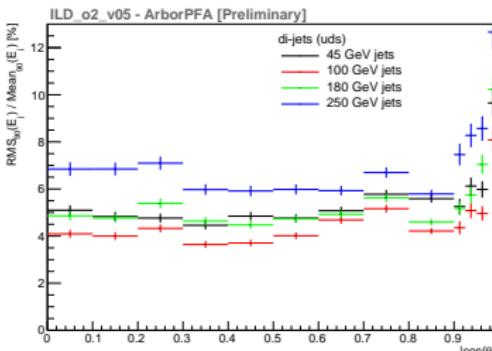
## Région intermédiaire ( $\cos(\theta) \in [0.58, 0.78]$ ) :

- Dégradation de la résolution
- Perfect PFA : pas de dégradation

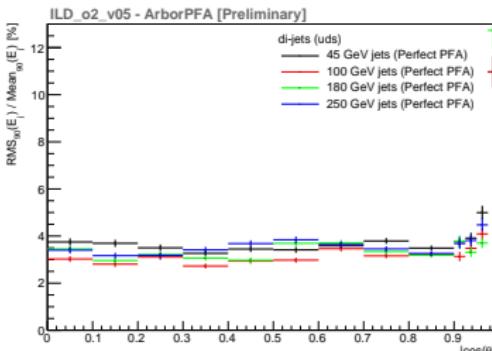
## Perfect PFA :

- Particules chargées (65%) :  
→  $E \simeq |\vec{p}|$  (TPC)
- Photons (25%) :  
→ Ecal + pas de correction en énergie
- Hadrons neutre (10%) :  
→ Ecal + Hcal + **correction en énergie**

## ArborPFA



## Perfect PFA



# 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 ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

- Introduction aux algorithmes de suivi de particules
- Principe d'ArborPFA
- Algorithmes et résultats

## 4 ArborPFA pour le détecteur ILD

- Les algorithmes
- Calibration en énergie dans l'ILD
- Les performances physiques

## 5 Conclusion et perspectives

# 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 ( $\epsilon_s > 96\%$  et  $\Delta E/E < 10\%$ )
  - Deux hadrons proches → bonnes performances pour  $d > 10\text{cm}$ .  
En deçà (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 développée pour le **détecteur ILD**
- Des **corrections en énergie** (hadrons isolés) ont été développées, mais ne s'avèrent pas encore suffisantes
- De nouveaux algorithmes ont été développés pour tenir compte de **tous les détecteurs** (ECAL, TPC) et pour traiter de **nouveaux problèmes de topologie**
- Les performances physiques ont été évaluées :
  - $E_{tot}$  : déviation à la linéarité  $\sim 1 - 2\%$
  - JER  $\simeq 5 - 7\%$

# Conclusion et perspectives

## Conclusion

### Surveillance de la qualité des données pour le SDHCAL

- Un logiciel générique, DQM4HEP, a été développé et l'architecture a été présentée
- 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* et *réseaux* 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*"

AIDA-2020-NOTE-2017-001

[cds.cern.ch/record/2241973](https://cds.cern.ch/record/2241973)

- Logiciel **utilisé par d'autres prototypes** CALICE : SiWEcal (LLR) et AHcal (DESY)

# 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)

### Pour aller plus loin :

- Ajout d'associations topologiques supplémentaires  
→ Support de la rétro-diffusion, etc ...
- Reconstruction des muons

# Conclusion et perspectives

## Perspectives

### DQM4HEP

- Remplacement de ROOT pour les histogrammes
  - Amélioration des performances mémoires et réseau
  - 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

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 ( $\times 1.5 - 2$ ) !

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

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

avec :

