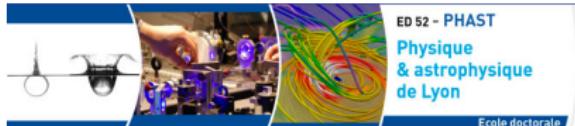


Développement d'un algorithme de suivi de particules (PFA) pour l'ILC. Outils de surveillance en ligne de qualité de données

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 Les algorithmes de suivi de particules

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

3 Logiciel de surveillance de données

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

4 Conclusion et perspectives

Contexte théorique et expérimental

1 Contexte théorique et expérimental

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

2 Les algorithmes de suivi de particules

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

3 Logiciel de surveillance de données

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

4 Conclusion et perspectives

Contexte théorique et expérimental

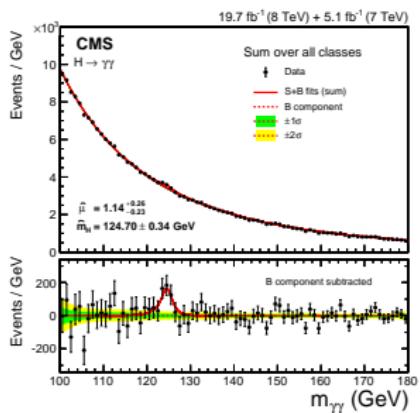
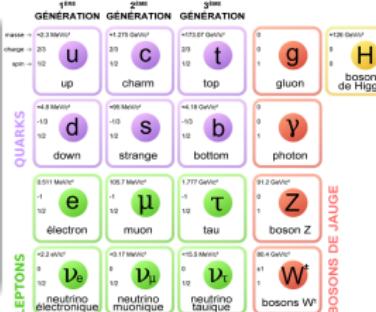
Le modèle standard

Le modèle standard

Théorie unifiant 3 des 4 interactions fondamentales :

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

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



CMS-HIG-13-001

arXiv:1407.0558v2

Des familles et des générations !

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

Modèle incomplet

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

Contexte théorique et expérimental

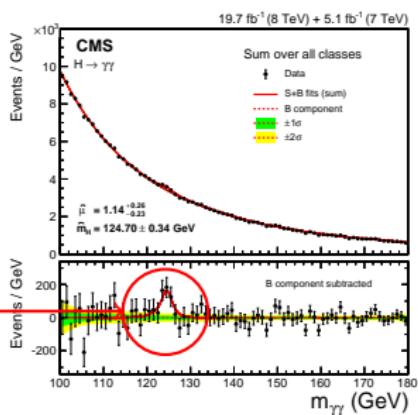
Le modèle standard

Le modèle standard

Théorie unifiant 3 des 4 interactions fondamentales :

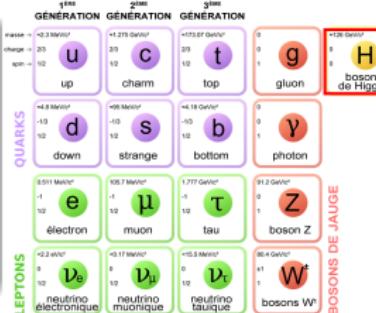
- L'interaction électromagnétique
 - L'interaction faible
 - L'interaction forte

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



CMS-HIG-13-001

arXiv:1407.0558v2



Des familles et des générations !

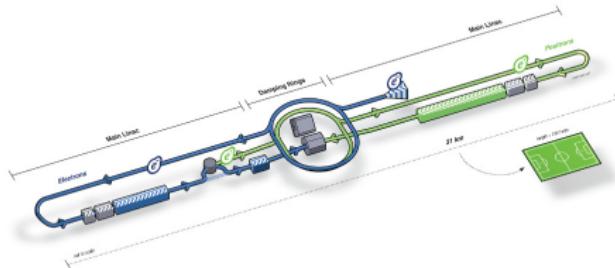
- 12 fermions
 - 4 bosons de jauge
 - 1 boson de Higgs

Modèle incomplet

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

Contexte théorique et expérimental

Le collisionneur linéaire international - ILC



Caractéristiques du collisionneur

- Collision $e^+ e^-$
 - Energie : 250-500 GeV (1 TeV ?)
 - Luminosité : $0.75 \cdot 10^{34}$ - $1.8 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - Fréquence de collisions : 5 Hz (contre 40 MHz au LHC)
 - Nb de particules par croisement : $2 \cdot 10^{10}$
 - Alimentation pulsée

- Japanese Mountainous Sites -

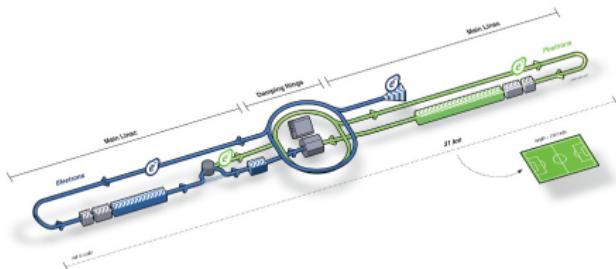


ILC Technical Design Report, Vol. 1 Executive Summary

arXiv:1306.6327

Contexte théorique et expérimental

Le collisionneur linéaire international - ILC



Caractéristiques du collisionneur

- Collision $e^+ e^-$
 - Energie : 250-500 GeV (1 TeV ?)
 - Luminosité : $0.75 \cdot 10^{34}$ - $1.8 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
 - Fréquence de collisions : 5 Hz (contre 40 MHz au LHC)
 - Nb de particules par croisement : $2 \cdot 10^{10}$
 - Alimentation pulsée



ILC Technical Design Report, Vol. 1 Executive Summary

arXiv:1306.6327

Contexte théorique et expérimental

Le programme physique

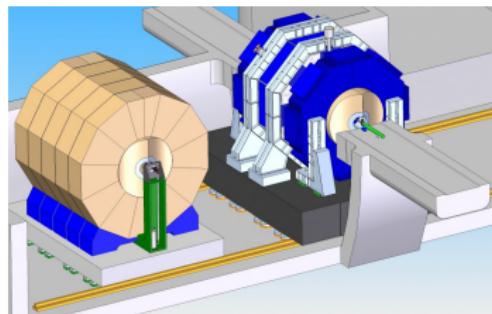
Energy	Reaction	Physics Goal
91 GeV	$e^+e^- \rightarrow Z$	ultra-precision electroweak
160 GeV	$e^+e^- \rightarrow WW$	ultra-precision W mass
250 GeV	$e^+e^- \rightarrow Zh$	precision Higgs couplings
350–400 GeV	$e^+e^- \rightarrow t\bar{t}$ $e^+e^- \rightarrow WW$ $e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}h$	top quark mass and couplings precision W couplings precision Higgs couplings
500 GeV	$e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}h$ $e^+e^- \rightarrow Zhh$ $e^+e^- \rightarrow \tilde{\chi}\tilde{\chi}$ $e^+e^- \rightarrow AH, H^+H^-$	precision search for Z' Higgs coupling to top Higgs self-coupling search for supersymmetry search for extended Higgs states
700–1000 GeV	$e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}hh$ $e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}VV$ $e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}t\bar{t}$ $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}^*$	Higgs self-coupling composite Higgs sector composite Higgs and top search for supersymmetry

Contexte théorique et expérimental
ILD et SiD

Deux détecteurs génériques :

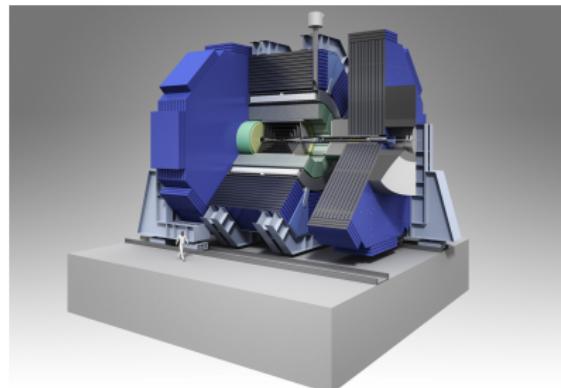
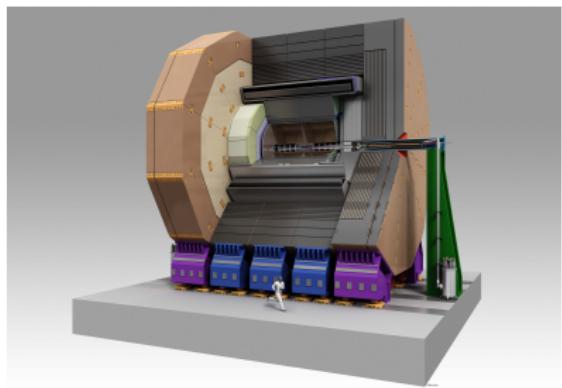
- ILD : TPC, plus large, $B = 3.5 - 4$ T
 - SiD : Tracker en silicium, plus compact, $B = 5$ T

Installation sur rail coulissant



ILC Technical Design Report, Vol.4 Detectors

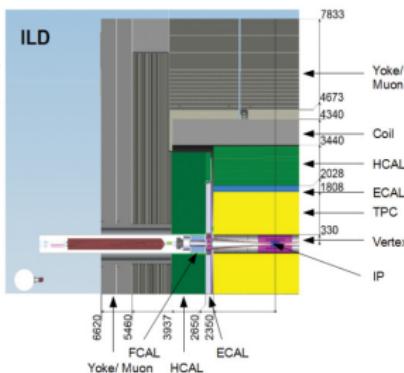
arXiv:1306.6329



Contexte théorique et expérimental

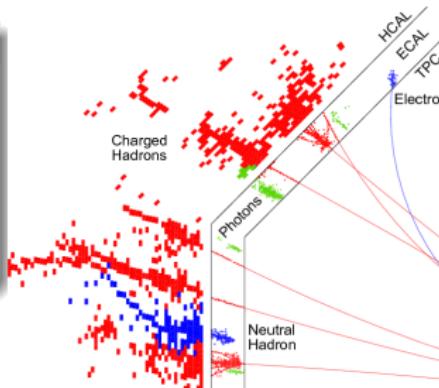
Les sous détecteurs de l'ILD

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



Des calorimètres pour le suivi de particules

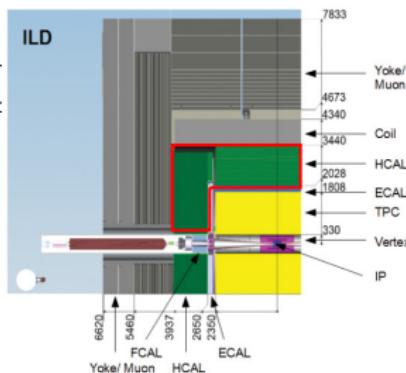
- ECAL (résolution $\simeq 12\%/\sqrt{E}$) :
 - SiWECal : $5 \times 5 \text{ mm}^2$
 - ScWECal : $5 \times 45 \text{ mm}^2$ + SSA
 - HCAL (résolution $\simeq 60\%/\sqrt{E}$) :
 - AHCAL : $3 \times 3 \text{ cm}^2$
 - SDHCAL : $1 \times 1 \text{ cm}^2$



Contexte théorique et expérimental

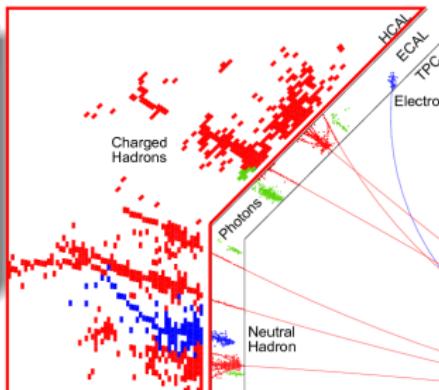
Les sous détecteurs de l'ILD

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



Des calorimètres pour le suivi de particules

- ECAL (résolution $\simeq 12\%/\sqrt{E}$):
 - SiWECal : $5 \times 5 \text{ mm}^2$
 - ScWECal : $5 \times 45 \text{ mm}^2 + \text{SSA}$
 - HCAL (résolution $\simeq 60\%/\sqrt{E}$):
 - AHCAL : $3 \times 3 \text{ cm}^2$
 - SDHCAL : $1 \times 1 \text{ cm}^2$



Contexte théorique et expérimental

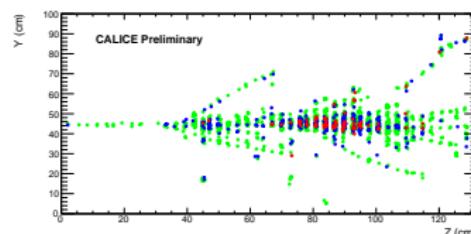
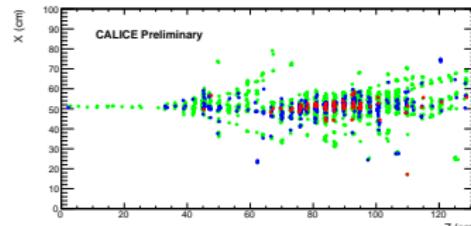
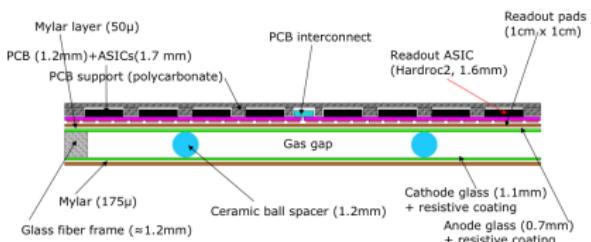
Le calorimètre hadronique semi-digital

Semi-Digital Hadron Calorimeter

- Calorimètre à échantillonnage
 - 48 plans :
 - Absorber en acier
 - Milieu sensitif : GRPC
 - Segmentation :
 - Transverse : 1 cm^2
 - Longitudinale : 2.67 cm (abs. + sens)
 - Lecture semi-digitale à 3 seuils
 - **seuil 1** : peu de particules
 - **seuil 2** : quelques particules
 - **seuil 3** : beaucoup de particules

