

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

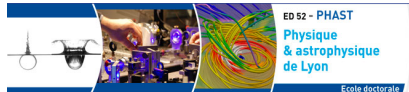
Outils de surveillance en ligne de qualité de données

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

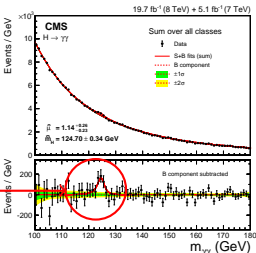
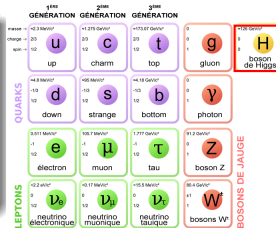
Le modèle standard

Le modèle standard

Théorie décrivant 3 des 4 interactions fondamentales :

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

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



The CMS collaboration

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

Des familles de particules

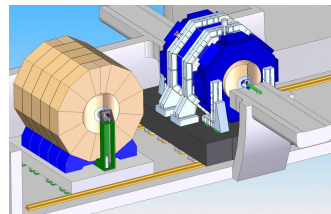
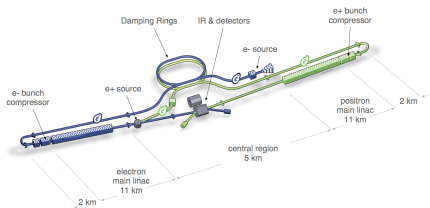
- 12 fermions
- 4 bosons de jauge
- 1 boson de Higgs

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 : $\sim 1 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 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	$e^+e^- \rightarrow t\bar{t}$	Couplages et masse du quark top
	$e^+e^- \rightarrow WW$	Couplages du W
	$e^+e^- \rightarrow v\bar{v}h$	Couplages du Higgs
500 GeV	$e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$	Recherche d'un boson Z'
	$e^+e^- \rightarrow t\bar{t}h$	Couplages du Higgs au quark top
	$e^+e^- \rightarrow Zhh$	Auto-couplage du Higgs
	$e^+e^- \rightarrow \tilde{\chi}\tilde{\chi}$	Recherche de supersymétrie
	$e^+e^- \rightarrow AH, H^+H^-$	Recherche de nouveaux états du Higgs
700 – 1000 GeV	$e^+e^- \rightarrow v\bar{v}hh$	Auto-couplage du Higgs
	$e^+e^- \rightarrow v\bar{v}VV$	Secteur du Higgs composite
	$e^+e^- \rightarrow v\bar{v}t\bar{t}$	Secteur du Higgs composite et quark top
	$e^+e^- \rightarrow \tilde{t}\tilde{t}^*$	Recherche de supersymétrie

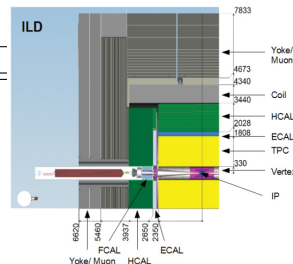
ILC Technical Design Report, Vol.2 : Physics

arXiv:1306.6352

Contexte théorique et expérimental

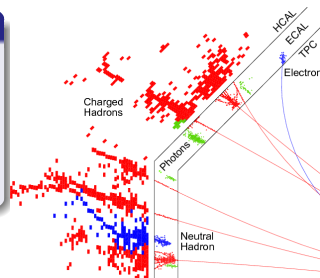
Le détecteur ILD

Détecteur	Mesure	Performance
Trajectographe Tracking + Calo (jet)	$1 / \delta_p$ $\frac{\Delta E}{E}$	$10^{-5} (\text{GeV}/c)^{-1}$ 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 mm x 5 mm
 - ScWECAL : 5 mm x 45 mm + SSA
- HCAL (résolution $\simeq 60\%/\sqrt{E}$) :
 - AHCAL : 3 cm x 3 cm
 - SDHCAL : 1 cm x 1 cm



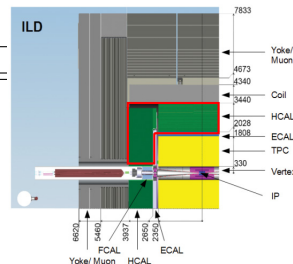
ILC Technical Design Report, Vol.4 Detectors

arXiv:1306.6329

Contexte théorique et expérimental

Le détecteur ILD

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

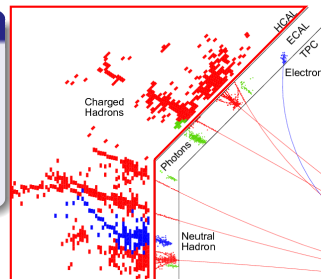


Des calorimètres pour le suivi de particules

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

ILC Technical Design Report, Vol.4 Detectors

arXiv:1306.6329

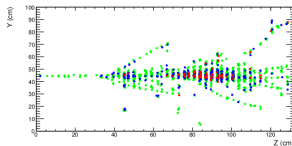
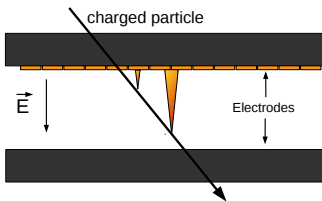


Contexte théorique et expérimental

Le calorimètre hadronique semi-digital

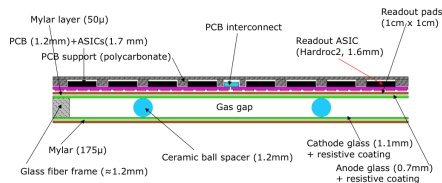
Semi-Digital Hadron Calorimeter

- 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
- Résistivité $\rho = 10^{13} \Omega \cdot cm$
- Segmentation :
 - Transverse : 1 cm x 1 cm
 - Longitudinale : 2.8 cm (abs. + actif)
- Tension dans les chambres ~ 6.9 kV
- Lecture semi-digitale à 3 seuils (1, 2, 3)

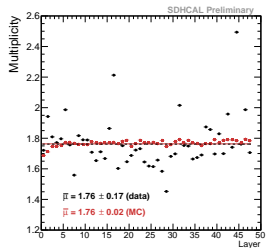
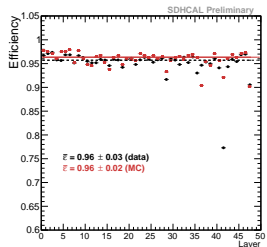
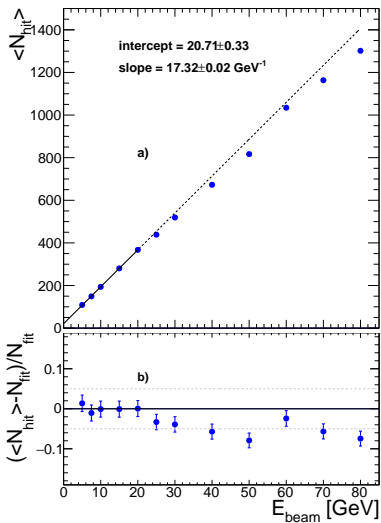


The Calice Collaboration

JINST **11** P04001

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL



The Calice Collaboration

JINST 11 P04001

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

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

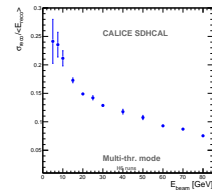
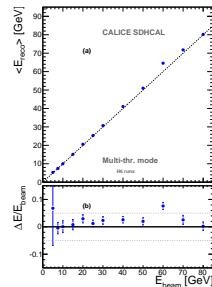
avec :

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

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

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

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

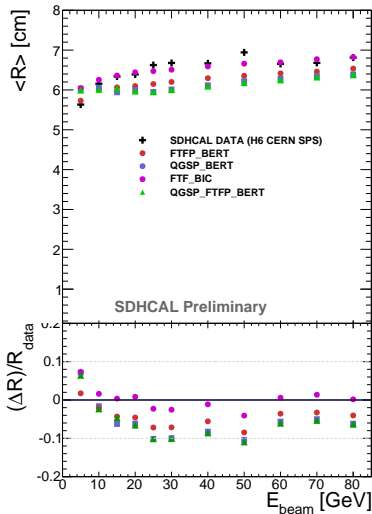
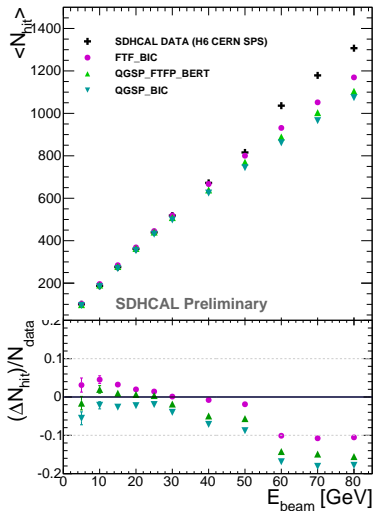


The Calice Collaboration

JINST 11 P04001

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- quelques désaccords ...