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

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

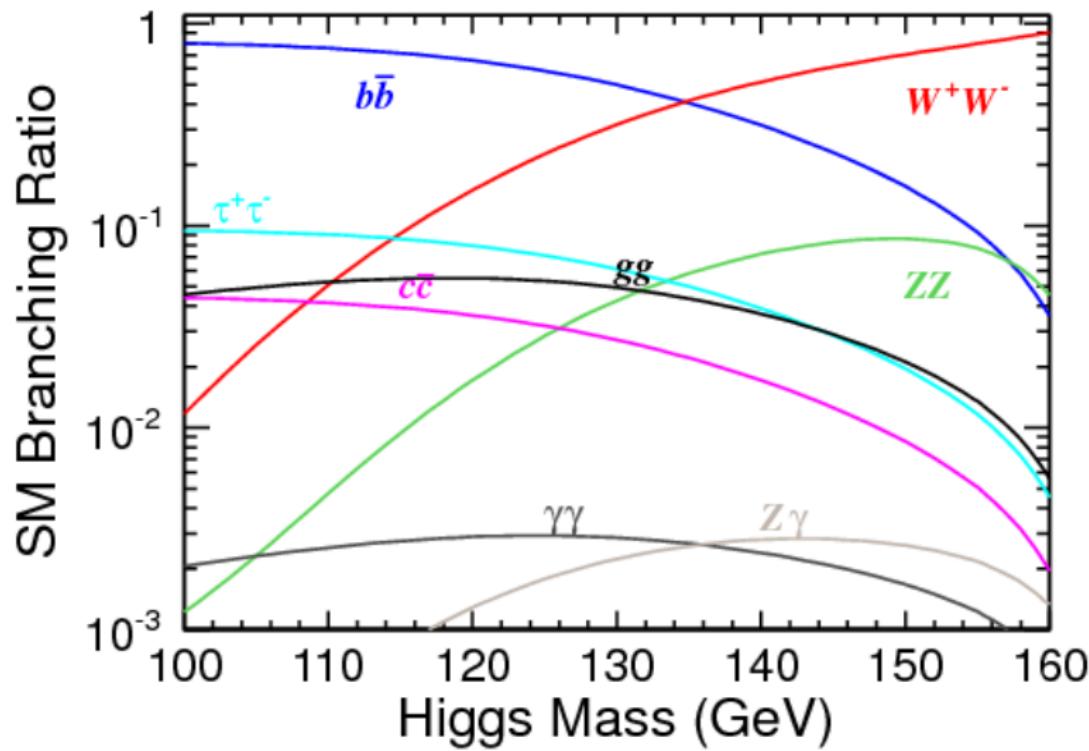
# Backup

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 %

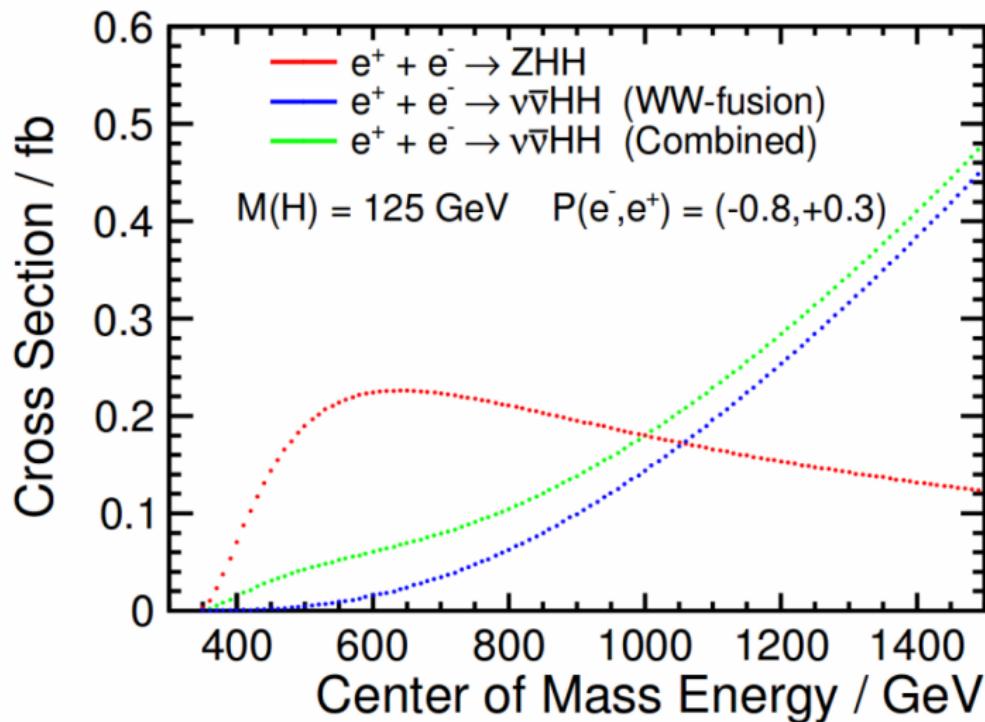
# Backup

## ILC - Higgs branching ratios



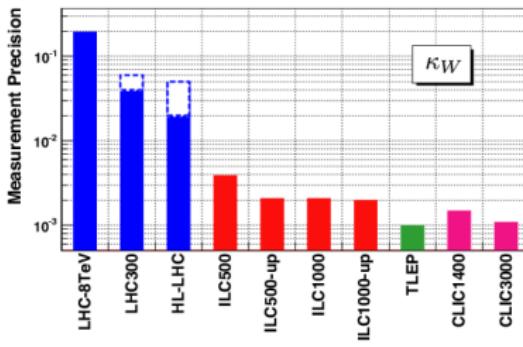
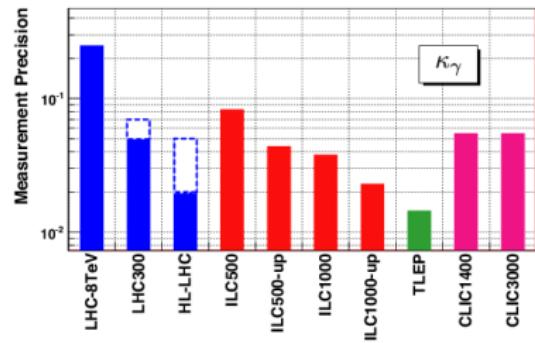
## Backup

ILC - Higgs self coupling



# Backup

## ILC - Facteur $\kappa_A$



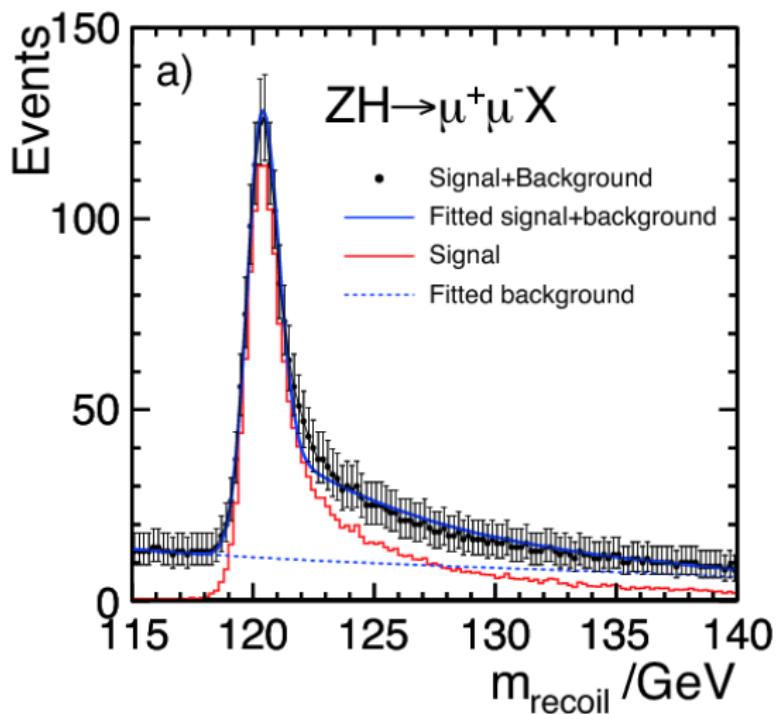
# Backup

## ILC - Paramètres machine ILC

			Machine standarde 500 GeV			Amélioration 1 TeV
Énergie au centre de masse	$E_{CM}$	GeV	250	350	500	1000
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	$\delta t_b$	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	$\sigma_z$	mm	0.3	0.3	0.3	0.250
Taille horizontale du faisceau au point de collision	$\sigma_x^*$	nm	729.0	683.5	474	481
Taille verticale du faisceau au point de collision	$\sigma_y^*$	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

