Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Détecteurs et instrumentation associée

CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU DETECTEUR ILD POUR L'ILC

Auteur principal

Nom : Claude Vallée

Affiliation : CPPM

Email et coordonnées : vallee@cppm.in2p3.fr (tel: 06 47657886)

Co-auteurs (inclure aussi les collaborateurs internationaux si existants)

Djamel Boumediene, LPC Clermont
Vincent Boudry, LLR
Jean-Claude Brient, LLR
Imad Laktineh, IPNL
Roman Pöschl, LAL
Didier Lacour, LPNHE
Eric Kajfasz, CPPM
Jean-Yves HOSTACHY, LPSC
Marc Winter, IPHC

En collaboration avec l'ensemble du consortium ILD (~70 instituts du monde entier)

Contribution à rédiger en français ou en anglais et à envoyer à PROSP2020-GT08-COPIL-L@IN2P3.FR avant le ***1er novembre 2019***

1. Informations générales

Titre : Conception et construction du détecteur ILD pour l'ILC

Acronyme : ILD-IN2P3

Résumé

Ce document décrit comment la communauté IN2P3 propose de contribuer à la conception finale et construction du détecteur ILD prévu sur le futur collisionneur ILC.

Préciser le domaine technologique *(plusieurs choix possibles)*

- Détecteurs semi-conducteurs (Si, Ge, HgCdTe, Diamant…)
- Détecteurs gazeux (Micromegas, GEM, TPC…)
- Scintillateurs
- Photo-détecteurs (SiPM, PMT…)
- Détecteurs cryogéniques (KIDS, bolomètres…)
- Micro-électronique, Electronique Front End
- Acquisition de données, Temps réel
- Mécanique, integration

Préciser la motivation principale de recherche visée par la contribution :

- R&D Calorimétrie
- R&D Trajectographe
- R&D Identification de particules
- R&D Détection de neutrons
- R&D Détection d'ondes gravitationnelles
- R&D Détecteurs de neutrinos
- R&D Détection de gammas
- R&D Détecteurs imagerie médicale
- *Autre :* Optimisation et intégration globale du détecteur

2. Description des objectifs scientifiques et techniques

ILD-IN2P3 vise à renforcer la position des physiciens et ingénieurs de l'IN2P3 dans le programme expérimental futur de l'ILC. L'Institut est de longue date très impliqué dans les études du consortium ILD [1]. Le concept général du détecteur est en cours de mise à jour avec la publication imminente de l'ILD Design Report (IDR) [2].

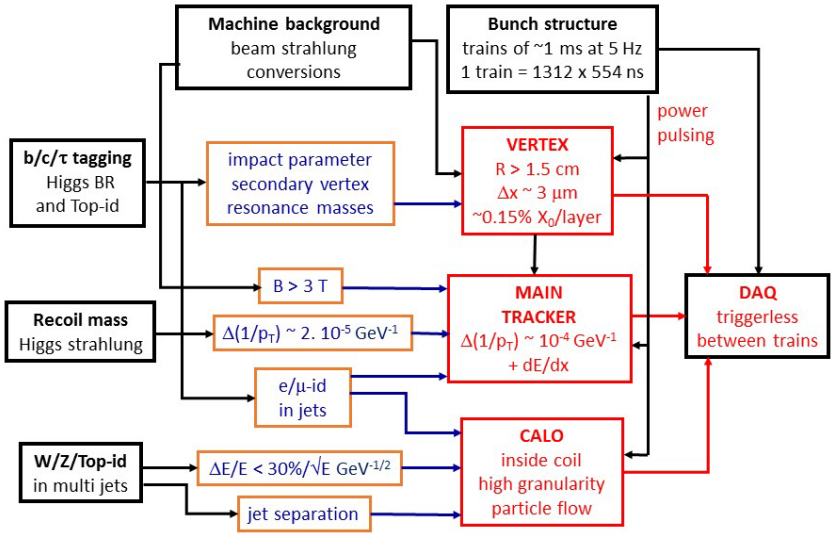

Figure 1: relation entre les caractéristiques de l'ILC, les besoins de physique d'une usine à Higgs, les paramètres globaux du détecteur et les performances requises pour les sous-détecteurs.

La structure du détecteur et ses performances sont intimement liées aux caractéristiques de l'accélérateur et aux demandes spécifiques d'une usine à Higgs (figure 1). L'intense radiation de photons au point de collision définit le champ magnétique minimal nécessaire pour confiner le bruit de fond de conversion dans le tube à vide, ainsi que la distance minimale d'approche du faisceau pour le détecteur de vertex. La structure en trains des collisions réduit les demandes sur le système d'acquisition, qui peut s'affranchir d'un système de déclenchement, et permet une alimentation pulsée des sous-détecteurs afin de réduire les besoins de refroidissement.

La performance des sous-détecteurs est dictée par la physique de précision sur le boson de Higgs et les processus EW. Le processus radiatif dominant de production du Higgs demande une très grande précision de mesure des impulsions des particules isolées afin d'étiqueter le Higgs, indépendamment de sa désintégration, par l'identification du Z de recul. La discrimination des différents canaux de désintégration, nécessaire pour la mesure précise des différents couplages, demande un détecteur de vertex très performant pour étiqueter les saveurs, et des calorimètres de haute granularité pour identifier les leptons dans les jets. La résolution en énergie doit aussi permettre de séparer les désintégrations hadroniques des W et Z.