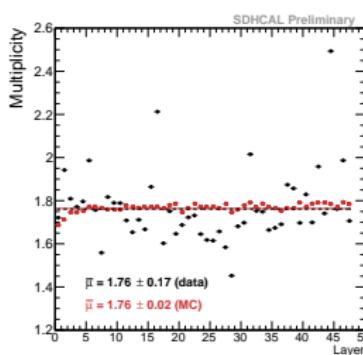
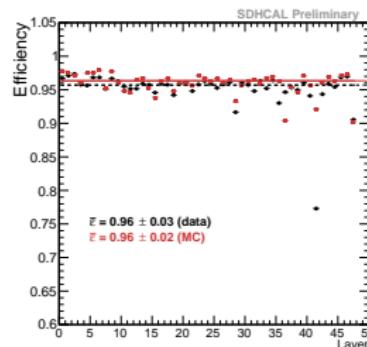
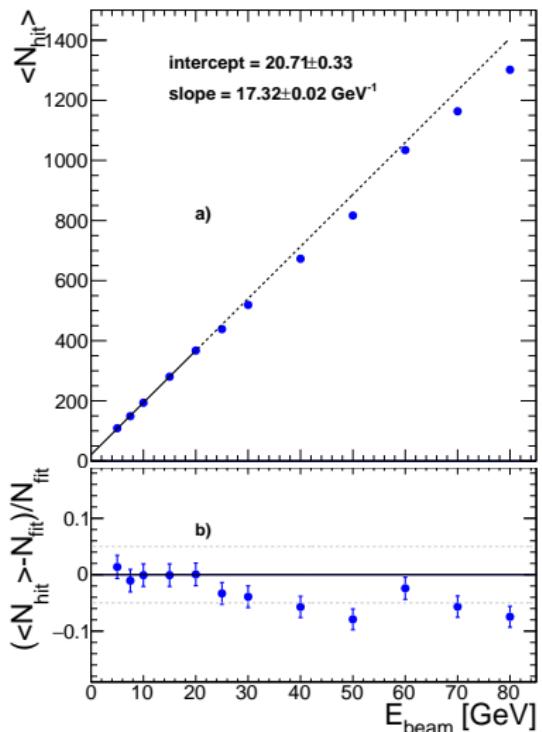
The Calice Collaboration

arXiv:1602.02276



Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL



Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

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

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , $\textcolor{green}{N}_1$, $\textcolor{blue}{N}_2$, $\textcolor{red}{N}_3$

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Formule linéaire

$$E = \alpha \cdot \textcolor{green}{N}_1 + \beta \cdot \textcolor{blue}{N}_2 + \gamma \cdot \textcolor{red}{N}_3 \quad (1)$$

avec α , β et γ trois constantes.

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

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , $\textcolor{green}{N_1}$, $\textcolor{blue}{N_2}$, $\textcolor{red}{N_3}$

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Formule linéaire

$$E = \alpha \cdot \textcolor{green}{N_1} + \beta \cdot \textcolor{blue}{N_2} + \gamma \cdot \textcolor{red}{N_3} \quad (1)$$

avec α , β et γ trois constantes.

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

Formule quadratique

$$E = \alpha(NHit) \cdot \textcolor{green}{N_1} + \beta(NHit) \cdot \textcolor{blue}{N_2} + \gamma(NHit) \cdot \textcolor{red}{N_3} \quad (2)$$

avec :

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

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

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

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

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- reconstruction de l'énergie des hadrons

Principales observables du SDHCAL : N_{hit} , $\textcolor{green}{N}_1$, $\textcolor{blue}{N}_2$, $\textcolor{red}{N}_3$

Reconstruction de l'énergie des hadrons :

→ plusieurs estimateurs possibles !

Formule linéaire

$$E = \alpha \cdot \textcolor{green}{N}_1 + \beta \cdot \textcolor{blue}{N}_2 + \gamma \cdot \textcolor{red}{N}_3 \quad (1)$$

avec α , β et γ trois constantes.

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

Formule quadratique

$$E = \alpha(NHit) \cdot \textcolor{green}{N}_1 + \beta(NHit) \cdot \textcolor{blue}{N}_2 + \gamma(NHit) \cdot \textcolor{red}{N}_3 \quad (2)$$

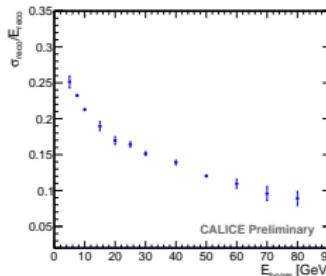
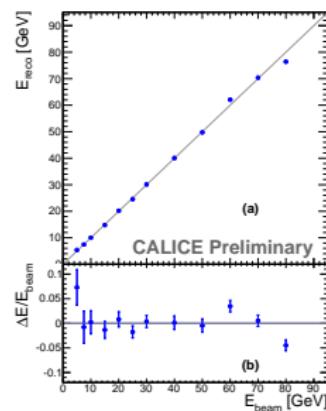
avec :

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

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

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

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

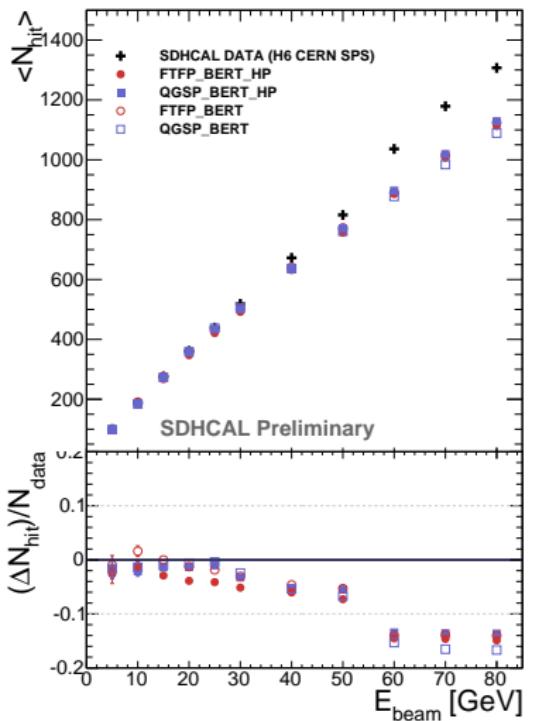


The Calice Collaboration

JINST **11** P04001

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- quelques désaccords ...

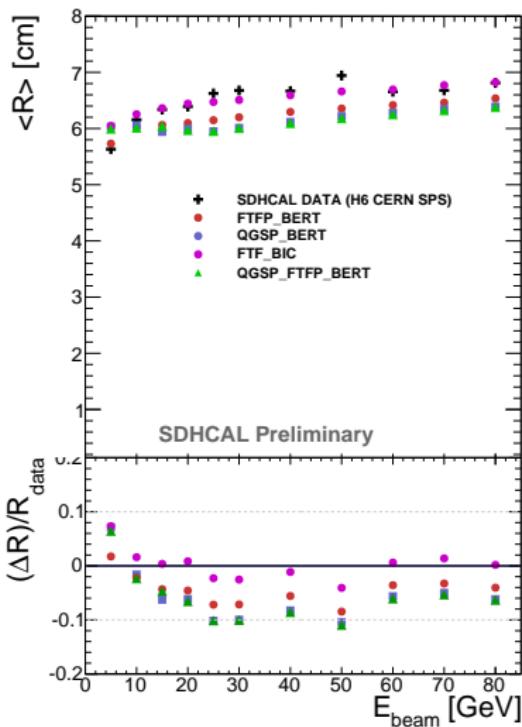
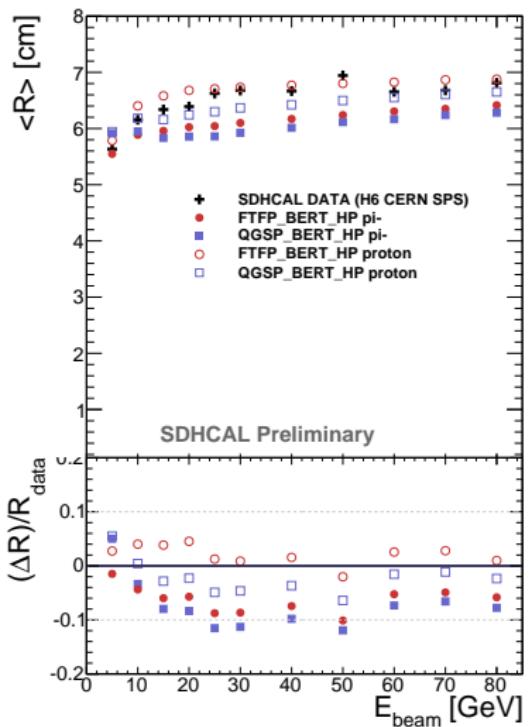


Thèse A. Steen

2015LY010230

Contexte théorique et expérimental

Performances du SDHCAL- quelques désaccords ...



Les algorithmes de suivi de particules

1 Contexte théorique et expérimental

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

2 Les algorithmes de suivi de particules

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

3 Logiciel de surveillance de données

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

4 Conclusion et perspectives

Les algorithmes de suivi de particules

Introduction

Définition

Algorithme(s) de reconstruction visant à reconstruire les particules individuellement en combinant les informations les plus appropriées des différents sous-détecteurs.

Les algorithmes de suivi de particules

Introduction

Définition

Algorithme(s) de reconstruction visant à reconstruire les particules individuellement en combinant les informations les plus appropriées des différents sous-détecteurs.

PFA = Logiciel + Détecteur !

Les algorithmes de suivi de particules

Introduction

Définition

Algorithme(s) de reconstruction visant à reconstruire les particules individuellement en combinant les informations les plus appropriées des différents sous-détecteurs.

PFA = Logiciel + Détecteur !

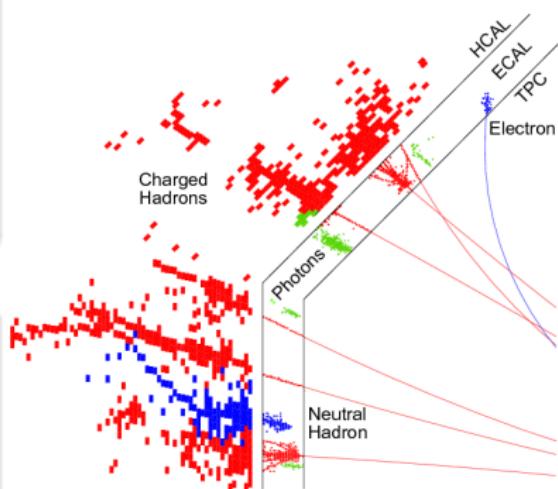
Sous-détecteurs appropriés

- e^\pm : Tracker
- h^\pm : Tracker
- μ^\pm : Tracker + chambres à muons
- γ : ECal + Tracker (track veto)
- h^0 : ECal + HCal

Composition moyenne d'un jet de 100 GeV

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

NIM A495 (2002), 107-120



Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- PandoraPFA

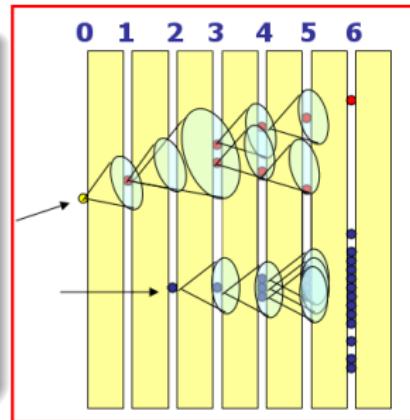
PandoraPFA

Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- PandoraPFA

PandoraPFA

1 Clustering en cône récursifs



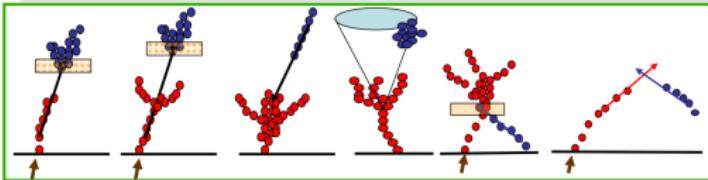
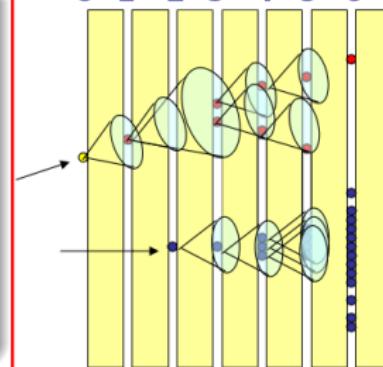
Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- PandoraPFA

PandoraPFA

- 1 Clustering en cône récursifs
- 2 Associations topologiques
 - Association trace \leftrightarrow cluster
 - Association cluster \leftrightarrow cluster

0 1 2 3 4 5 6

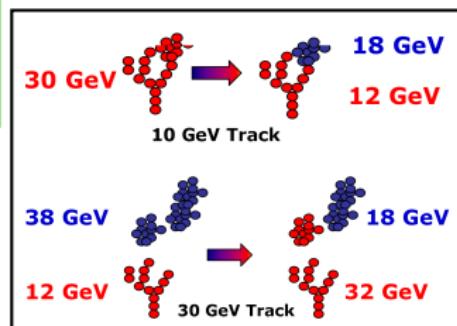
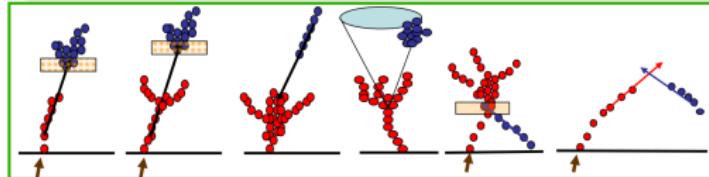
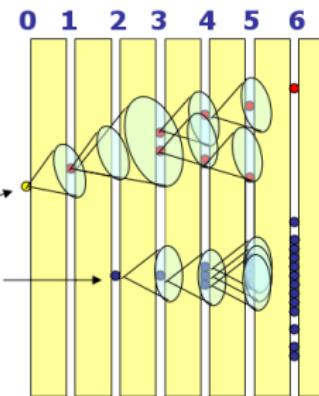


Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- PandoraPFA

PandoraPFA

- ➊ *Clustering en cône récursifs*
- ➋ *Associations topologiques*
 - Association trace \leftrightarrow cluster
 - Association cluster \leftrightarrow cluster
- ➌ *Re-clustering statistique*
 - Compatibilité $E - p$
 - Clustering local