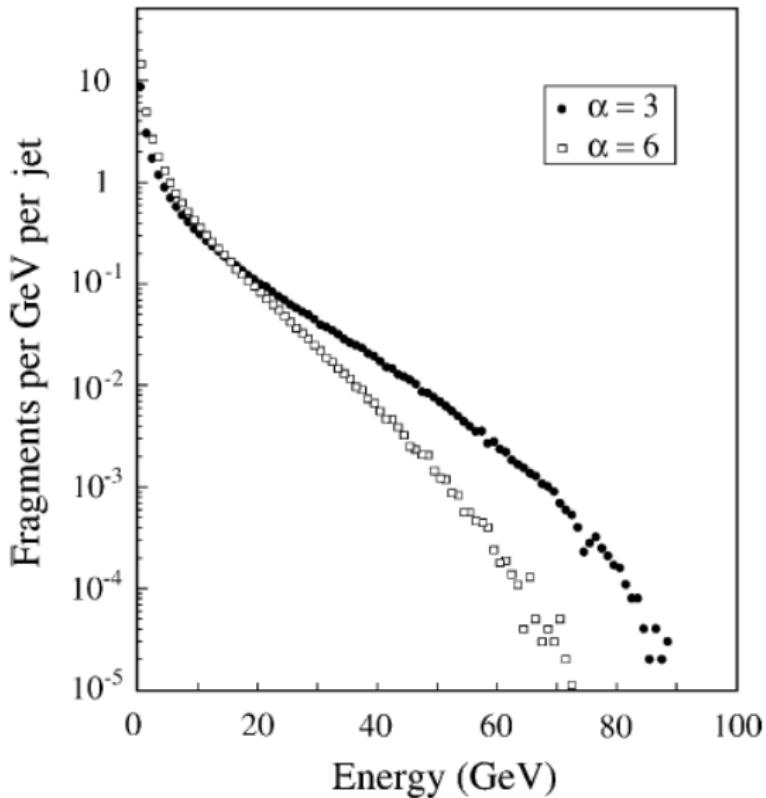
# Backup

ILC - Higgs recoil mass (TPC resolution)