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

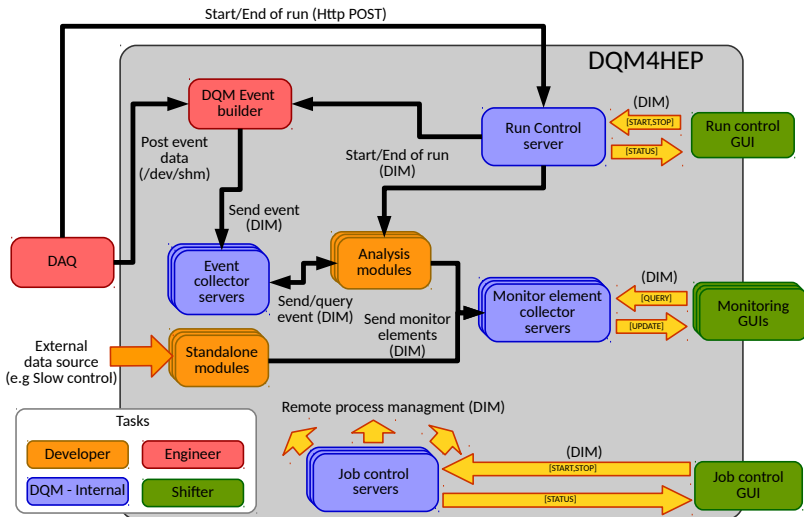
- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies (i.e CMSSW ou AMORE)
- Évalue la **qualité** des données et **alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection
- Principe général :
 - 1 collecte et distribution des données
 - 2 analyse des données
 - 3 collecte et distribution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

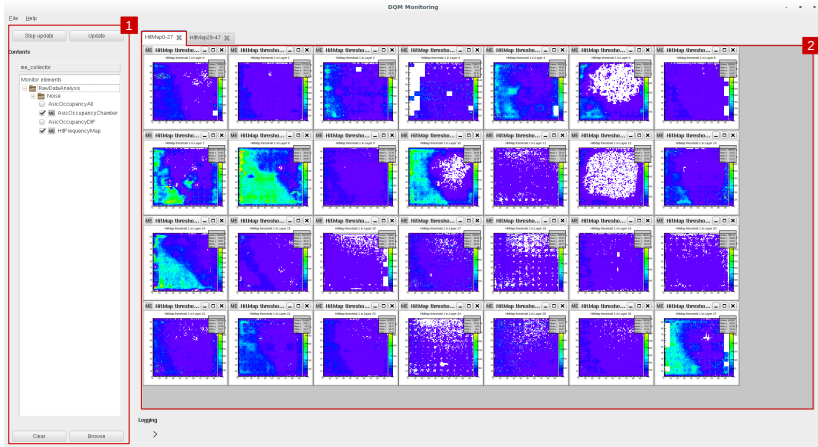
Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- architecture logicielle



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)

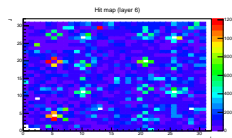
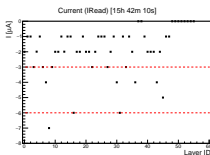


- Client graphique multi-collecteurs : requête, filtrage, sélection d'histogrammes
- Affichage d'histogrammes multi-canvas
- Import/export des histogrammes ⇒ préparation des tests sur faisceau

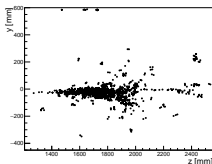
Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCAL

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

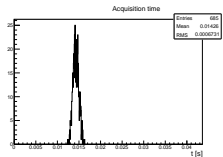


Données environnementales : T, P, HV, LV, I



Event display

Analyse des données du SiWECAL



Analyse des données brutes

Bilan du test sur faisceau

- Performances mémoires et réseau → parfaitable
- 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

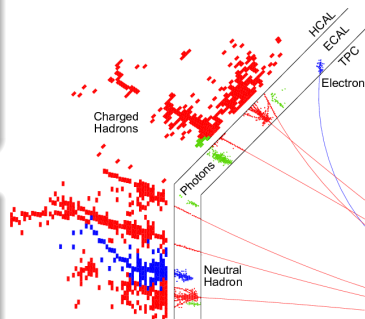
- e^{\pm} : **Tracker + Ecal**
- h^{\pm} : **Tracker + Ecal + Hcal**
- μ^{\pm} : **Tracker + Ecal + Hcal + chambres à muons**
- γ : **Ecal**
- h^0 : **Ecal + Hcal**

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

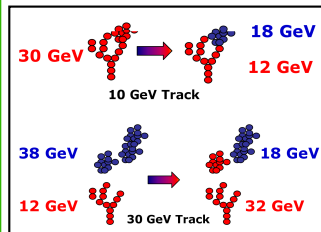
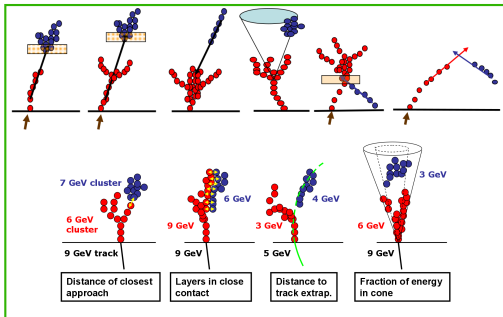
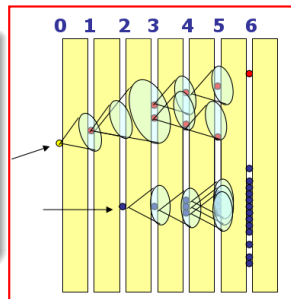


ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Introduction aux algorithmes de suivi de particules- PandoraPFA

PandoraPFA

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

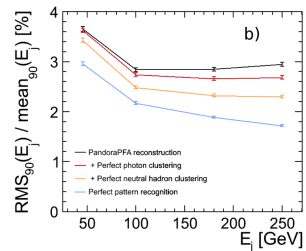
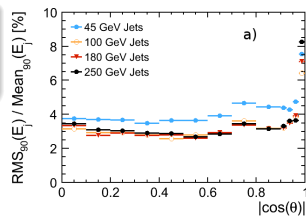


ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

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

Extraction des performances

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



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009

ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

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

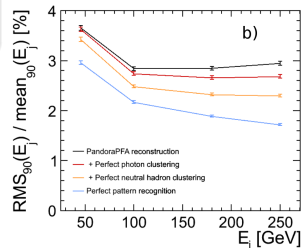
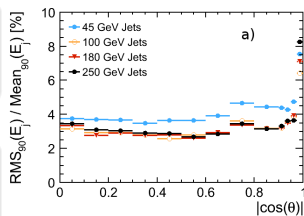
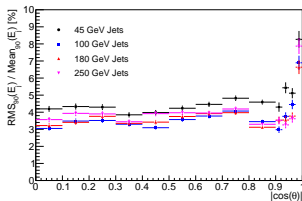
Extraction des performances

- $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$
- 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

PandoraPFA
avec
le SDHCAL



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009

ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Principe d'ArborPFA

Principe

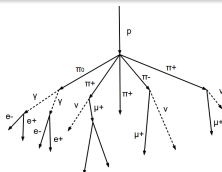
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.

ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

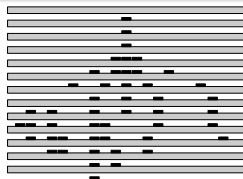
Principe d'ArborPFA

Principe

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



Gerbe hadronique



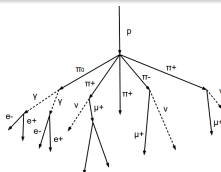
dans un calorimètre

ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

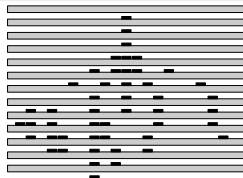
Principe d'ArborPFA

Principe

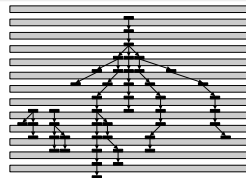
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



avec ArborPFA

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

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 prédécesseur,
 - tous les autres vertex possèdent un unique prédécesseur.

