



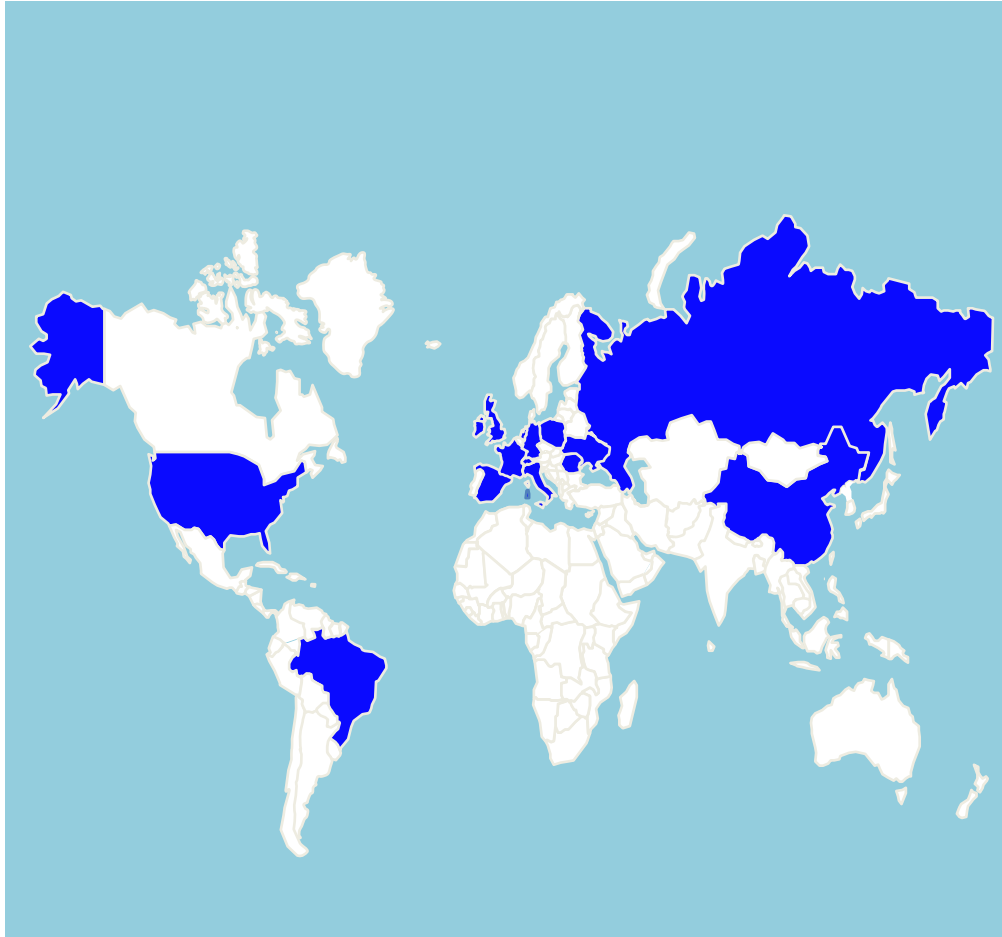
L'upgrade de LHCb

Patrick Robbe, LAL Orsay, 21 Juin 2012
Pour le groupe Upgrade LHCb France

Plan

- Présentation de l'expérience
- Quelques premiers résultats et le programme jusqu'en 2018
- L'upgrade de LHCb
- Les contributions françaises
- Conclusions

Collaboration LHCb

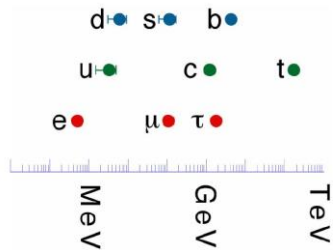


- 55 instituts dans 15 pays
- 800 membres
- 5 groupes français:
 - Annecy (LAPP)
 - Clermont Ferrand (LPC)
 - Marseille (CPPM)
 - Orsay (LAL)
 - Paris (LPNHE)
- Depuis 2010:
 - 40 articles publiés et 17 soumis
 - 400 exposés de conférence

*[NB: 2 nouveaux instituts depuis hier:
Pise et Padoue]*

Physique des saveurs à LHCb

- Physique des saveurs:
 - Etude des interactions entre quarks et leptons de différentes familles



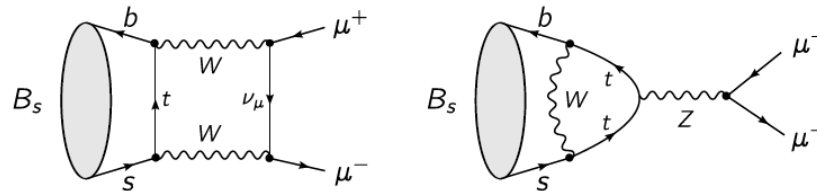
$$\mathcal{L}_{\text{eff}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{c_{ij}}{\Lambda^2} O_{ij}^{(6)}$$

$$\epsilon_K: \frac{(s\bar{d})^2}{\Lambda^2} \Rightarrow \Lambda \gtrsim 10^4 \text{ TeV}, \quad \Delta m_B: \frac{(b\bar{d})^2}{\Lambda^2} \Rightarrow \Lambda \gtrsim 10^3 \text{ TeV}, \quad \Delta m_{B_s}: \frac{(b\bar{s})^2}{\Lambda^2} \Rightarrow \Lambda \gtrsim 10^2 \text{ TeV}$$

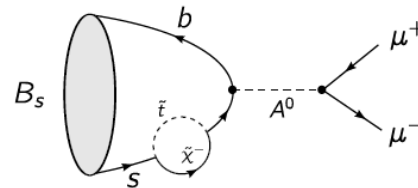
- Transitions permises dans le Modèle Standard par interactions faibles et les couplages de masse. Décrit par la matrice CKM:
 - Grande suppression de certaines désintégrations
 - Fortes contraintes sur la violation de CP
- LHCb étudie la physique des saveurs pour mettre en évidence la Nouvelle Physique par des mesures de précision des désintégrations rares et de violation de CP, dans le secteur des quarks b et c .

Désintégrations rares

- Exemple: $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- Supprimé dans le Modèle Standard:
 - Faible couplage entre t et s
 - Suppression par conservation de l'hélicité.