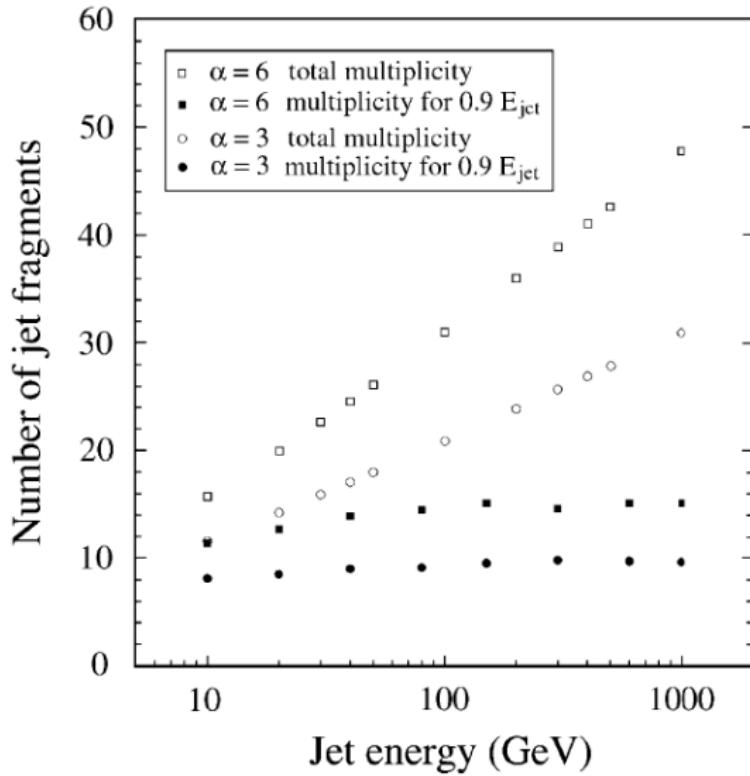
# Backup

## Jets statistics - Jet fragment energy



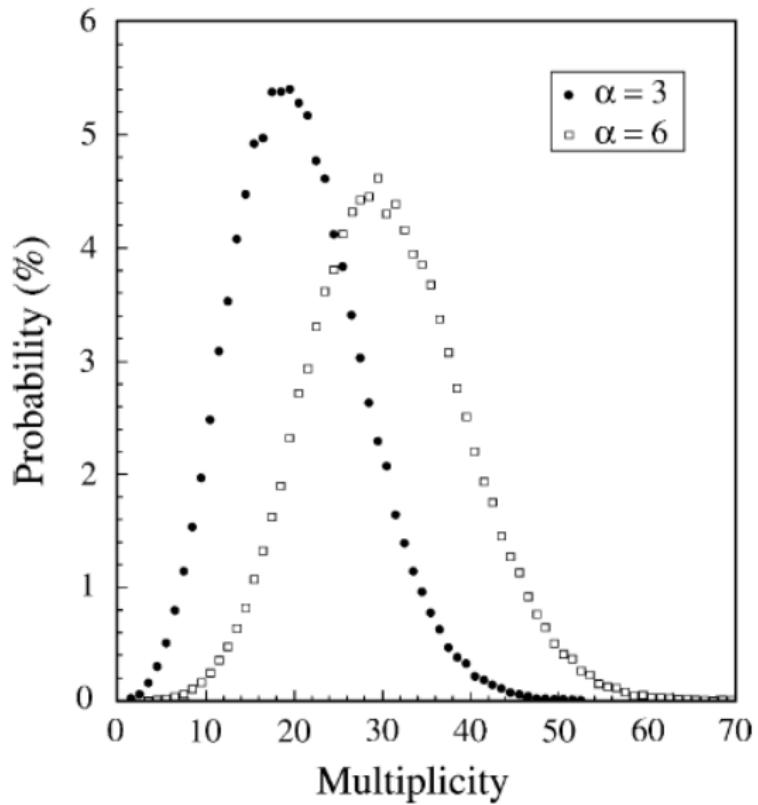
# Backup

## Jets statistics - Jet fragments

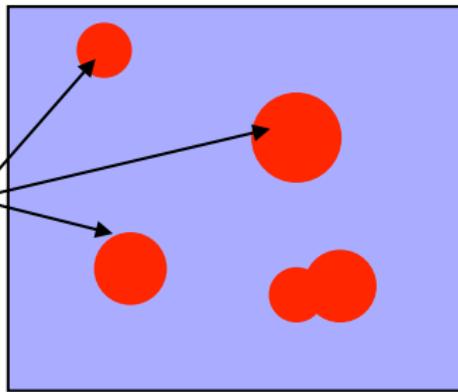


# Backup

## Jets statistics - Jet multiplicity



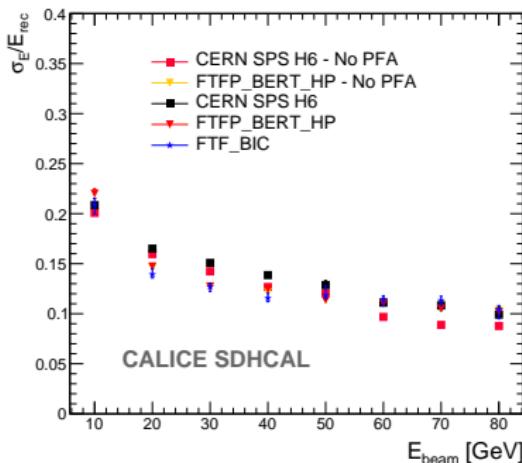
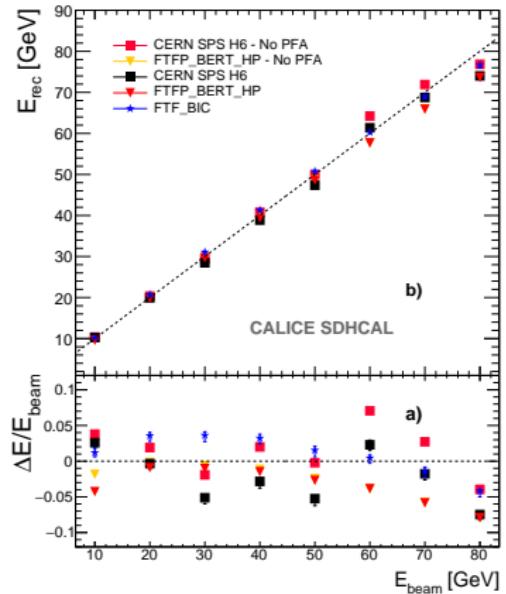
Avalanches