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

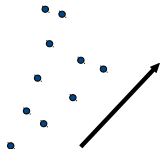
Algorithmes et résultats

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

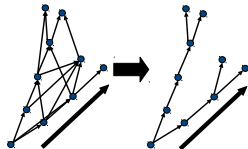
Algorithmes et résultats

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

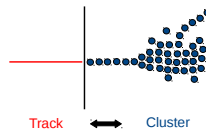
Algorithmes et résultats

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

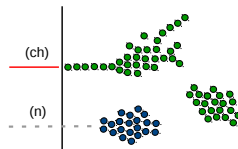
Algorithmes et résultats

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

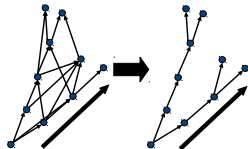
Algorithmes et résultats

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

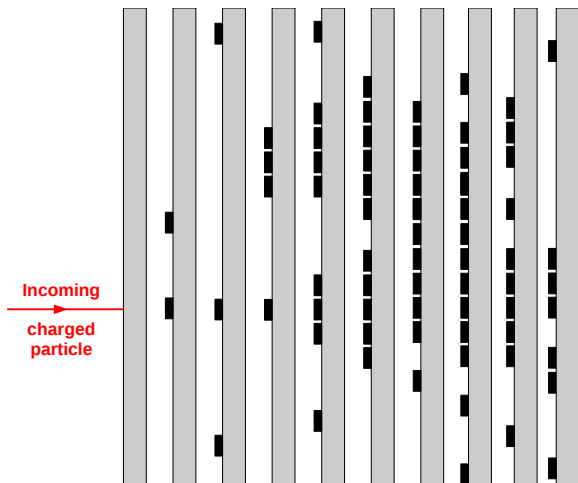
Implémentation

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



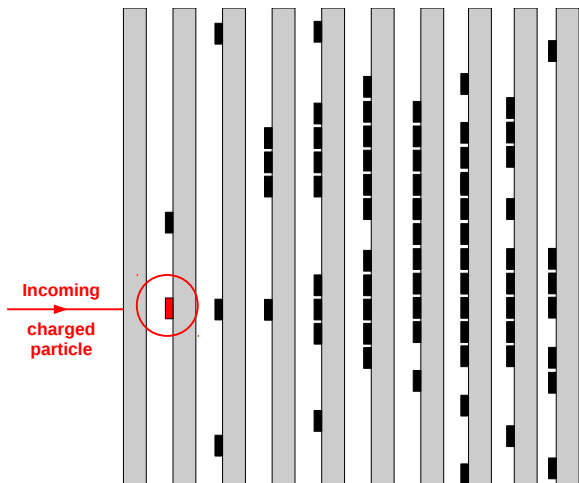
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



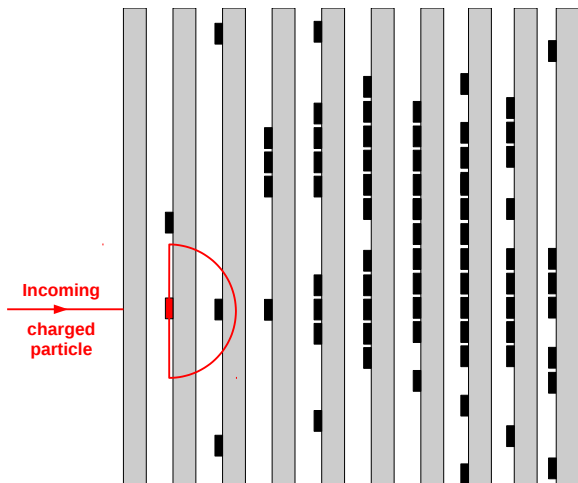
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



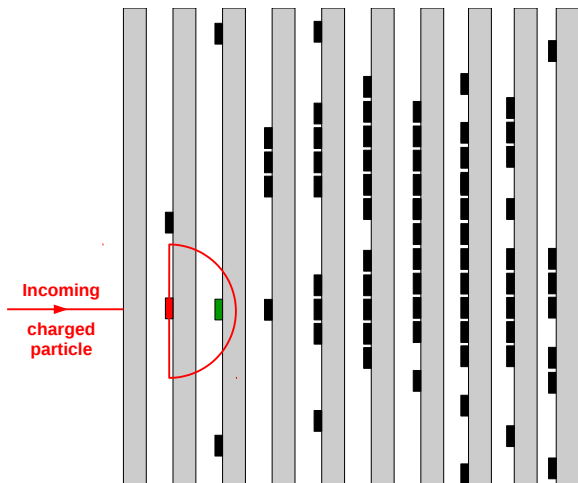
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



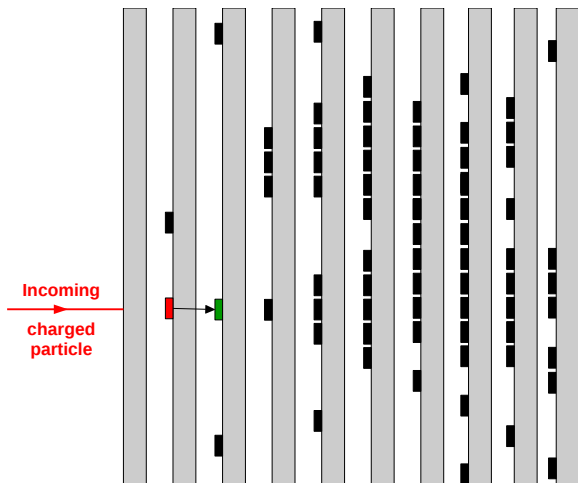
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



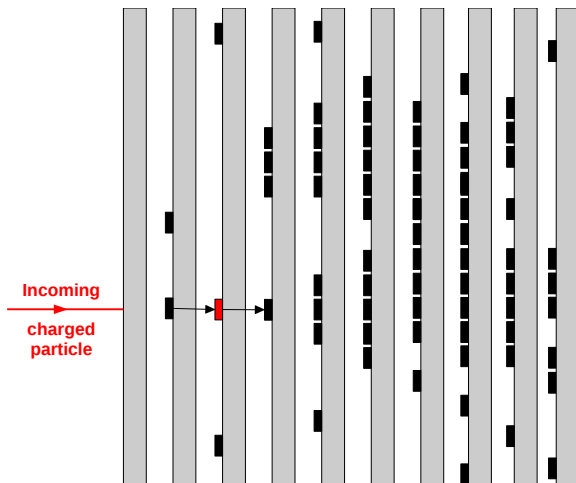
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



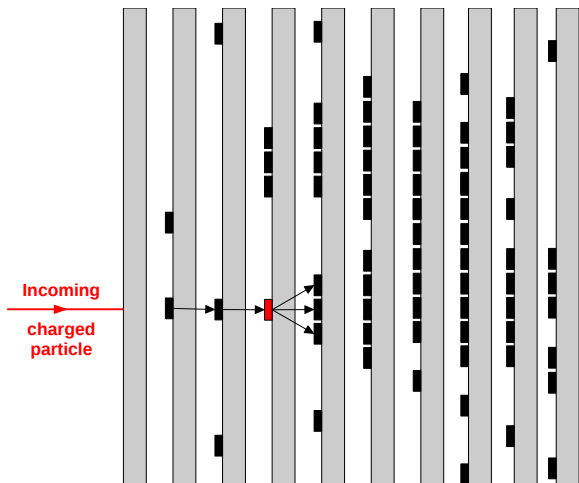
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