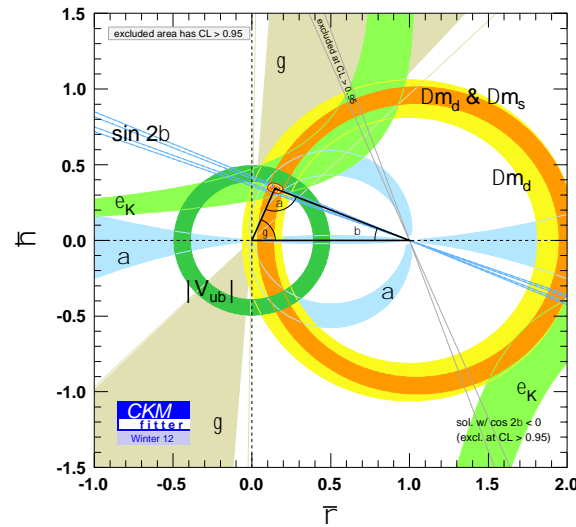
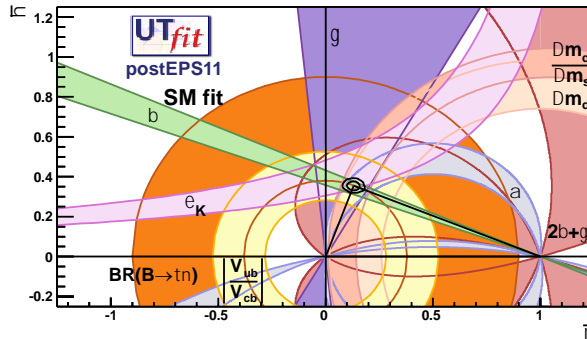
- Peut être augmenté si nouvelles particules modifiant les couplages:



- Ces particules sont les mêmes que celles recherchées directement dans ATLAS, CMS, CDF, D0.
 - Mais particules virtuelles: sonde un grand intervalle de valeurs de masse,
 - Si découvertes directement: mesures précises des désintégrations rares permettent de caractériser leurs propriétés.

Violation de CP

- CKM:
 - Décrit une très grande variété de phénomènes (oscillations des K , B , ...)
 - Avec peu de paramètres libres
- Combiner les mesures expérimentales est un test crucial du Modèle Standard:

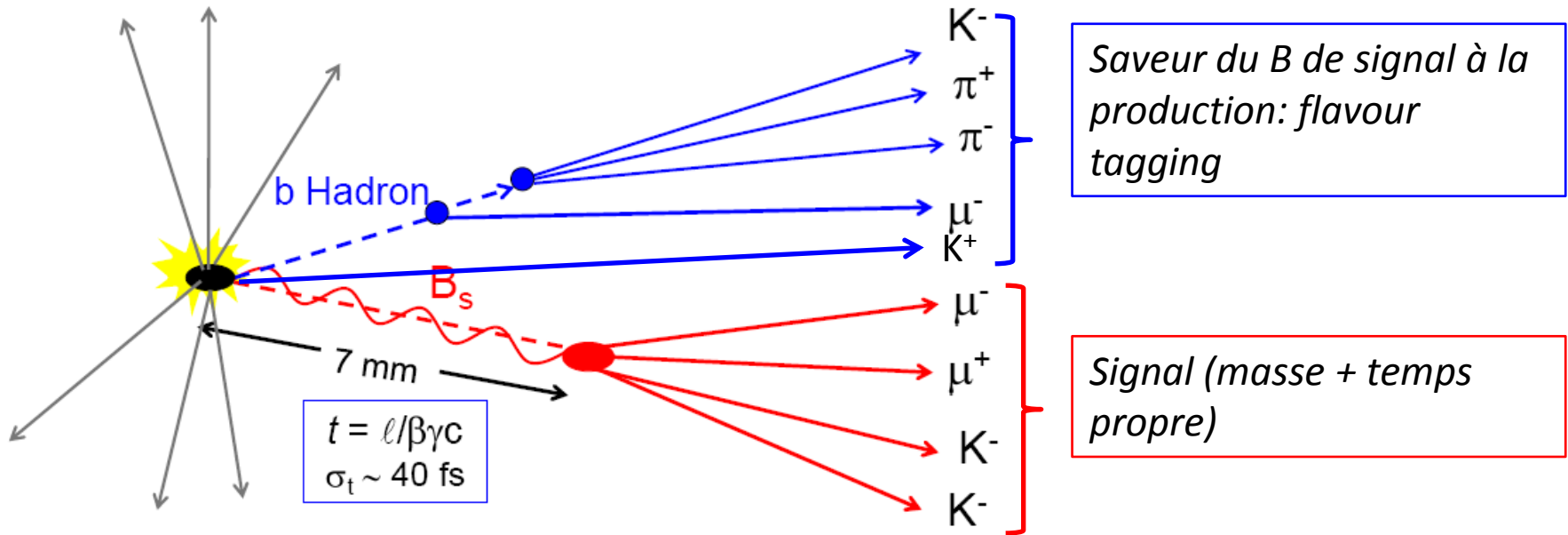


- Violation de CP: mesure des angles du triangle (phases relatives entre différents chemins quantiques interférant vers un état final unique)
- Mécanisme CKM consistant avec le Modèle Standard à $\sim 10\%$.
- Mesures de précision des angles: mettre en évidence des inconsistances \rightarrow le mécanisme CKM pas seul responsable de la violation de CP.
- Intérêt pour γ (angle le moins bien mesuré actuellement) et ϕ_s (secteur B_s^0).

Analyses principales à LHCb

- $B_{(s)}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$
- $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$
- Violation de CP dans le mixing B_s^0 : $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$
- Angle γ avec diagrammes à l'arbre: $B \rightarrow DK^{(*)}$
- Violation de CP dans le secteur des D
- *Et bien d'autres !*

Principes d'analyse



Excellente résolution de vertex: Résoudre les oscillations rapides du B_s^0

Réjection du bruit de fond: **Très bonne résolution** sur la masse/impulsion
Très bonne capacité d'identification (K, π , μ , e)

Besoin de grande statistique: Trigger efficace pour désintégrations avec leptons et hadrons

Le détecteur LHCb

Vertexing:

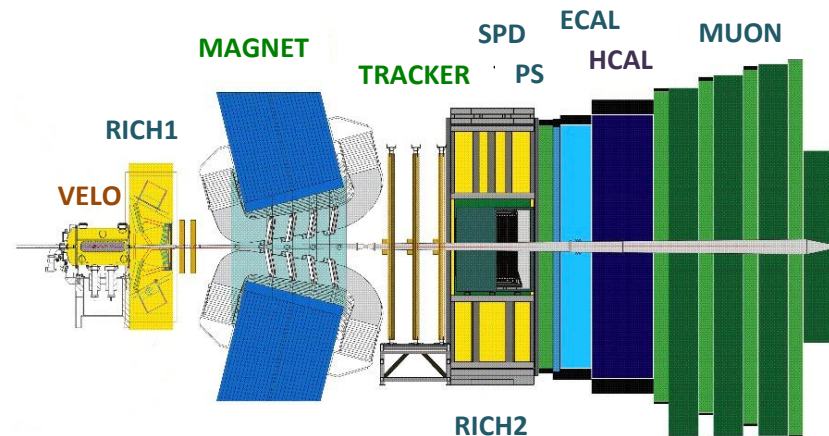
- **VELO**, 21 ($R+\phi$) stations silicium
 - Rétractable de 7mm à l'injection du LHC, résolution temps propre: 40 fs.

Reconstruction des traces chargées:

- **TRACKER** Silicium (proche du faisceau), tubes à dérives (extérieur) et champ magnétique de 4 Tm.
 - Résolution en moment: $\delta p/p$ de 0.3 à 0.6%

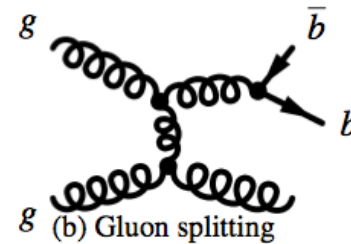
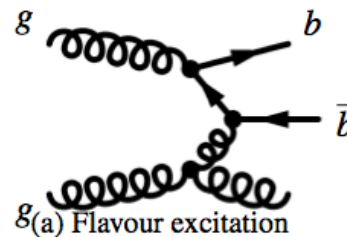
Identification de particules:

- **RICH1**: détecteur Cherenkov, C4F10 + aérogel
 - Séparation π/K entre $2 < p < 60$ GeV/c
- **RICH2**: détecteur Cherenkov, CF4
 - Séparation π/K entre $20 < p < 100$ GeV/c
 - $\varepsilon(K ID) > 95\%$, $MisId < 5\%$
- Calorimètres:
 - **SPD/PS**: plans de scintillateurs
 - **ECAL**: tuiles plomb/scintillateur (sashlik)
 - **HCAL**: tuiles fer/scintillateur
- Détecteurs **MUON**:
 - MWPC et GEM, $\varepsilon(K ID) \sim 97\%$, $MisId < 1\%$



Physique du B dans un collisionneur hadronique

- 1^{ère} phase d'exploration de CKM:
 - « usines à B », $e^+e^- \rightarrow Y(4S) \rightarrow B\bar{B}$
- 2^{ème} phase: collisions $p\bar{p}$ ou pp (CDF, D0, LHCb, ATLAS et CMS)



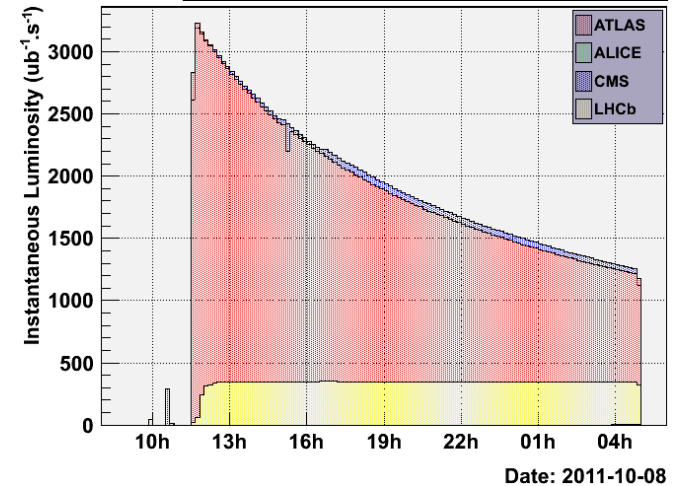
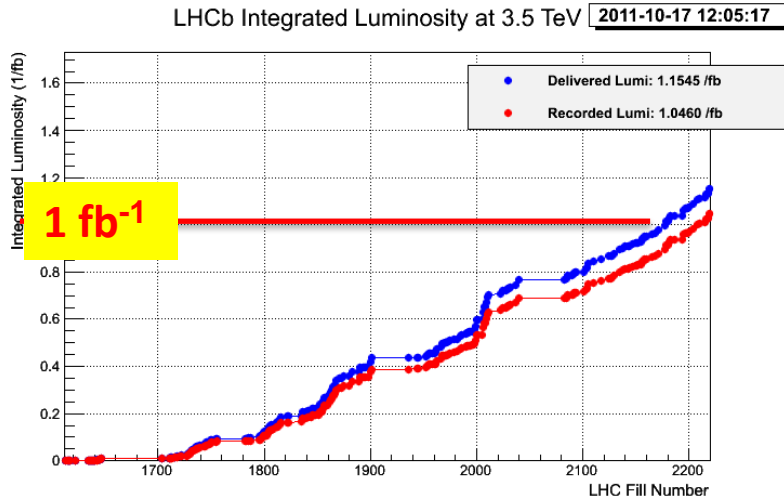
- Environnement présente à priori des désavantages:
 - Grande multiplicité de traces, hadronisation, pile-up: bruit de fond et détérioration du flavour tagging
 - Production incohérente des B : détérioration du flavour tagging
 - Faible taux (relatif) de production des canaux intéressants, besoin d'un trigger complexe: biais et systématiques délicats à traiter

Physique du B dans un collisionneur hadronique

- Les mesures obtenues par CDF et D0 et les premiers résultats de LHCb démontrent que ces effets peuvent être précisément contrôlés et sont largement compensés par:
- Avantages:
 - Grande section efficace absolue de production, $\sigma(bb)=280 \mu\text{b}$, $\sigma(cc)=6 \text{ mb}$, $\sigma(\text{inelastic})=60 \text{ mb}$: statistique énorme de B et de D .
 - Grande énergie dans le centre de masse:
 - Boost important: séparation des vertex secondaires (quelques mm)
 - Production de toutes les espèces de hadrons B , en particulier le B_s^0 .
 - Autres sujets de physique aussi possibles :
 - QCD, EW, exotiques, ...
 - Etude du B_c et des baryons b .