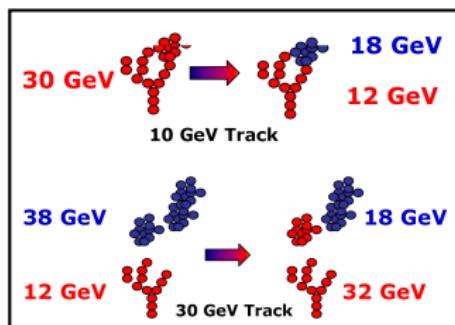
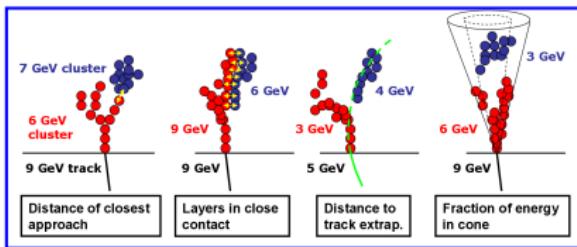
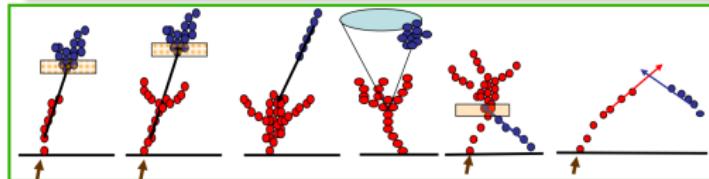
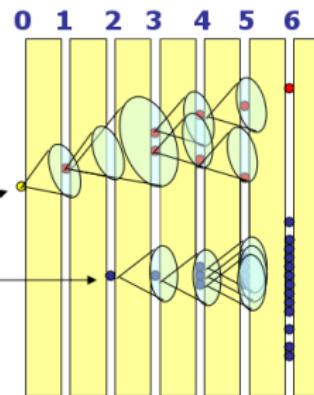


Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- PandoraPFA

PandoraPFA

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

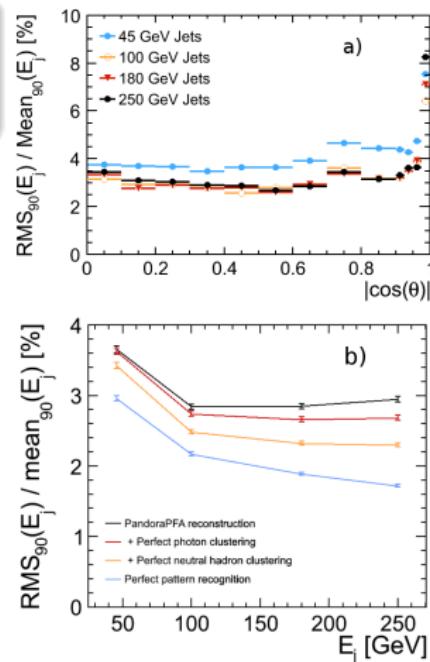


Les algorithmes de suivi de particules

Introduction- les performances de PandoraPFA

Extraction des performances

- Boson Z^0 virtuel $\rightarrow jj$
- Énergies : 91, 200, 360 et 500 GeV



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009

Les algorithmes de suivi de particules

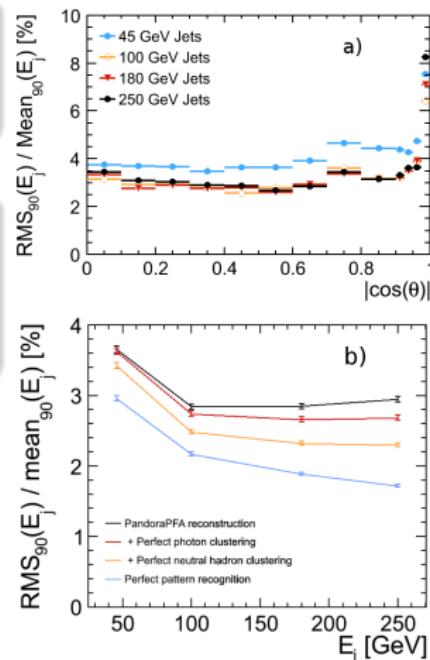
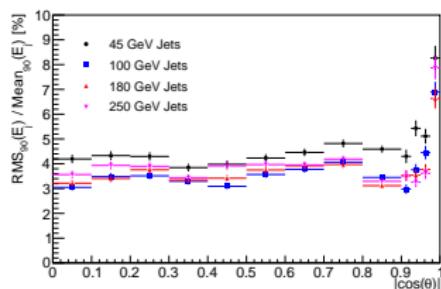
Introduction- les performances de PandoraPFA

Extraction des performances

- Boson Z^0 virtuel $\rightarrow jj$
- Énergies : 91, 200, 360 et 500 GeV

Les limites de PandoraPFA

- Conçu pour un HCal analogique
- Optimisé pour une taille de cellule $3 \times 3 \text{ cm}^2$
- Calcul d'énergie linéaire dans les algorithmes



M. A. Thomson

NIM, A611:25-40, 2009

Les algorithmes de suivi de particules

Principe d'ArborPFA

Principe

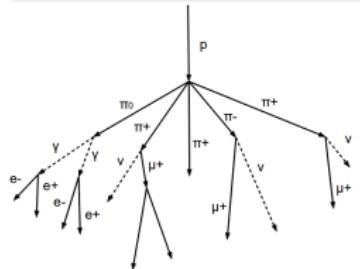
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.

Les algorithmes de suivi de particules

Principe d'ArborPFA

Principe

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



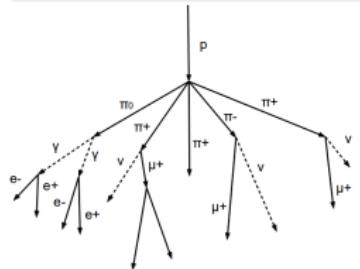
Gerbe hadronique

Les algorithmes de suivi de particules

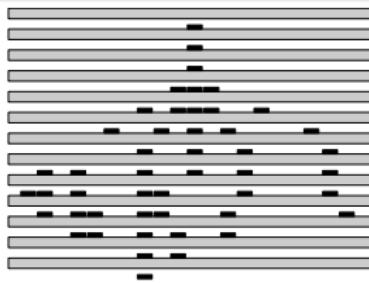
Principe d'ArborPFA

Principe

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



Gerbe hadronique



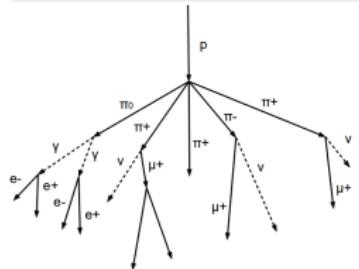
dans un calorimètre

Les algorithmes de suivi de particules

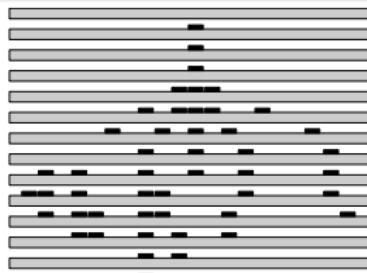
Principe d'ArborPFA

Principe

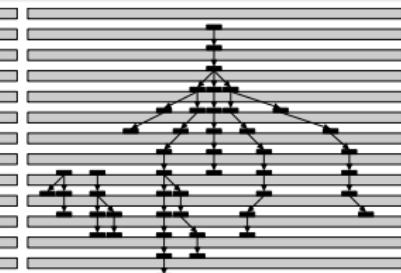
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



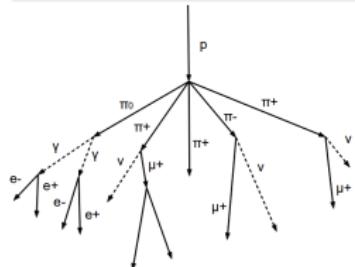
avec ArborPFA

Les algorithmes de suivi de particules

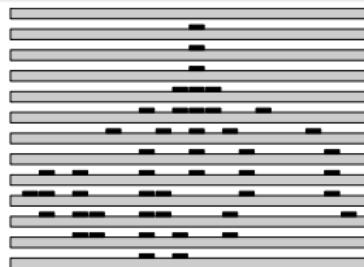
Principe d'ArborPFA

Principe

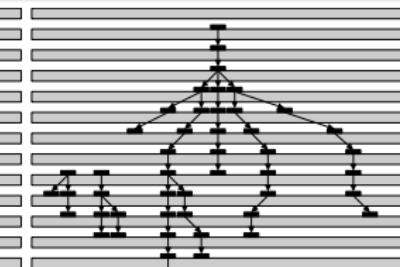
Algorithme de *clustering* basé sur la **topologie en arbre** des gerbes hadroniques.



Gerbe hadronique



dans un calorimètre



avec ArborPFA

Quelques définitions

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

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

Implémentation

- **Création de vertex (1 algo)**
- Construction des arbres et clusters (6 algos)
 - Connexions des vertex (3 algos)
 - Nettoyage des connexions (3 algos)
- Association traces → clusters (1 algo)
- Association clusters → clusters (3 algos)
- Création de PFOs (1 algo)



Les algorithmes de suivi de particules

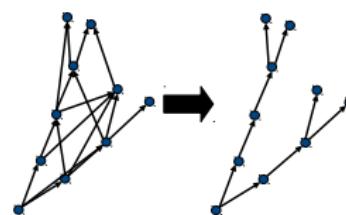
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

Implémentation

- Création de vertex (1 algo)
- Construction des arbres et clusters (6 algos)
 - Connexions des vertex (3 algos)
 - Nettoyage des connexions (3 algos)
- Association traces → clusters (1 algo)
- Association clusters → clusters (3 algos)
- Création de PFOs (1 algo)



Les algorithmes de suivi de particules

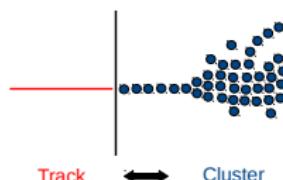
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

Implémentation

- Création de vertex (1 algo)
- Construction des arbres et clusters (6 algos)
 - Connexions des vertex (3 algos)
 - Nettoyage des connexions (3 algos)
- **Association traces → clusters (1 algo)**
- Association clusters → clusters (3 algos)
- Création de PFOs (1 algo)



Les algorithmes de suivi de particules

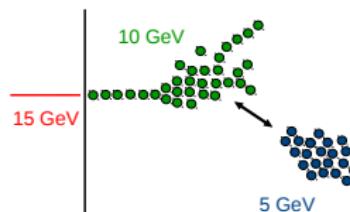
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

Implémentation

- Création de vertex (1 algo)
- Construction des arbres et clusters (6 algos)
 - Connexions des vertex (3 algos)
 - Nettoyage des connexions (3 algos)
- Association traces → clusters (1 algo)
- **Association clusters → clusters (3 algos)**
- Création de PFOs (1 algo)



Les algorithmes de suivi de particules

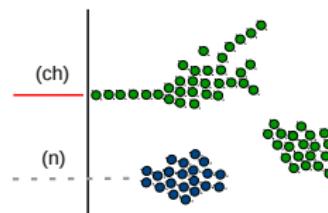
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

Implémentation

- Création de vertex (1 algo)
- Construction des arbres et clusters (6 algos)
 - Connexions des vertex (3 algos)
 - Nettoyage des connexions (3 algos)
- Association traces → clusters (1 algo)
- Association clusters → clusters (3 algos)
- **Création de PFOs (1 algo)**



Les algorithmes de suivi de particules

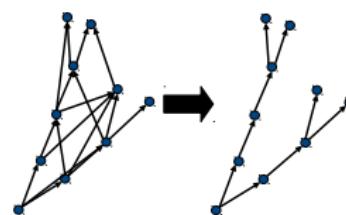
ArborPFA pour le SDHCAL

ArborPFA pour le SDHCAL

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

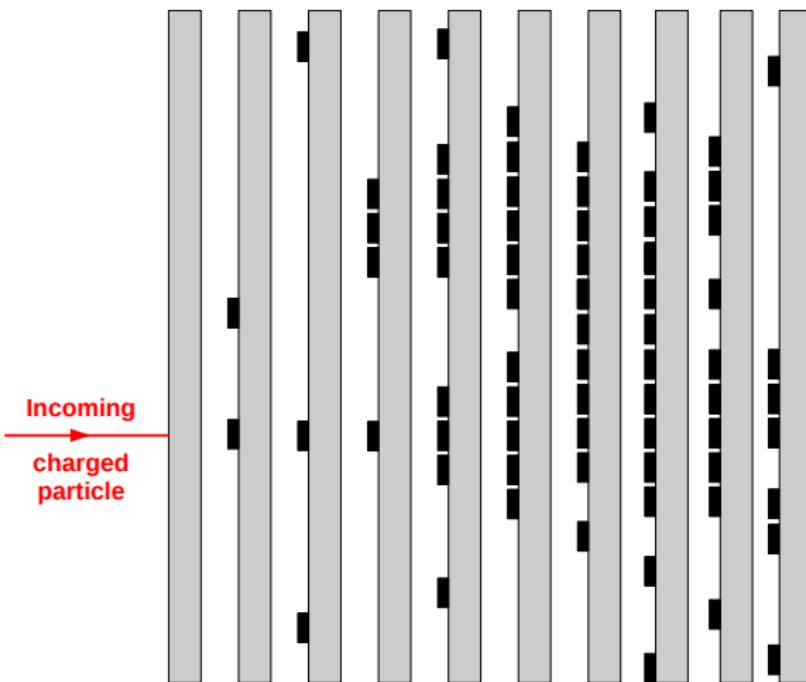
Implémentation

- Création de vertex (1 algo)
- Construction des arbres et clusters (6 algos)
 - Connexions des vertex (3 algos)
 - Nettoyage des connexions (3 algos)
- Association traces → clusters (1 algo)
- Association clusters → clusters (3 algos)
- Création de PFOs (1 algo)