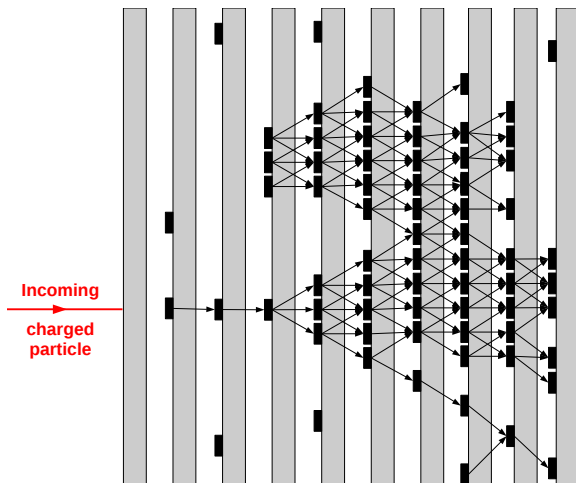
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



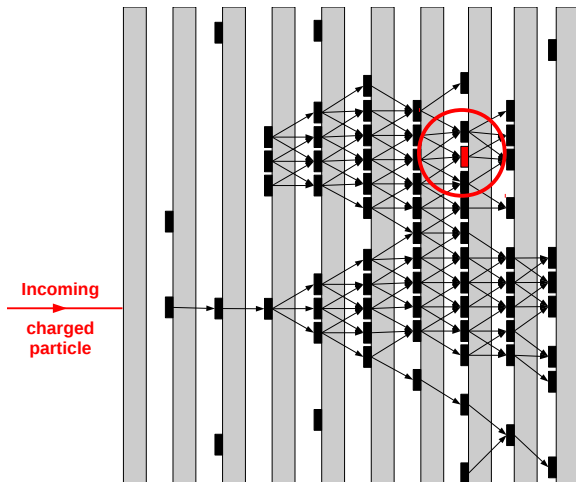
ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Connexions des vertex



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

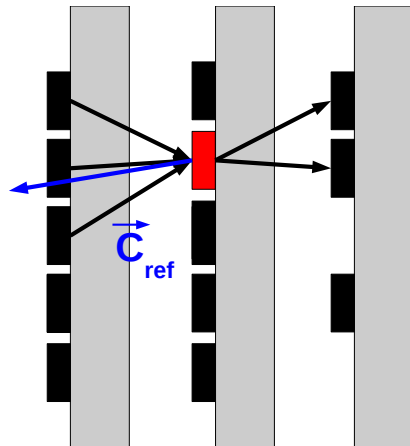
Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

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 :

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

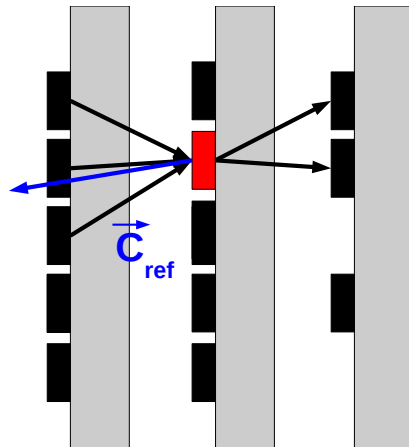
→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière

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 :

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

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

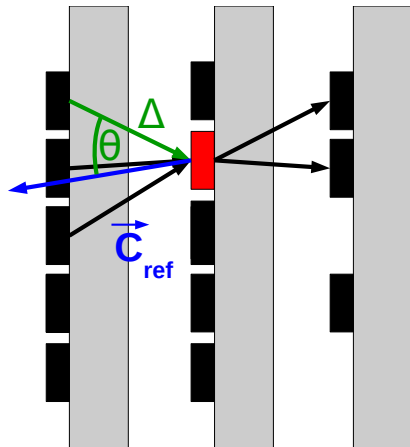
→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière

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

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



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

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

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

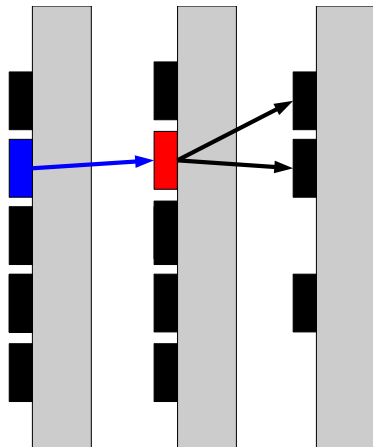
→ Direction la plus probable pour une connexion vers l'arrière

Paramètre d'ordre :

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

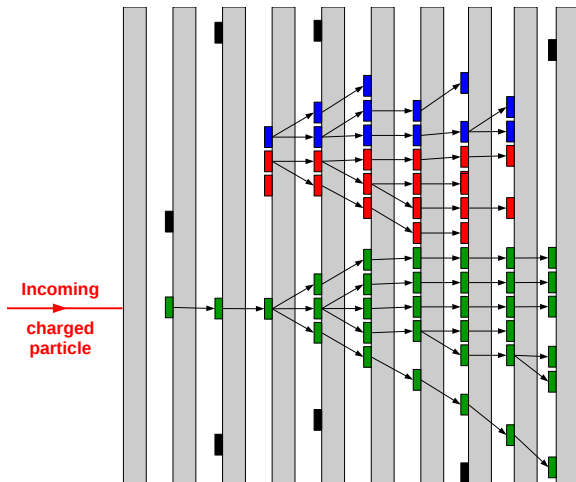
→ Alignement entre un connecteur et le vecteur de référence

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



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 ϵ_S :

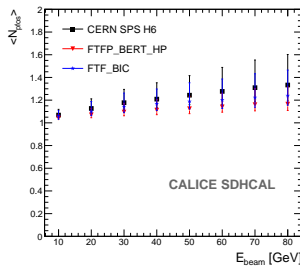
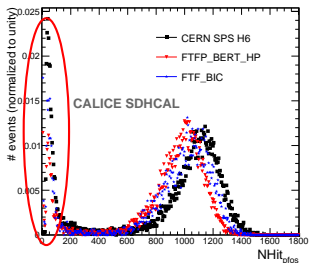
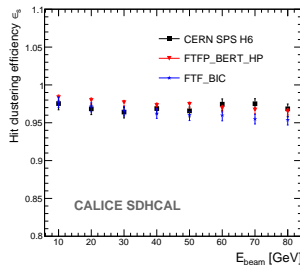
$$\epsilon_S = N_{hit,ch} / N_{hit,tot}$$

Efficacité :

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

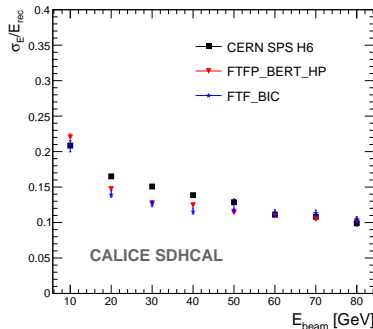
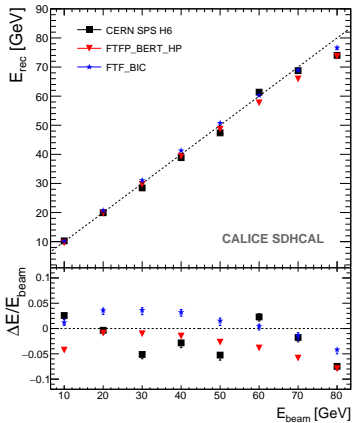
Nombre de PFOs :

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



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Hadrons isolés

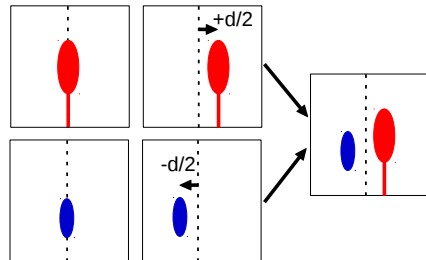


ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

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

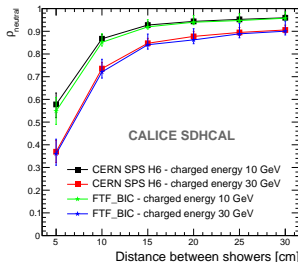
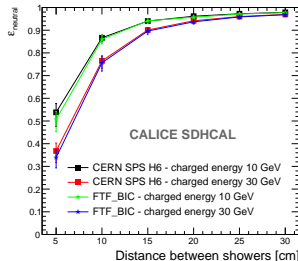
Efficacité ε_n du hadron neutre :

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

Pureté ρ_n du hadron neutre :