Prise de données en 2011

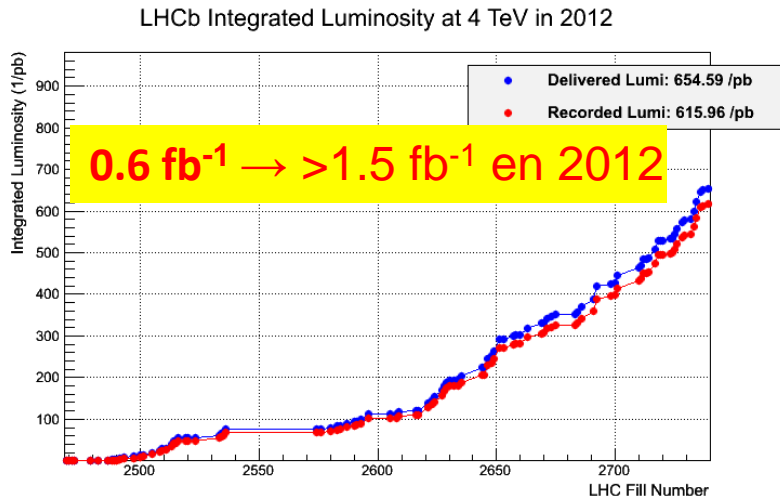
- Les premiers résultats importants ont été obtenus en analysant les données enregistrées en 2011.



- Luminosité instantanée $L \sim 3.5 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (le design était de $2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), maintenue constante pendant un fill grâce au “luminosity levelling”.
- Trigger et pile-up stables: $\mu = 1.5$ (le design était de 0.4)
- Efficacité de prise de données $\sim 90\%$
- Taux de trigger de niveau 0, L0=0.85 MHz \rightarrow 3 kHz de données de physique sur bande
- Toutes les données re-processées pour le début 2012.

Prise de données en 2012

- Energie 3.5 TeV \rightarrow 4 TeV



- Luminosité instantanée $L \sim 4 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Trigger et pile-up stables: $\mu = 1.7$
- Efficacité de prise de données $\sim 95\%$
- Taux de trigger de niveau 0, $L_0=0.95 \text{ MHz} \rightarrow 4.5 \text{ kHz}$ de données de physique sur bande

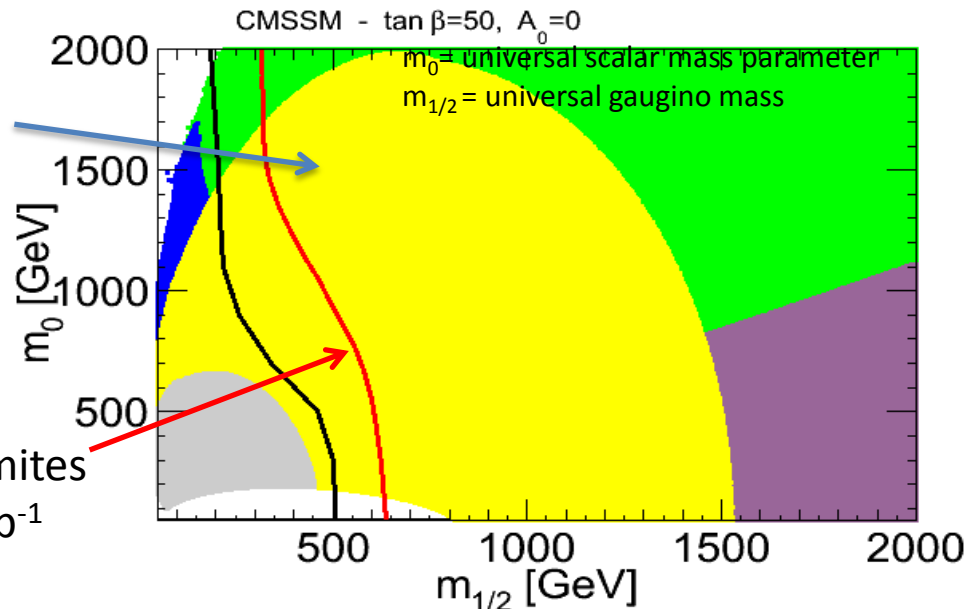
$$B_{(s)}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

| New preliminary results in 2012 | | CDF | CMS | ATLAS | LHCb | SM |
|--|---|--------------------------------------|-----|-------|---|-------------|
| | Luminosity (fb ⁻¹) | 10 | 4.9 | 2.4 | 1.0 | |
| B(B ⁰ → μ ⁺ μ ⁻) | 95% CL upper limit (10 ⁻⁹) | 4.6 | 1.8 | | 1.03 | 0.10 ± 0.01 |
| B(B _s → μ ⁺ μ ⁻) | 95% CL upper limit (10 ⁻⁹) Value (10 ⁻⁹) | 31 13 ⁺⁹ ₋₇ | 7.7 | 22 | 4.5 0.8 ^{+1.8} _{-1.3} | 3.2 ± 0.2 |

- Une des contraintes les plus fortes obtenues au LHC sur certains modèles de nouvelle physique: par exemple CMSSM:

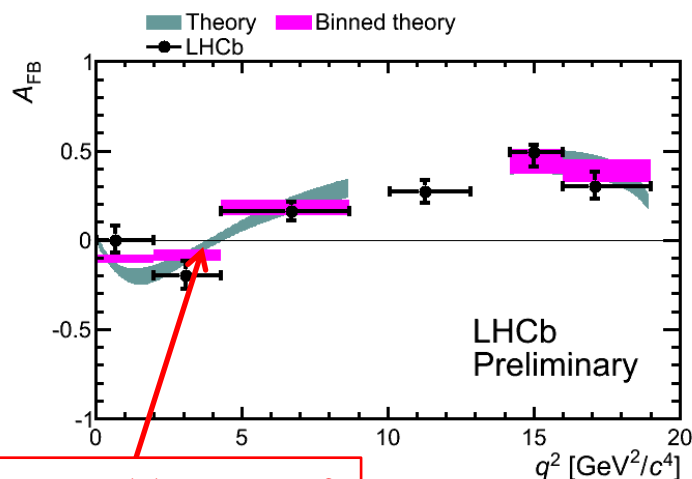
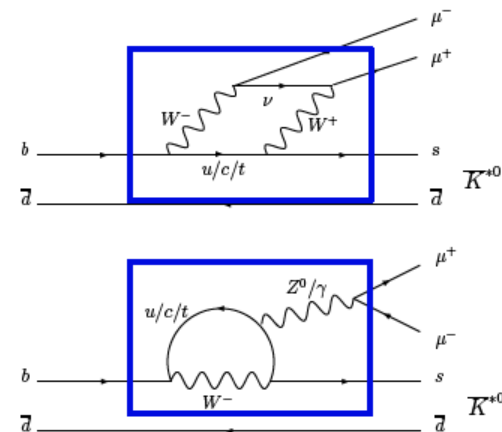
LHCb $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Ligne rouge: limites
CMS avec 4.4 fb⁻¹