Le choix d'ILD pour satisfaire simultanément toutes ces contraintes est de fonder les mesures sur l'analyse du flot de particules (PFA en anglais). La PFA consiste à mesurer l'énergie des objets physiques par les calorimètres pour leur composante neutre, et les traqueurs pour leur composante chargée. Elle implique une très grande granularité de tous les sous-détecteurs, et une transparence maximale des matériaux passifs sur toute la profondeur pour une bonne continuité entre sous-détecteurs. L'introduction du concept de PFA conduit à un détecteur de conception nouvelle par rapport à ceux de la génération antérieure des collisionneurs e^+e^- (LEP et SLC). La granularité requise est aussi d'un ordre de grandeur supérieure à celle des détecteurs du LHC. En contrepartie les demandes en résistance aux radiations et en taux d'acquisition sont modestes par rapport au LHC.

3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs

Les groupes de l'IN2P3 ont acquis une position centrale dans la conception d'ILD, en adossant leurs réalisations concrètes à la Collaboration de R&D générique CALICE et à des projets expérimentaux de plus court terme. Les principales réalisations ont été:

- Le développement de capteurs à pixel CMOS (IPHC): dans la foulée du premier détecteur de vertex CMOS construit pour STAR, les réalisations actuelles pour ALICE et CBM permettent de progresser vers les spécifications requises pour ILD.
- Le développement de la calorimétrie électromagnétique SiW haute granularité (LLR, LAL, LPNHE et LPSC), qui trouve une première application d'ampleur dans l'upgrade HGCAL de CMS.
- Le développement des technologies RPC pour la calorimétrie hadronique (IPNL), avec une application parallèle sur CMS.

Le LLR, le LAL, l'IPNL et le LPSC ont aussi un rôle important dans la conception globale du détecteur avec entre autres la proposition d'une configuration mécanique innovante pour le calorimètre hadronique, la conception des chemins de câblage du détecteur et la gestion du répertoire central des paramètres techniques de l'expérience. Par ailleurs, le CPPM assure depuis 3 ans la coordination technique de la Collaboration. Notons enfin le rôle fédérateur de l'unité OMEGA, par la réalisation d'ASICs de lecture génériques au service de la plupart des développements calorimétriques d'ILD au-delà de l'IN2P3.

Le programme futur de l'ILC [3] prévoit une phase préparatoire de quelques années, qui sera initiée par la déclaration d'intention du Japon d'héberger l'ILC et d'engager les négociations internationales correspondantes, suivie de la phase de construction proprement dite, envisagée à partir du milieu de la prochaine décennie.

La phase préparatoire du programme expérimental doit consolider les technologies prévues et la configuration globale des détecteurs. L'implémentation de nouvelles capacités expérimentales reste aussi ouverte à ce stade. Dans la continuation des actions actuelles de l'IN2P3, les études prévues par ILD-IN2P3 incluent entre autres :

- L'amélioration des performances des capteurs CMOS [4], en particulier la vitesse de lecture, pour atteindre les spécifications d'ILD à l'échéance 2030 où le détecteur de vertex devra être construit. Un gros travail reste aussi à faire sur la conception de structures transparentes pour les supports, le câblage et le refroidissement.
- L'étude d'une extension éventuelle de la technologie pixel CMOS aux traqueurs internes d'ILD, équipés de strips silicium dans leur version de base actuelle.
- L'engineering et intégration du calorimètre électromagnétique SiW et du calorimètre hadronique, en particulier les méthodes de refroidissement et la finalisation des électroniques intermédiaires de lecture.
- L'étude de la possibilité de couches à haute résolution temporelle dans les deux calorimètres afin d'améliorer l'analyse interne des gerbes hadroniques par la PFA, et de procurer une fonctionnalité additionnelle de temps de vol.

L'effort d'engineering global du détecteur doit aussi être amplifié par des calculs systématiques de comportement des structures mécaniques et la définition détaillée des chemins de services. Enfin, l'acquisition de données est un domaine actuellement quasi-orphelin auquel l'IN2P3 pourrait

contribuer, et il y a par ailleurs un fort besoin de diversifier les outils logiciels de PFA, actuellement très dépendants du logiciel PANDORA, en s'appuyant par exemple sur le logiciel complémentaire ARBOR développé au LLR et à l'IPNL. Les compétences présentes dans les laboratoires IN2P3 porteurs du projet, mais jusqu'ici en seconde ligne sur ILD par manque de ressources humaines, seront bienvenues pour renforcer les études nécessaires à la finalisation du détecteur.

Les éléments d'appréciation des ressources nécessaires pour la construction du détecteur sont donnés dans la mise à jour récente de l'estimation des coûts matériels et des besoins de main d'œuvre des Instituts présentée dans l'IDR [2]. Les contributions attendues des Laboratoires de l'IN2P3 sont difficiles à estimer maintenant car elles dépendront entre autres de la répartition des charges négociée in-fine dans la(les) Collaboration(s).

4. Impact

Le développement des capteurs CMOS intéresse la hadronthérapie ainsi que l'imagerie X et bêta. Plus de détails sont donnés dans [4].

5. Références

[1] « The ILD Detector at the ILC », Consortium ILD, contribution #107 à la mise à jour de la Stratégie Européenne, Décembre 2018

[2] « ILD Design Report », Consortium ILD, publication prévue fin 2019

[3] « Report of KEK International Working Group on the ILC Project », Septembre 2019
https://www2.kek.jp/ilc/en/docs/Recommendations_on_ILC_Project_Implementation.pdf

[4] « Développement de Capteurs CMOS Minces et Granulaires », contribution à la prospective de l'IN2P3 (GT08)