

UPGRADES DE PHASE 2 DU LHC DANS ATLAS: CALORIMÈTRES ET DÉTECTEUR GRANULAIRE DE MESURE DU TEMPS

Conseil Scientifique de l'IN2P3

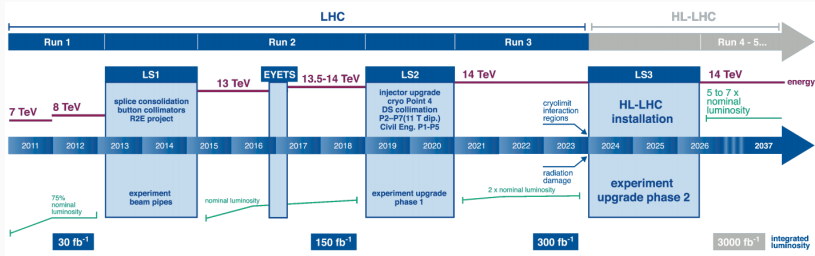
Nicolas Morange, pour les groupes ATLAS de l'IN2P3

22 Juin 2017



1. Les upgrades d'ATLAS pour le LHC Haute Luminosité
2. Upgrades du calorimètre à tuiles
3. Upgrades du calorimètre à argon liquide
4. Détecteur HGTD
5. Conclusions

LES UPGRADES D'ATLAS POUR LE LHC HAUTE LUMINOSITÉ



Run 2: Objectif 150fb⁻¹

- 13 TeV et \mathcal{L} jusqu'à $1.7 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$: pic de 60 interactions/croisement (50 aujourd'hui)

Run 3: Objectif 300fb⁻¹

- 14 TeV et \mathcal{L} 2-3 $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$: 80 interactions/croisement
- Upgrades ATLAS: remplacement d'une partie du spectromètre à muons, électronique de déclenchement calorimètre à argon liquide.

Run 4: Objectif 3000 – 4000fb⁻¹

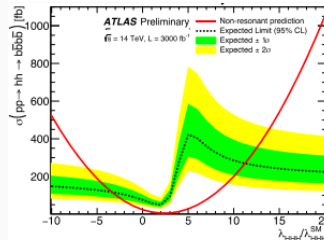
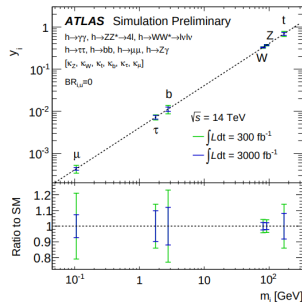
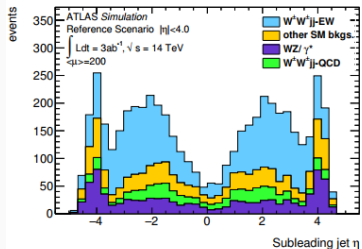
- 14 TeV et \mathcal{L} $7.5 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ avec luminosité nivelée: 200 interactions/croisement
- Conditions plus difficiles que le design des expériences (radiations, empilement...)
- Nombreux upgrades ATLAS: [sujet de cette présentation](#)

Physique du Higgs

- Mesures de précision des couplages, via mesures des désintégrations et des modes de production
- Découverte et mesure de processus rares: $H \rightarrow \mu\mu$ à 7%
- Exploration du couplage trilinéaire

Processus rares du MS

- Vector Boson Scattering à 6%



$$-3.5 < \lambda/\lambda_{SM} < 11.$$

Recherches à haute masse

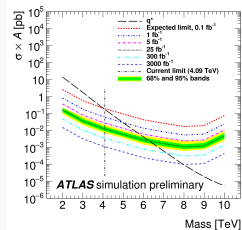
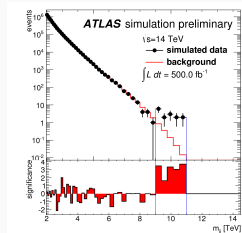
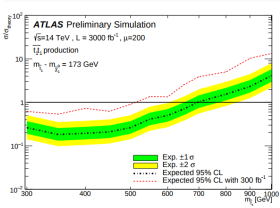
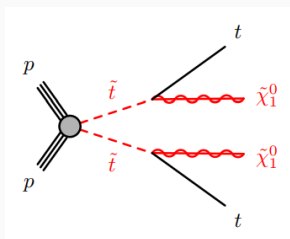
- L'espace des phases permet d'augmenter encore significativement le potentiel de recherche
- Recherches 'classiques' de SUSY ou de résonances (dijet, dilepton...)

Modes plus complexes

- SUSY: spectres compressés etc..
- Combinaison de résultats de recherches avec mesures du Higgs pour obtenir des contraintes fortes (modèles de matière noire...)

Yellow Report sur la physique au HL-LHC

- Prévu pour fin 2018



Spectromètre à muons: ($|\eta| < 2.7$)

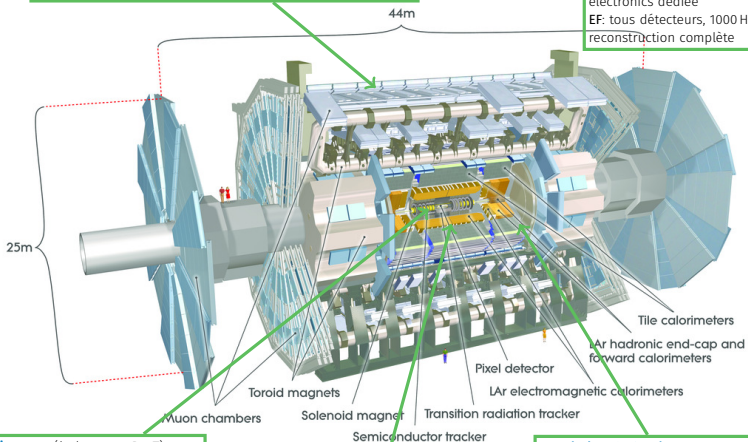
Toroïde à air avec chambres à dérive, fournit déclenchement μ et mesure de l'impulsion
résolution $< 10\%$ jusqu'à $p \sim 1 \text{ TeV}$