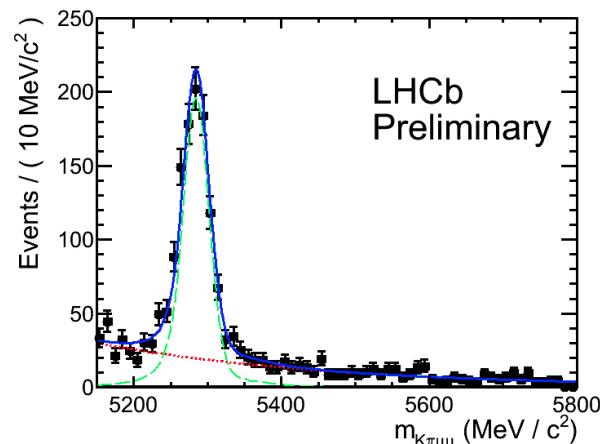


$$B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$$

- Désintégration uniquement possible par des diagrammes avec boucles dans le Modèle Standard.
- Mesure de l'asymétrie avant-arrière des muons, en fonction de $M(\mu^+\mu^-)=q^2$, très sensible à la Nouvelle Physique, modifiant structure d'hélicité.
- Autres observables accessibles.



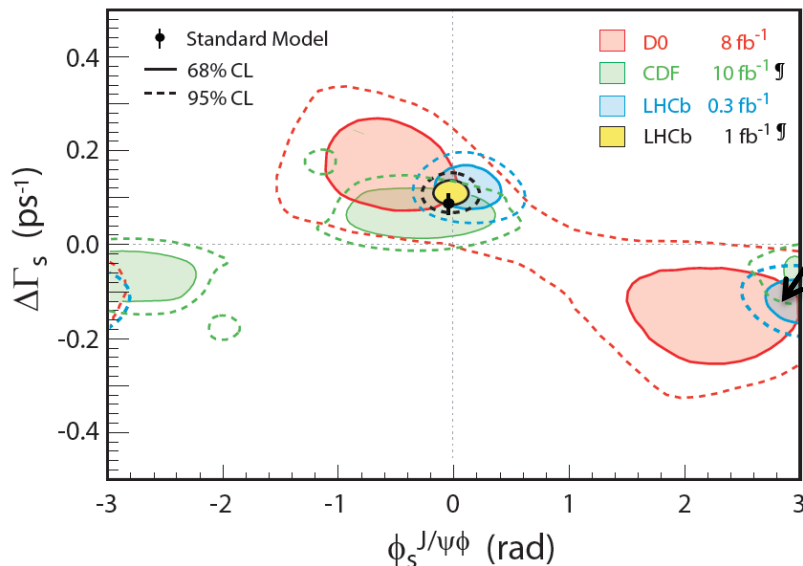
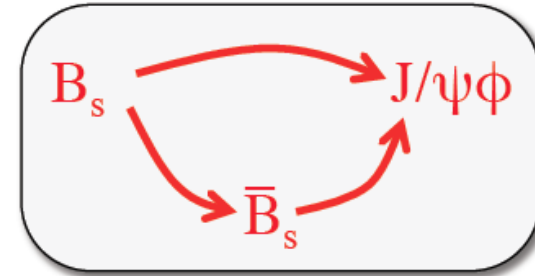
$$q_0^2 = 4.9^{+1.1}_{-1.3} \text{ GeV}^2$$



- Exclusion de particules:
 - Dans des boucles avec couplages de type Modèle Standard: $M < 400 \text{ GeV}/c^2$
 - Dans des diagrammes à l'arbre: $M < 15 \text{ TeV}/c^2$

Violation de CP: $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$

- Mesure de la phase de mélange du B_s^0 : ϕ_s
interférences entre désintégrations directes et
désintégrations après oscillation B_s/\bar{B}_s .
- Attendue petite dans le Modèle Standard:
 $\phi_s = -0.036 \pm 0.002$
- Pourrait être augmentée si nouvelle physique dans
les oscillations B_s/\bar{B}_s .



- Grande augmentation de la précision
- Seconde solution exclue pour la première fois (avec $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+K^-$)
- Compatible avec Modèle Standard, mais augmentation de la précision fait partie du programme de LHCb pour les années futures.

Autres résultats de LHCb

- Egalement de nombreux résultats améliorant les précisions actuelles:
 - Oscillation des B_s^0
 - Violation de CP dans $B \rightarrow DK^{(*)}$ (angle γ), dans les désintégrations $B \rightarrow hh$ (sans charme) dont $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$
 - Désintégrations radiatives $B^0 \rightarrow K^* \gamma$, $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$
 - Désintégrations « penguins » $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$
 - Physique du charme: D mixing, ΔA_{cp} , ...
 - Spectroscopie de hadrons beaux et charmés: B_c , Ξ_b , ...