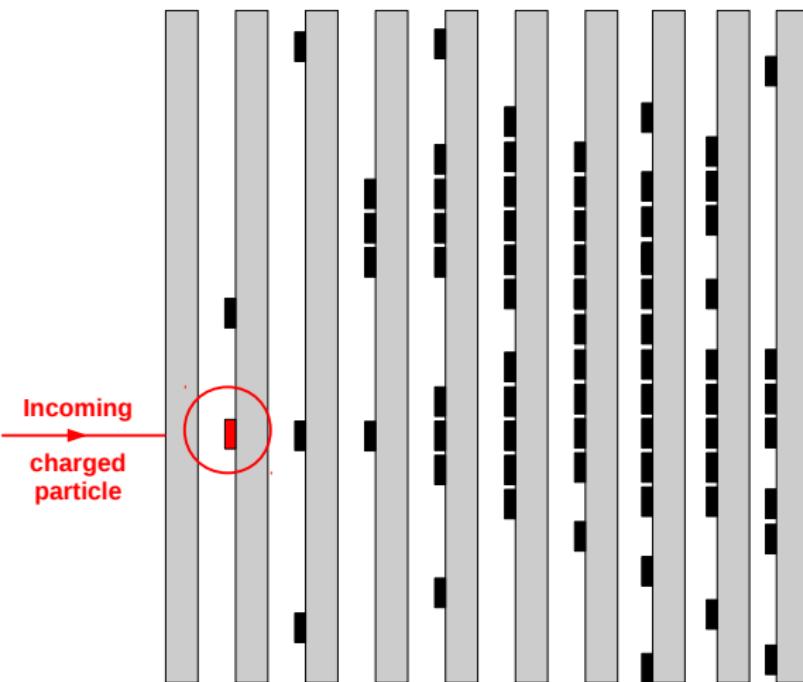
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



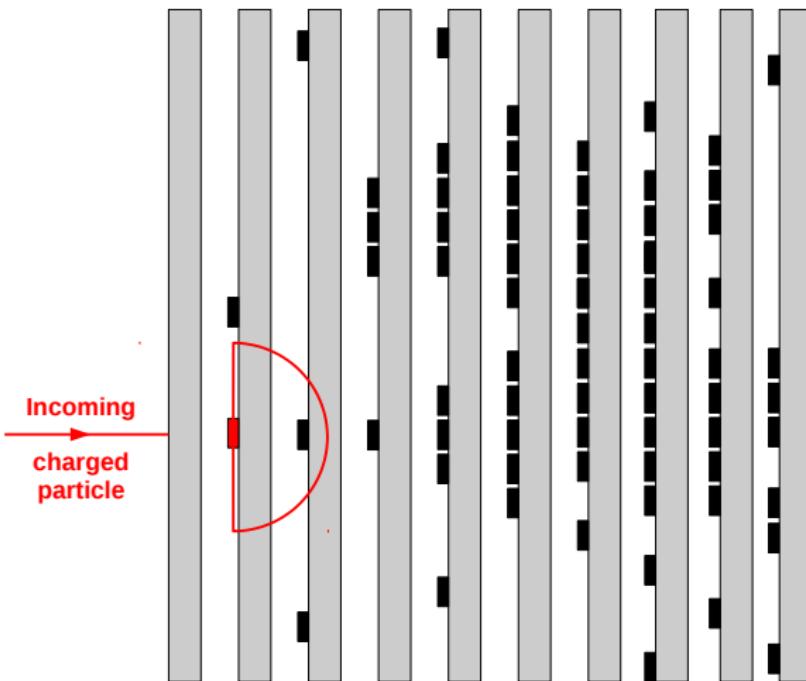
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



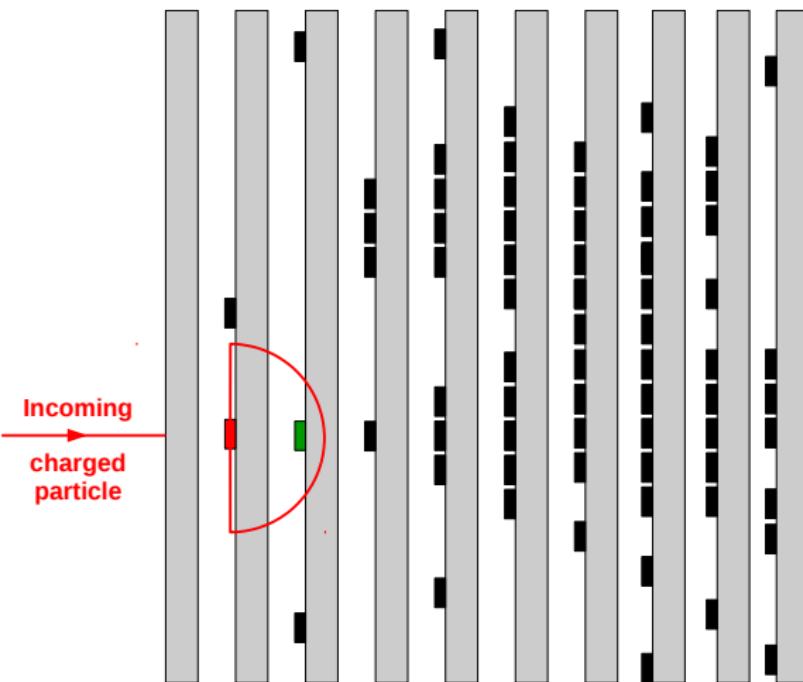
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



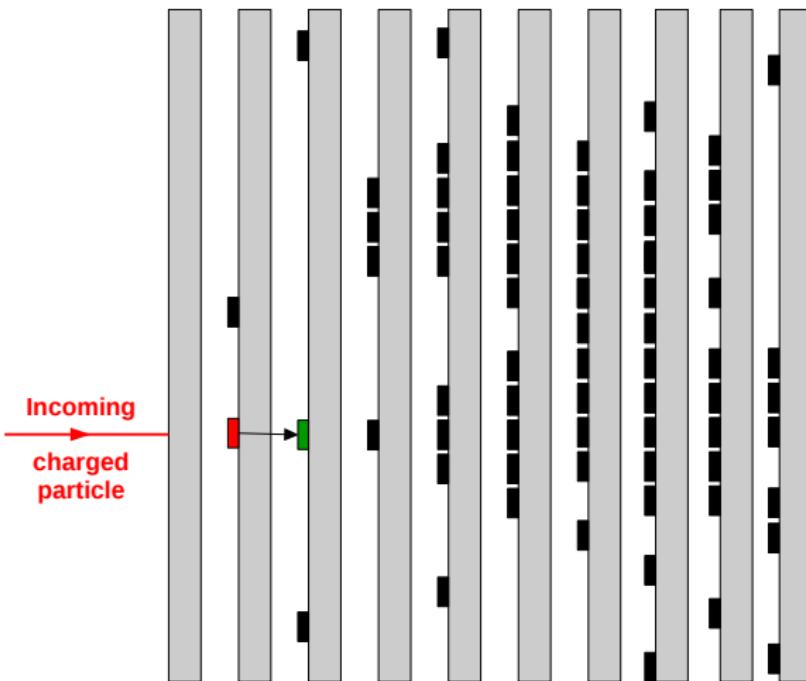
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



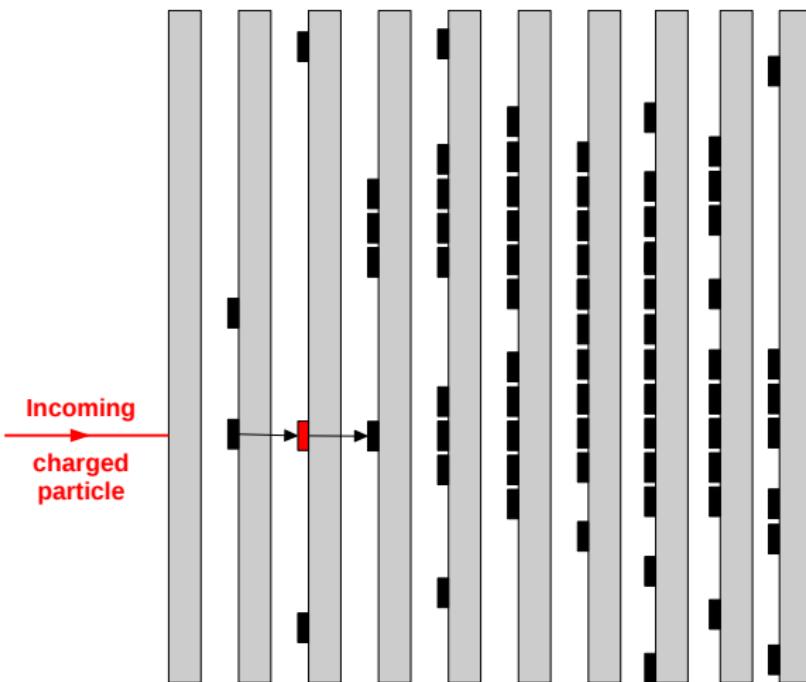
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



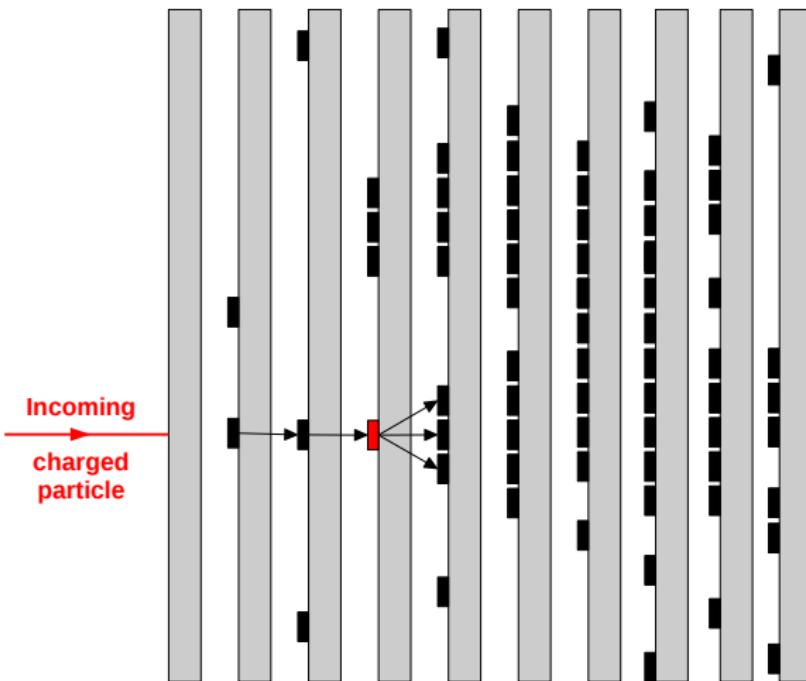
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



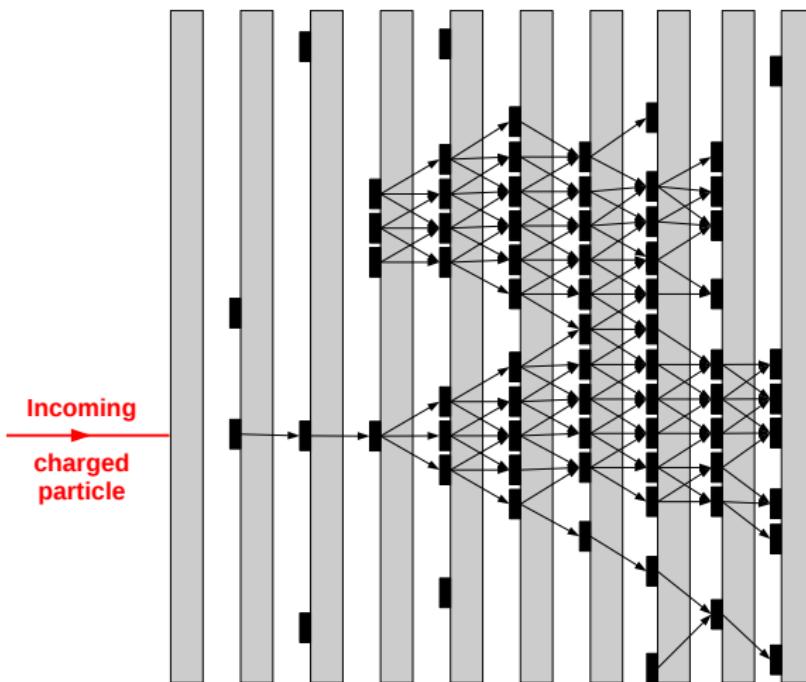
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



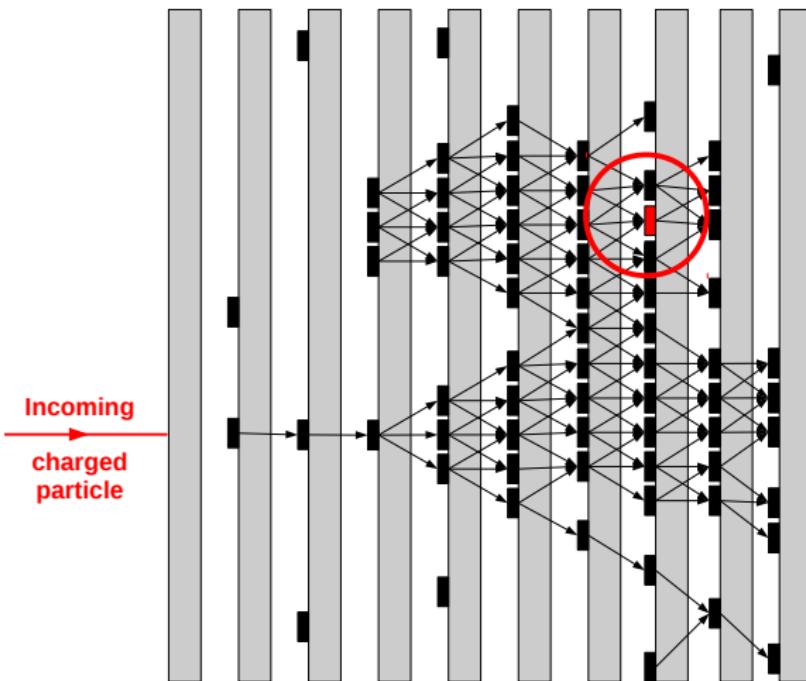
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Connexions des vertex