Système de déclenchement:

2 niveaux

L1: calo et muons, 100 kHz
électronique dédiée

EF: tous détecteurs, 1000 Hz
reconstruction complète



Détecteur interne: ($|\eta| < 2.5, B=2T$)

Pixels Si, Pistes Si, TRT
Trajectographie de précision,
reconstruction des vertex,
identification des électrons
 $\sigma/p_T \sim 3.8 \cdot 10^{-4} p_T \oplus 0.015$

Calorimètre EM: ($|\eta| < 3.2$)

Pb-LAr, structure en accordéon
fournit déclenchement sur e/γ ,
identification et mesure
 $\sigma/E \sim 10\%/\sqrt{E} \oplus 0.7\%$

Calorimètre hadronique:

Tuiles Scint/Fe dans le tonneau ($|\eta| < 1.7$)
W/Cu-LAr vers l'avant ($|\eta| < 4.9$)
fournit déclenchement et mesure des jets,
 $\sigma/E \sim 50\%/\sqrt{E} \oplus 3\%$
énergie transverse manquante

Haute luminosité et déclenchement

- Nécessité de taux de déclenchement raisonnables (1 MHz au premier niveau)
- Bonnes capacités de reconstruction et résolutions nécessaires (séparation électrons/jets, réduction de l'empilement dès le trigger hardware)

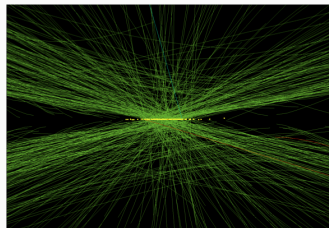
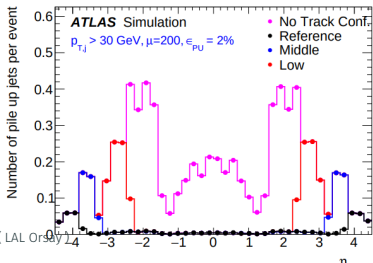
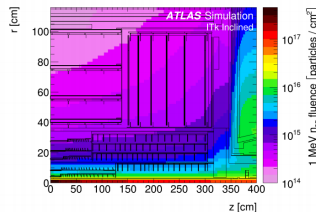
Haute luminosité et reconstruction/physique

Tracking: Densité de traces et de vertex → Difficultés de combinatoire. Vertexing, résolutions sur les paramètres d'impact.

Calorimétrie: Jets additionnels de pile-up. Contamination des jets, électrons et photons par du pile-up. Dégradation des isolations, des résolutions.

Niveaux de radiation

- Dépassent ceux considérés par le design actuel d'ATLAS
- Nouvelles technologies pour les senseurs et l'électronique



Spectromètre à muons:
Nouvelles chambres de déclenchement
Possibilité d'un tagger muon vers l'avant

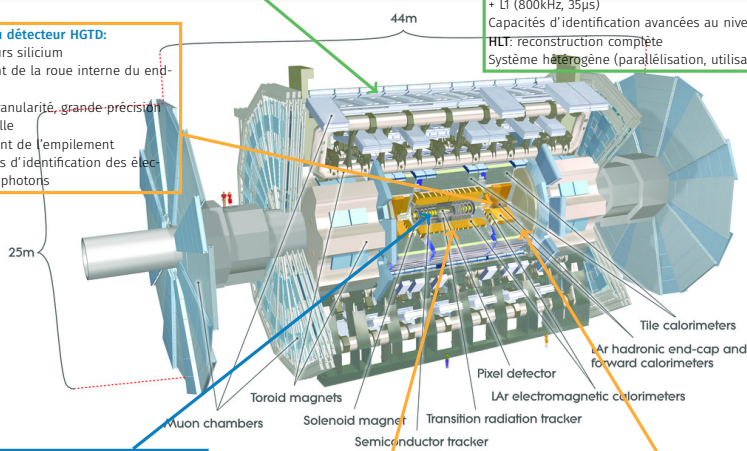
Système de déclenchement:
Important enjeu du HL-LHC
Hardware: Système L0 (1MHz, 10 μ s latency) ou L0 (4MHz, 10 μ s) + L1 (800kHz, 35 μ s)
Capacités d'identification avancées au niveau hardware
HLT: reconstruction complète
Système hétérogène (parallélisation, utilisation de GPUs)

Nouveau détecteur HGTD:
Détecteurs silicium
En amont de la roue interne du end-cap EM
Haute granularité, grande précision temporelle
Traitement de l'empilement
Capacités d'identification des électrons et photons

Détecteur interne (présentation de G. Calderini) :
Détecteur uniquement silicium
Plus de couches, pixels plus fins
Plus grande couverture en η

Calorimètre EM:
Remplacement de l'électronique

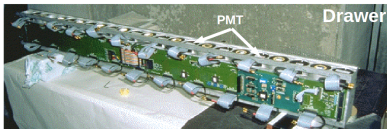
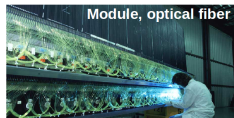
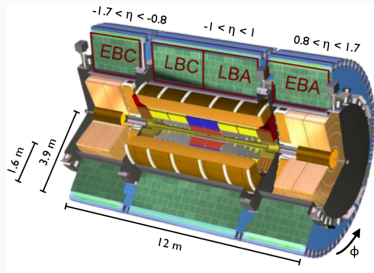
Calorimètre hadronique:
Remplacement de l'électronique
Remplacement de la mécanique associée (tiroirs)



UPGRADES DU CALORIMÈTRE À TUILES

Principe de base

Échantillonnage acier / tuiles scintillantes. Lumière envoyée par des fibres vers des PMT, puis courant mesuré par l'électronique de lecture



Laboratoires impliqués

- LPC

Motivations

- Haute luminosité
 - Plus de précision et de granularité au niveau du trigger
- Durabilité
 - Âge de l'électronique
 - Résistance aux radiations
- Fiabilité et accessibilité
 - Simplification de la maintenance