Canaux principaux en 2018

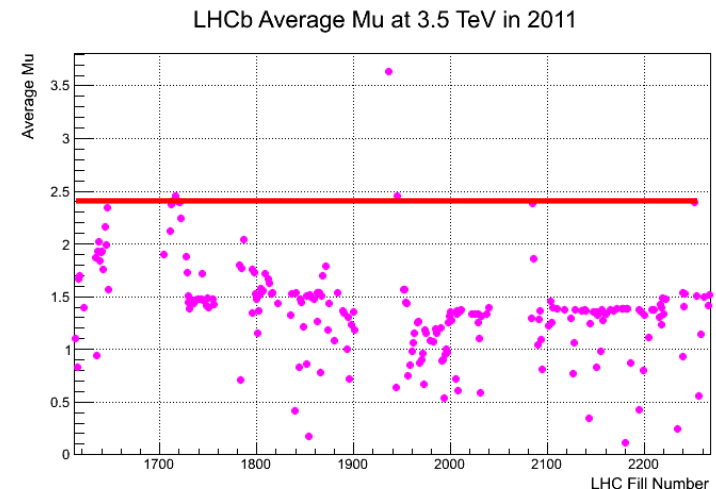
- $B_{(s)}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - Précision BR: $\sim 1.5 \times 10^{-9} \rightarrow 0.5 \times 10^{-9}$ (théorie 0.3×10^{-9})
- $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$
 - Précision q_0^2 : 25% \rightarrow 6% (théorie 7%)
- Violation de CP dans le mixing B_s^0 : $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$
 - Précision ϕ_s : $0.1 \square 0.025$ (théorie ~ 0.003)
- Angle γ avec diagrammes à l'arbre: $B \rightarrow DK^{(*)}$
 - Précision γ : $12^\circ \square 4^\circ$ (théorie $\ll 1^\circ$)
- Violation de CP dans le secteur des D
 - Précision ΔA_{CP} : $2.1 \times 10^{-3} \square 0.65 \times 10^{-3}$

Upgrade de LHCb

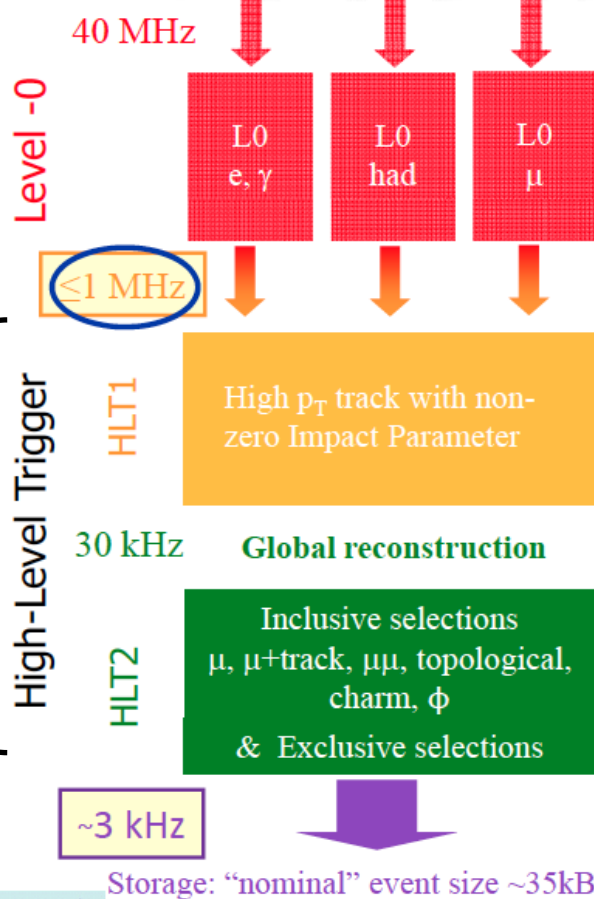
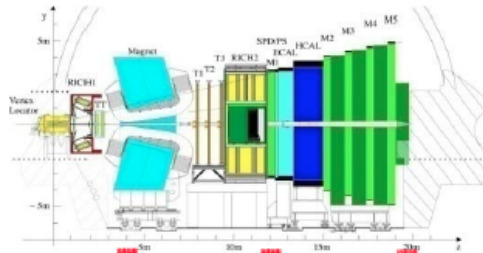
- Premiers résultats indiquent que les effets de Nouvelle Physique sont petits:
 - Si Nouvelle Physique mise en évidence d'ici 2018: mesures très précises des désintégrations rares indispensables pour comprendre sa structure dans le domaine des saveurs.
 - Sinon:
 - Mesures ultra-précises des angles CKM au niveau des erreurs théoriques ($\sim 1^\circ$)
 - Etude de nouveaux canaux encore plus rares, comme $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ (Pour Minimal Flavour Violation – MFV)
- Besoin de beaucoup plus de statistiques \rightarrow Upgrade de LHCb:
 - Augmentation de la luminosité instantanée 1 à $2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 - Augmentation de l'efficacité de trigger
 - \rightarrow augmentation facteur 10 pour canaux B avec muons
 - \rightarrow augmentation facteur 20 ou plus pour les canaux hadroniques
 - du nombre de désintégrations enregistrées par an pour $L = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, par rapport au nombre enregistré en 2011.
 - $L_{\text{intégrée}} = 50 \text{ fb}^{-1}$ sur 10 ans

Conditions de prise de données

- Luminosité = $10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- Espacement des paquets = 25ns.
 - Les nouveaux sous-détecteurs seront prévus pour tenir à $L = 2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.
- La conséquence principale est l'augmentation du pile-up: $\mu=2.5$ donc du nombre de particules par événement:
 - Impact sur le vieillissement du détecteur,
 - Impact sur le flot de données en provenance du détecteur,
 - Impact sur le temps de calcul nécessaire pour traiter un événement.
- Conditions similaires en 2011:
 - pendant peu de temps et avec peu de paquets dans le LHC
 - pas d'impact sur la qualité des données (pas d'augmentation importante du bruit de fond, de dégradation du flavour tagging, ...)