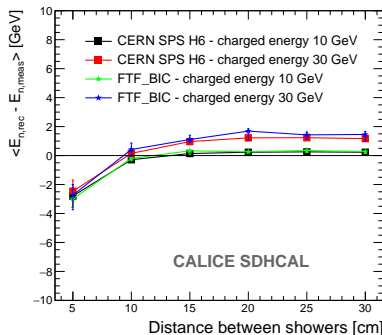
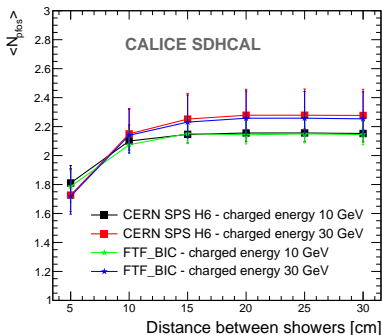
$$\rho_n = N_{good} / N_{rec,tot}$$

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



ArborPFA pour le prototype du SDHCAL

Algorithmes et résultats- Séparation de deux hadrons



N_{PFO} :

Distance de séparation $\searrow N_{PFO} \searrow$

→ Fusion du hadron neutre dans le hadron chargé plus fréquent

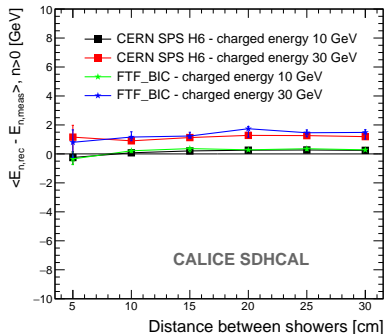
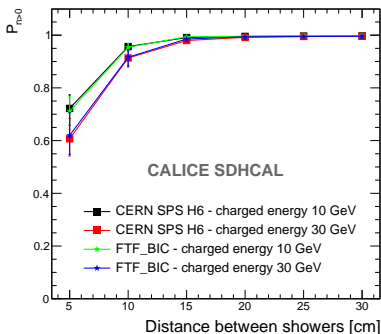
Énergie reconstruite :

Estimateur d'énergie quadratique

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

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

\Rightarrow **comportement binaire de la reconstruction :**

- soit au moins un hadron neutre + énergie neutre correctement estimée
- soit pas de hadron neutre \rightarrow 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

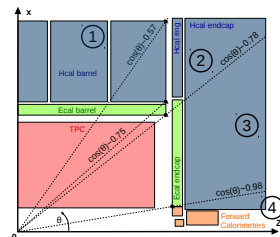
- 1 Contexte théorique et expérimental
 - Le modèle standard
 - Le collisionneur linéaire international
 - Le calorimètre hadronique semi-digital
 - Performances du SDHCAL
- 2 Logiciel de surveillance de données
 - Introduction
 - Logiciel DQM4HEP
 - Surveillance de la prise de données du SDHCAL
- 3 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

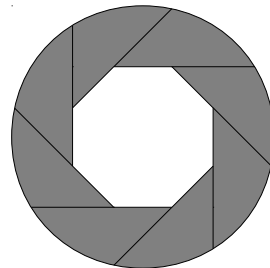
Algorithmes et résultats

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
→ $\phi = 0$ 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



ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

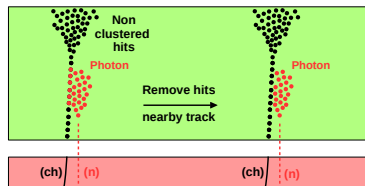
- Préparation de l'événement

ArborPFA pour le détecteur ILD

Les algorithmes- Les algorithmes de reconstruction

Implémentation pour le détecteur ILD

- Préparation de l'événement
- Reconstruction des photons

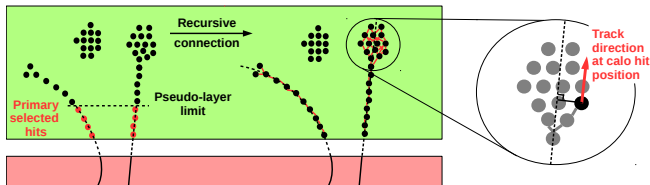


ArborPFA pour le détecteur ILD

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

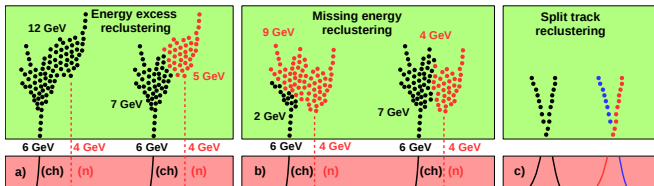


ArborPFA pour le détecteur ILD

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
- Reclustering
 - Reclustering en cas d'excès en énergie
 - Reclustering en cas d'énergie manquante
 - Reclustering en cas d'associations trace-cluster multiples

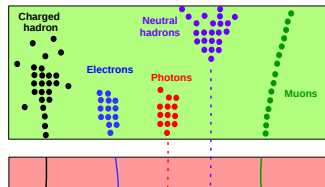


ArborPFA pour le détecteur ILD

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



ArborPFA pour le détecteur ILD

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

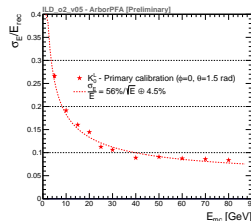
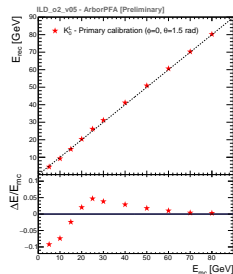
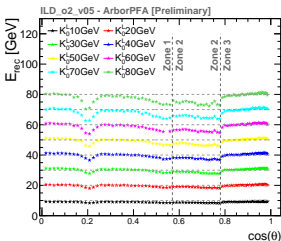
Calibration initiale ($\phi = 0, \theta = 1.5 \text{ rad}$)

- 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 :

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



ArborPFA pour le détecteur ILD

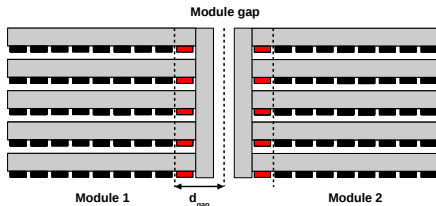
Calibration en énergie dans l'ILD - Calibration et corrections en énergie

Correction près des interstices

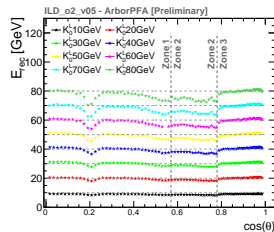
- Tonneau central séparé en 5 modules
- Budget matière plus important près des interstices
→ Énergie manquante !
- Correction en énergie :
Comptage de l'énergie déposé près des interstices E_{gap}

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

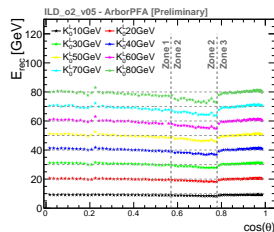
avec $\alpha_{gap} = 1.5254$



Avant correction



Après correction

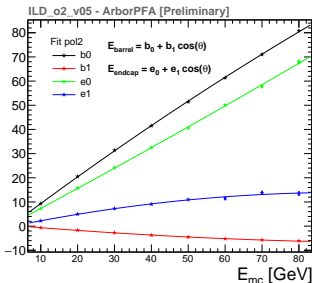


ArborPFA pour le détecteur ILD

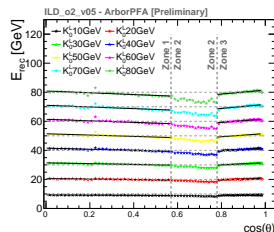
Calibration en énergie dans l'ILD - Calibration et corrections en énergie

Correction en fonction de $\cos\theta$

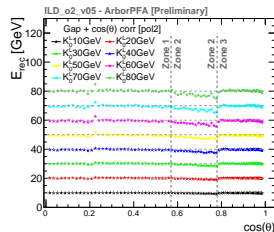
- Énergie manquante dans le tonneau et les bouchons
- Ajustement linéaire dans les régions 1 et 3
→ 4 paramètres / point d'énergie
→ Ajustement d'un polynôme d'ordre 2