Solutions techniques

- Remplacement de l'électronique
- Mécanique associée: remplacement des tiroirs

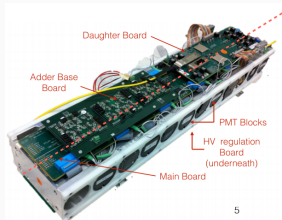
| Phase 2 Radiation Tolerance Requirements (Estimate), TileCal HV Opto | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Type | Simulated Dose/Yr | Simulation Safety Factor | Low Dose Rate Safety Factor | Lot Variation Safety Factor | Total 10 Year Operation |
| TID | 8.13E+01 Gy/yr | 1.5 | 5 | 4 | 2.44E+02 Gy |
| NIEL | 7.62E+10 n/cm ² /yr | 2 | 1 | 4 | 6.10E+12 n/cm ² |
| SEE | 1.85E+10 p/cm ² /yr | 2 | 1 | 4 | 1.47E+12 p/cm ² |

Mini-tiroirs

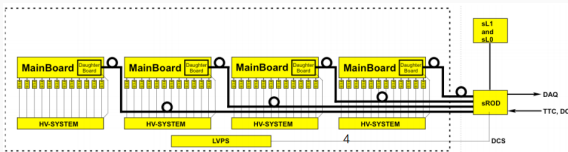
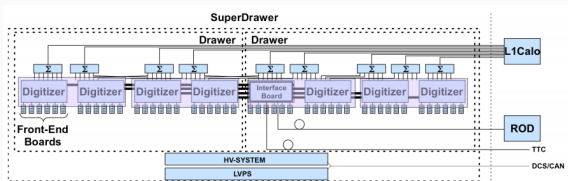
- 2 mini-tiroirs / 1 tiroir
- Chemins de données et alimentations indépendantes
- Plus facile à maintenir. (70 cm / 25 kg)
- Moins de cellules impactées en cas de problème

Hautes tensions

- Hautes tensions déportées
- Option recommandée dans l'IDR
- Réalisation confiée à Lisbonne (LPC consultant)



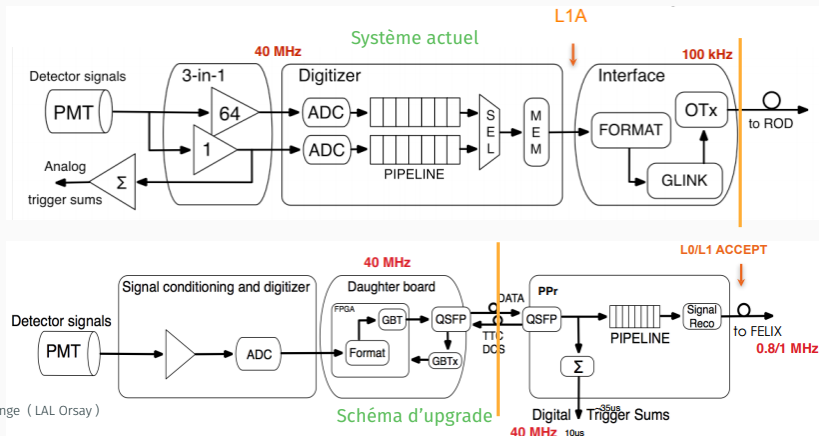
5



4

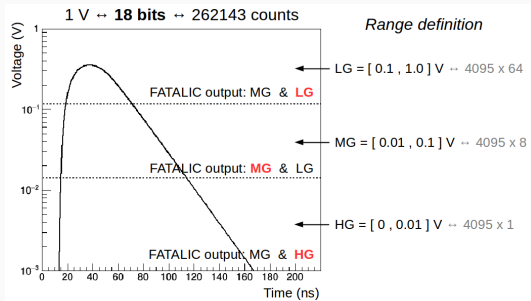
Caractéristiques

- Transmission de toutes les données au backend (taux de transfert: 165 Gb/s → 80 Tb/s)
 - Plus besoin de pipelines dans le front-end
- Spécifications similaires à l'électronique actuelle
 - Gamme dynamique du MIP $\mathcal{O}(10 \text{ MeV})$ à 1 TeV par PMT
 - Linéarité à quelques pour-mille
 - Précision de la calibration à 3 pour-mille
 - Bas bruit

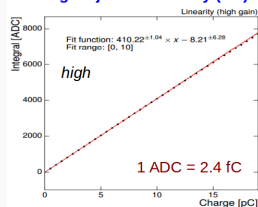


Développement: puce FATALIC

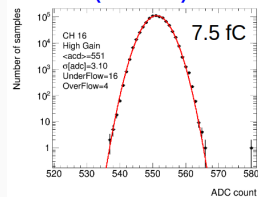
- CMOS 130 nm (globalfoundries)
- lecture en courant
- 3 gains ($2^6/2^3/1$) 12-bits
- 2 sorties avec choix de gain dynamique (2 gains sur 3)



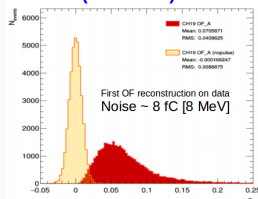
Charge injection linearity (lab)



Noise (test beam)

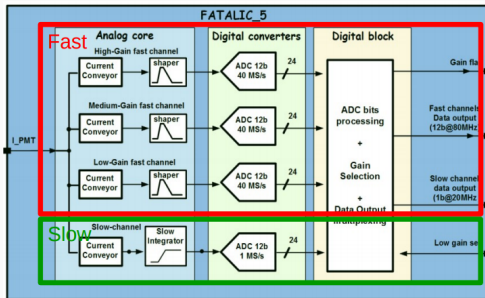


Muon (test beam)



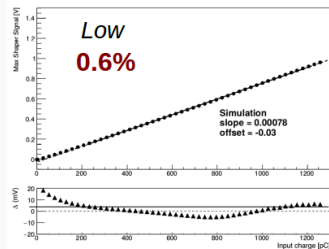
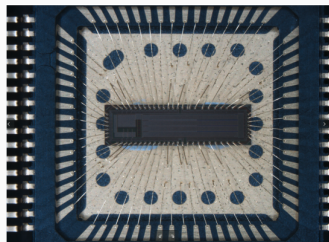
Caractéristiques