1 cm<sup>2</sup> pad

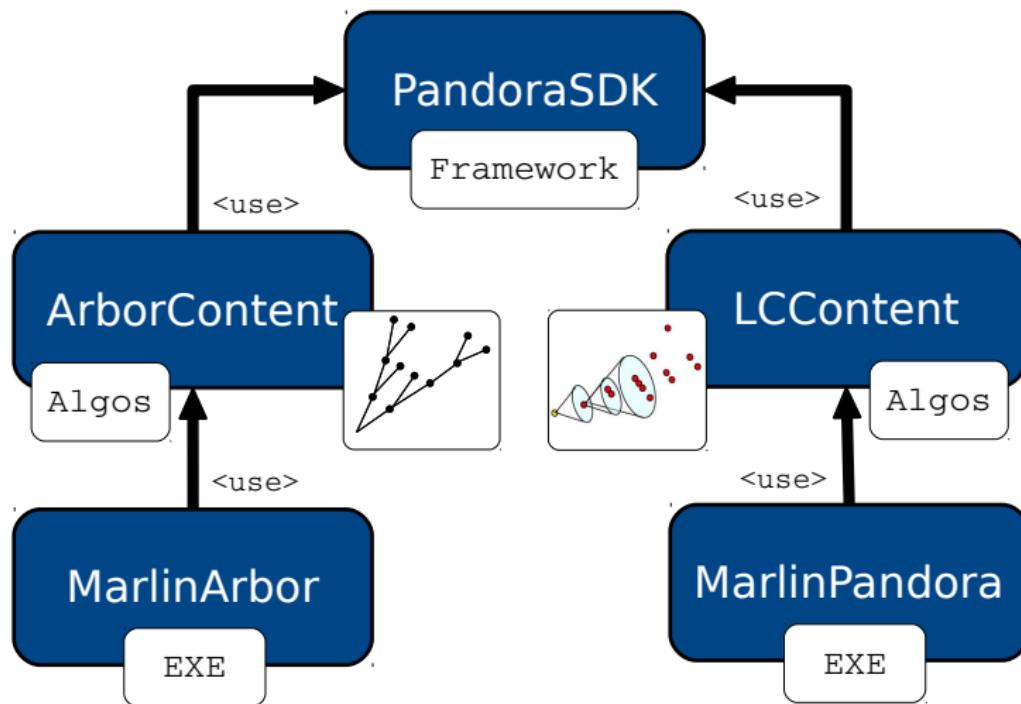
# Backup

## ArborPFA SDHCAL - Hadrons isolés



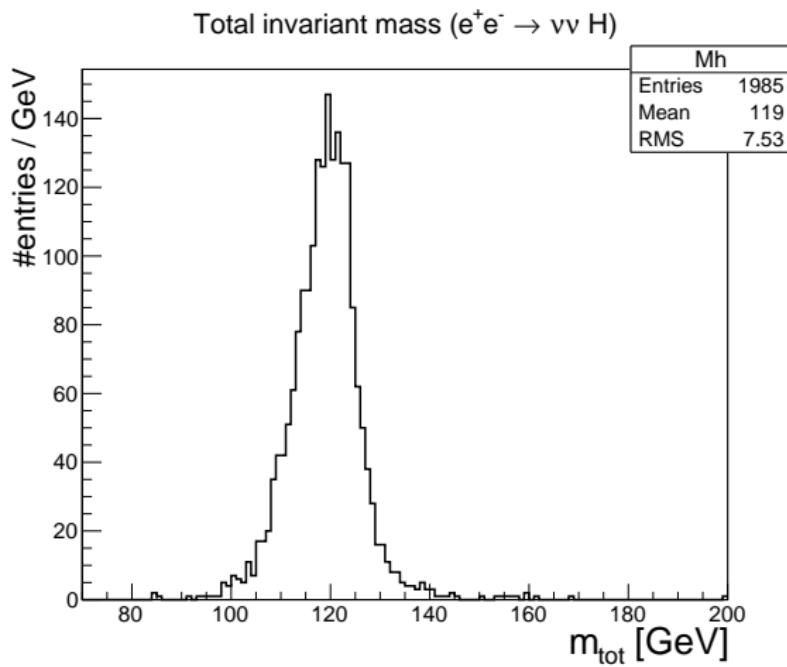
# Backup

ArborPFA - La partie logicielle



# Backup

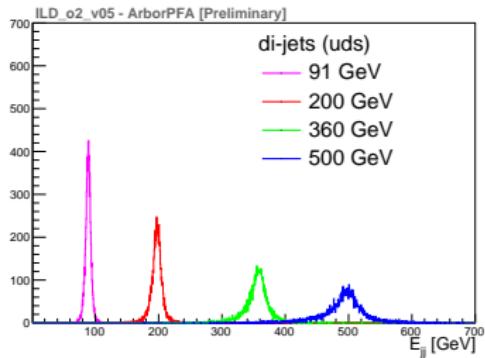
ArborPFA ILD -  $e^+ e^- \rightarrow vvH$  (Preliminary)



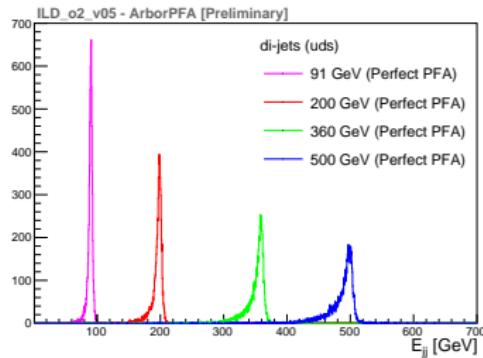
# Backup

ArborPFA ILD - Total energy

ArborPFA



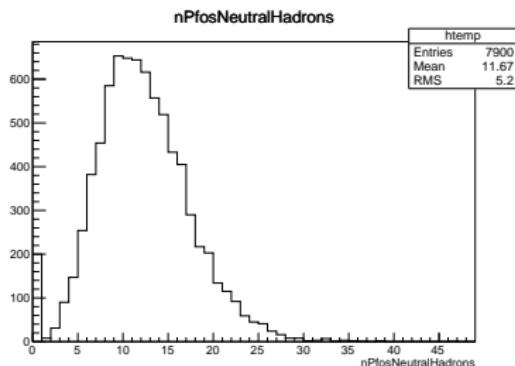
Perfect PFA



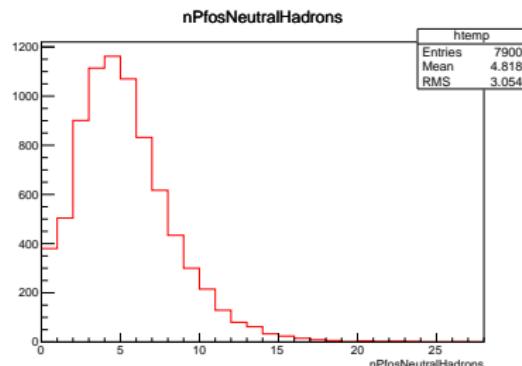
# Backup

ArborPFA ILD - N Pfos Neutral Hadrons

ArborPFA



Perfect PFA

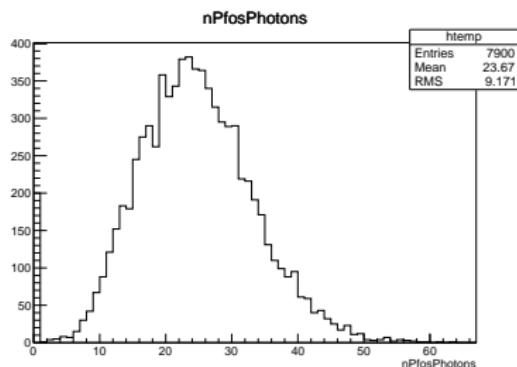


Nombre de PFOs hadrons neutres pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