Avant correction



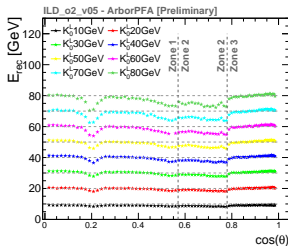
Après correction



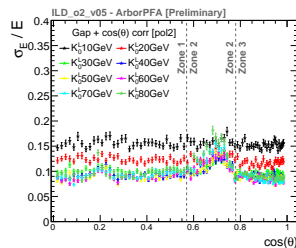
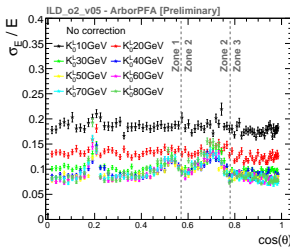
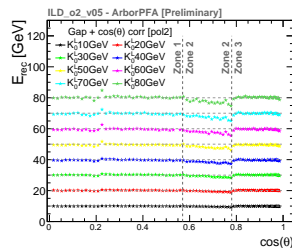
ArborPFA pour le détecteur ILD

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

Avant correction

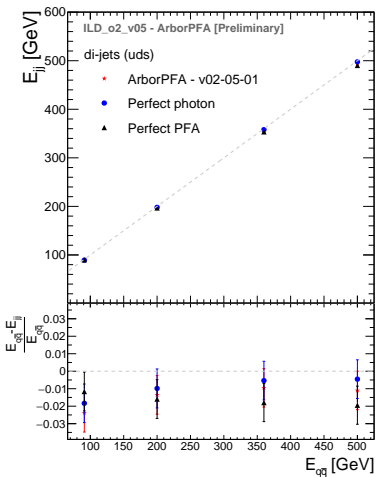


Après correction



ArborPFA pour le détecteur ILD

Les performances physiques- Les performances physiques

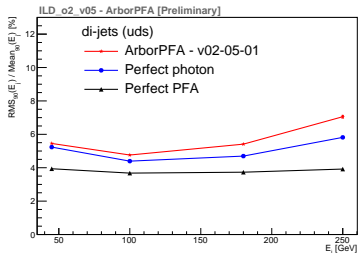


Performances ArborPFA :

- 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 $\sim 4\%$



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

- 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 !

Polarisation des faisceaux :

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

Conservation de l'hélicité $\Rightarrow e_L^- e_R^+, e_L^+ e_R^-$ uniquement

\rightarrow 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

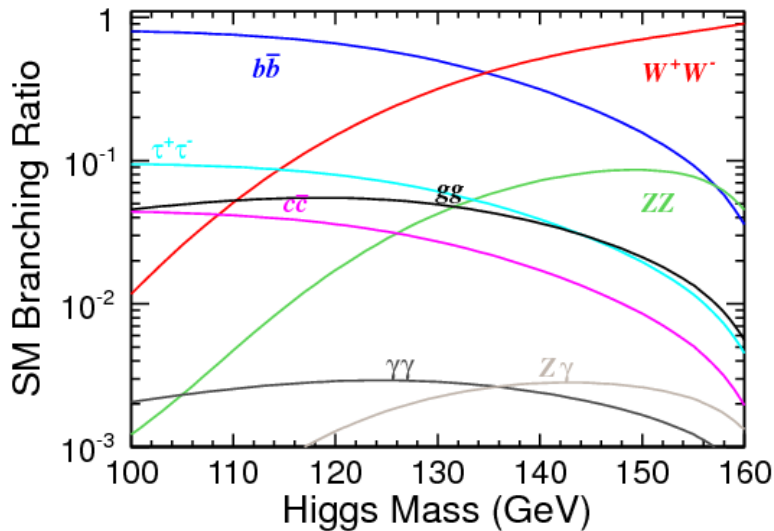
$$\sigma_{pol} = (1 - P_{e^-} - P_{e^+}) \cdot \sigma_{unpol} \cdot (1 - P_{eff} \cdot A_{LR})$$

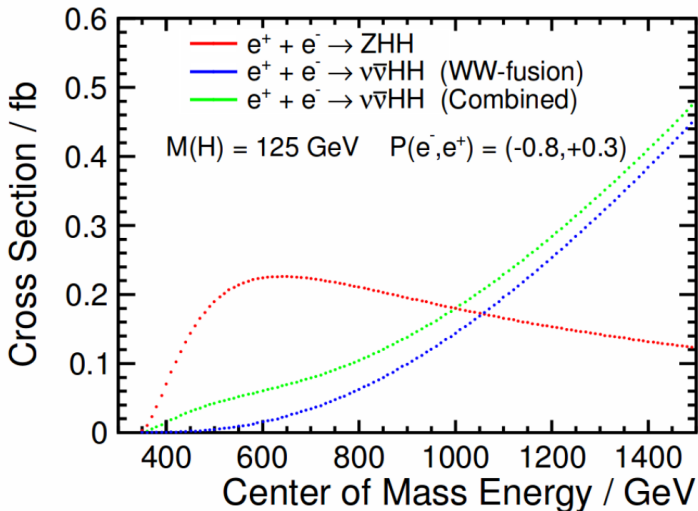
avec :

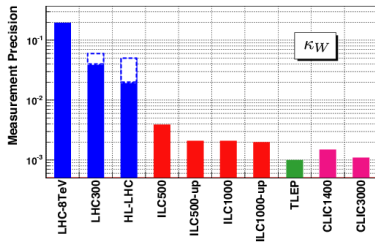
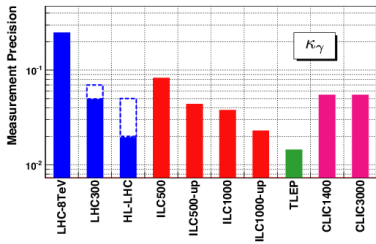
- $A_{LR} = \frac{\sigma_{-+} - \sigma_{+-}}{\sigma_{-+} + \sigma_{+-}} \cdot \frac{1 - P_{e^-} \cdot P_{e^+}}{P_{e^+} - P_{e^-}}$
- $P_{eff} = (P_{e^-} - P_{e^+}) / (1 - P_{e^-} \cdot P_{e^+})$

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

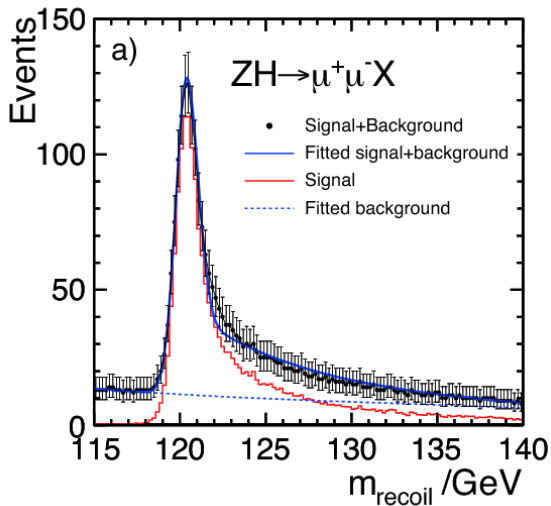
Mode	LHC	ILC(250)	ILC(500)	ILC(1000)
WW	4.1 %	1.9 %	0.24	0.17 %
ZZ	4.5 %	0.44 %	0.30 %	0.27 %
$b\bar{b}$	13.6 %	2.7 %	0.94 %	0.69 %
gg	8.9 %	4.0 %	2.0 %	1.4 %
$\gamma\gamma$	7.8 %	4.9 %	4.3 %	3.3 %
$\tau^+\tau^-$	11.4 %	3.3 %	1.9 %	1.4 %
$c\bar{c}$	-	4.7 %	2.5 %	2.1 %
$t\bar{t}$	15.6 %	14.2 %	9.3 %	3.7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