- Canal lent dédié à la mesure des calibrations au Césium du calorimètre (échelle d'énergie des tuiles, fibres et PMT)
- Meilleure linéarité à haute énergie (> 800 GeV / PMT)
- Meilleur système de calibration de l'électronique à haute énergie
- Contrôle des piédestaux



État du développement

- ASICs reçus
- Mesures des performances en juillet



D'ici au TDR (septembre)

Mesures de FATALIC5 (juillet)

- Mesures de la précision à bas courant avec un scan césium
- Mesures des cosmiques en configuration de testbeam
- Test de la calibration du canal lent
- Finalisation de la reconstruction du signal

TDR

- Choix d'une solution pour le front-end: FATALIC, ou concurrente (3-in-1, ou QIE)

Après le TDR - si option FATALIC retenue

- Dernière itération de l'ASIC avec réglage interne du piédestal
- Développement de la carte front-end complète

Construction

Implication du LPC

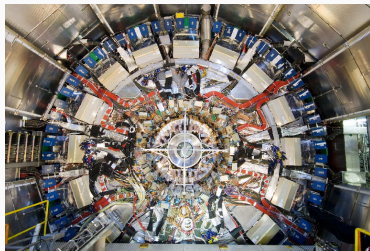
- Mini-tiroirs et hautes tensions: LPC rôle de consultant. Transfert de compétences initié avec les laboratoires en charge de la construction
- Électronique frontend: option FATALIC ou non, LPC production et tests des 12000 cartes front-end
- CDD nécessaire pour la production et tests.

| Laboratoire | Nombre de physiciens (ETP) | Nombre d'IT (ETP) | CDD en mois |
|-------------|----------------------------|-------------------|-------------|
| LPC | 2 (1.7) | 5 (3) | 24 |
| Total | 2 (1.7) | 5 (3) | 24 |

UPGRADES DU CALORIMÈTRE À ARGON LIQUIDE

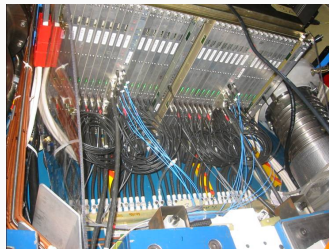
Principe de base

Échantillonnage Pb (ou Cuivre) / argon liquide. Courant d'ionisation capté sur des électrodes puis envoyé vers électronique de lecture



Laboratoires impliqués

- CPPM
- LAL
- LAPP
- Omega



Pourquoi changer l'électronique ?

1. Niveaux de radiation
2. Obsolescence des technologies / vieillissement
3. Évolution du système de Trigger et Data Acquisition
4. Spécifications de la physique à haute luminosité

Le calorimètre LAr est résistant aux radiations

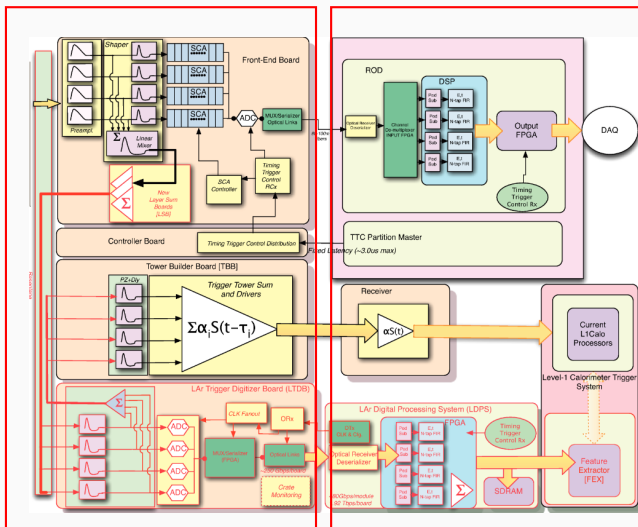
- Résistance aux radiations de tous les matériaux dans le détecteur (kapton, connecteurs, câbles...) mesurée lors de campagnes d'irradiation avant la construction
- Ainsi que la pureté du LAr
- Système HV dans le calorimètre ne montre pas de signes de vieillissement

Frontend (sur le détecteur)

- FEBs pour la lecture des cellules (1500 avec 128 canaux)
- Calibration
- Contrôleur
- LTDB pour le trigger (Phase 1)

Backend (caverne de service)

- DSPs pour la lecture des cellules
- LDPS pour le trigger (Phase 1)



Nécessités pour le frontend

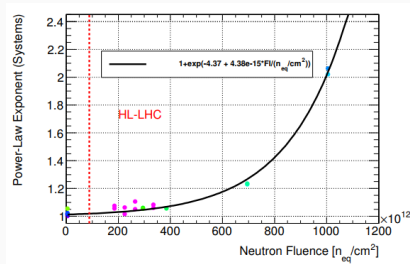
- Électronique actuelle qualifiée jusqu'à 1000fb^{-1}
- Même avec des marges, ne peut pas tenir le HL-LHC ultime (4000fb^{-1})

⇒ **Nécessité du remplacement**

| | TID (kGy) | NIEL ($n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$) | SEE (h/cm^2) |
|--------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------|
| ASIC | 1.00 (2.25) | 2.7×10^{13} (2) | 5.1×10^{12} (2) |
| COTS (multiple lots) | 13.2 (30) | 10.9×10^{13} (8) | 2.0×10^{13} (8) |
| COTS (single-lot) | 3.3 (7.5) | 2.7×10^{13} (2) | 5.1×10^{12} (2) |
| LVPS (barrel and endcap) | 0.77 (30) | 12.3×10^{12} (8) | 3.2×10^{12} (8) |
| HEC LVPS | 0.23 (2.25) | 6.3×10^{12} (2) | 3.6×10^{11} (2) |

Préamplificateurs froids du HEC

- HEC: preamps et étage de sommation nécessitent ouverture du cryostat
- Campagnes de mesures aux radiations exhaustives
- Dégradation du gain et non-linéarités faible impact jusqu'à 6000fb^{-1}**