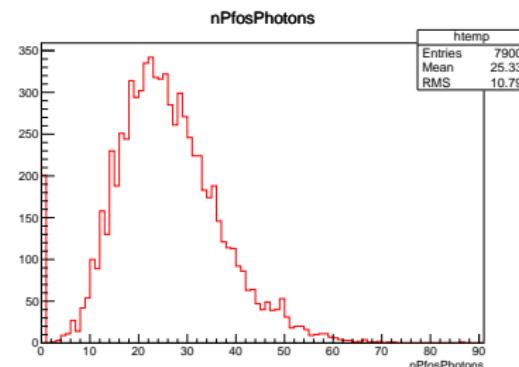
# Backup

ArborPFA ILD - N Pfos Photons

ArborPFA



Perfect PFA

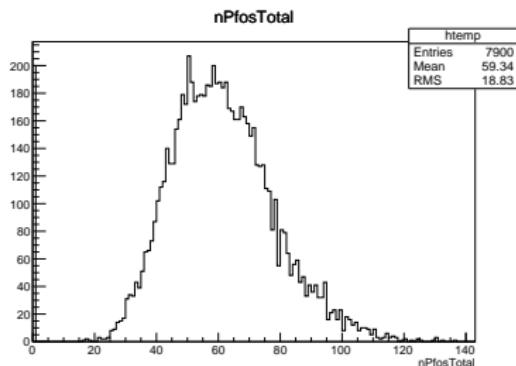


Nombre de PFOs photons pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

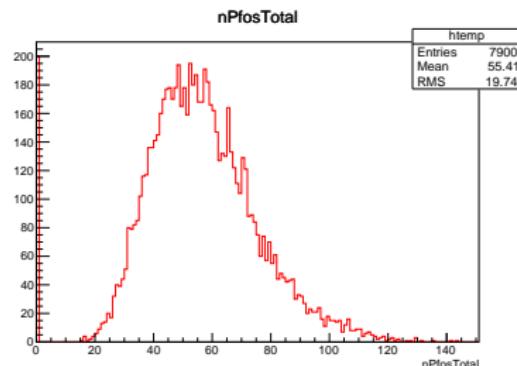
# Backup

ArborPFA ILD - N Pfos Total

ArborPFA



Perfect PFA

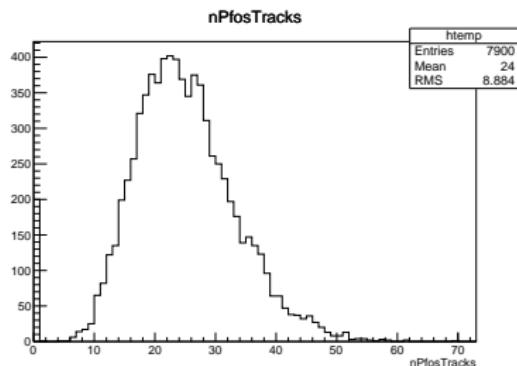


Nombre de PFOS total pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

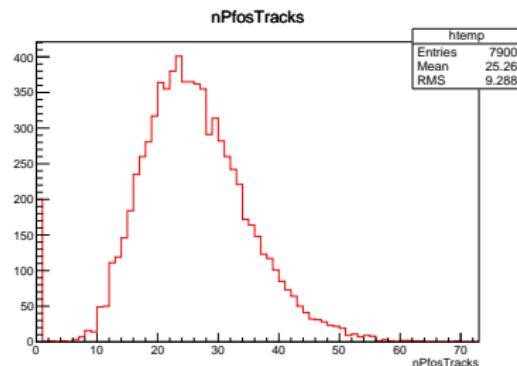
# Backup

ArborPFA ILD - N Pfos Tracks

ArborPFA



Perfect PFA

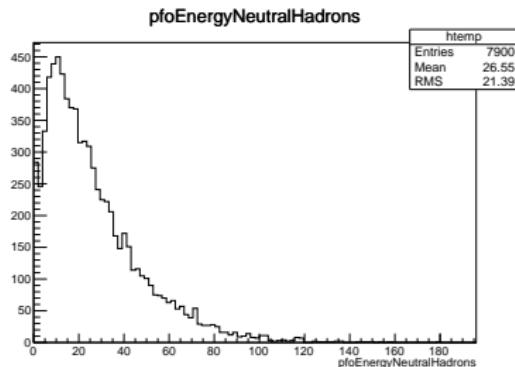


Nombre de PFOs chargés pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

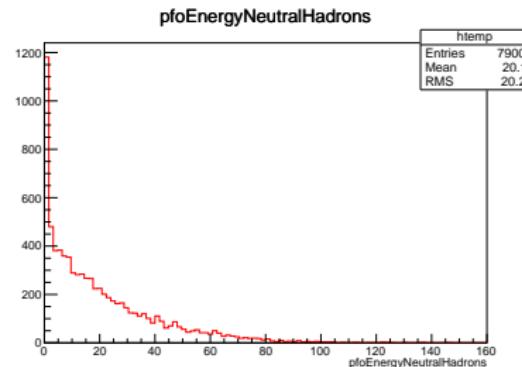
# Backup

ArborPFA ILD - Neutral hadrons energy

ArborPFA



Perfect PFA

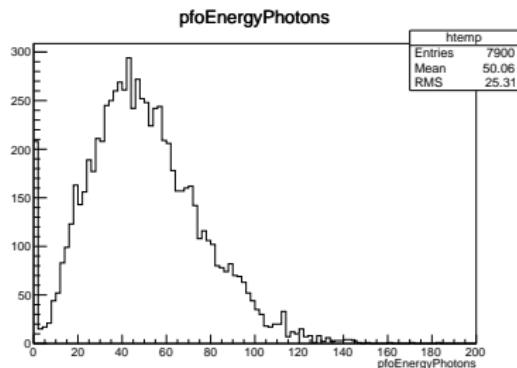


Énergie des hadrons neutres pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