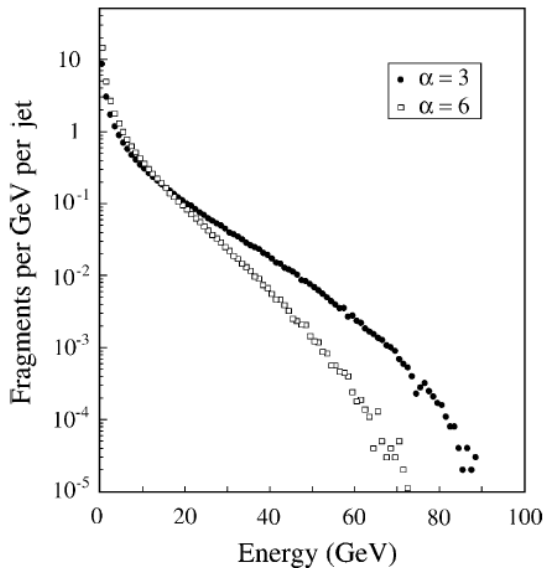


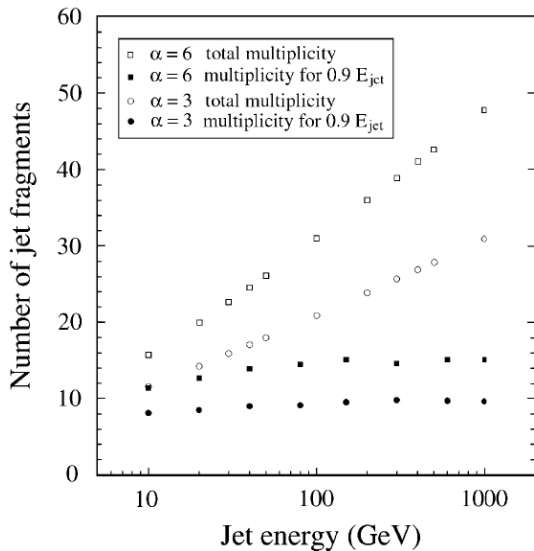


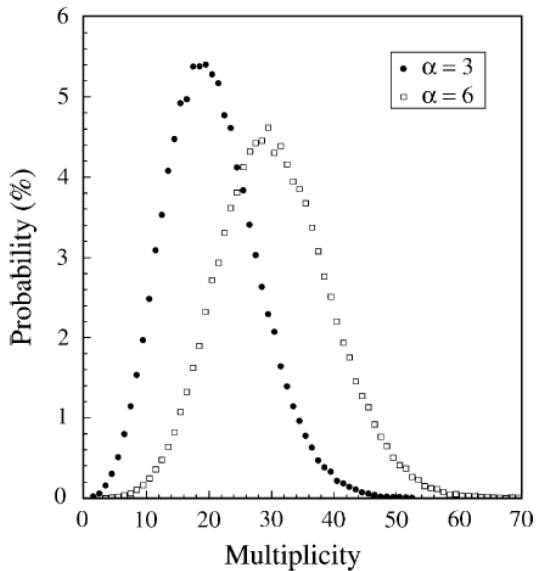


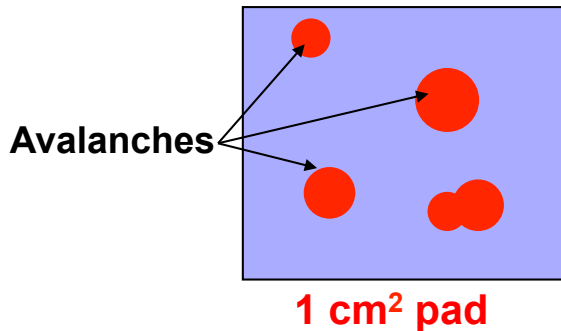
			Machine standarde 500 GeV			Amélioration 1 TeV
Énergie au centre de masse	E_{CM}	GeV	250	350	500	1000
Taux de collisions	f_{rep}	Hz	5	5	5	4
Nombre de paquets	n_b		1312	1312	1312	2450
Nombre de particules par paquet	N	$\times 10^{10}$	2	2	2	2.74
Séparation entre les paquets	δt_b	ns	554	554	554	366
Courant 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

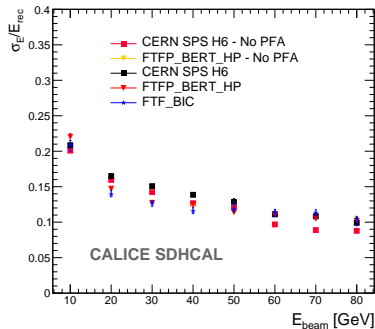
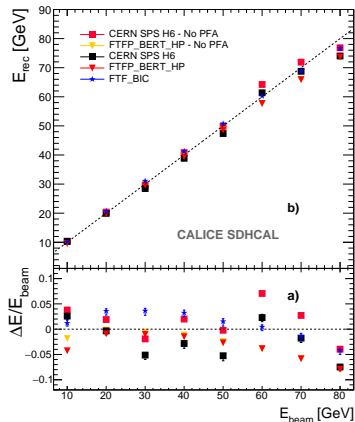


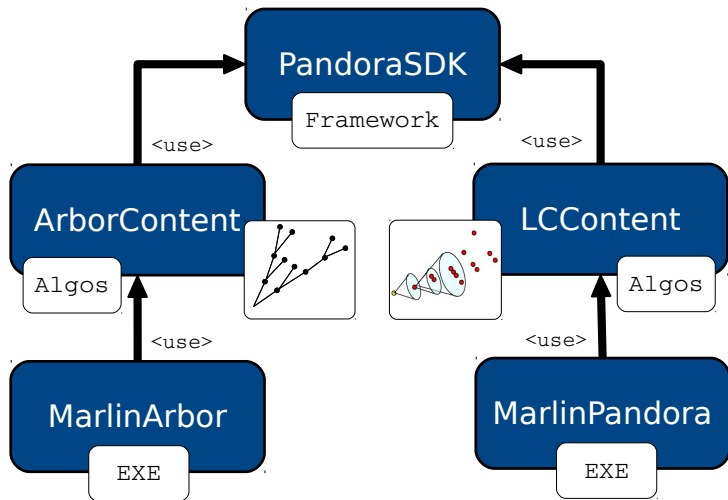


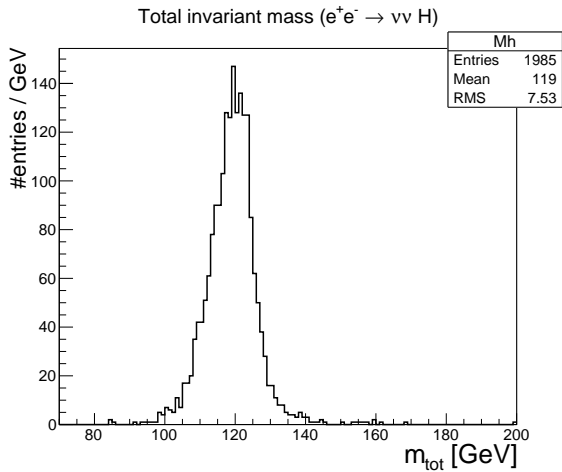




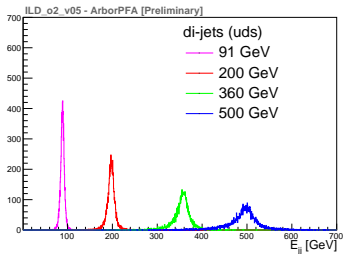




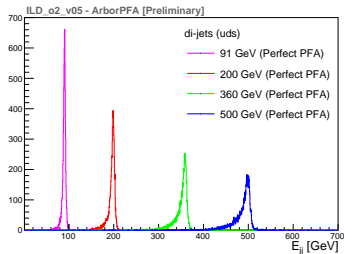




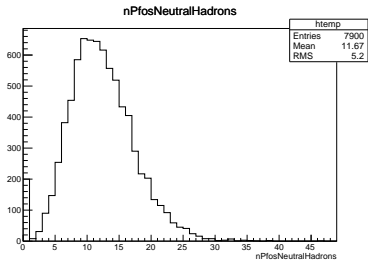
ArborPFA



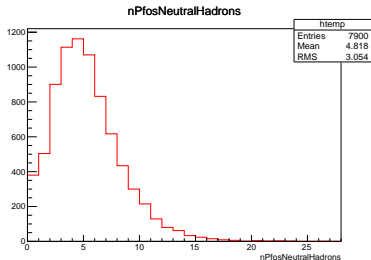
Perfect PFA



ArborPFA

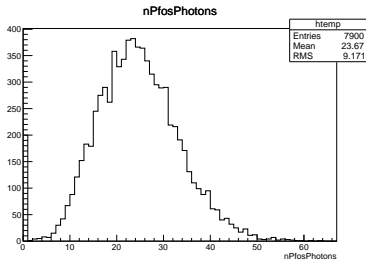


Perfect PFA

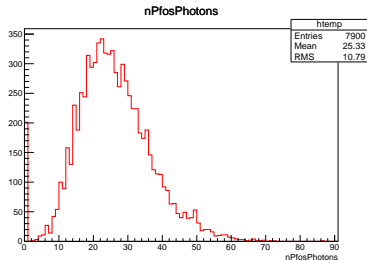


Nombre de PFOs hadrons neutres pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA

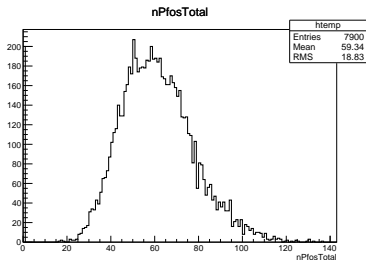


Perfect PFA

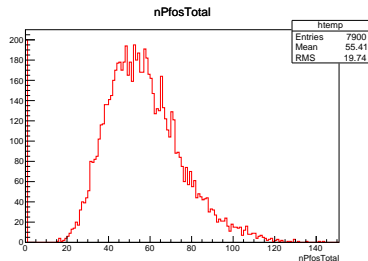


Nombre de PFOs photons pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA

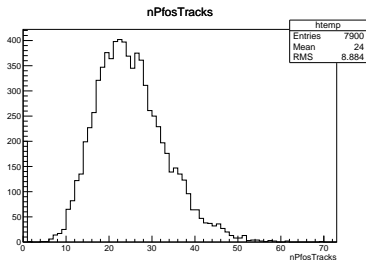


Perfect PFA

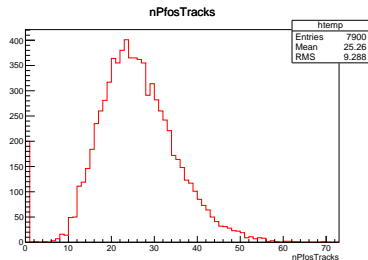


Nombre de PFOs total pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA

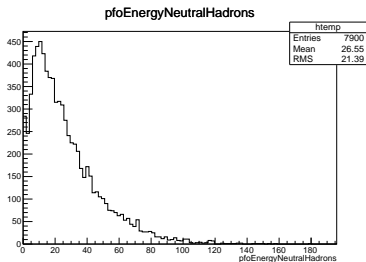


Perfect PFA

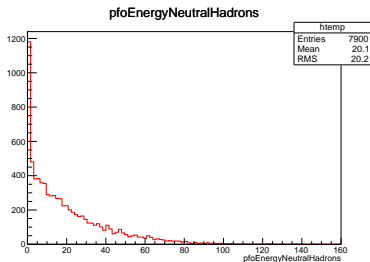


Nombre de PFOs chargés pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA

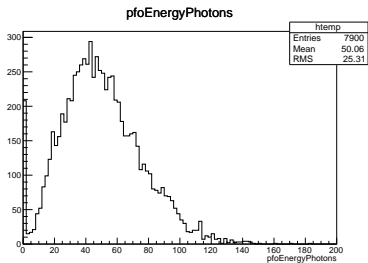


Perfect PFA

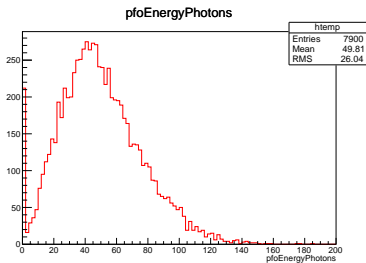


Énergie des hadrons neutres pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA

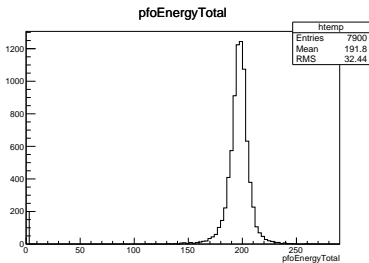


Perfect PFA

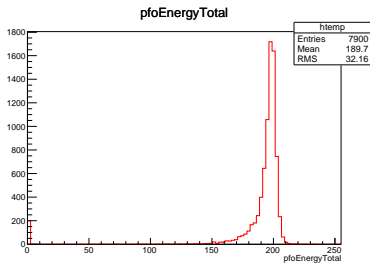


Énergie des photons pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA

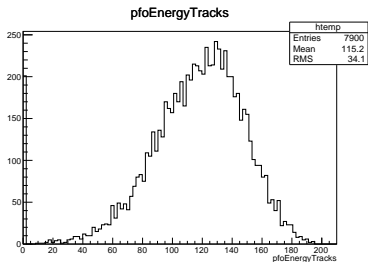


Perfect PFA

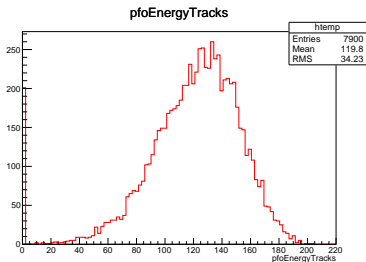


Énergie totale pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

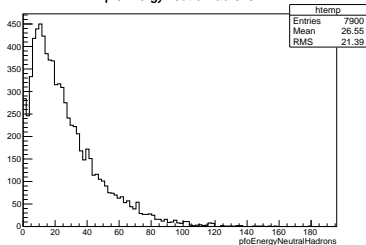
ArborPFA



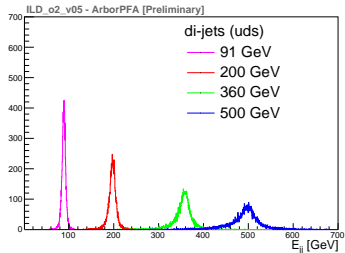
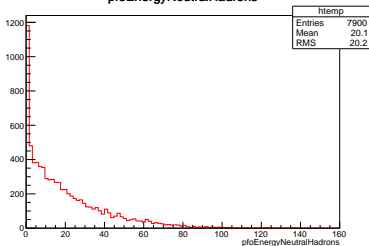
Perfect PFA



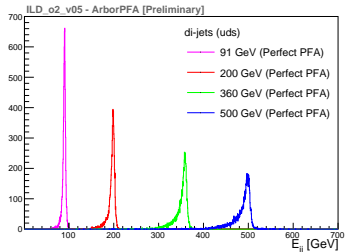
Énergie des particules chargées pour $E_{tot} = 200 \text{ GeV}$

ArborPFA
pfoEnergyNeutralHadrons

ArborPFA

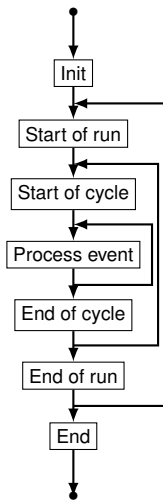
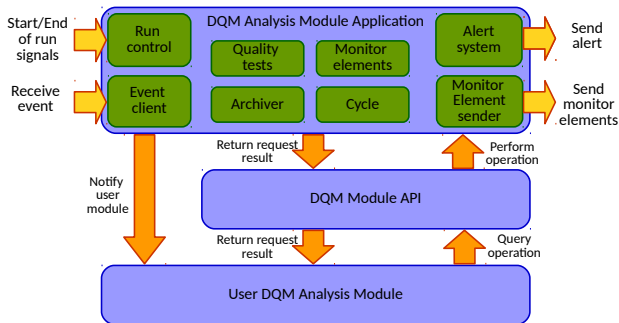
Perfect PFA
pfoEnergyNeutralHadrons

Perfect PFA



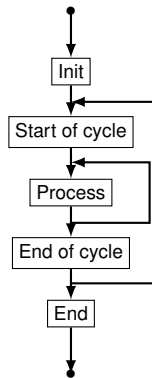
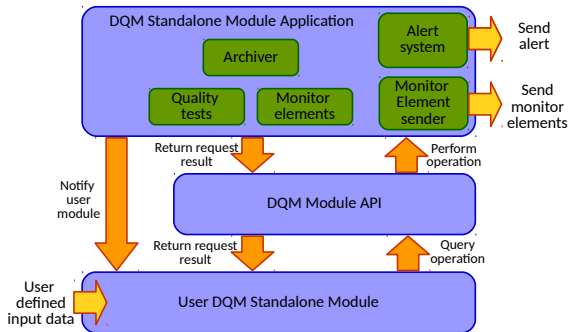
Module d'analyse de données

- 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



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	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