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

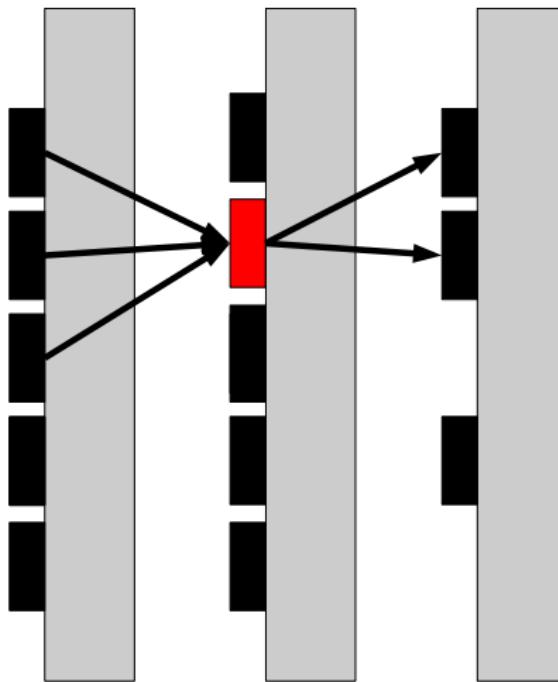


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\vec{C}_{ref} = -w_{bck} \cdot \sum_{\sigma} \sum_b \vec{c}_{b,\sigma} \\ - w_{fwd} \cdot \sum_{\delta} \sum_f \vec{c}_{f,\delta}$$

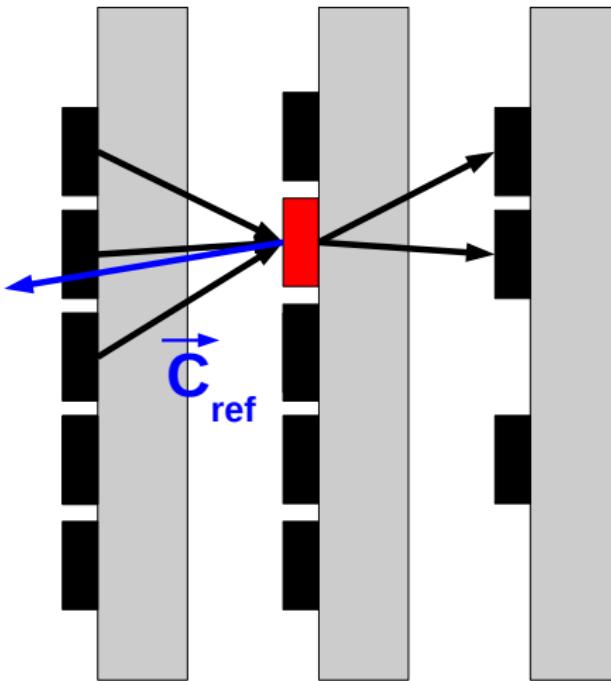


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\vec{C}_{ref} = -w_{bck} \cdot \sum_{\sigma} \sum_b \vec{c}_{b,\sigma} \\ - w_{fwd} \cdot \sum_{\delta} \sum_f \vec{c}_{f,\delta}$$



Les algorithmes de suivi de particules

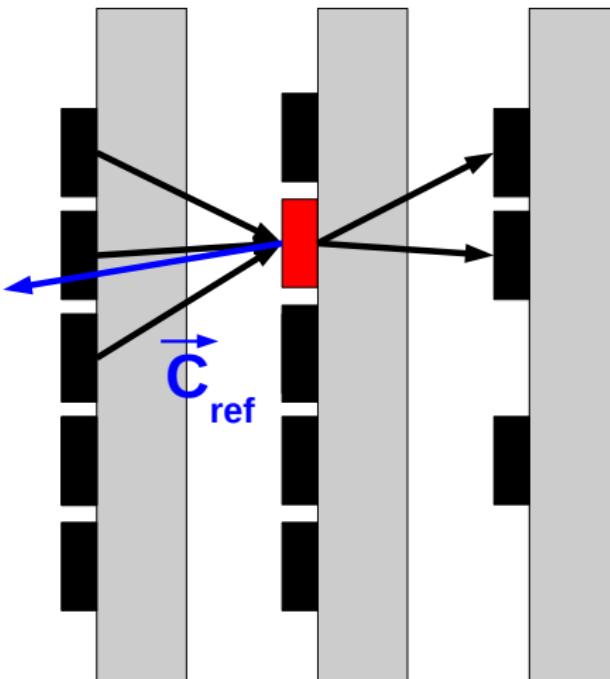
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\vec{C}_{ref} = -w_{bck} \cdot \sum_{\sigma} \sum_b \vec{c}_{b,\sigma} \\ - w_{fwd} \cdot \sum_{\delta} \sum_f \vec{c}_{f,\delta}$$

Paramètre d'ordre :

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



Les algorithmes de suivi de particules

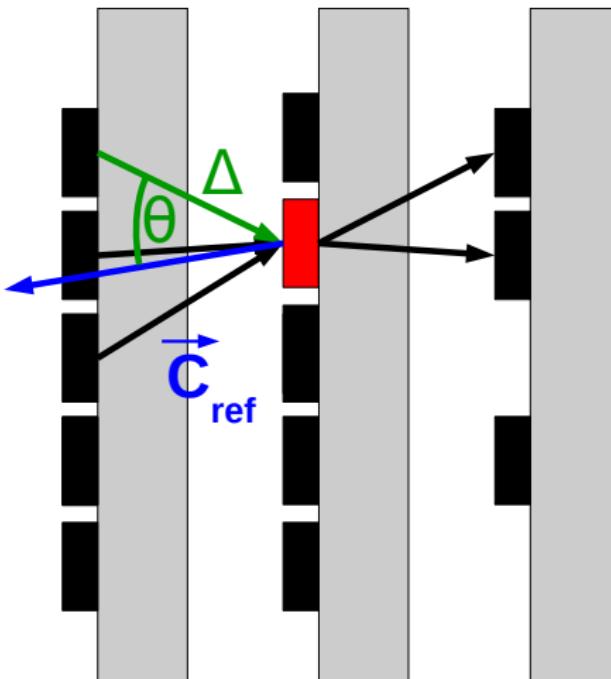
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\vec{c}_{ref} = -w_{bck} \cdot \sum_{\sigma} \sum_b \vec{c}_{b,\sigma} \\ - w_{fwd} \cdot \sum_{\delta} \sum_f \vec{c}_{f,\delta}$$

Paramètre d'ordre :

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



Les algorithmes de suivi de particules

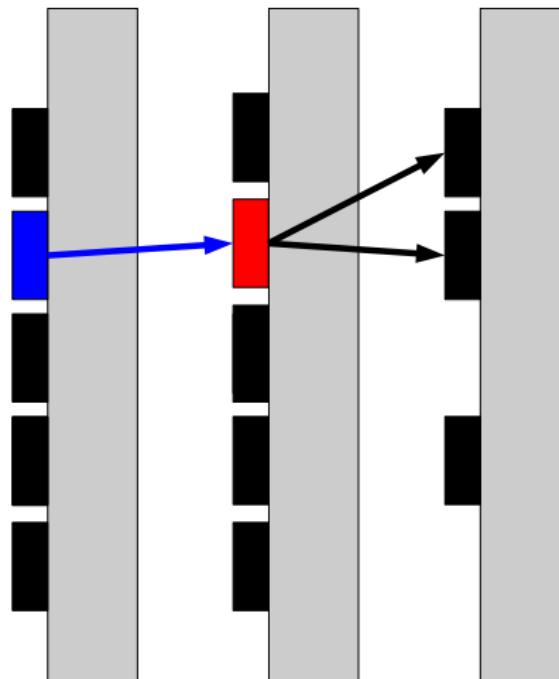
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions

Vecteur de référence :

$$\vec{C}_{ref} = -w_{bck} \cdot \sum_{\sigma} \sum_b \vec{c}_{b,\sigma} \\ - w_{fwd} \cdot \sum_{\delta} \sum_f \vec{c}_{f,\delta}$$

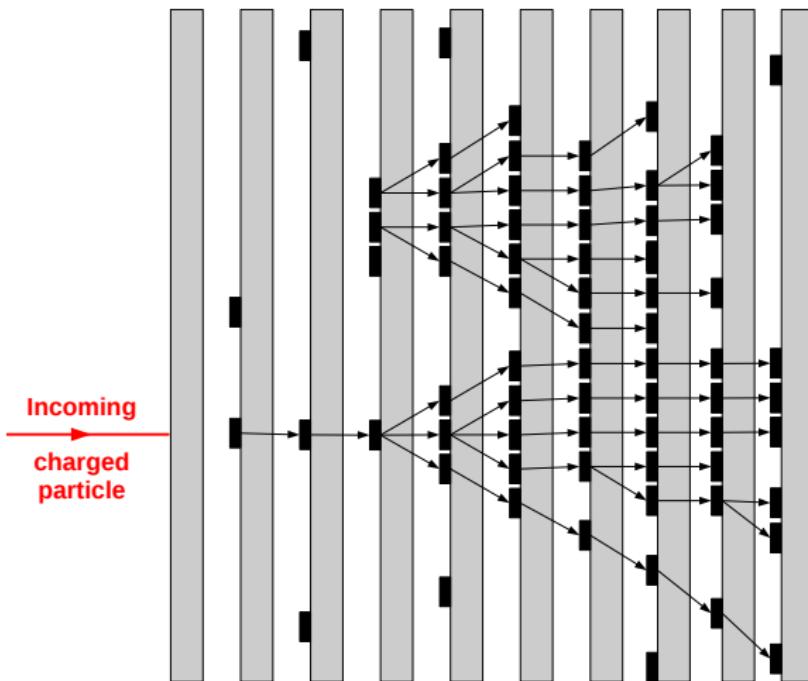
Paramètre d'ordre :

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



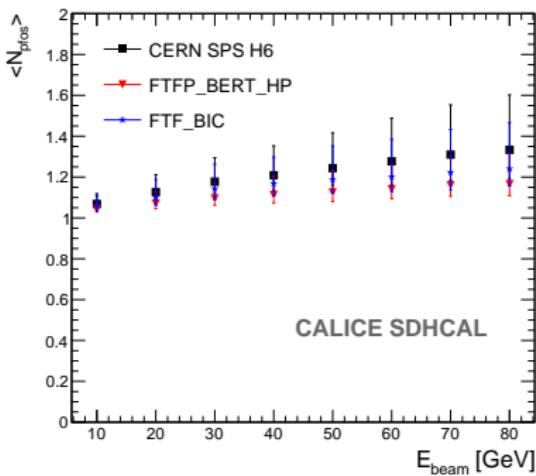
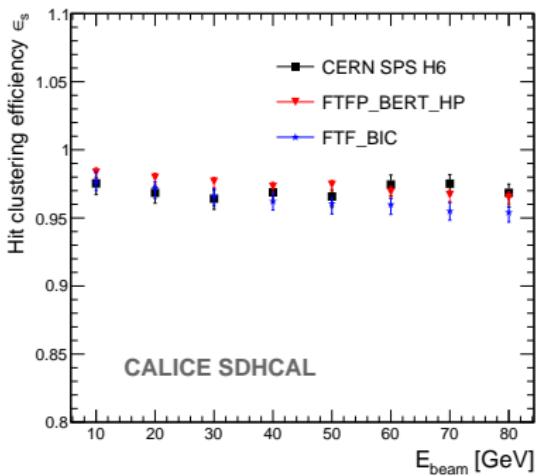
Les algorithmes de suivi de particules

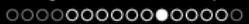
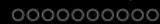
ArborPFA pour le SDHCAL- Nettoyage des connexions



Les algorithmes de suivi de particules

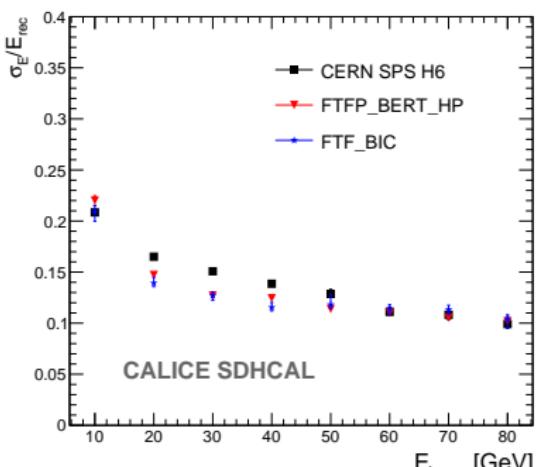
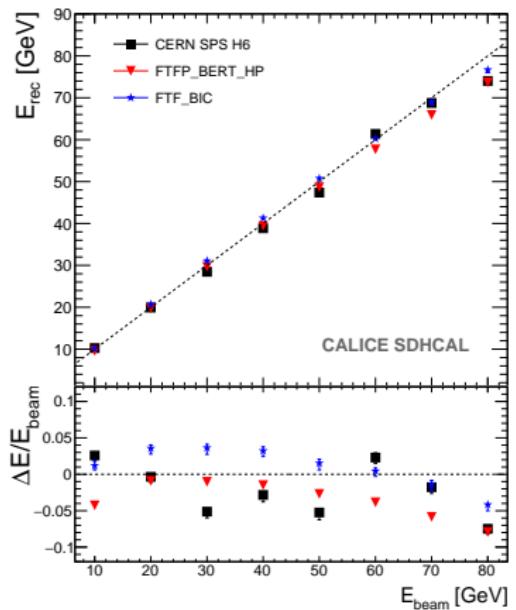
ArborPFA pour le SDHCAL- Hadrons isolés





Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Hadrons isolés

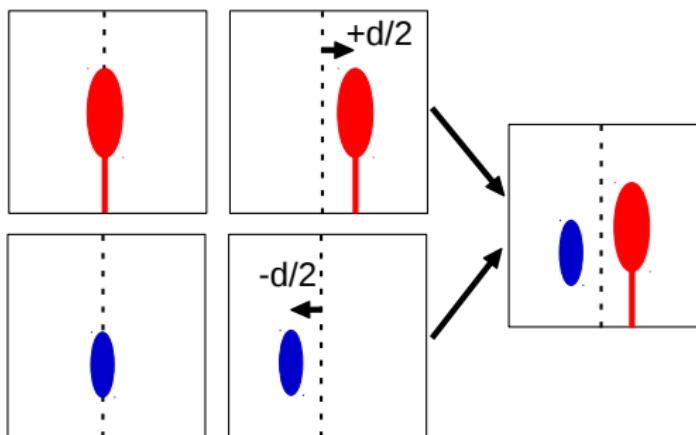


Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons

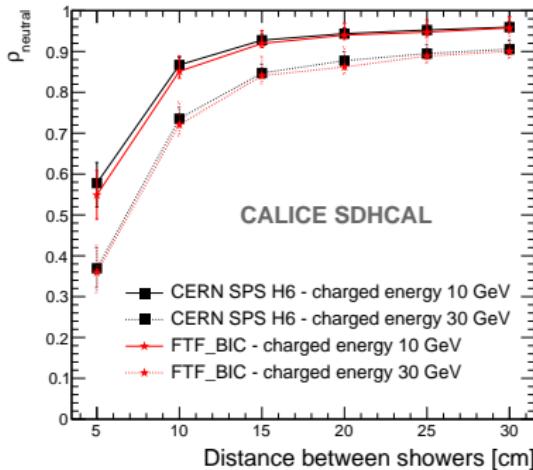
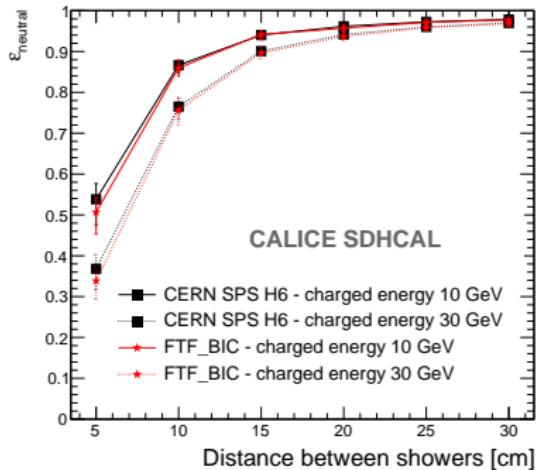
Superposition de deux événements hadronique

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



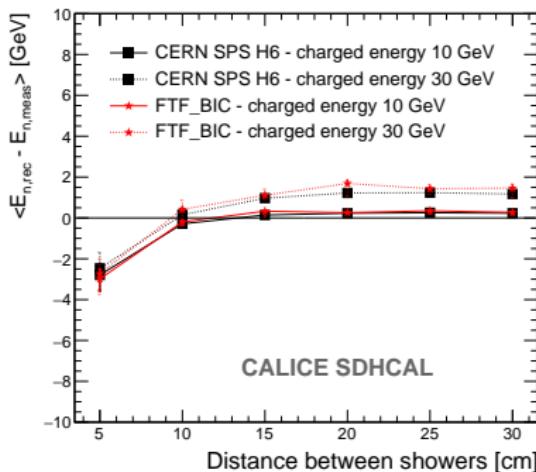
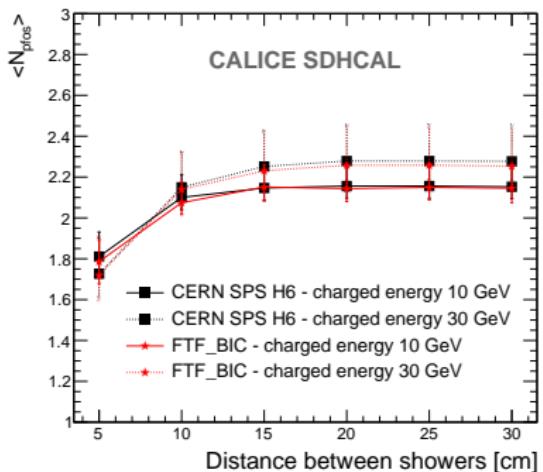
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons



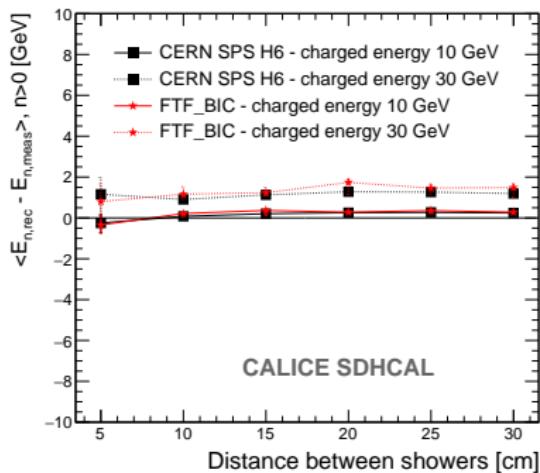
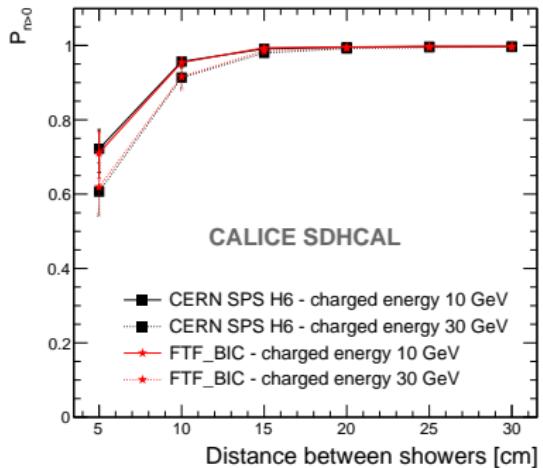
Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le SDHCAL- Séparation de deux hadrons



Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD

ArborPFA pour le détecteur ILD

- Prise en compte des autres sous détecteurs
 - Connexion/nettoyage dans le ECAL
 - Connexion ECAL-HCAL
 - Traces courbées dans la TPC
- Étude de linéarité et résolution énergie pour les hadrons isolés
 - Calibration initiale de référence à $\phi = 0$ et $\theta = 3.14 \text{ rad}$
 - Correction en énergie près des interstices dans le tonneau (5 modules)
 - Correction en énergie en fonction de l'angle θ
- Performances physiques sur un système di-jets ($Z^0 \rightarrow q\bar{q}$)
 - Linéarité, résolution en énergie
 - Contribution de différents termes de confusions

Les algorithmes de suivi de particules

ArborPFA pour le détecteur ILD

Calibration initiale

- Hadrons neutres $E = [10, 80]$ GeV

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 Les algorithmes de suivi de particules

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

3 Logiciel de surveillance de données

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

4 Conclusion et perspectives

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Évalue la **qualité** des données :
 - en ligne
 - hors ligne
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies. Par exemple :
 - CMS - CMSSW DQM
 - ALICE - AMORE
- Principe général : collecter → distribuer → analyser → visualiser

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Évalue la **qualité** des données :
 - en ligne
 - hors ligne
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies. Par exemple :
 - CMS - CMSSW DQM
 - ALICE - AMORE
- Principe général : collecter → distribuer → analyser → visualiser

Fonctionnalités communes

- Couplage au système d'acquisition
- Analyse de données en ligne / hors ligne
- Tests de la qualité des données
- Interface de visualisation des données (histogrammes, scalaires, etc ...)
- Environnements distribués (multi-processus + réseau)

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Évalue la **qualité** des données :
 - en ligne
 - hors ligne
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies. Par exemple :
 - CMS - CMSSW DQM
 - ALICE - AMORE
- Principe général : collecter → distribuer → analyser → visualiser

Fonctionnalités communes

- Couplage au système d'acquisition
- Analyse de données en ligne / hors ligne
- Tests de la qualité des données
- Interface de visualisation des données (histogrammes, scalaires, etc ...)
- Environnements distribués (multi-processus + réseau)

Fonctionnalités différentes

- **Contenu des données entrantes**
- **Format des données entrantes**
- Contenu des analyses
- Couplage au système d'acquisition
- Synthèse différente des données sur l'interface utilisateur

Logiciel de surveillance de données

Introduction

Les systèmes de DQM

- Évalue la **qualité** des données :
 - en ligne
 - hors ligne
- **Alerte** l'utilisateur d'un **état anormal du système** de détection (fuite de gaz, cellule morte, ...)
- Présents dans les expériences de physique de hautes énergies. Par exemple :
 - CMS - CMSSW DQM
 - ALICE - AMORE
- Principe général : collecter → distribuer → analyser → visualiser

Fonctionnalités communes

- Couplage au système d'acquisition
- Analyse de données en ligne / hors ligne
- Tests de la qualité des données
- Interface de visualisation des données (histogrammes, scalaires, etc ...)
- Environnements distribués (multi-processus + réseau)

Fonctionnalités différentes

- **Contenu des données entrantes**
- **Format des données entrantes**
- Contenu des analyses
- Couplage au système d'acquisition
- Synthèse différente des données sur l'interface utilisateur

Logiciel commun ??

Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP

Points clés

- Nouveau logiciel : DQM4HEP (*Data Quality Monitoring for High Energy Physics*)
- Regroupement des fonctionnalités communes des différents logiciels
- **Abstraction des autres fonctionnalités**

Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP

Points clés

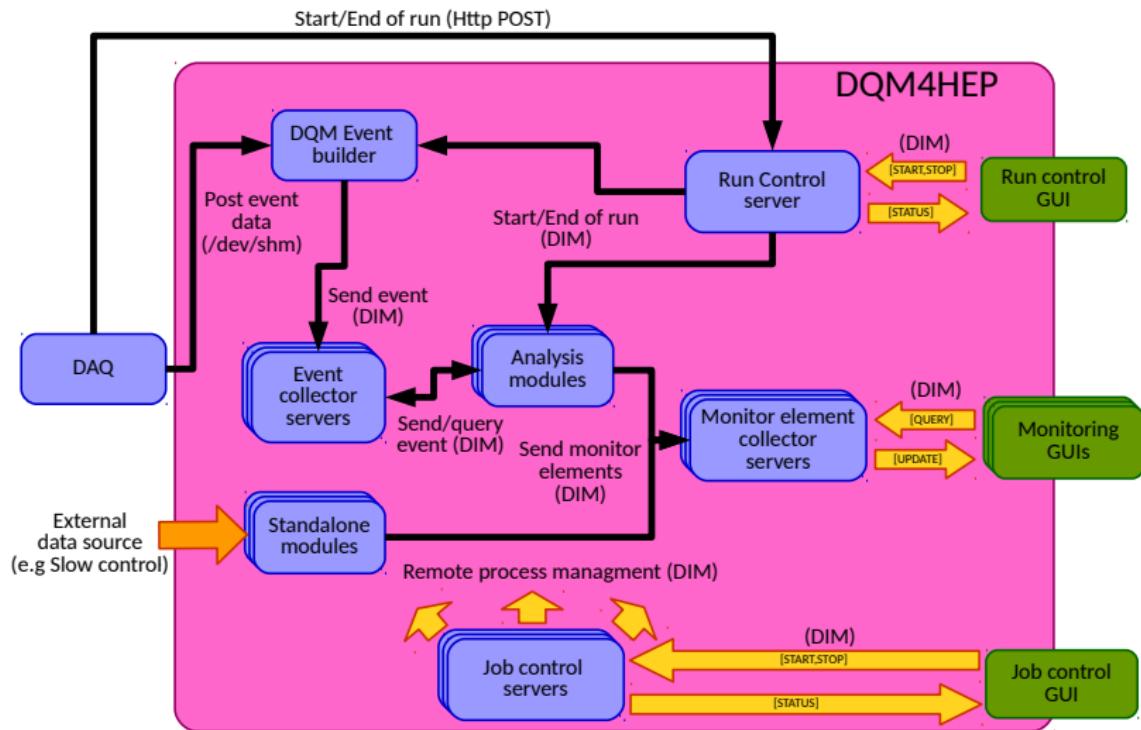
- Nouveau logiciel : DQM4HEP (*Data Quality Monitoring for High Energy Physics*)
- Regroupement des fonctionnalités communes des différents logiciels
- **Abstraction des autres fonctionnalités**

Les fonctionnalités

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

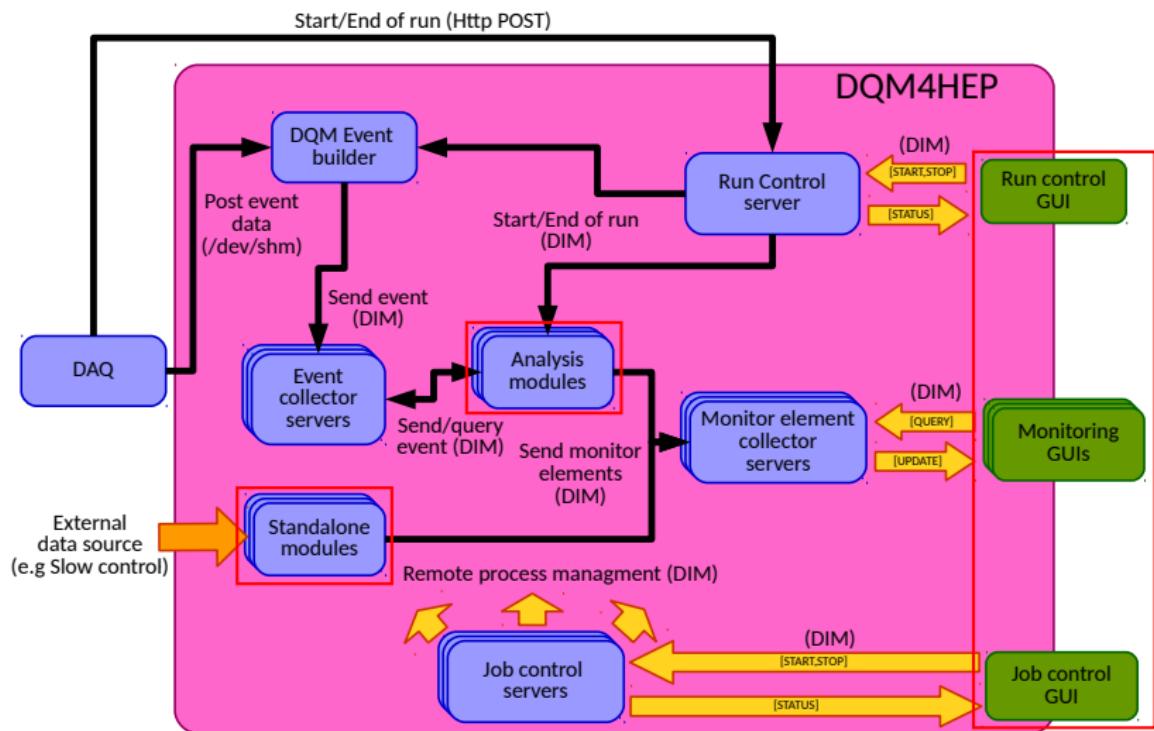
Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- architecture logicielle