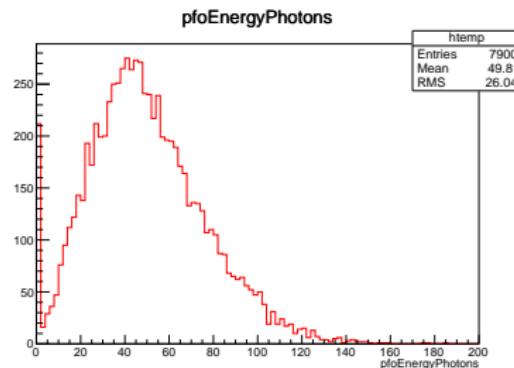
# Backup

ArborPFA ILD - Photons energy

ArborPFA



Perfect PFA

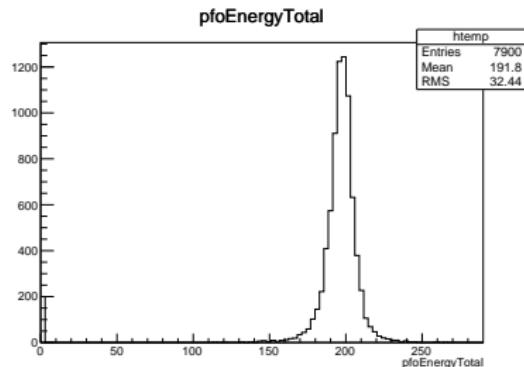


Énergie des photons pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

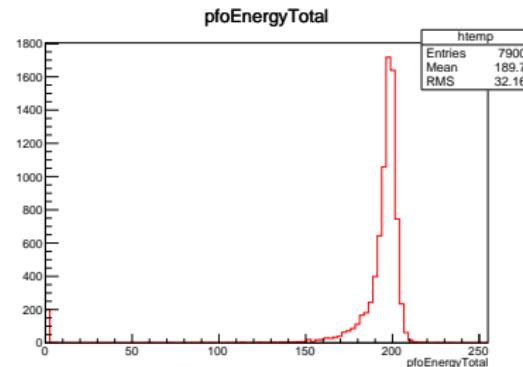
# Backup

ArborPFA ILD - Total energy

ArborPFA



Perfect PFA

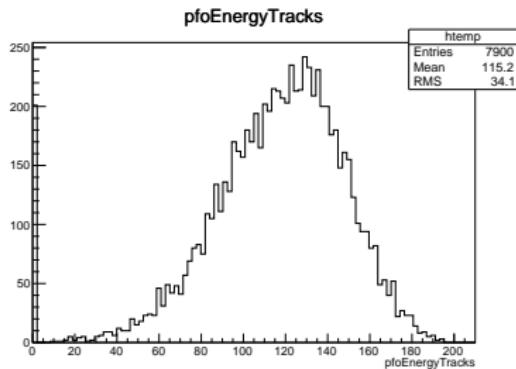


Énergie totale pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

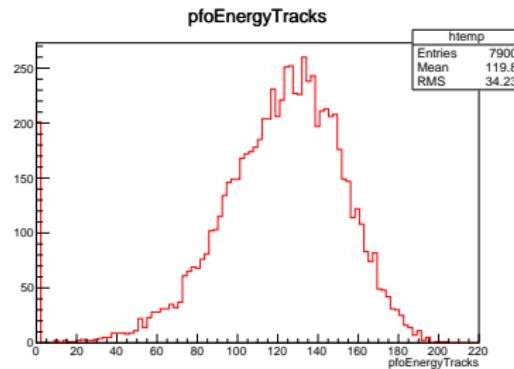
# Backup

ArborPFA ILD - Track energy

ArborPFA



Perfect PFA

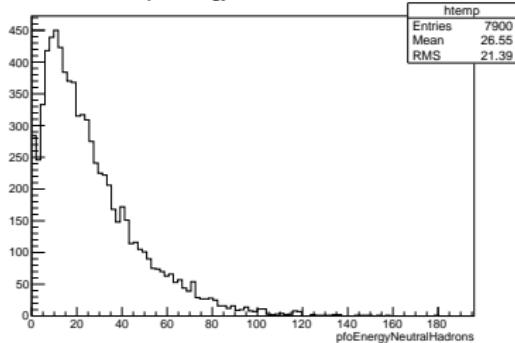


Énergie des particules chargées pour  $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

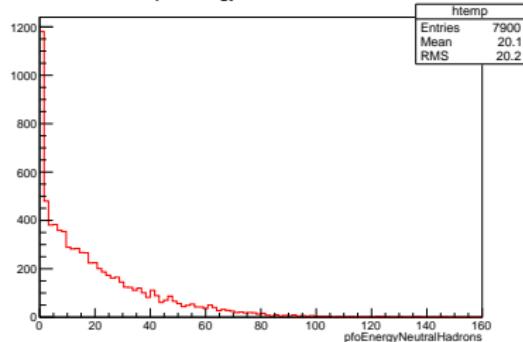
# Backup

ArborPFA ILD - Energy excess ??

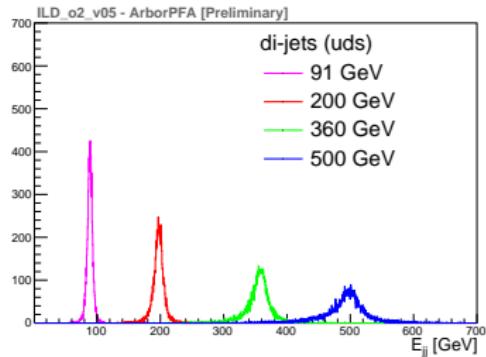
ArborPFA  
pfoEnergyNeutralHadrons



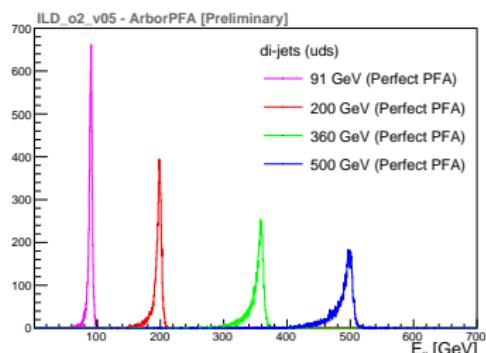
Perfect PFA  
pfoEnergyNeutralHadrons



ArborPFA



Perfect PFA

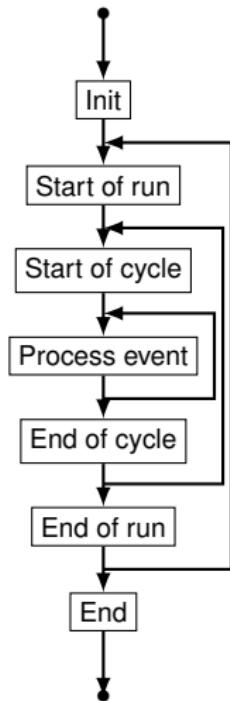
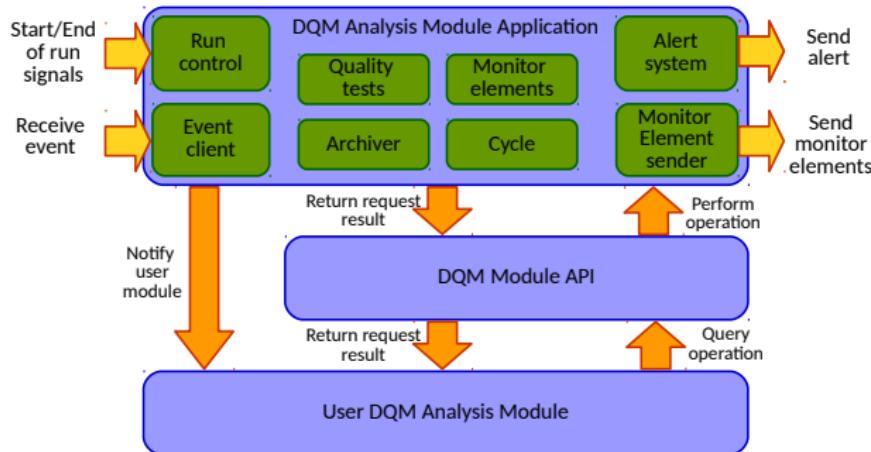