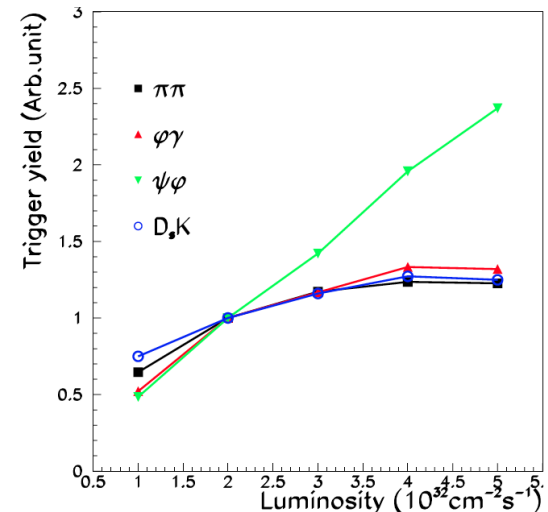


Le Trigger actuel

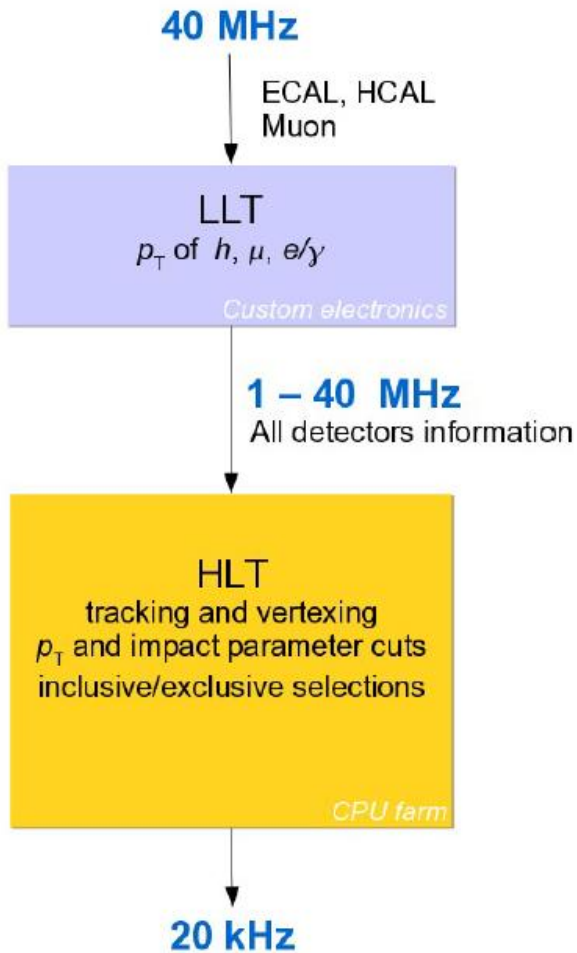


Trigger software
29000 cœurs CPU
utilisant le
logiciel de
reconstruction
offline

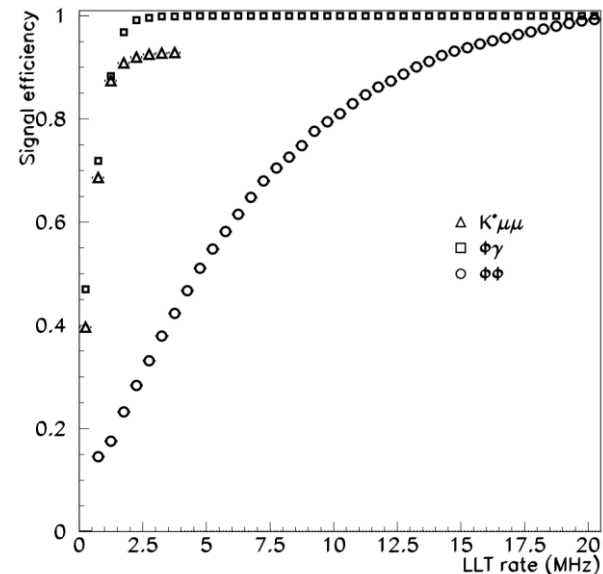
- Système d'acquisition des données limité par construction à un taux de 1 MHz.
- Réduction du taux d'interactions (11 MHz) réalisée par trigger « hardware » (LO):
 - recherche des particules de grand p_T (muons, hadrons, électrons, photons)
- La contrainte 1 MHz limite l'efficacité de trigger en particulier des modes hadroniques



Le Trigger pour l'upgrade



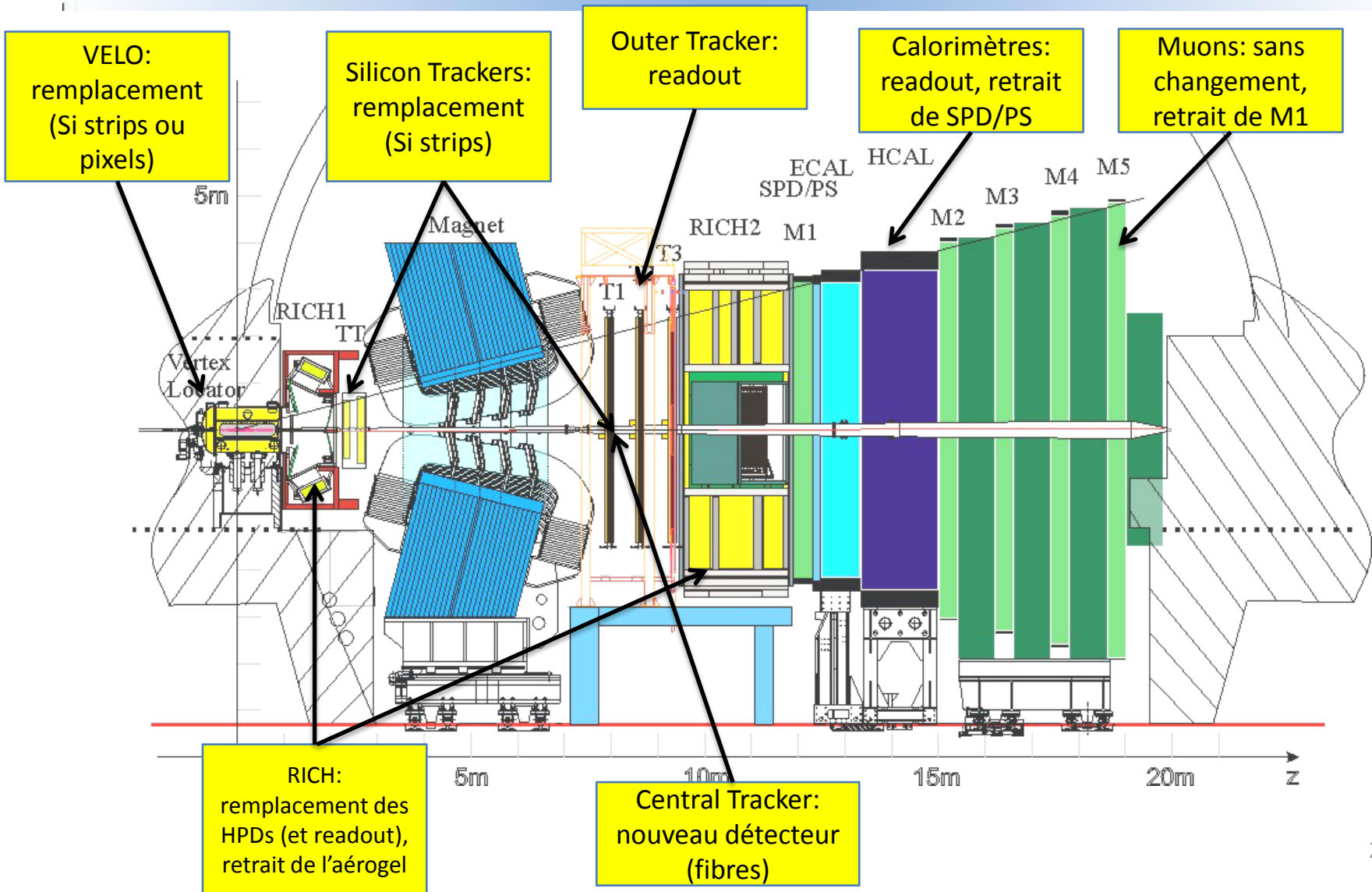
- Trigger software (HLT) uniquement !
- Trigger hardware (LLT):
 - Ajustement du taux de lecture
 - Progressivement éliminé en fonction des capacités du HLT
- Avantages: gain d'efficacité et de flexibilité.
- Impose le remplacement de l'électronique de lecture pour lire le détecteur à 40 MHz.