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- architecture logicielle

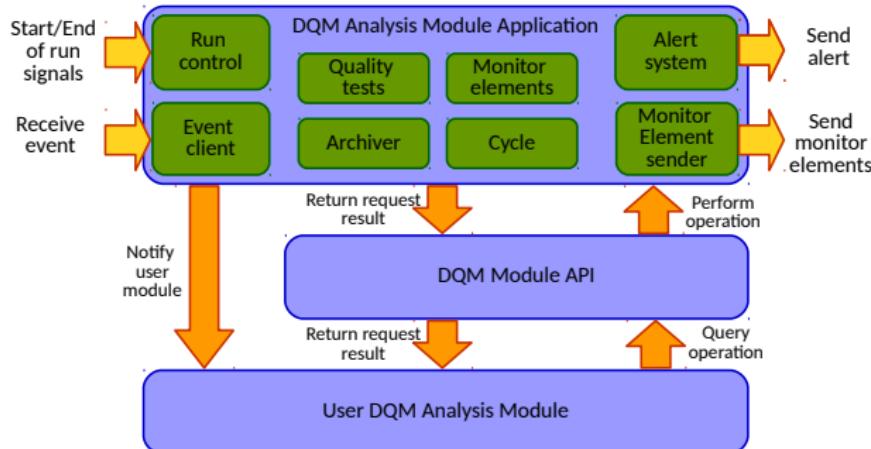


Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- analyse des données provenant des détecteurs

Module d'analyse de données

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

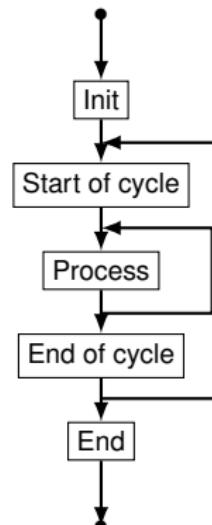
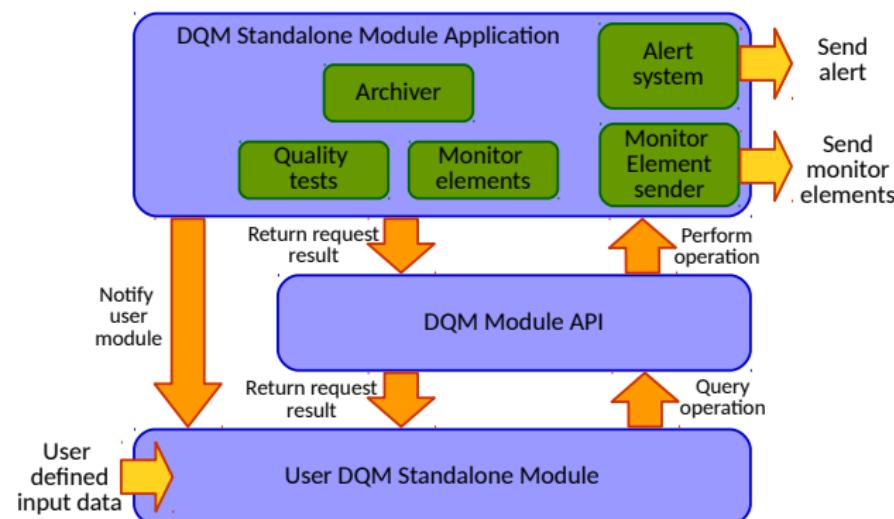


Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- analyse des données environnementales

Module environnemental

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

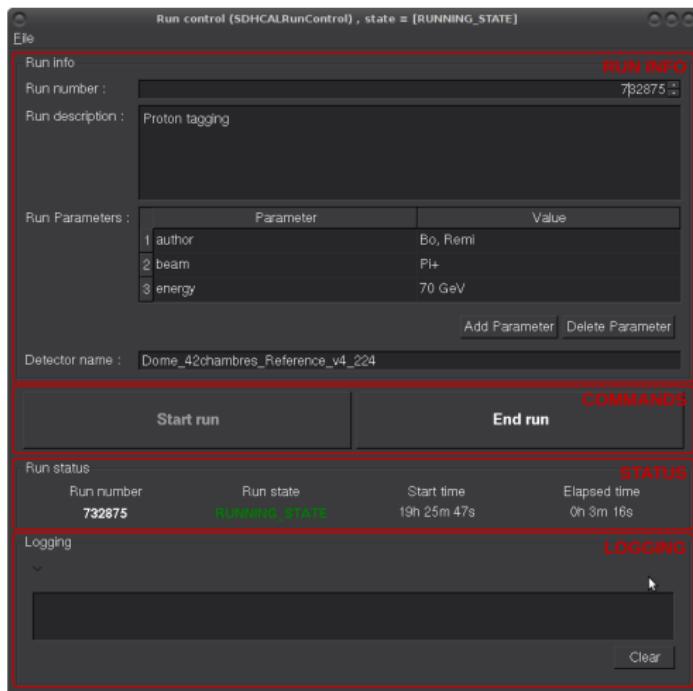


Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- gestion des run

Gestionnaire graphique de run

- Configuration du run
 - numéro de run
 - nom du détecteur
 - paramètres
 - description
- Envoie des signaux de :
 - début de run
 - fin de run
- Statut du run
- Barre de notification



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- gestion des processus

Remarques

- nombre important de processus
- processus dispatchés sur plusieurs hôtes
 - séparation DAQ ↔ DQM
 - amortissement de la charge CPU
- gestion manuelle complexe

Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- gestion des processus

Remarques

- nombre important de processus
- processus dispatchés sur plusieurs hôtes
 - séparation DAQ ↔ DQM
 - amortissement de la charge CPU
- gestion manuelle complexe

Solution

- Implémentation d'un gestionnaire de processus à distance (*dimjc*)
- Implémentation d'un gestionnaire graphique (QtGui)

Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- gestion des processus

Job interface

AUTOMATIC UPDATES

Stop Update period (secs) : 2 ▲ ▼

Job Control	Program Name	PID	Status
↳ ysodhal10	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_run_control_server	11045	S (sleeping)
↳ DQMRunControl	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_event_collector	12154	S (sleeping)
↳ EventCollector	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_event_collector	12157	S (sleeping)
↳ EventCollector_2	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_monitor_element_collector	12164	S (sleeping)
↳ ysodhal7	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31189	R (running)
↳ AsicAnalysisModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31251	R (running)
↳ ECalAnalysisModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31268	D (disk sleep)
↳ EventDisplayModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module		X (dead)
↳ HoughTransformModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module		X (dead)
↳ ParticleIDModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31280	R (running)
↳ BeamAnalysisModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31292	D (disk sleep)
↳ HitAnalysisModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31301	R (running)
↳ RawAnalysisModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_analysis_module	31308	R (running)
↳ SlowControlModule	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_standalone_module		
↳ ysodhal9	/opt/dqmsoftware/dqm4hep/bin/dqm4hep_start_shm_driver	21002	S (sleeping)
↳ ShmDriver			

KILL METHOD Set Kill Method : INT (Interrupt): 2

PROCESS TABLE

ARGS and ENV

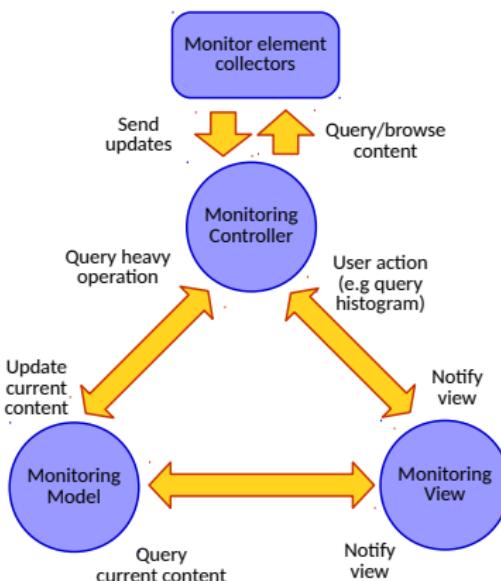
Load file
Reload file
Open LogFile
ACTIONS
Update

Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs

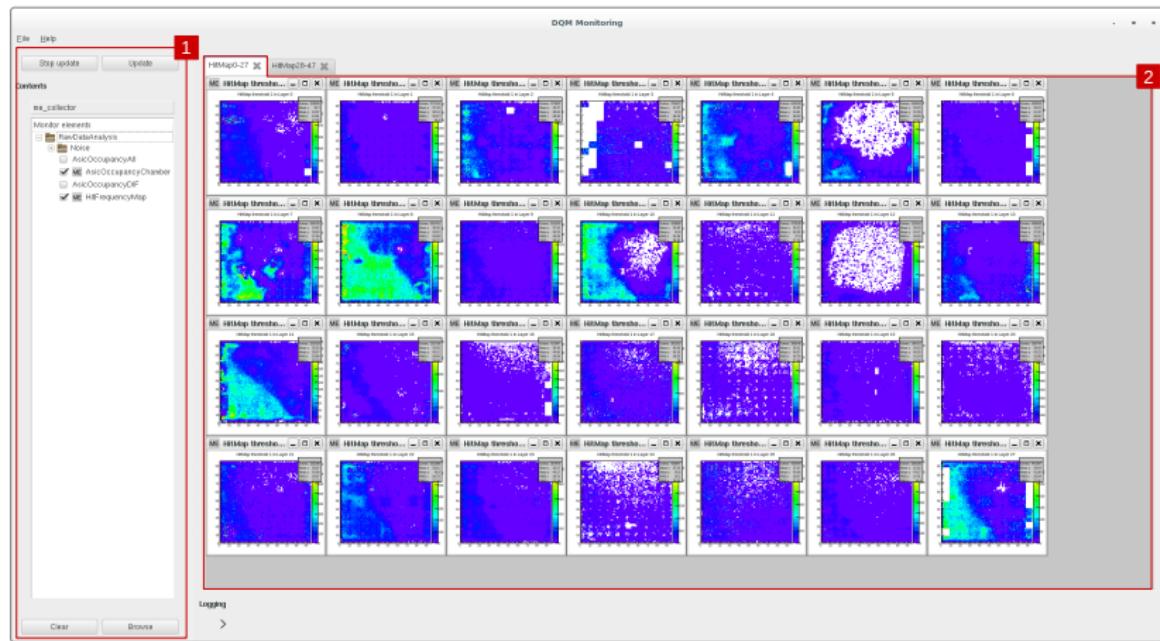
Interface pour les opérateurs

- Client graphique multi-collecteurs (QtGui)
- Navigateur vers les collecteurs
 - Requête, filtrage, sélection d'éléments
- Rendu des éléments de surveillance lors des mises à jour
- Affichage multi-éléments
- **Aperçu du statut des détecteurs**
- Contenu graphique persistant (XML)



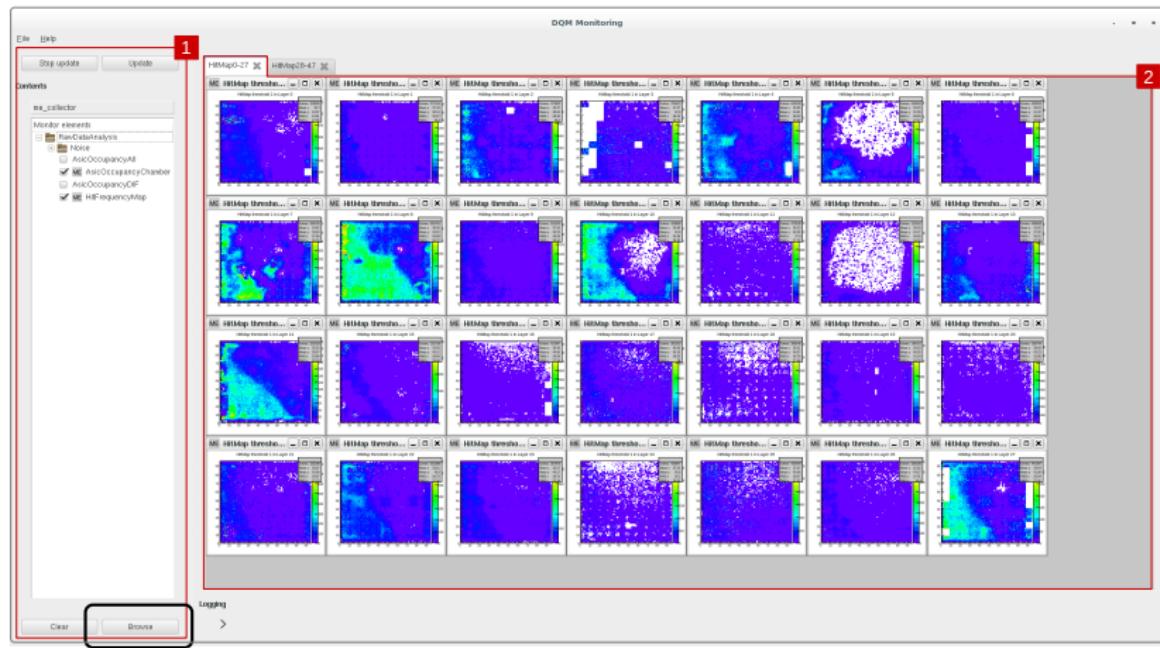
Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)



