

# L'upgrade de LHCb

## Electronique pour l'upgrade du Calorimetre

### L'expérience LHCb

- Collaboration - site - quelques mots de physique - principe de l'expérience - une vue du détecteur.

### Les évolutions du détecteur pour l'upgrade

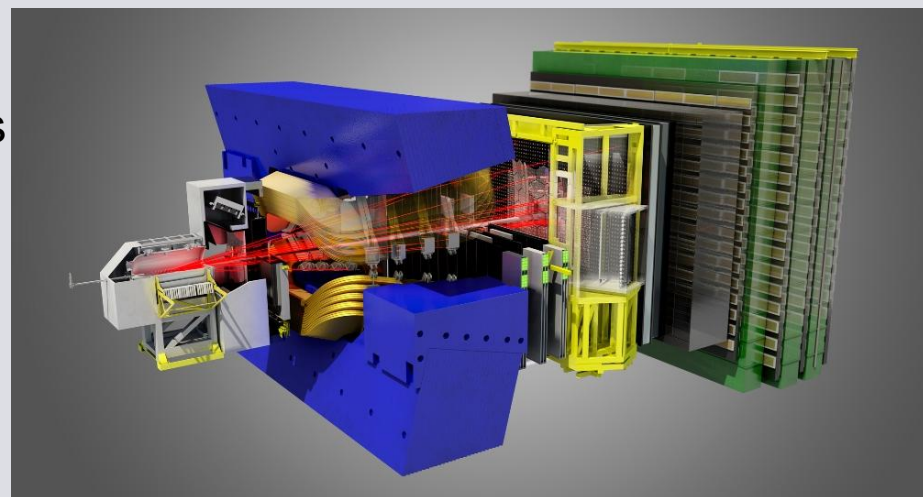
- Trigger actuel - nouveau trigger - readout actuel des données et son évolution

### Implications du LAL dans l'upgrade

- Carte Front-end calorimètre - développements réalisés et futurs

*Caceres Thierry, Beigbeder Christophe, Dinaucourt Pierrick,  
Duarte Olivier, Rusquart Pascal, Sliwa Regis, Tocut Vanessa.*