# Backup

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

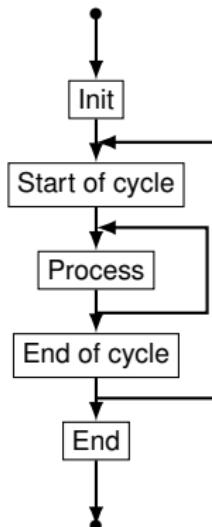
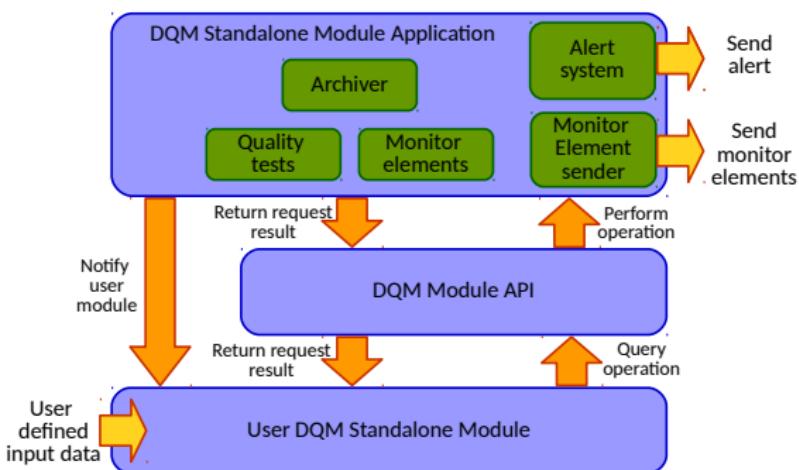


# Backup

DQM4HEP - analyse des données environnementales

## Module environnemental

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



## Les performances mémoires

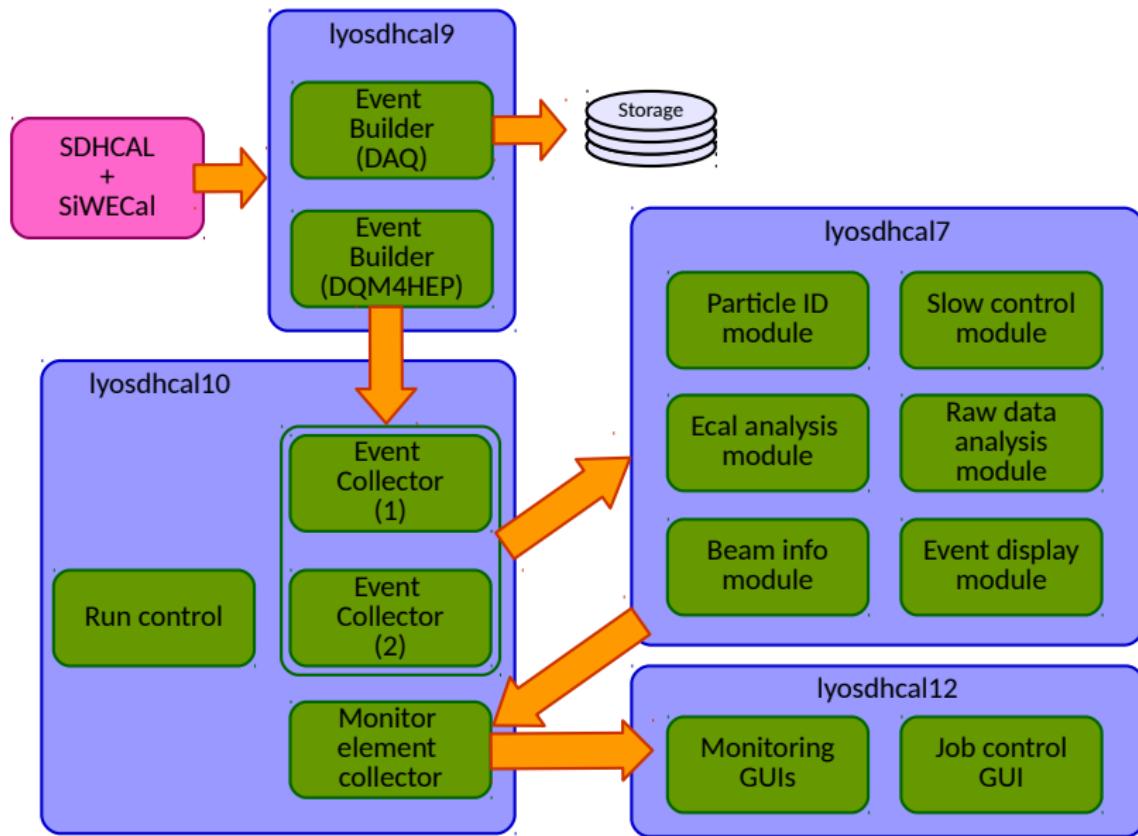
Processus	Mémoire virtuelle (KB)	Mémoire résiduelle (KB)	% Mémoire	% CPU
Slow control	619600	256194	3.23	19.75
Analyse ECal	<u>410477</u>	<u>89444</u>	<u>1.13</u>	7.35
Analyse données brutes	580559	221993	2.8	<b>32.4</b>
<i>Event display</i>	545670	237811	3	50.4
Collecteur d'éléments de surveillance	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	<b>1061870</b>	<b>638328</b>	<b>7.79</b>	7.76

## 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