Chemin de lecture

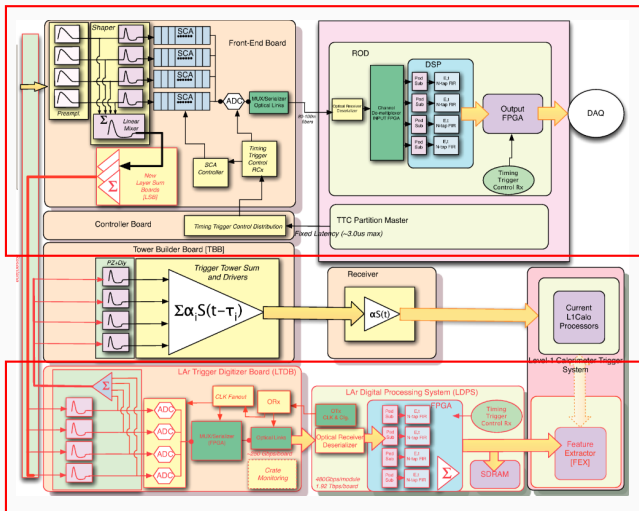
- Électronique analogique: préamplificateurs + shapers + pipelines
- Numérisation et transfert si réception d'un signal de déclenchement

⇒ **Latence max (2.5 μs),
taux max 100 kHz**

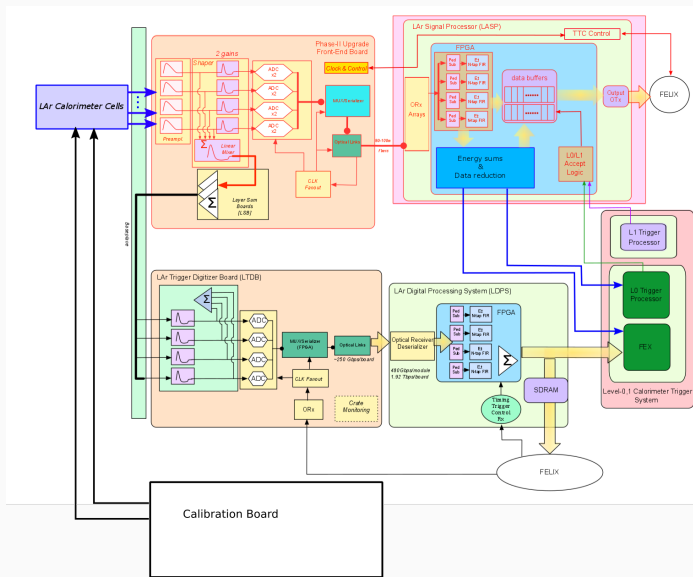
- DSP: calcul du temp et de l'énergie avec filtrage optimal (4 échantillons)

Chemin de trigger

- Cartes LTDB/LDPS: signaux de granularité réduite (Supercellules) vers le système L1 avec latence faible (11 μs)



- Chemin de trigger inchangé
- Chemin de lecture: **numérisation et envoi au backend de toutes les données**
- Backend: envoi d'informations supplémentaires au trigger hardware L0



Réévaluation des spécifications en fonction des objectifs de physique

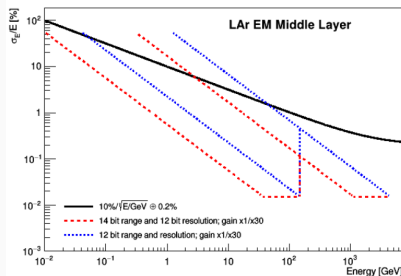
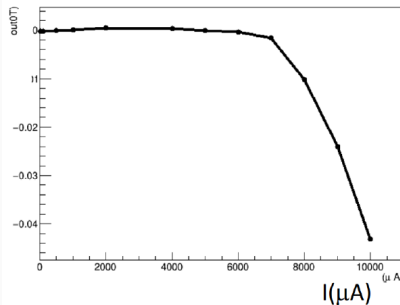
Changements par rapport à l'électronique actuelle

- Plus d'événements de haute énergie avec $\mathcal{L} = 4000 \text{ fb}^{-1}$
- Pile-up de 200: dégradation de la résolution en énergie
- Expérience de l'analyse des données du Run 1

Spécifications

- Gamme dynamique augmentée pour certaines cellules
 - 1→2 mA pour le premier compartiment
 - 5→10 mA pour certaines cellules du second
- Linéarité au pour-mille sur l'échelle de physique électrofaible
- Bruit électronique semblable au bruit actuel
- Numérisation: système à deux gains, ADC 14 bit 40 MHz
 - Idéalement, électrons de Z et photons de $H\gamma\gamma$ sur le même gain

fit between 0 and 6000 μA

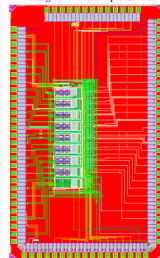
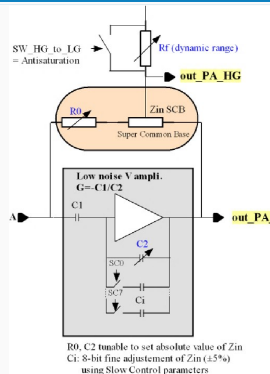


Chaîne électronique frontale

- Analogique
 - Préamplificateur
 - Mise en forme
- Numérique
 - ADC
 - Transmetteur optique

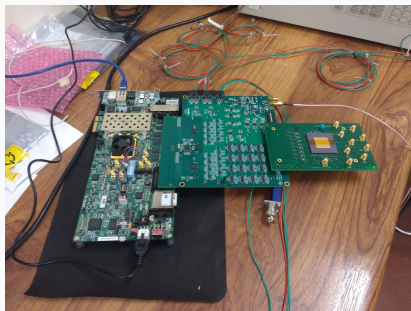
ASIC Lauroc

- Bloc analogique préamplificateur + shaper
- Développement d'un nouveau design au bruit réduit par l'amplification
- Première itération en 2016 Lauroc0
 - Préamplificateur seul
 - Technologie TSMC CMOS 130 nm
- Un seul préampli pour toutes les cellules: choix 25Ω 10 mA / 50Ω 2 mA par slow control
- Impédance d'entrée ajustable
- Bas bruit, gamme dynamique 16 bit
- Linéarité au pour-mille sur une grande partie de la gamme