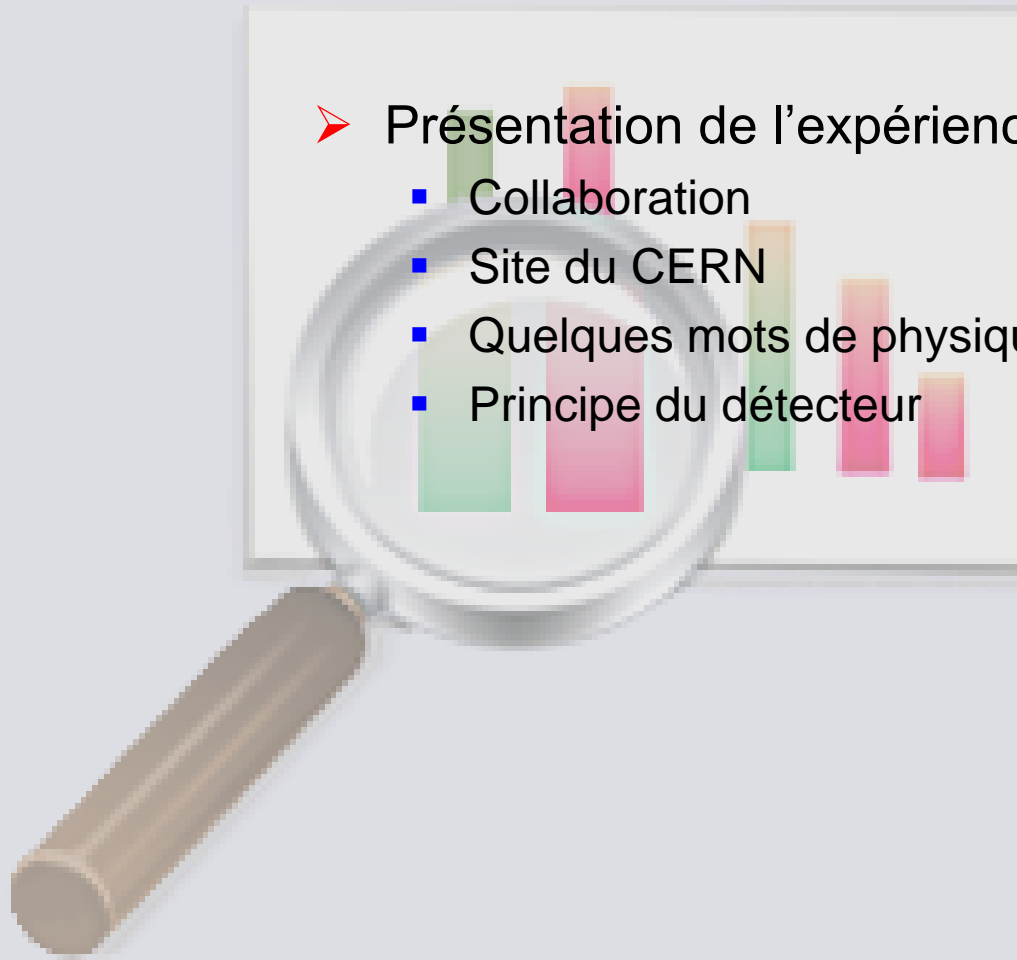
17-I-2013



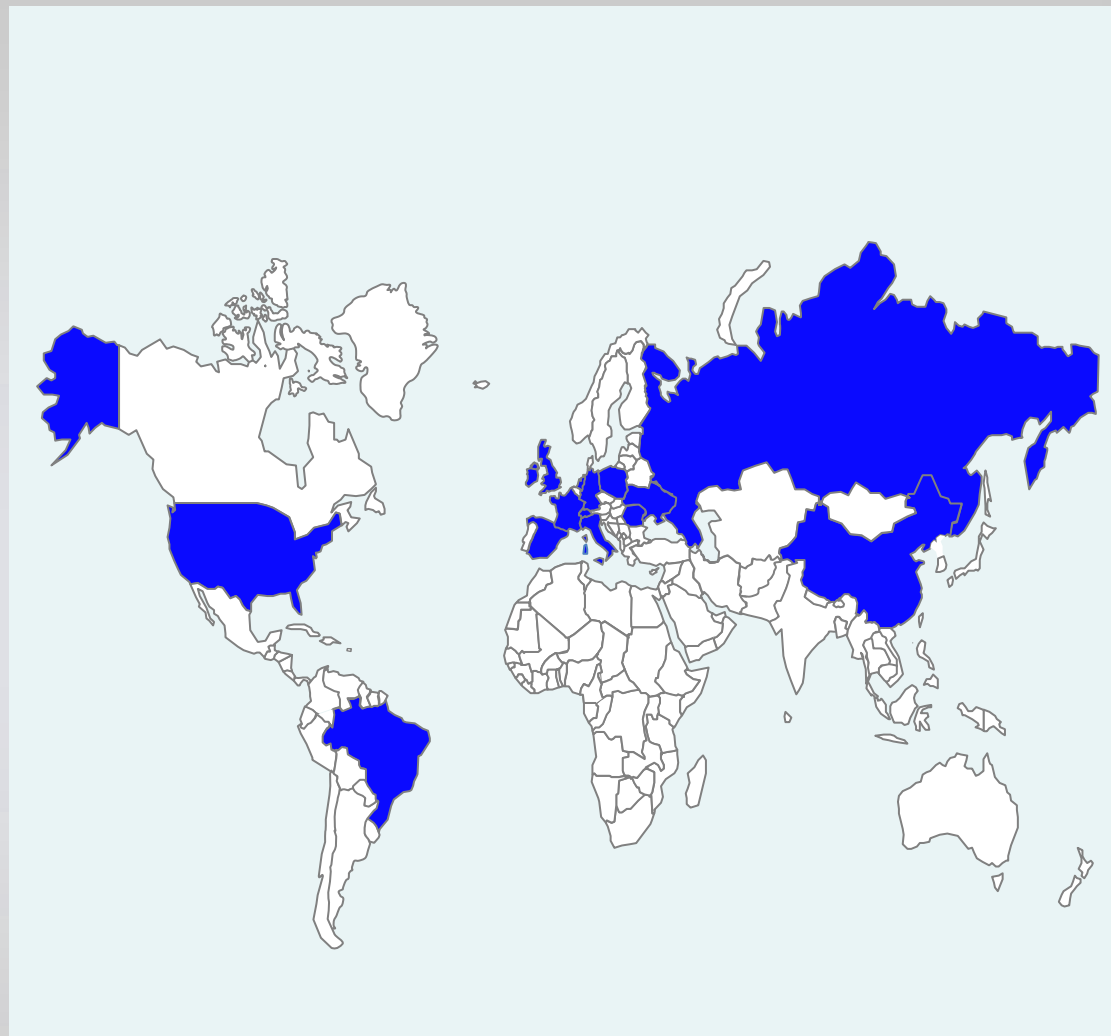
# L'expérience LHCb

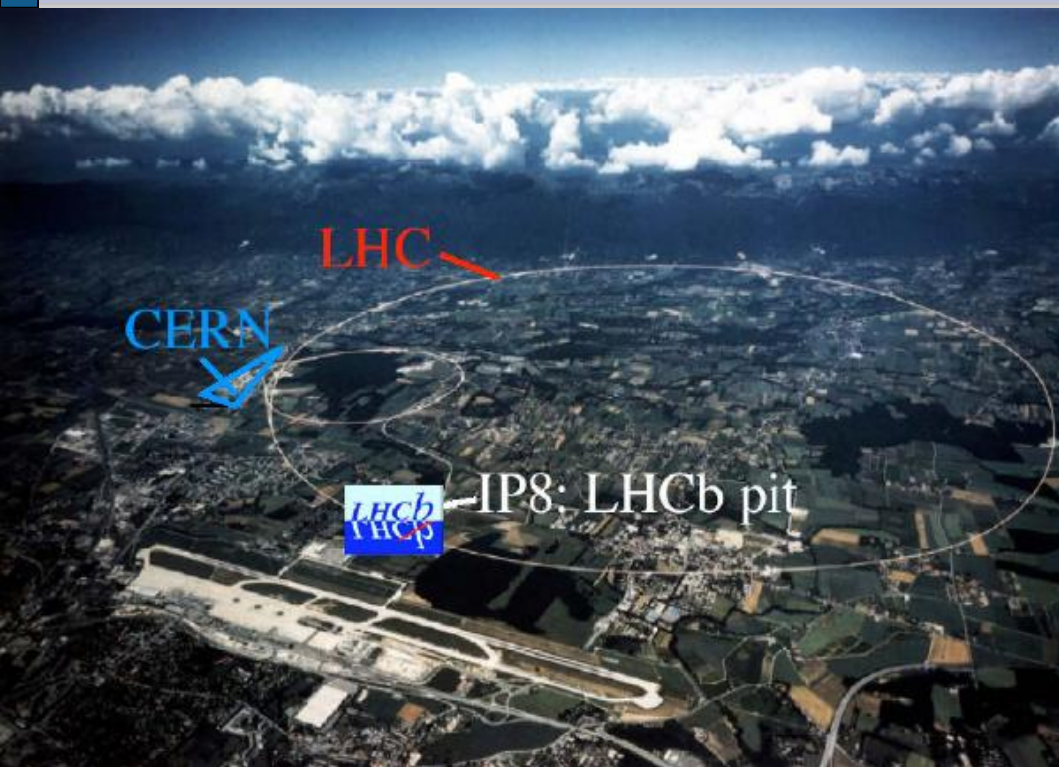
## ➤ Présentation de l'expérience LHCb :

- Collaboration
- Site du CERN
- Quelques mots de physique
- Principe du détecteur



- 55 instituts dans 15 pays
- Plus de 800 membres
- 5 groupes français
  - Annecy (LAPP)
  - Clermont-Ferrand (LPC)
  - Marseille (CPPM)
  - Orsay (LAL)
  - Paris (LPNHE)
- Budget 1135 kCHF (Calo - LHCb France )



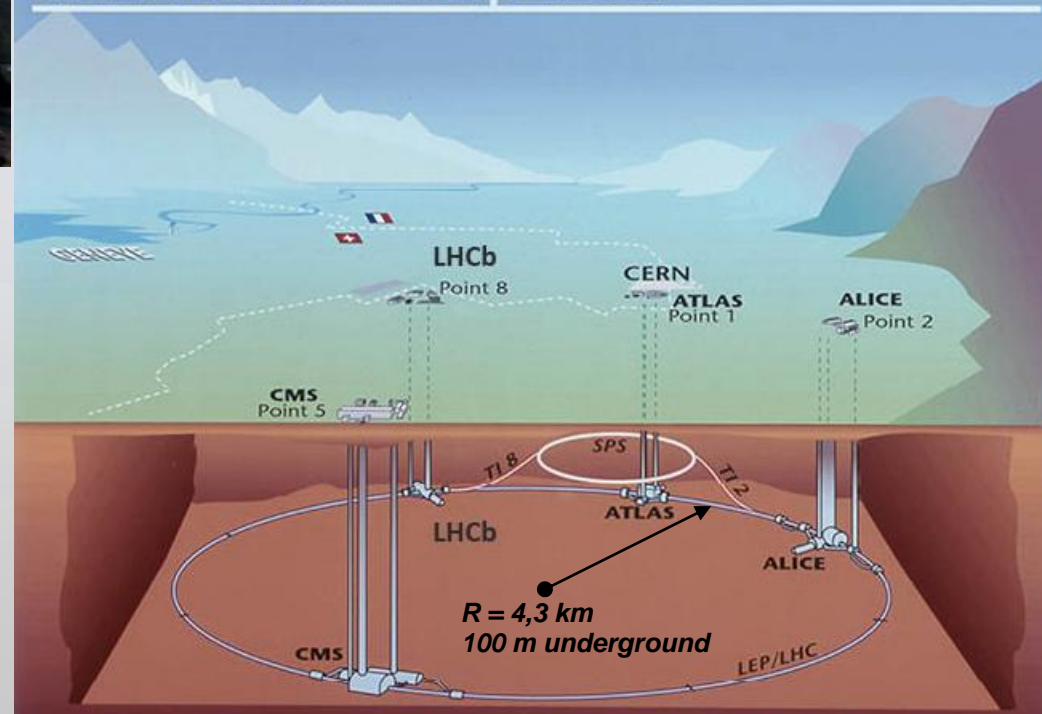


Contrairement aux grands détecteurs polyvalents Atlas et CMS, LHCb est un outil spécialisé, destiné à réaliser la meilleure détection possible des particules « belles » (contenant un quark  $b$ ) et de leurs produits de désintégration.

➤ LHC (Large Hadron Collider), à chaque point de collision un détecteur :

- ATLAS
- ALICE
- CMS
- LHCb

Overall view of the LHC experiments.



- La physique des particules possède un modèle très puissant
  - Le Modèle Standard (MS)
    - ❖ Compréhension détaillée et précise
      - ❖ des particules dans l'univers et des forces qui les font interagir
    - ❖ Possibilité de prédire avec une exceptionnelle précision un très grand nombre d'observables
      - ❖ les phénomènes ayant lieu lors de collisions de particules
      - ❖ certaines mesures astrophysiques, cosmologiques
  - Certains aspects indiquent que le modèle standard est incomplet
    - ❖ Pourquoi trois familles de particule ?
    - ❖ Des problèmes apparaissent lors de certains calculs (divergences)
    - ❖ L'univers actuel contient un peu de matière / pas d'antimatière
      - Pourquoi cette asymétrie (Violation de CP) ?
- LHCb a pour but de mesurer
  - des observables affectés par une physique au-delà du MS
    - ❖ Mesures en contradiction avec les prédictions du MS
      - ❖ Par exemple, certaines désintégrations rares dans le cadre du MS peuvent l'être moins si on introduit une physique au-delà du MS
  - Comprendre le mécanisme de violation de CP
    - ❖ Le contenu de l'univers non expliqué par MS



# Quelques mots de Physique : Exemple d'une désintégration rare : $B_s \rightarrow \mu\mu$

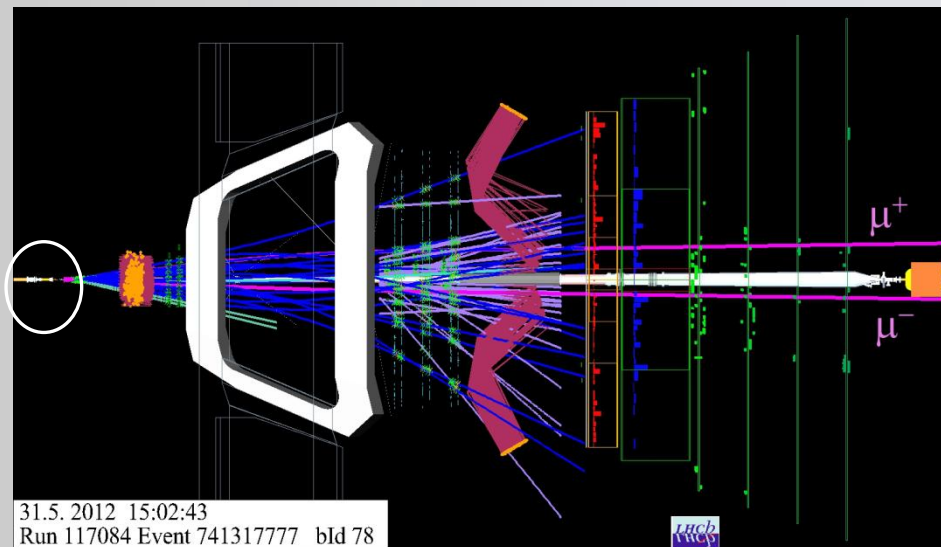
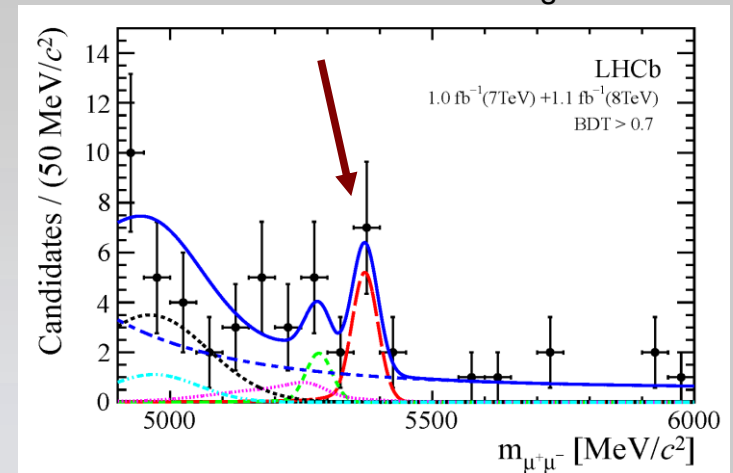
➤ A la mi-novembre, LHCb a publié la mesure de la fréquence des désintégrations du  $B_s$  (quarks b et s) en une paire de muons

- Très rare dans le MS
- Plus fréquent dans de nombreux modèles au-delà du MS
- Recherché depuis plus de 30 ans...

