

*ÉCOLE DOCTORALE PHYSIQUE ET CHIMIE-PHYSIQUE*  
Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien

## THÈSE présentée par : **Benjamin BOITRELLE**

soutenue le : **13 février 2017**

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline : Physique des particules élémentaires

### **Développement d'une échelle double face pour la trajectométrie en physique des hautes énergies**

**THÈSE dirigée par :**

[M BAUDOT Jérôme]

[Mme GREGOR Ingrid-Maria]

Professeur, université de Strasbourg

Dr., DESY, Hambourg

**RAPPORTEURS :**

[M BAMBADE Philip]

[M SCHOERNER-SADENIUS Thomas]

Directeur de recherche, LAL, Orsay

PD Dr., DESY, Hambourg

---

**AUTRES MEMBRES DU JURY :**

[M WINTER Marc]

Directeur de recherche, IPHC, Strasbourg

# Benjamin BOITRELLE

## Développement d'une échelle double face pour la trajectométrie en physique des hautes énergies

### Résumé

Le projet PLUME développe des échelles ultra-légères inspirées par le cahier des charges du détecteur de vertex pour le futur  $e^+e^-$  *International Linear Collider* (ILC). Nos travaux montrent que, pour une énergie de 350 GeV et une luminosité de  $250 \text{ fb}^{-1}$ , l'ILC donnera accès à des états finals comme  $H\nu\nu$ . Les modules PLUME exploitent le concept d'échelles double-face recouvertes de capteurs CMOS afin d'atteindre un budget de matière de 0,35 % en longueurs de radiation. Les tests effectués ont montré que les performances électriques des 12 capteurs intégrés sur ces échelles ne sont pas dégradées. La surface des échelles présente des déformations, mais nous avons mis au point un algorithme spécifique qui permet de corriger leurs effets lors du traitement des données. Finalement, une mesure de la longueur de radiation d'un prototype moins avancé a été réalisée avec un faisceau test au DESY. La valeur obtenue de  $0,47 \pm 0,02$  % en longueurs de radiation correspond au budget attendu.

**Mots-clés :** ILC, ILD, capteur CMOS, capteur silicium, détecteur de vertex, échelle PLUME, budget de matière, longueur de radiation, résolution spatiale, déformation mécanique

### Résumé en anglais

The PLUME project develops ultra-light pixelated layers with specifications driven by the design of a vertex detector at the future  $e^+e^-$  *International Linear Collider* (ILC). The ILC will give access to final states like  $H\nu\nu$ , as this work demonstrates for centre-of-mass energy 350 GeV and a luminosity of  $250 \text{ fb}^{-1}$ . PLUME devices exploit the concept of double-sided ladders paved with thinned CMOS pixel sensors in order to reach a material budget of 0.35 % of radiation length. The present study validated that simultaneous operation of the 12 CMOS sensors integrated on such light ladders do not impact their electrical behaviour. Surface deformations were observed but a specific algorithm during the off-line analysis was proposed and successfully tested to preserve the native sensor spatial resolution. Finally, a measurement of the material budget of a less advanced ladder prototype has been performed at DESY test beam and yield  $0.47 \pm 0.02$  % of radiation length, matching the expected value.

**Keywords:** ILC, ILD, CMOS sensor, silicon sensor, vertex detector, PLUME ladder, material budget, radiation length, spatial resolution, mechanical deformation