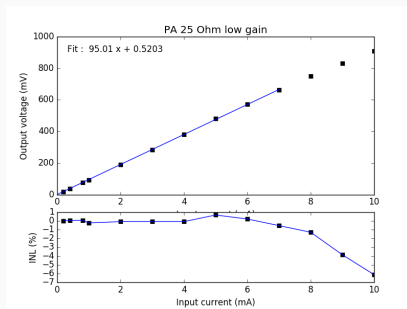
Banc test

- Développé en collaboration avec BNL (projet concurrent de préampli)
- Intègre injection de signal de calibration, modèle de calo, lecture et numérisation des signaux
- Permettra d'effectuer les tests d'irradiation



Résultats

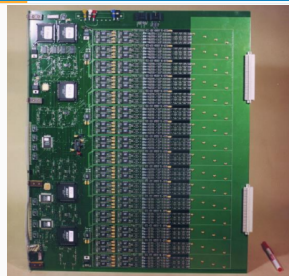
- Linéarité à quelques pour-mille sur l'essentiel de la gamme dynamique
- Comportement de l'ajustement d'impédance comme attendu
- Bruit plus élevé que prévu
 - Origine comprise (lacunes dans le kit de simulation)
 - Soumission d'un transistor d'entrée corrigé en juin



Remplacement de la carte de calibration

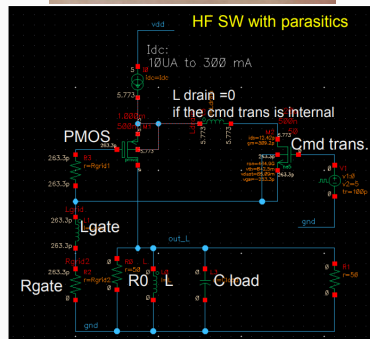
Injecte du signal pour l'ensemble des cellules du calorimètre: 130 cartes à 128 canaux

- Obsolescence du protocole de contrôle (SPAC)
- Nécessité d'aller à plus haute tension pour suivre l'extension gamme dynamique: 7.5 V
- Résistance aux radiations
- Simplifications possibles par rapport à la carte actuelle



Études

- Composant critique: switch haute fréquence
 - Temps de montée <math>< 1\text{ ns}</math>
 - INL 0.1%, uniformité 0.25%
 - Gamme dynamique 16 bit
- Premières simulations en XFAB 180 nm: HV SOI CMOS
 - Soumission d'un premier design à l'automne
- Étude des spécifications avec les données de calibration du Run 2

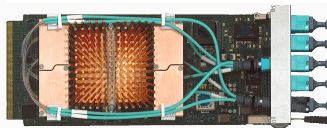
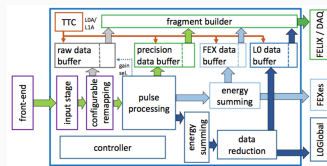


Spécifications

- Calcul des énergies et temps des signaux du LArg à 40 MHz en provenance des FEB (2 gains)
 - Algorithme: filtrage optimal, ou autre solution permettant de réduire le pile-up hors temps
- Mémoires de profondeur 10 μ s / 30 μ s pour stocker les données en attente de signaux L0A/L1A
- Transmission de données avec une précision réduite au trigger L0

Solution envisagée

- Expérience acquise pour le backend trigger phase 1 (LATOME). LASP: facteur 10 en puissance
 - Maîtrise d'œuvre du backend pour l'upgrade phase 1, ainsi que du firmware des FPGA
- Solution basée sur FPGAs
- Liens optiques avec technologie lpGBT pour les entrées/sorties
- Routage des cartes délicat



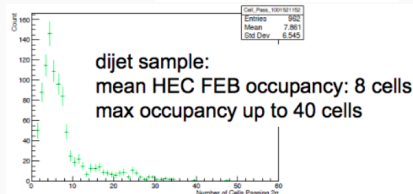
Choix d'une solution technologique

- Cartes mezzanine pour ATCA (à la Phase 1): limites sur la taille des FPGAs. Contraintes sur le nombre de liens, leur rapidité, et la mémoire
- PCIe (à la LHCb): refroidissement à étudier, PCB plus délicats à réaliser, routage plus simple
- ATCA : coût de prototype plus élevé, mais plus robuste, plus de liberté dans le routage
- Consommation électrique totale et refroidissement limités dans la caverne de service



Interface avec le trigger hardware

- Discussion de la bande passante et du nombre de liens optiques nécessaires
- Problème du traitement des événements très énergétiques et des bouffées de bruit



TDR: septembre 2017

Électronique analogique

- 2017 - 2018: itérations de R&D préamplificateur et shaper
- Choix d'une solution (Omega ou BNL): fin 2017 - début 2018
- Production des ASIC 2019
- Intégration dans les FEB et tests des FEB: 2022 - 2024

Cartes d'étalonnage

- Premier prototype d'ASIC 2017
- Test de voies complètes 2019 - 2020
- Production des cartes 2021 - 2022

Électronique backend

- R&D jusqu'à prototype en 2021
- Production 2023 - 2024
- Installation 2025

Électronique analogique

- LAL et Omega: production et test des ASIC si option Lauroc choisie
- Participation du LAL aux tests des FEB

Cartes d'étalonnage

- Laboratoires français seuls impliqués
- LAL et Omega: conception et tests ASIC
- LAPP: conception et production des cartes