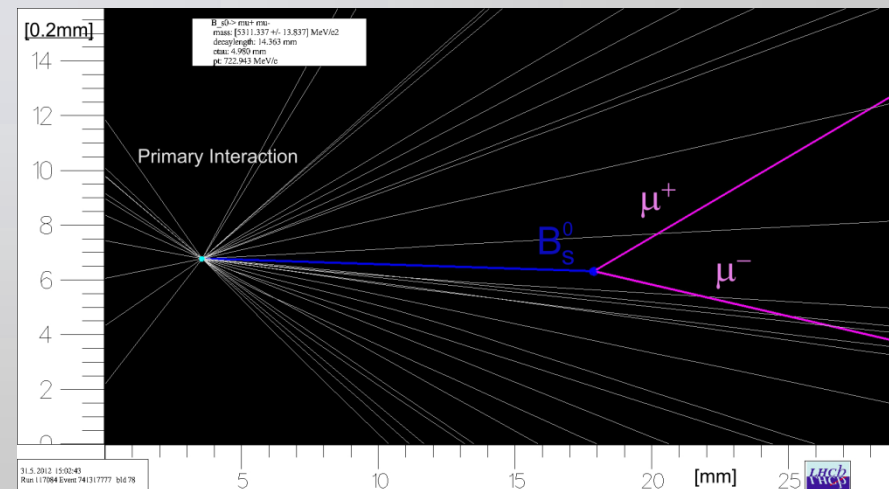
➤ Fréquence, mesurée par LHCb, du phénomène

- 3 désintégrations de ce type pour un milliard de désintégrations du  $B_s$  !
- Malheureusement, en accord avec la prédiction du MS