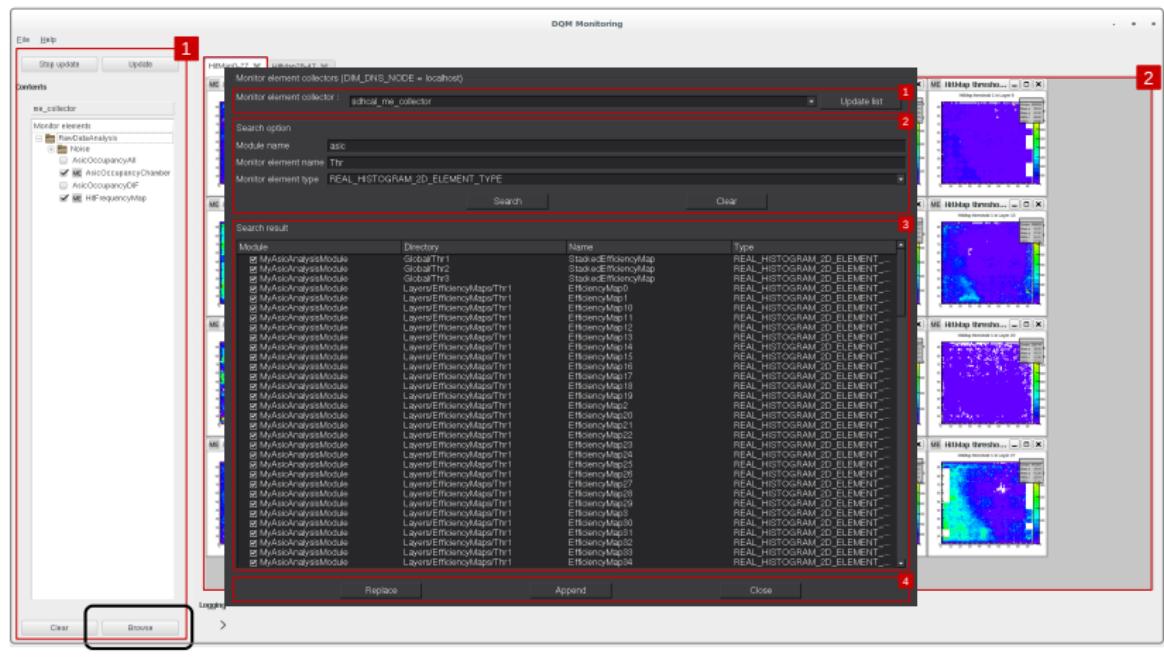
Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)



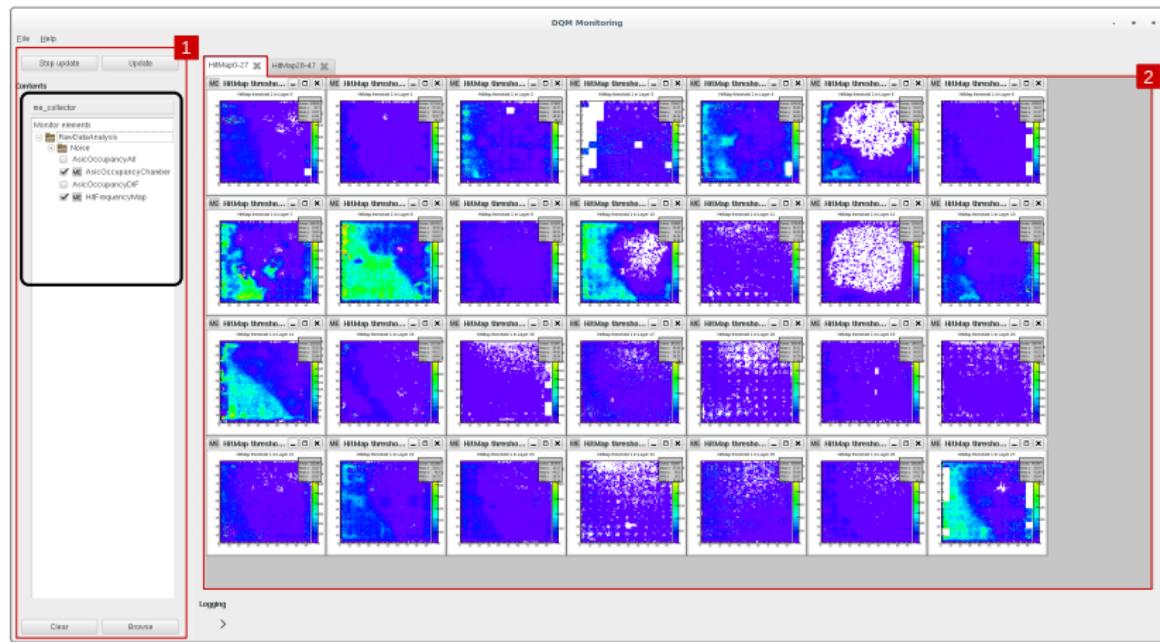
Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)



Logiciel de surveillance de données

Logiciel DQM4HEP- surveillance par les opérateurs (GUI)

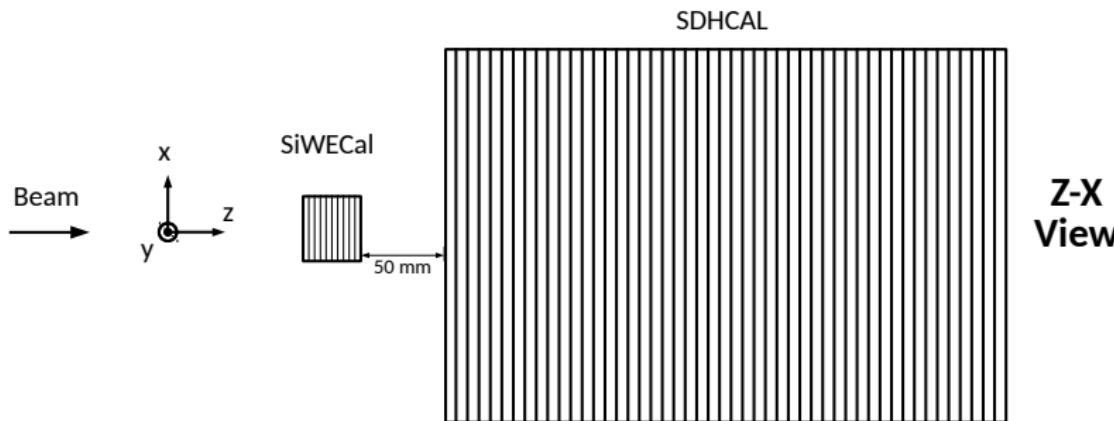


Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCAL

Test sur faisceau combiné

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



Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCAL

Le format de données

- Format LCIO
- Sérialisation implémentée (`LCIOTstreamer`)

Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCALE

Le format de données

- Format LCIO
- Sérialisation implémentée (LCIOTreamer)

Les analyses de données

- **Module RawDataAnalysis**
Cartes de comptage de hits et ASICs
Corrélation comptage DIFs vs ASICs
- **Module EventDisplay**
Identification des particules
Profiles 2D et vues 3D des événements
- **Module SlowControl**
T, P (global) et HV, LV, I (par chambre)
- **Module EcalAnalysis**
Cartes de comptage de hits, adc par plan
- **Module BeamAnalysis**
Temps d'acquisition, durée des spills

Logiciel de surveillance de données

Surveillance de la prise de données du SDHCAL

Le format de données

- Format LCIO
- Sérialisation implémentée (`LCIOTstreamer`)

Les analyses de données

- **Module RawDataAnalysis**
Cartes de comptage de hits et ASICs
Corrélation comptage DIFs vs ASICs
- **Module EventDisplay**
Identification des particules
Profiles 2D et vues 3D des événements
- **Module SlowControl**
 T , P (global) et HV , LV , I (par chambre)
- **Module EcalAnalysis**
Cartes de comptage de hits, adc par plan
- **Module BeamAnalysis**
Temps d'acquisition, durée des spills

Bilan du test sur faisceau

- Performances mémoires → perfectible
- Performances réseau → OK
- Prise en main du logiciel → OK
 - Pas "lag" graphique
- Déploiement du logiciel → perfectible
- Éléments les plus visualisés :
 - Cartes de comptage (Ecal et SDHCAL)
 - Courant $I(t)$
 - Temps d'acquisition

Conclusion et perspectives

1 Contexte théorique et expérimental

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

2 Les algorithmes de suivi de particules

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

3 Logiciel de surveillance de données

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

4 Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Conclusion

DQM4HEP

- Les logiciels de DQM actuels sont de très bonne qualité mais restent très spécifiques à une expérience donnée
- Un logiciel générique (DQM4HEP) a été développé. Il regroupe les fonctionnalités communes et abstrait les autres fonctionnalités (événements, IO, analyses)
- L'architecture a été présentée. Un effort particulier a été mis sur la généricté du logiciel à l'aide d'un gestionnaire de plug-in
- Une solution spécifique pour la combinaison des détecteurs SiWEcal et SDHCAL a été implémentée et déployée lors de plusieurs tests sur faisceaux
- Les performances *mémoires/réseaux/utilisateurs* ont montré un logiciel utilisable mais perfectible sur de nombreux points.
- Résultats présentés à IEEE (poster) et publiés dans un *conference record* (TODO : mettre la référence)
- Le rapport du projet européen AIDA 2020 recommande l'utilisation de ce logiciel pour les tests sur faisceaux (TODO : à rephraser + compléter + ajouter référence)

Conclusion et perspectives

Perspectives

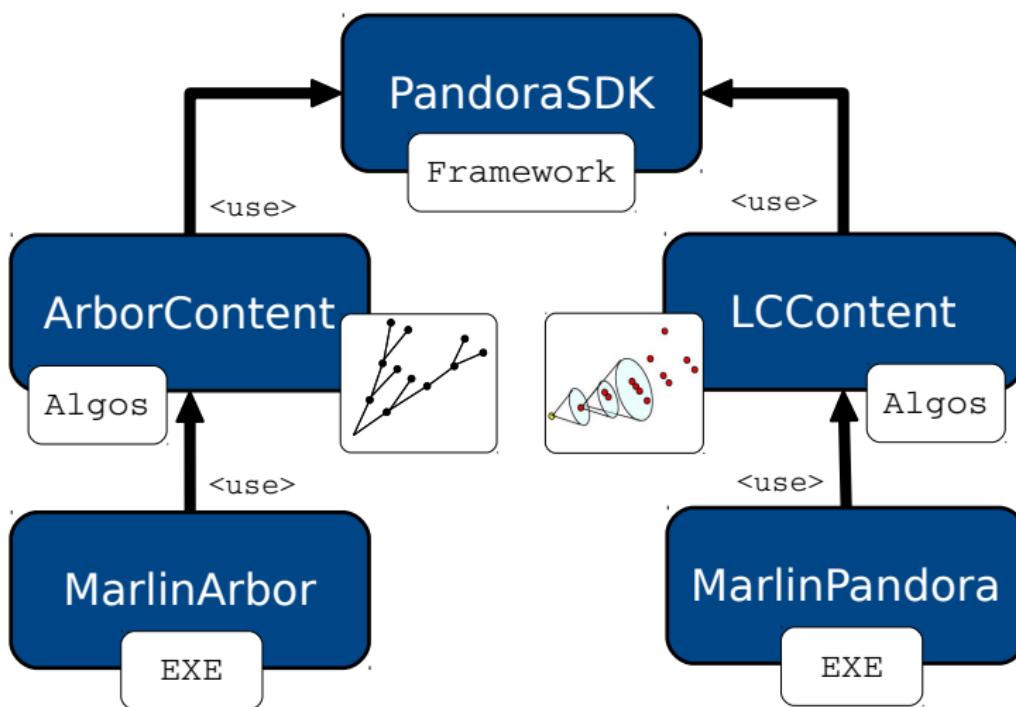
DQM4HEP

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

Merci pour votre attention !

Backup

Perspectives- La partie logicielle



Backup

DQM4HEP

Les performances mémoires

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

Backup

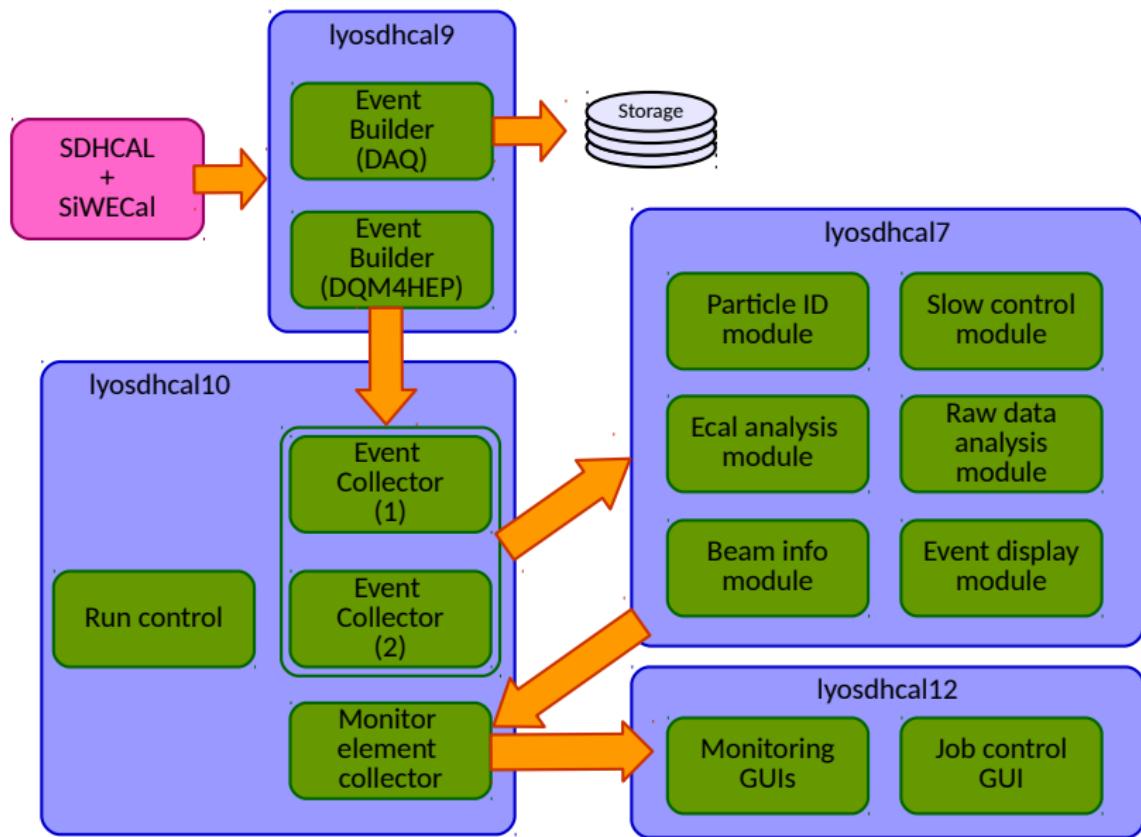
DQM4HEP

Les performances réseau

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

Backup

DQM4HEP - Déploiement SiWEcal/SDHCAL



Backup

DQM4HEP - les paquets