Électronique backend

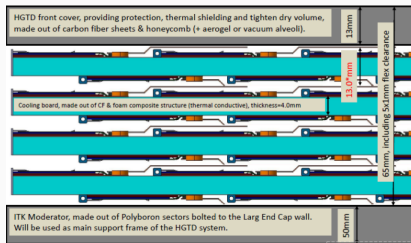
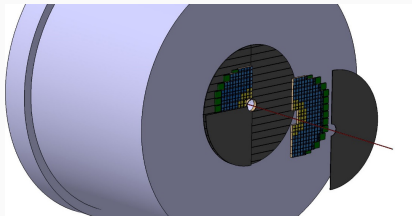
- CPPM et LAPP: développement des prototypes, puis maîtrise d'œuvre du système et suivi de la production

| Laboratoire | Nombre de physiciens (ETP) | Nombre d'IT (ETP) | CDD en mois |
|-------------|----------------------------|-------------------|-------------|
| CPPM | 3 (0.75) | 4 (2.7) | 36 |
| LAL | 3 (0.8) | 1 (0.3) | 36 |
| LAPP | 5 (1.5) | 7 (4.8) | 24 |
| Omega | 0 | 4 (0.8) | 0 |
| Total | 11 (3.05) | 16 (8.6) | 96 |

DÉTECTEUR HGTD

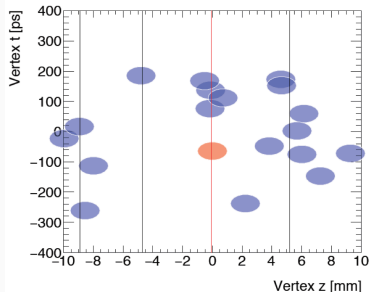
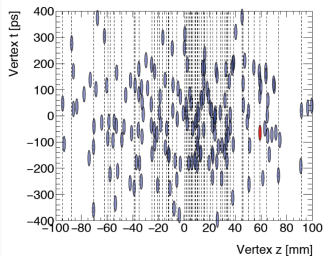
Principe de base

4 couches de silicium avec une mesure précise de temps, en amont des bouchons du calorimètre
 (option avec absorbeur tungstène rejetée)



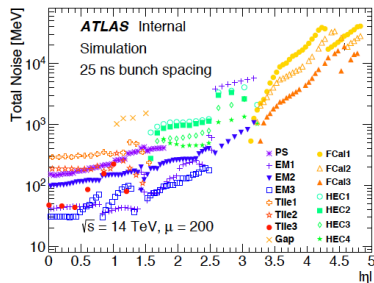
Laboratoires impliqués

- LAL
- LPNHE
- Omega



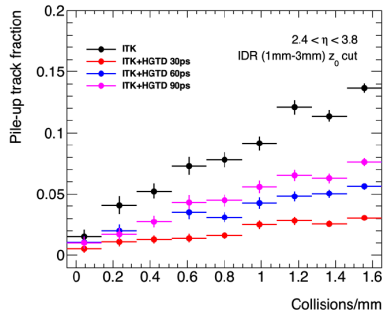
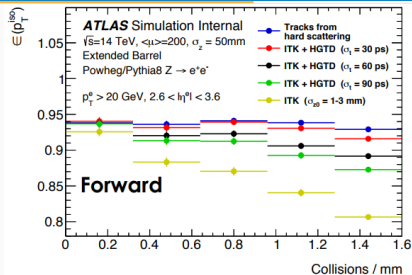
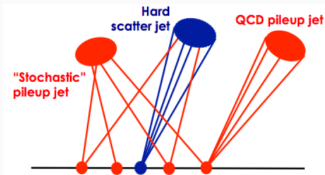
Problématique

- Dégradation performances calorimétrie vers l'avant à haute lumi
 - Granularité du calo réduite
 - Plus d'effets d'empilement
- Vertex au HL-LHC: $\sigma_z = 5$ cm, $\sigma_t = 180$ ps.
 - À $z = 0$, vertex de PU non distinguables du HS par tracking seul. Peuvent être séparés si mesure de temps
 - Résolution de 30 ps → réjection du PU d'un facteur 6



Nombreux impacts sur la physique

- Réjection des jets de pile-up
- Réduction de l'impact du pile-up dans les jets
- Identification des électrons vers l'avant
- Isolation des électrons vers l'avant
- Étiquetage des jets b vers l'avant
- Utilisation envisagée au trigger L0.
Amélioration conséquente pour les triggers de signatures VBF
- Luminomètre



Conditions pour $\sigma_t = 30$ ps

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{Landau}^2 + \left(\frac{t_{rise}}{S/N}\right)^2 + \left(\left[\frac{V_{thr}}{S/t_{rise}}\right]_{RMS}\right)^2 + \left(\frac{TDC_{bin}}{\sqrt{12}}\right)^2$$

- Senseurs fins (50 μ m)
- Signaux rapides, grand S/B
- Correction de timewalk avec CFD, petits bins de TDC

Solution retenue

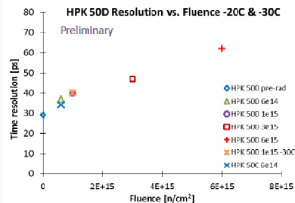
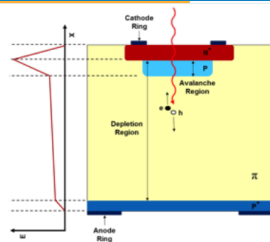
LGAD (low gain avalanche diodes)

- Couche de dopant additionnelle, requiert refroidissement (-20 à -35°C)
- Développements en cours pour l'amélioration de la résistance aux radiations

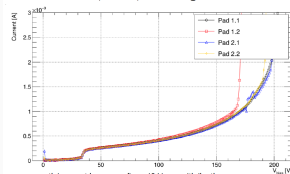
Mesures à la station de sonde

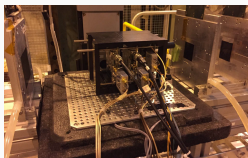
I-V (courant de fuite, tension de claquage)

- Croissance exponentielle après 40 V (multiplication)
- Courants faibles (nA)
- I(150V):I(50V) \sim 3, en accord avec les simulations



IV - W5-HG11 (LGAD), GR to ground



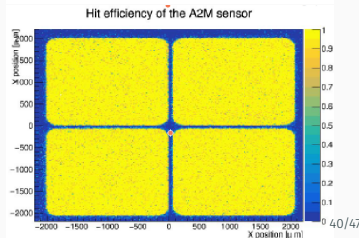
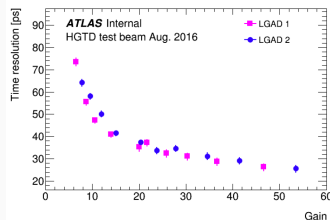
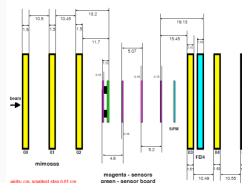