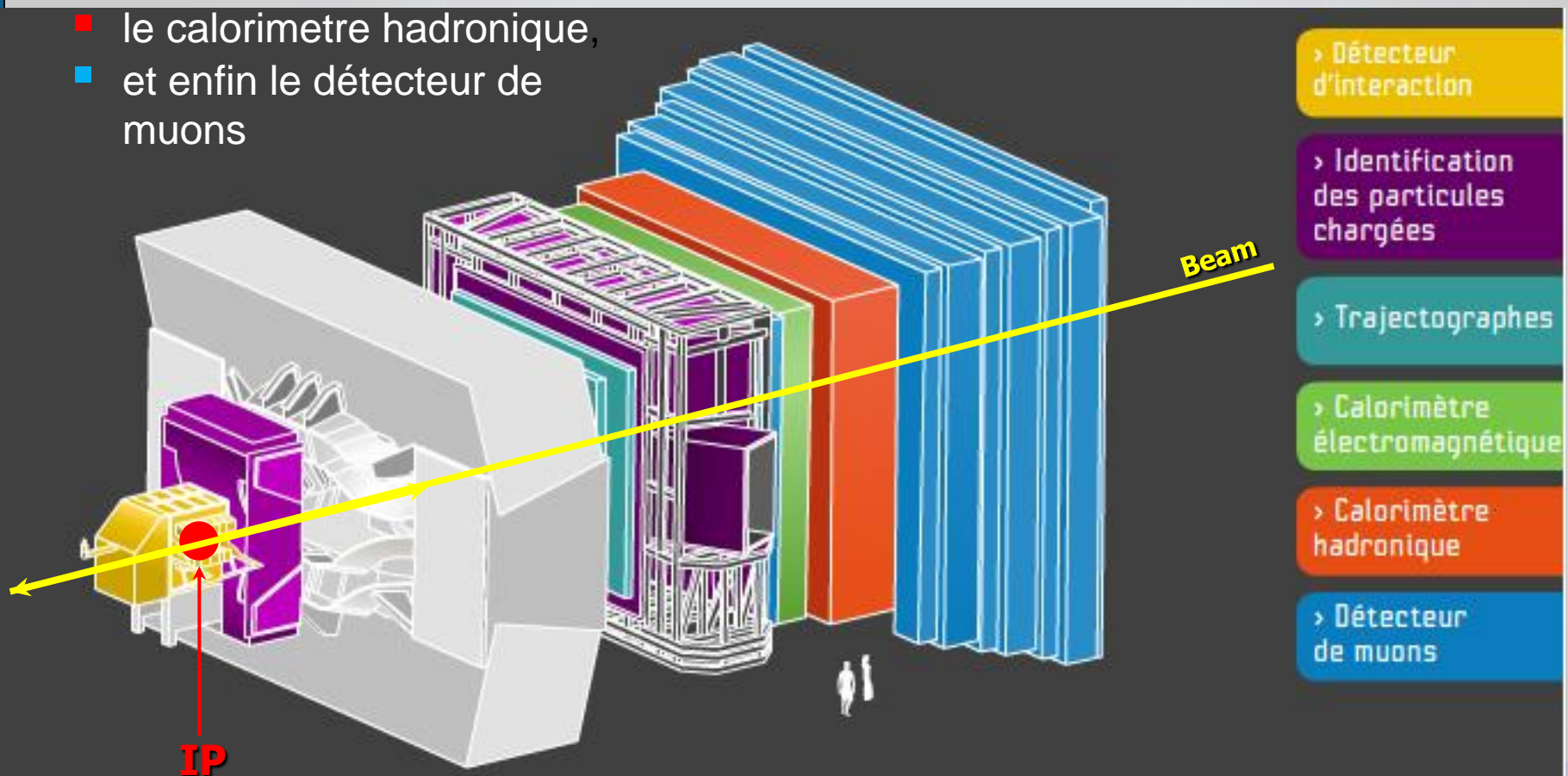
Le pic de masse du  $B_s$



Zoom de la zone d'interaction

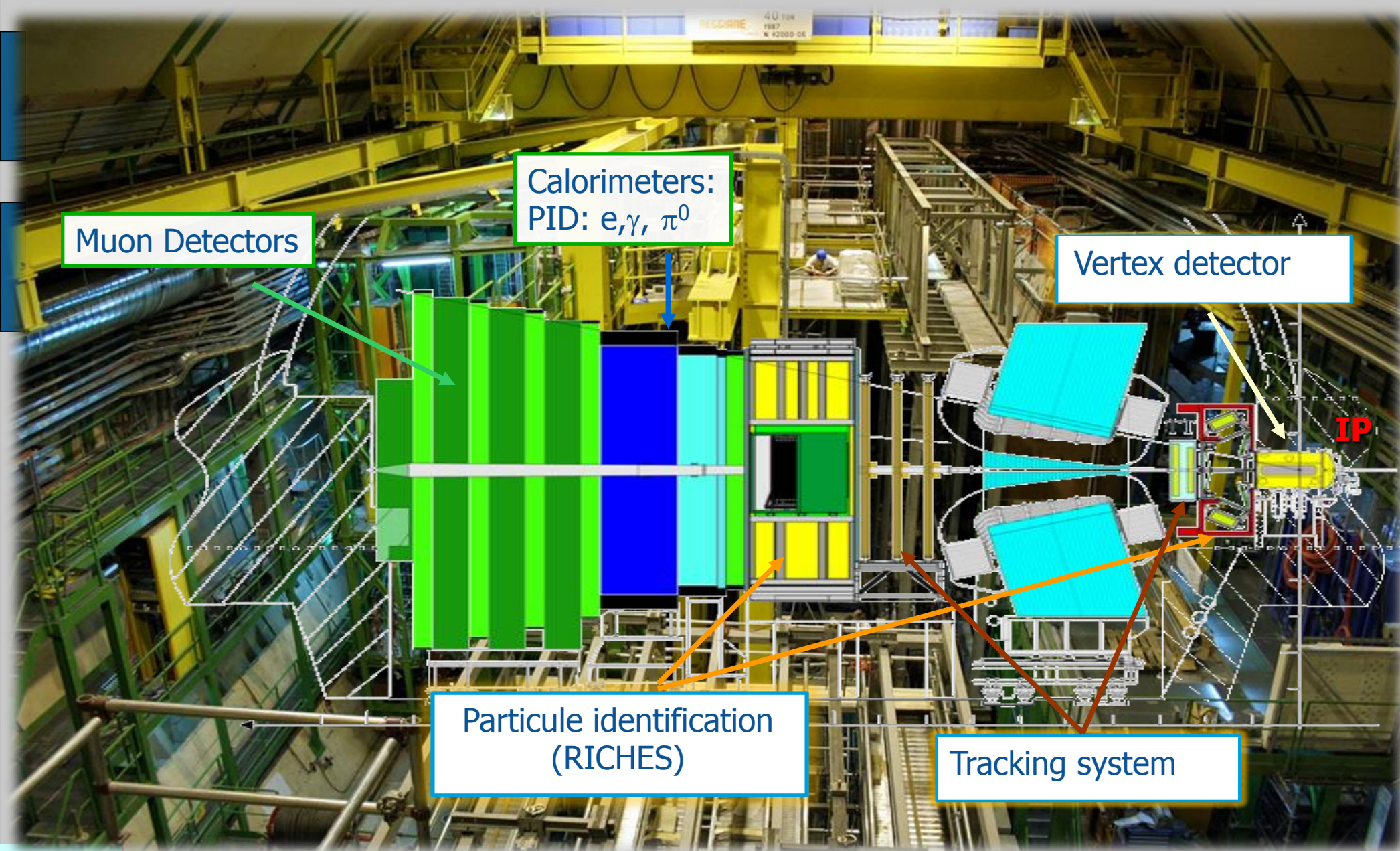


- Lorsque l'on a une collision au point d'interaction (IP), les particules rencontrent :
- d'abord le détecteur d'interaction appelé VERtex LOcator ou VELO,
  - puis le premier détecteur d'identification des particules RICH 1,
  - les trajectographes,
  - le deuxième détecteur d'identification des particules RICH 2,
  - puis le calorimètre électromagnétique,
  - le calorimètre hadronique,
  - et enfin le détecteur de muons





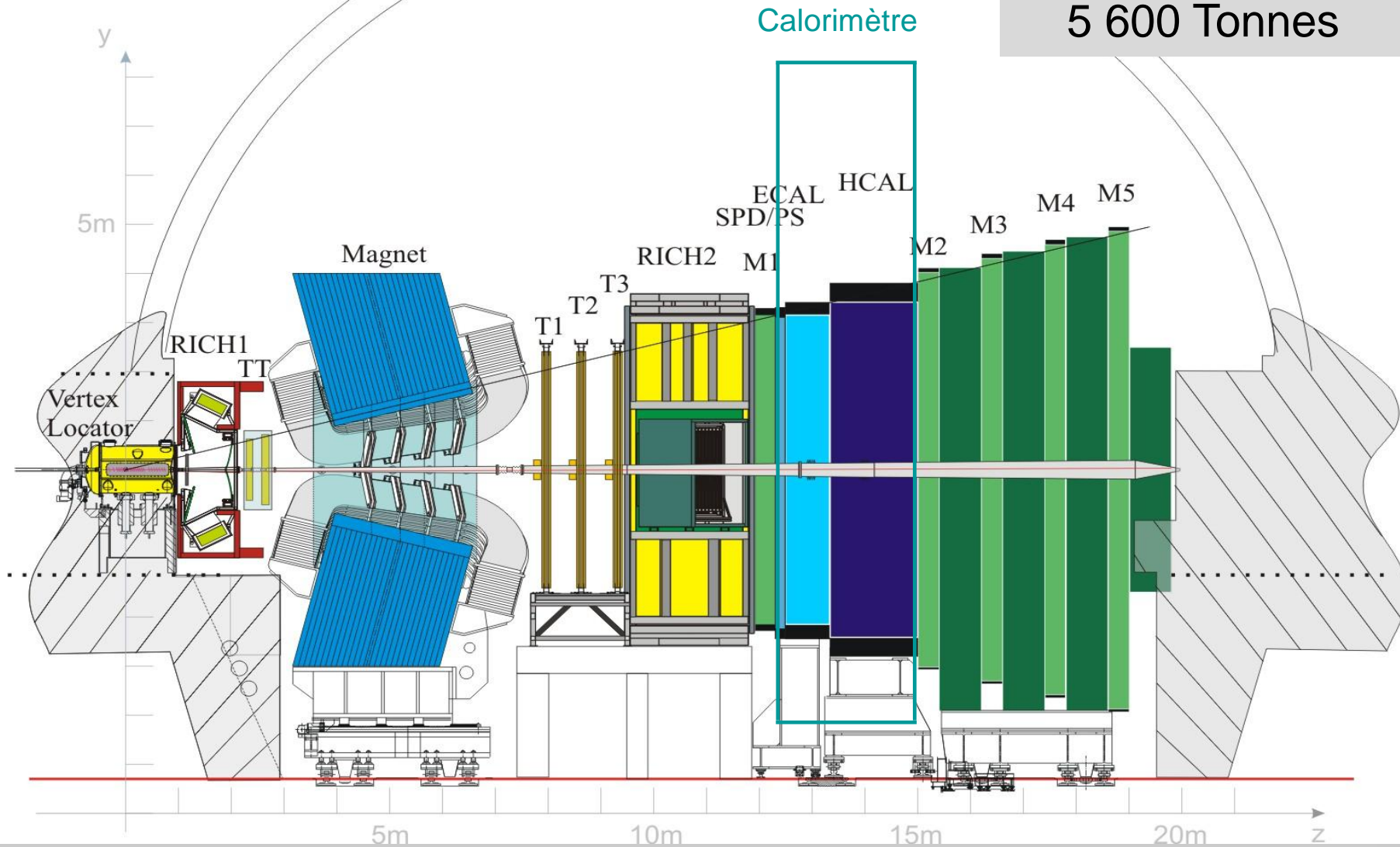
# Le détecteur LHCb dans la caverne





# Le détecteur LHCb : ordre de grandeur

Longueur 21m  
 Hauteur 10m  
 5 600 Tonnes

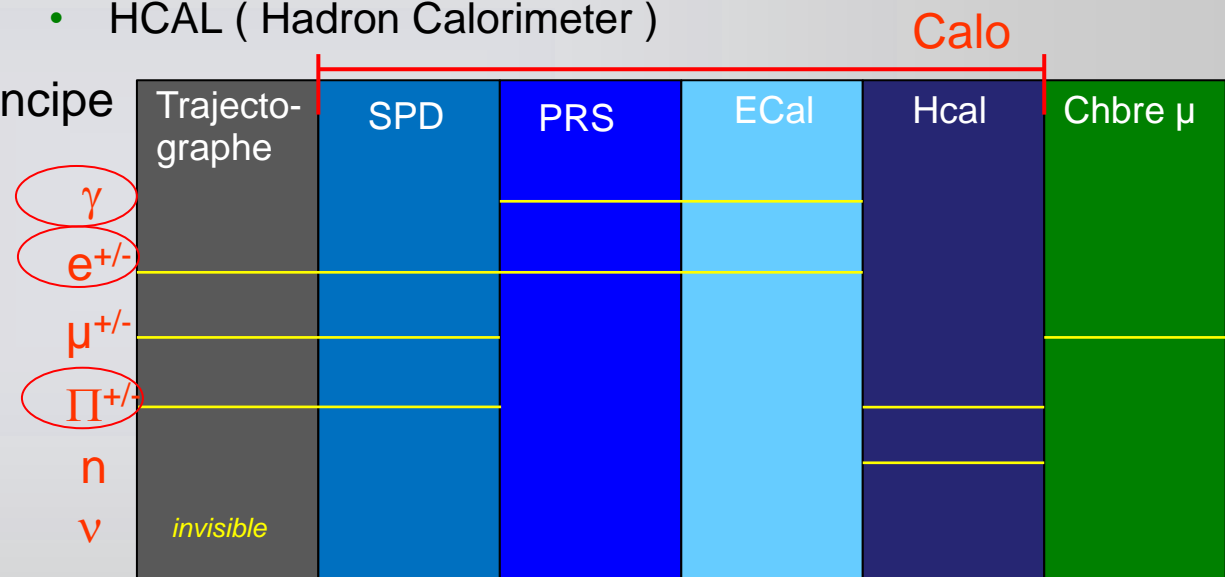


# Le calorimètre

## ➤ Fonction principale & Constitution du Calorimètre

- Détection, mesure d'énergie, détermination du point d'impact et identification des électrons, photons et hadrons.
- Constitué de plusieurs couches
  - SPD ( Scintillating Pad Detector ),
  - PS ( Pre-Shower )
  - ECAL ( Electromagnetic Calorimeter )
  - HCAL ( Hadron Calorimeter )

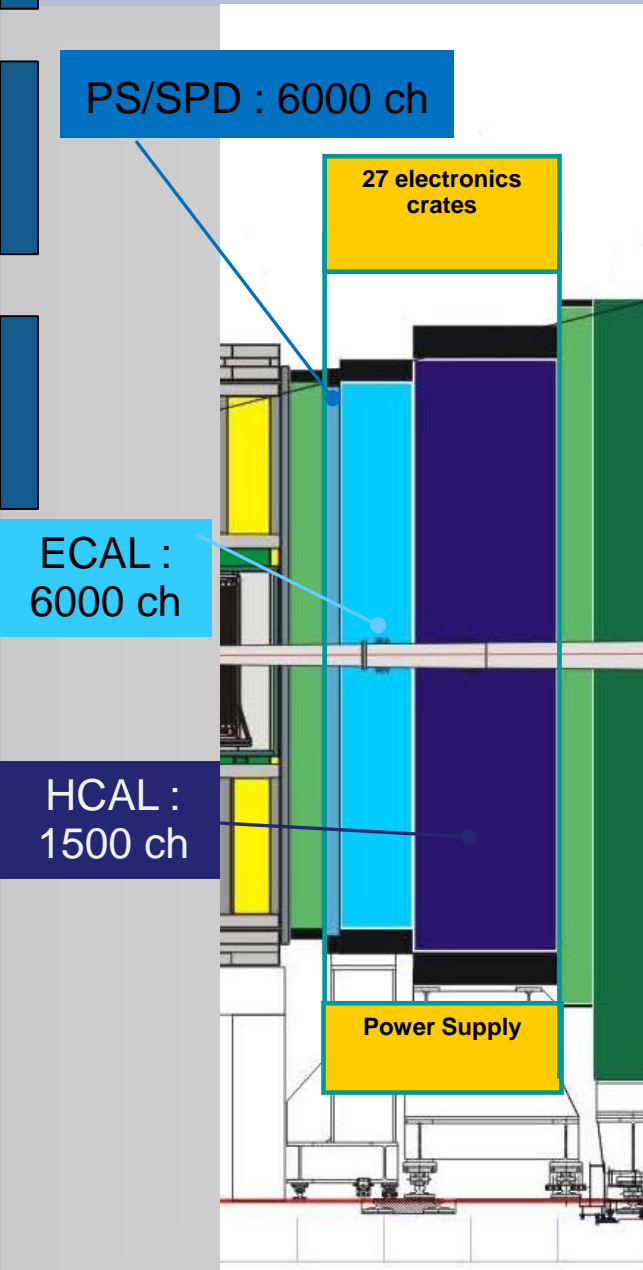
## ➤ Principe



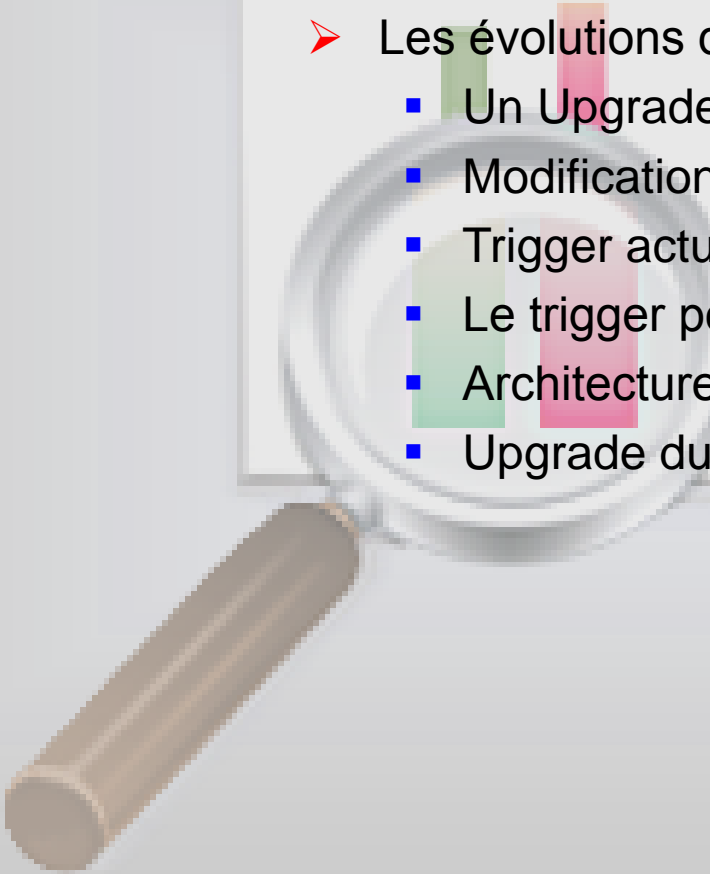
$\gamma$  (photon),  $e^{+/-}$  électron/positron,  $\mu^{+/-}$  muons,  $\Pi^{+/-}$  pions,  $n$  neutron,  $\nu$  neutrino

## ➤ Electronique développée par le LAL

- Grosse partie de l'électronique Front-end du calorimetre
- SPECS (Serial Protocol for the Experiment Control System)
- Cablage



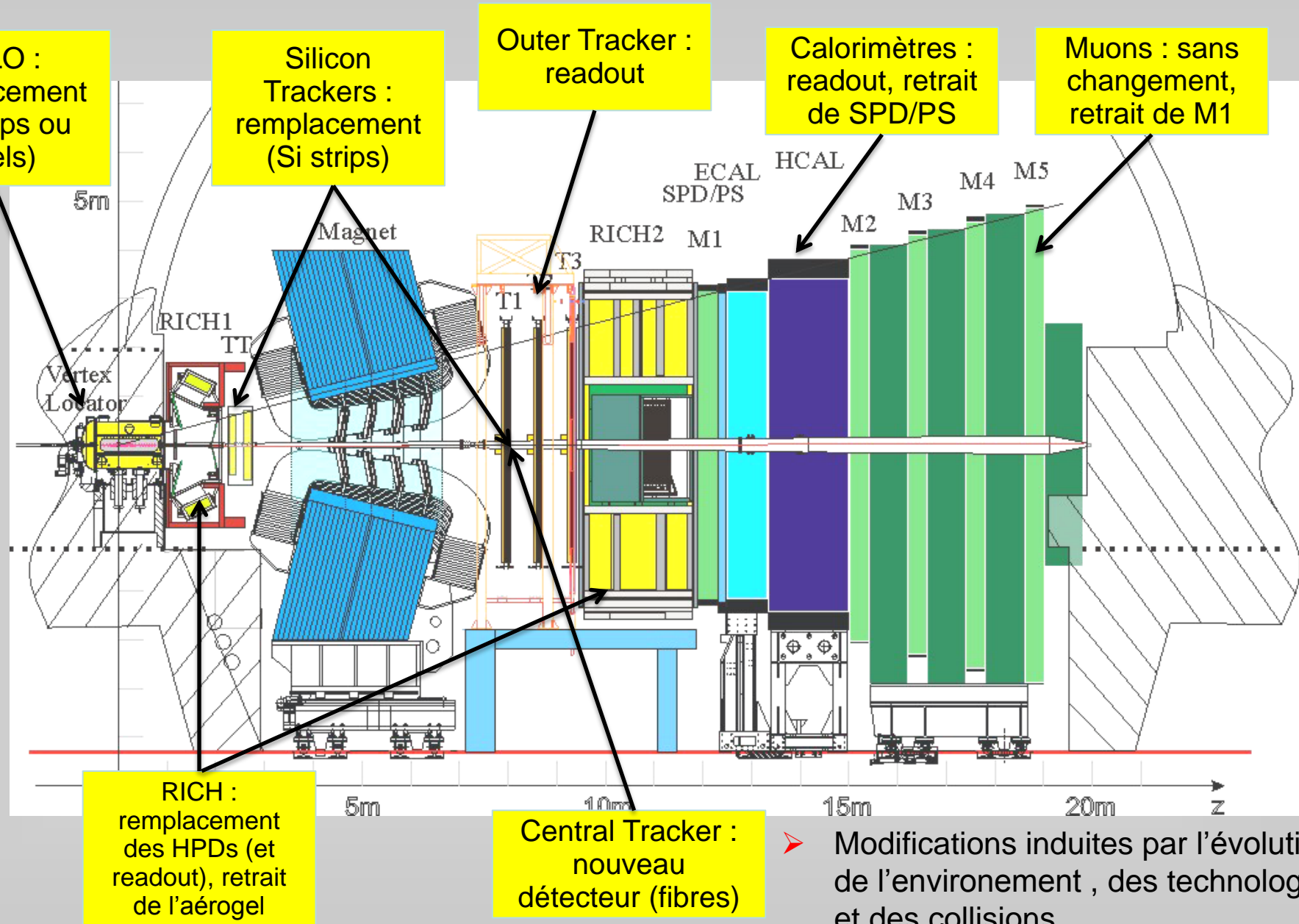
# Détecteur pour l'Upgrade

- 
- Les évolutions du détecteur pour l'Upgrade :
    - Un Upgrade pourquoi ?
    - Modifications du détecteur
    - Trigger actuel
    - Le trigger pour l'upgrade (software)
    - Architecture global pour l'Upgrade
    - Upgrade du traitement des données