Setup Août et novembre 2016

- Faisceaux pions 120 GeV
- 6 plans de télescope, 3 plans de senseurs
 - 2 senseurs UCSC 1 pad 1x1 mm², 50 μm
 - 1 senseur IN2P3 3x3 mm² avec 2 canaux de lecture

Résultats du faisceau test

- Mesure des Δt permet de calculer la résolution des éléments de la chaîne de faisceau test
- Obtention de 26 ps pour un voltage de biais de 250 V (G ~40-50)
- Objectif pour ATLAS: $G > 20$
- Mesure de l'uniformité des efficacités et du gain: très bon comportement



ASIC HGTD

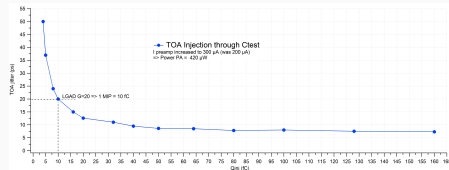
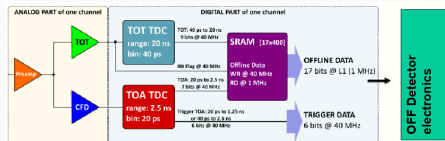
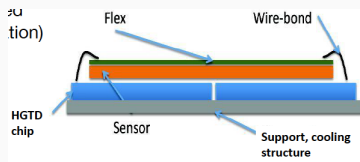
- 2x2 ASIC bump-bonded sur un senseur

Prototype ASIC Altiroc

- Première itération TSMC 130 nm CMOS, 3.4x3.4 mm²
- 4 voies: préamplificateur, ToT, CFD
- Prototype reçu, en cours de tests
- Premiers résultats encourageants
- Bump-bonding sur un senseur en juillet
- Essai en faisceau test en septembre

Intégration

- Utilisation de flex pour lecture du signal et distribution des tensions
- Pads de 1.3x1.3 mm²



Collaboration HGTD

- 22 instituts (dont CERN, Barcelona, US groups, IN2P3)
- ~120 participants

IN2P3: Institut leader dans le projet HGTD

- Responsables de nombreuses activités
- Implication dans tous les secteurs
 - Mécanique (LAL)
 - Électronique (Omega + LAL)
 - Senseurs, assemblage des modules et tests (LPNHE)
 - Tests faisceau, simulation, software et performance (LAL + LPNHE)

Jalons

- Revue de l'IDR: 22/09/2017
- Kick-off meeting (expression d'intérêt des instituts) peu après
- Document à la "Technical Proposal" pour LHCC fin novembre
- TDR fin 2018
- Tests et assemblage 2020 - 2022
- Intégration 2022 - 2024

Synergies pour la R&D

- Profite des développements Calice et CMS, et du partage d'expérience avec l'ITK
- Partage des coûts de soumission des runs silicium avec CMS, réutilisation de développements

Engagements humains

- Projet ANR soumis mars 2017 pour 2 postdocs
- Construction: 2 CDD 24 mois tests et assemblage modules
- Construction: 2 CDD 24 mois test des puces et assemblage, puis intégration au CERN

| Laboratoire | Nombre de physiciens (ETP) | Nombre d'IT (ETP) | CDD en mois |
|-------------|----------------------------|-------------------|-------------|
| LAL | 3 (1.5) | 4 (1.5) | 48 |
| LPNHE | 8 (2.0) | 1 (0.2) | 48 |
| Omega | | 4 (0.9) | |
| Total | 11 (3.5) | 9 (2.6) | 96 |

Activités envisagées

- Test d'une partie des capteurs au LPNHE (machine à pointes ITK)
- Production et tests des ASIC par Omega et LAL, et mise au point des connexions entre capteurs et puces
- Contribution à l'assemblage des modules avec développement d'une chaîne d'assemblage (LAL et LPNHE)
- Contribution activités intégration détecteur dans ATLAS (LAL)

CONCLUSIONS

- Budget "Core": contributions reconnues dans ATLAS (coût des livrables)
- Budget "Non-Core": accompagnement nécessaire (équipement des laboratoires)
- IN2P3: environ 6% de la collaboration ATLAS. Demandes de financement en proportion.
- Réévaluation des budgets: discussions de la matrice financière jusqu'au RRB d'avril 2018

| | Coût en MCHF |
|-------------------------------------------|--------------|
| Déclenchement et acquisition (FTK inclus) | 43.31 |
| Trajectographe (ITk) | 120.36 |
| Calorimètre à argon liquide (HGTD inclus) | 45.98 |
| Calorimètre à tuiles scintillantes | 8.58 |
| Système de détection des muons | 34.08 |
| Détecteur à l'avant | 1.30 |
| Intégration et installation | 17.42 |
| Total | 271.04 |

| Sous-détecteur | Core | Non-core | CDD | Aléas | Total |
|----------------|--------|----------|-------|-------|--------|
| Trajectographe | 11.100 | 2.575 | 2.660 | 0.900 | 17.235 |
| Calorimètres | 4.160 | 1.260 | 0.630 | 0.340 | 6.280 |
| HGTD | 1.970 | 0.440 | 0.371 | 0.238 | 2.949 |
| Fonds communs | 1.485 | 0 | 0 | 0 | 1.425 |
| Total | 18.715 | 4.275 | 3.661 | 1.478 | 28.129 |

- Ambitieux et nécessaire programme d'upgrades d'ATLAS pour la Phase 2 du LHC
- Contributions importantes aux upgrades de l'électronique des calorimètres à argon liquide et à tuiles (implication historique de l'IN2P3)
- Participation à un projet de nouveau détecteur HGTD
- Projets actuellement en phase de TDR (argon, tuiles) ou IDR (HGTD)
- Implication des chercheurs et ingénieurs proportionnée aux engagements que souhaitent faire les groupes pour la mise au point et à la construction des upgrades