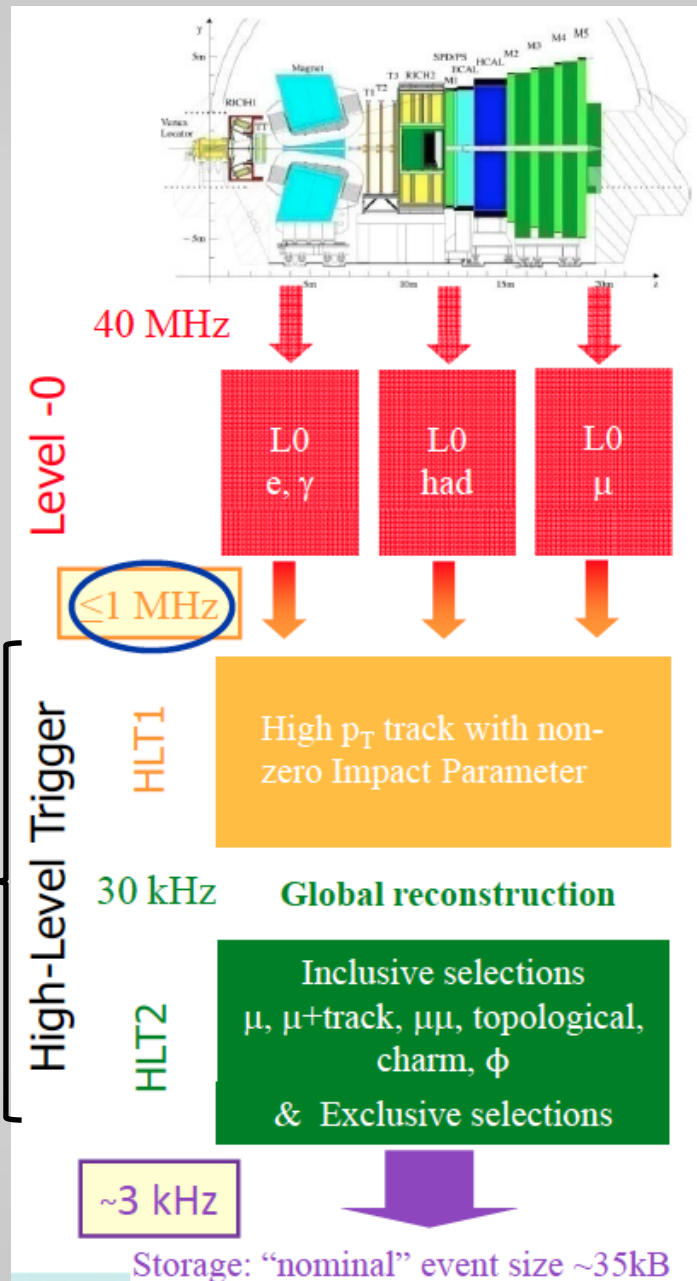


- LHCb permet
  - étude de la violation de CP,
  - étude de cas rare de désintégration.
- Pour aller encore plus loin dans ces études, il est nécessaire d'améliorer les mesures actuelles, c'est à dire d'augmenter la statistique en :
  - augmentant la luminosité
  - augmentant de l'efficacité du trigger
- Effet de l'augmentation de luminosité sur les datas
  - ↗ PileUp (empilement des événements plus important)
- Augmentation de l'efficacité du trigger
  - Si l'on relâche les coupures sur le trigger actuel (hardware)
    - signal ↗, bdf ↗ ⇒ Pas de gain sur la statistique
  - Idée d'implémenter un trigger plus intelligent
    - signal ↗ ↗, bdf →
  - Trigger software (HLT)
    - ~~L0~~ → Trigger plus intelligent (ferme de PC)
- Effet de l'augmentation de l'efficacité du trigger
  - Oblige à une refonte totale de l'électronique Front-end du Calorimètre

# Modifications du détecteur

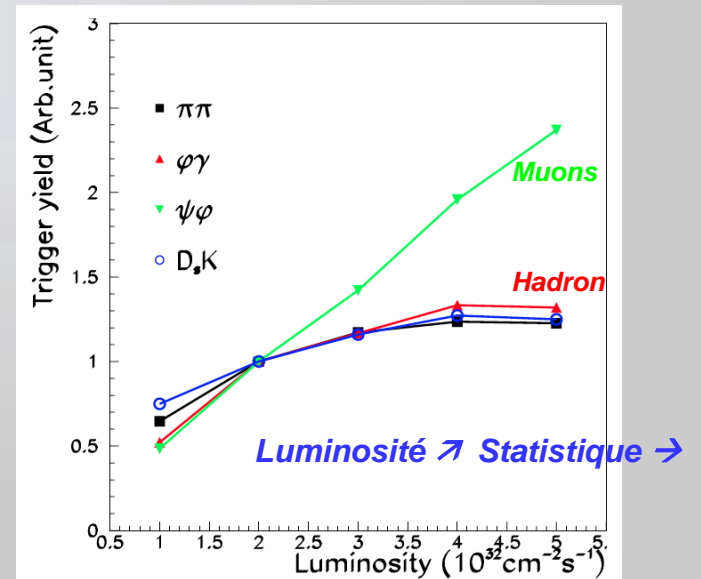


# Le Trigger actuel



- Trigger de 1<sup>er</sup> Niveau (L0) hardware
  - Limitation par construction du readout des datas à 1Mhz.
- Trigger HLT 1
  - Readout des datas à 30 kHz.
- Trigger HLT 2
  - Readout des datas à 3 kHz, c'est à dire stockage sur bande.

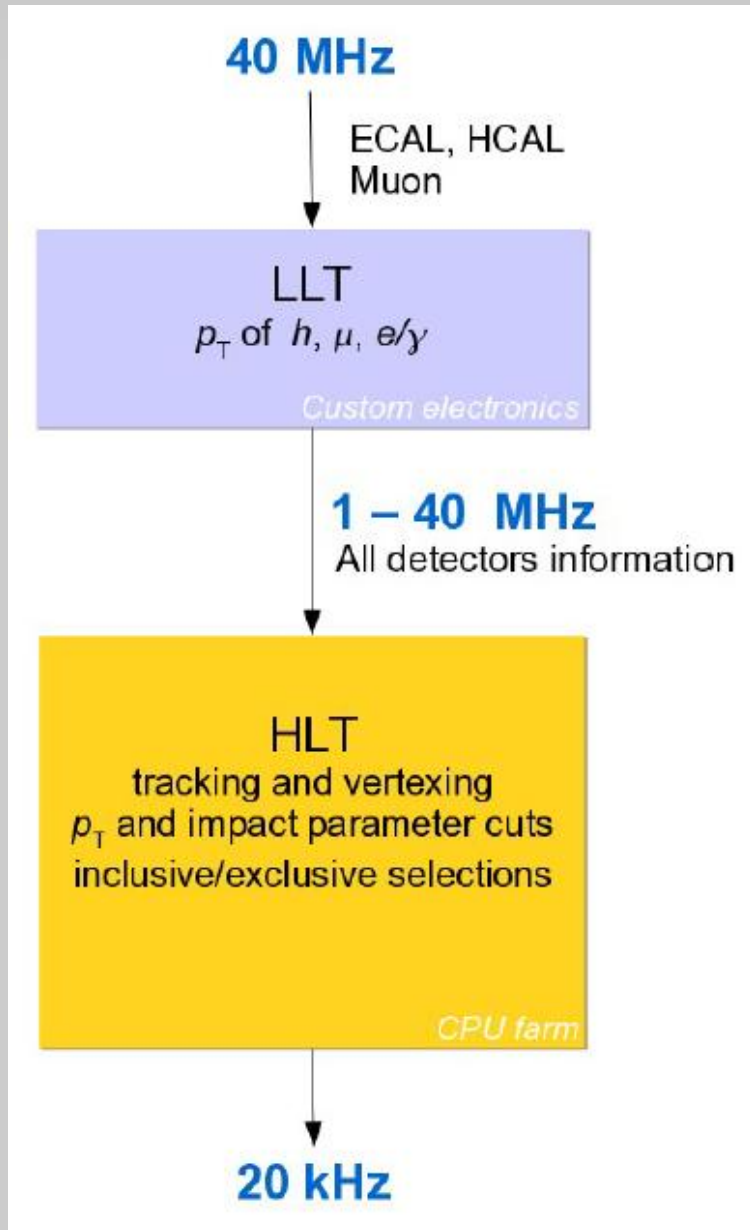
Trigger = f (luminosité)



Trigger software  
29 000 cœurs  
CPU  
utilisant le  
logiciel de  
reconstruction  
offline



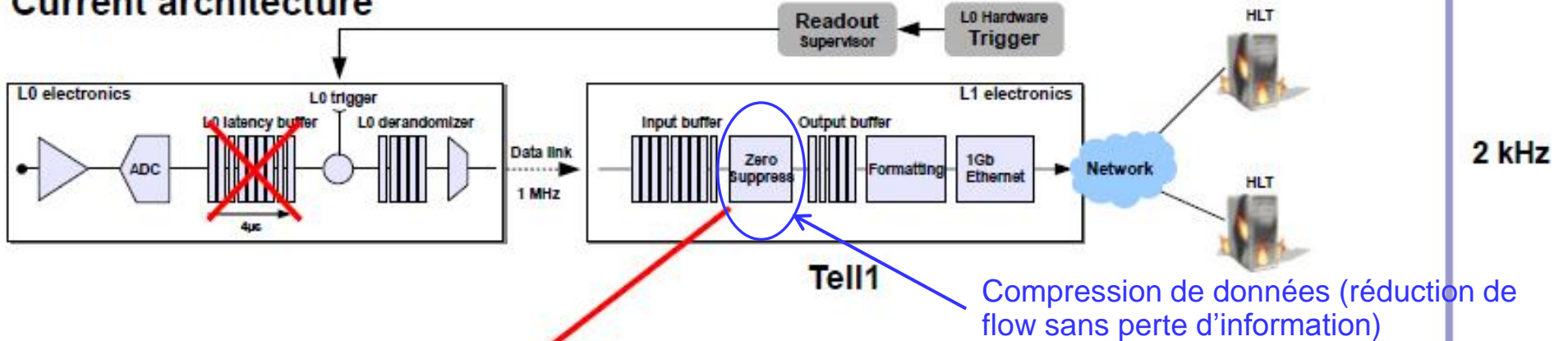
# Le Trigger pour l'upgrade



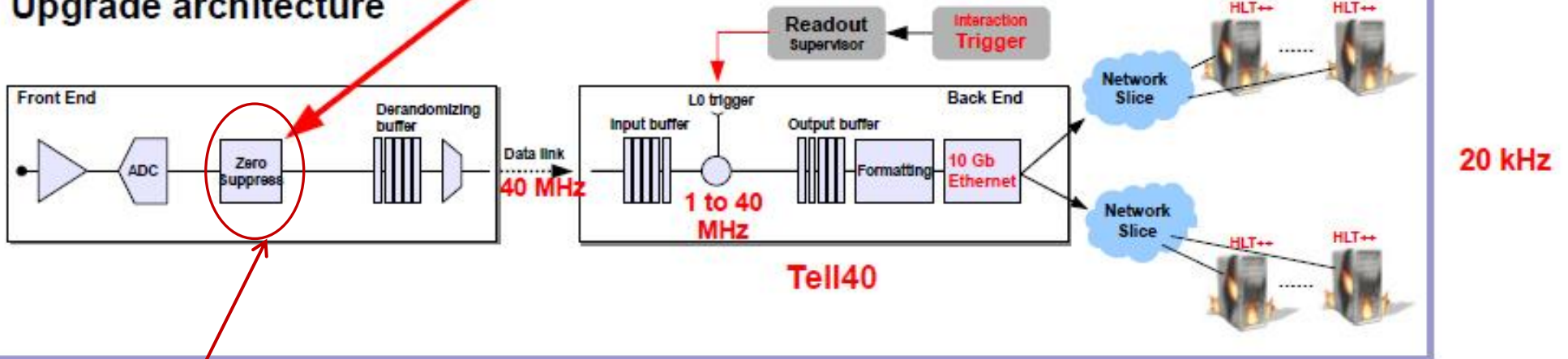
- Trigger HLT uniquement !
  - Devra absorber les données à 40 Mhz.
  - Readout des datas à 20 kHz (stockage sur bande)
- Trigger hardware disparaît progressivement (L0)
  - Ajustement du taux de lecture
  - Progressivement éliminé en fonction des capacités du HLT (achat PC !).
- Avantage : gain d'efficacité et de flexibilité
- Remarque : impose le remplacement de l'électronique de lecture pour lire le détecteur à 40 Mhz.

# Architecture globale pour l'Upgrade

## Current architecture



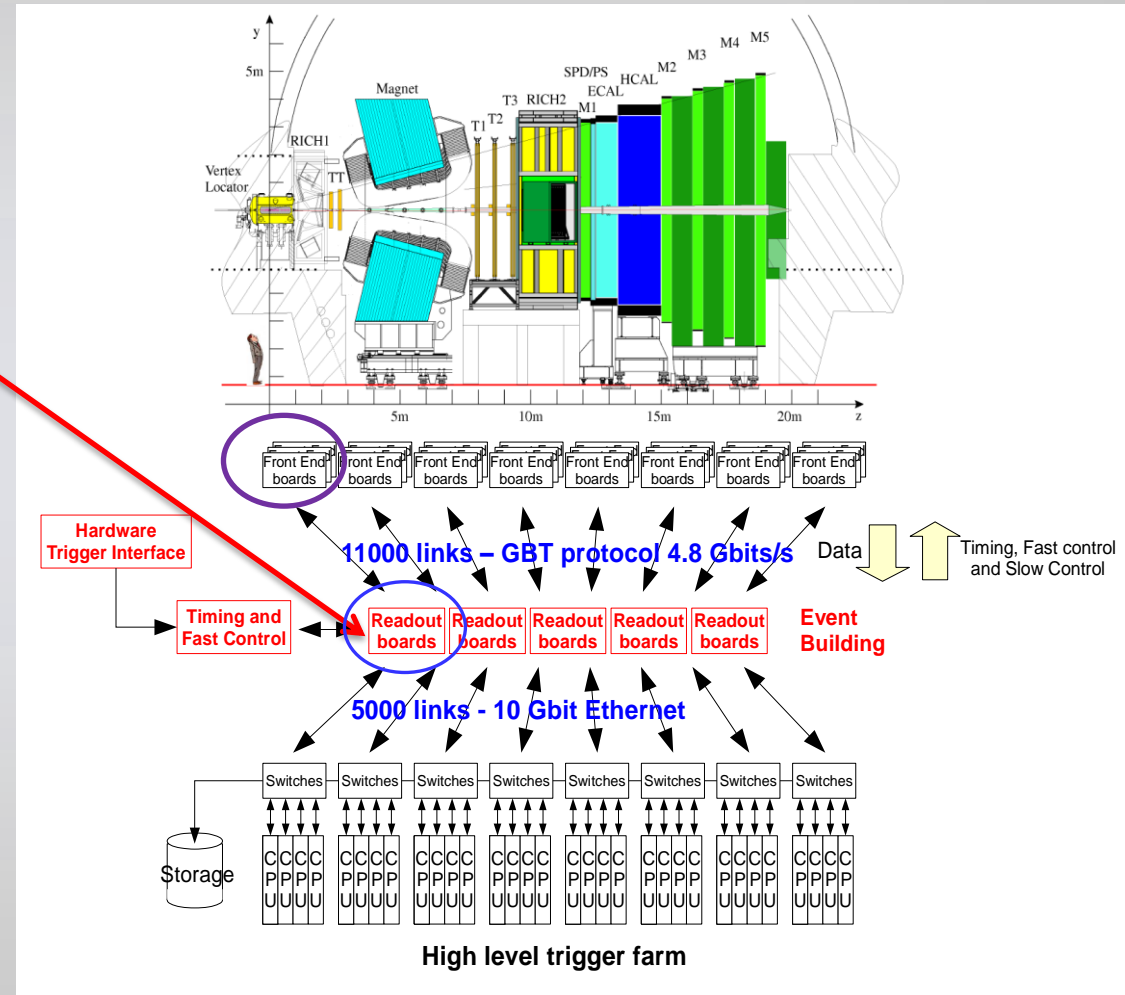
## Upgrade architecture



C'était le packing, maintenant plus nécessaire pour le Calo !!


# Upgrade du traitement des données

- Lecture du détecteur à 40 MHz implique une refonte complète de l'interface entre Front-End et les CPU du trigger software.
- Développement d'une carte de lecture commune à tous les systèmes de LHCb pour réaliser cette interface.
- Electronique Front-end du calorimètre à "redesigner"





# L'implication du LAL dans l'upgrade

- 
- Les engagements du LAL en électronique :
    - Calorimètre contribution française
    - Carte Front-end Calo
    - Les prototypes
      - Test Front-end
      - ...
    - Situation actuelle des développements
    - Conclusion

## ➤ Orsay (LAL) :

- Développement de la partie numérique de la carte Front-End: 2011-2014 et collaboration à l'ASIC Front-end Calo.
- Responsabilité de la fabrication de la carte Front-End: 300 cartes
  - Fabrication : 2015
  - Tests (150 cartes) : 2016-2017
  - Installation et commissioning : 2018

## ➤ Annecy (LAPP) :

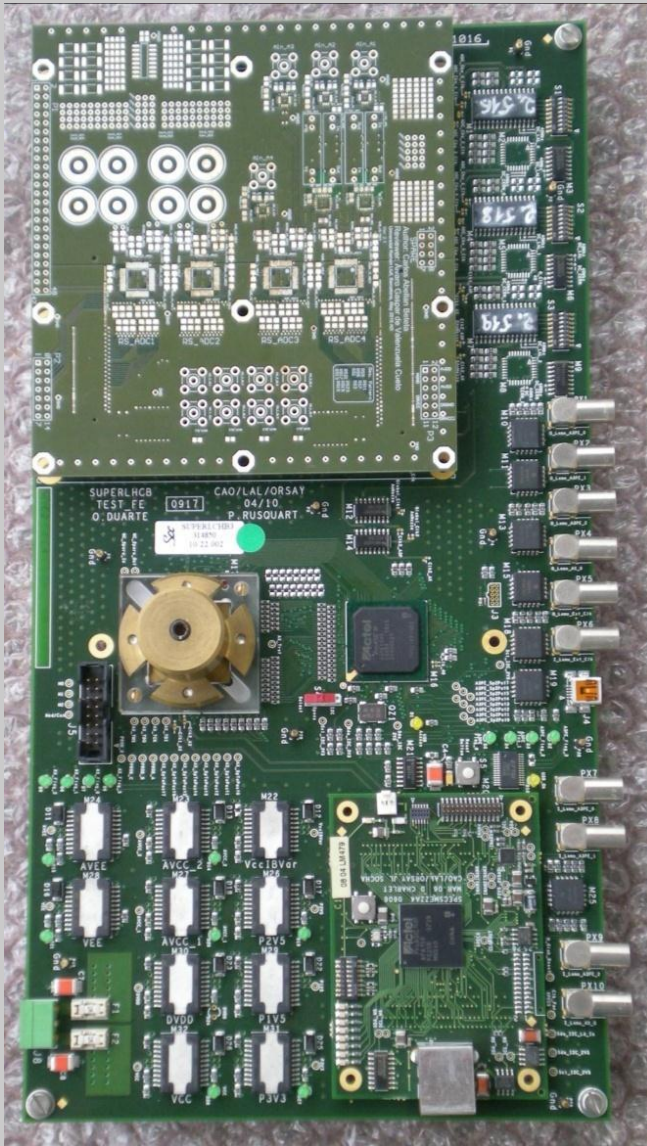
- Participation au remplacement éventuel des modules internes : 2018
- Participation à la migration ECS (Experiment Control System) pour la TVB (ECS passe maintenant dans le GBT).

## ➤ Passage au CS de l'IN2P3 en juin 2012 : rapport très favorable.

- Traitement numérique des signaux ECAL et HCAL doit être modifié par rapport aux cartes Front-End actuelles → développement de nouvelles cartes:
  - Traitement et mise en forme des données:
    - Implémentées dans des FPGAs (A3PE d'Actel, résistant aux radiations).
    - Firmware et prototype en cours de réalisation pour démontrer la faisabilité.
  - Transmission des données à 40 MHz vers la ferme de CPU du trigger software :
    - Par fibres optiques (réutilisant en partie celles qui sont déjà installées dans l'expérience).
    - Encodage/décodage des données à très haut débit (5 Gb/s) basées sur l'architecture GBT, développée au CERN pour toutes les expériences LHC.
- Intégration de GBT (Multi-Gb/s Data Transmission) sur FEB.



# Tests Front-end



- Premiers prototypes réalisés (développement d'une carte numérique pour tester :
  - Une nouvelle famille de FPGA Actel (A3PE):
    - SSO (Simultaneously Switching Output limits)
    - Test en radiation (2013-14).
  - La partie Front-end analogique (mezzanine) :
    - Développement Catalan
    - Solution ASIC (ICECAL) .
    - Solution discrète
- Test beam réalisé avec succès en Nov 2012
- Prochains tests sur cette carte
  - Triple Voting
  - FPGA (A3PE) à 80Mhz
  - ...

# Conclusion

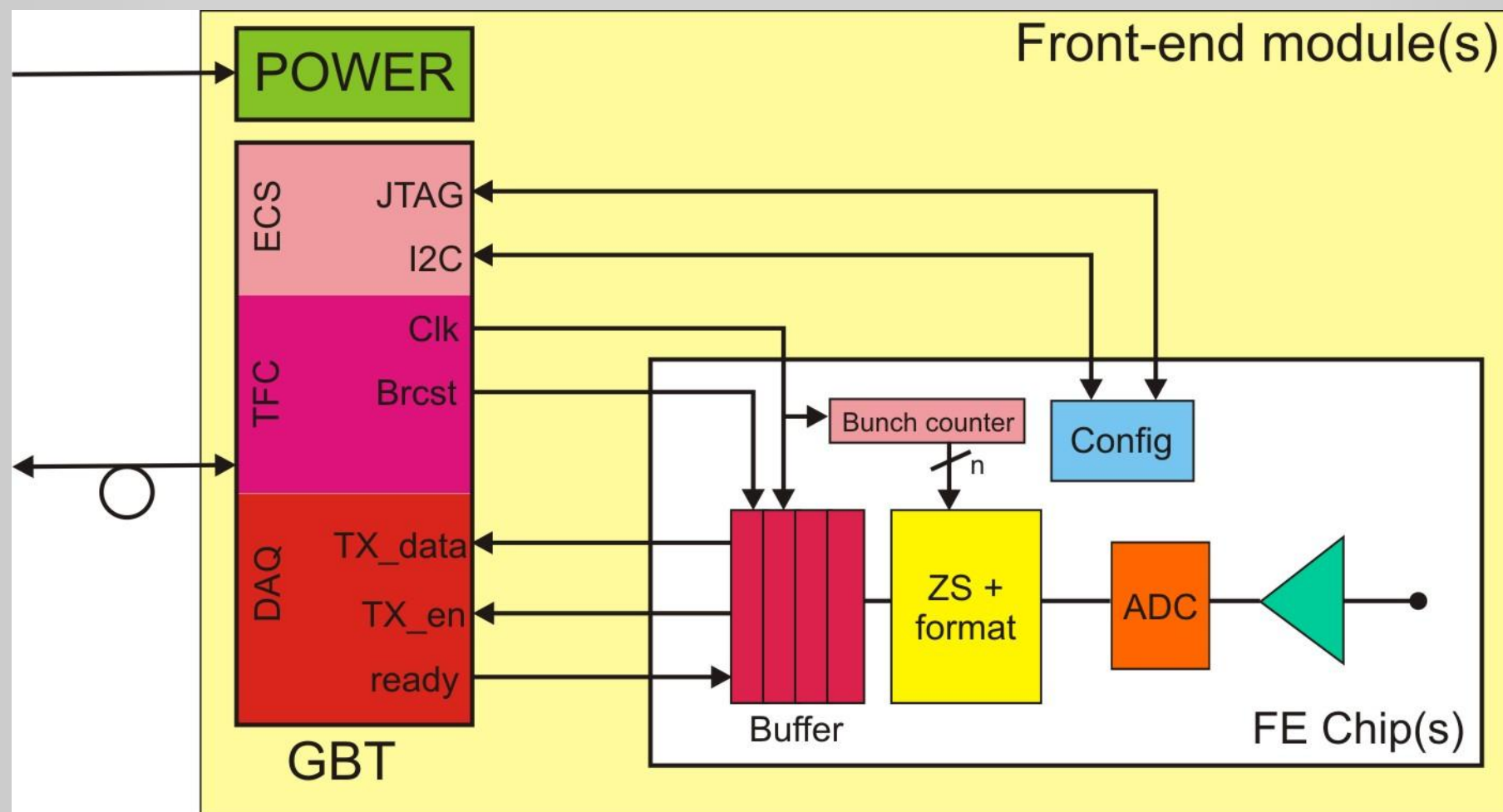
- Finalisation de l'architecture globale du Crate Front-end Calo.
- Etude et réalisation d'une carte Front-end Calo :
  - Carte 16 ou 32 voies
  - Intégration FE analogique
  - Intégration GBT (disponibilité 2013-14).
- Suivit de production.
- Test (1/2) et intégration.
- Upgrade LHCb devra être opérationnel en 2018.
- Upgrade en une seule étape.
- La qualité des premiers résultats de LHCb assure que les objectifs fixés pour l'upgrade seront réalisés.
- Adaptation de CAT, logiciel d'acquisition et contrôle (Physicos!).



# Thank you



# Constitution d'un module Front-end



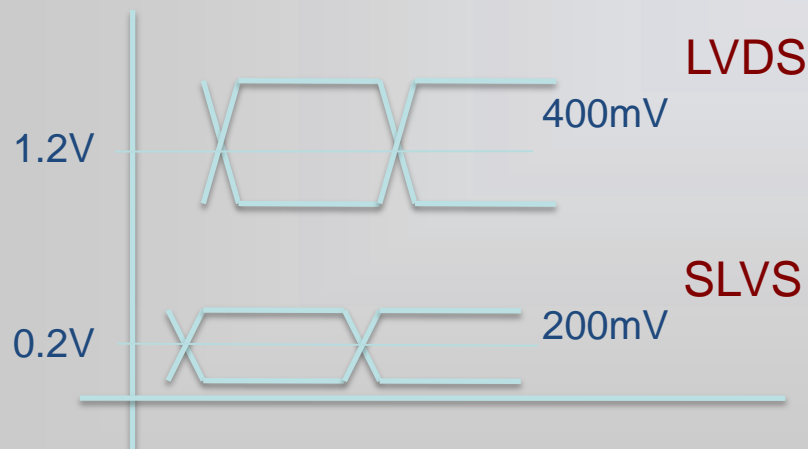


# Tests SLVS

*Kostas Kloukinas's slide*

## ➤ SLVS (Scalable Low Voltage Standard)

- JEDEC standard: JESD8-13
- Differential voltage based signaling protocol.
  - Voltage levels compatible with deep submicron processes.
  - Typical link length runs of 30cm over PCB at 1Gbps.
  - Low Power, Low EMI
- Application in data links for Flat Panel displays in mobile devices.
  - Mobile Pixel Link, MPL-2 (National semi.)



### SLVS specifications brief

2 mA Differential max

Line impedance: 100 Ohm

Signal: +- 200 mV

Common mode ref voltage: 0.2V