Modifications du détecteur

- L'électronique de lecture doit être modifiée pour être adaptée au 40 MHz.
- Pour les « trackers » (VELO, OT, TT, T), la haute luminosité impose des contraintes supplémentaires que les détecteurs actuels ne peuvent pas tous atteindre:
 - Tenue aux radiations,
 - Haute efficacité et bonne résolution en moment,
 - Faible taux de fausses traces (ghosts),
 - Electronique de lecture intégrée aux senseurs silicium,
 - Reconstruction des traces à 40 MHz ! (temps de calcul < 25ms).
- Remplacement de ces détecteurs en silicium, avec plusieurs pistes en cours d'étude:
 - VELO: pixels ou strips,
 - TT: strips silicium,
 - T, partie interne: fibres scintillantes ou grand tracker en silicium.

Modifications du détecteur



Perspectives de physique

- Accumulation de 50 fb^{-1} pendant 10 ans.

| Type | Observable | Current precision | LHCb 2018 | Upgrade (50 fb^{-1}) | Theory uncertainty |
|---------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| B_s^0 mixing | $2\beta_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi)$ | 0.10 [9] | 0.025 | 0.008 | ~ 0.003 |
| | $2\beta_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980))$ | 0.17 [10] | 0.045 | 0.014 | ~ 0.01 |
| | $A_{\text{fs}}(B_s^0)$ | 6.4×10^{-3} [18] | 0.6×10^{-3} | 0.2×10^{-3} | 0.03×10^{-3} |
| Gluonic penguin | $2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\phi)$ | – | 0.17 | 0.03 | 0.02 |
| | $2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow K^{*0}K^{*0})$ | – | 0.13 | 0.02 | < 0.02 |
| | $2\beta_s^{\text{eff}}(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$ | 0.17 [18] | 0.30 | 0.05 | 0.02 |
| Right-handed currents | $2\beta_s^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)$ | – | 0.09 | 0.02 | < 0.01 |
| | $\tau^{\text{eff}}(B_s^0 \rightarrow \phi\gamma)/\tau_{B_s^0}$ | – | 5 % | 1 % | 0.2 % |
| Electroweak penguin | $S_3(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$ | 0.08 [14] | 0.025 | 0.008 | 0.02 |
| | $s_0 A_{\text{FB}}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$ | 25 % [14] | 6 % | 2 % | 7 % |
| | $A_{\text{I}}(K\mu^+\mu^-; 1 < q^2 < 6 \text{ GeV}^2/c^4)$ | 0.25 [15] | 0.08 | 0.025 | ~ 0.02 |
| | $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \pi^+\mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+\mu^+\mu^-)$ | 25 % [16] | 8 % | 2.5 % | $\sim 10\%$ |
| Higgs penguin | $\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$ | 1.5×10^{-9} [2] | 0.5×10^{-9} | 0.15×10^{-9} | 0.3×10^{-9} |
| | $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)/\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)$ | – | $\sim 100\%$ | $\sim 35\%$ | $\sim 5\%$ |
| Unitarity triangle angles | $\gamma (B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$ | $\sim 10\text{--}12^\circ$ [19, 20] | 4° | 0.9° | negligible |
| | $\gamma (B_s^0 \rightarrow D_s K)$ | – | 11° | 2.0° | negligible |
| | $\beta (B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)$ | 0.8° [18] | 0.6° | 0.2° | negligible |
| Charm | A_{Γ} | 2.3×10^{-3} [18] | 0.40×10^{-3} | 0.07×10^{-3} | – |
| CP violation | ΔA_{CP} | 2.1×10^{-3} [5] | 0.65×10^{-3} | 0.12×10^{-3} | – |

- Un document de synthèse (Implication Document) détaillant les opportunités d'analyse avec LHCb pendant l'upgrade est en cours de revue interne et sera prochainement publié.

Calendrier

- Juin 2011: [Lettre d'intérêt](#) (LOI) soutenue par le LHCC
- Juin 2012: « [Framework TDR](#) » soumis au LHCC
- 2012: poursuite de la R&D pour affiner les choix technologiques
- 1^{ère} moitié 2013: revues techniques et choix technologiques
- 2^{ème} moitié 2013: TDR et validation des prototypes
- 2014-2016: appels d'offre et production des séries
- 2016-2017: test des productions
- 2018-2019: installation (en 18 mois)

Contributions françaises

- Les groupes français ont été fortement impliqués pendant la phase de développement de LHCb dans:
 - L'électronique Front-End, la simulation et le logiciel de reconstruction du calorimètre,
 - Le trigger hardware de niveau 0 (trigger muon, trigger calorimètre et unité de décision) pour l'électronique et le logiciel de simulation et reconstruction,
 - Le logiciel de reconstruction des traces,
 - Le traitement des données sur la grille de calcul,
 - Le contrôle online de l'expérience.
- Ils sont fortement impliqués dans les analyses de physique:
 - Mesure de CP (ϕ_s , Δm_s , γ avec $B \rightarrow DK^*$ ou désintégrations sans charme)
 - Désintégrations rares ($B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$, $B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-$, désintégrations radiatives)
 - Spectroscopie (Λ_b , B_c , h_c , ...)
 - Physique du charme (désintégrations rares)

Contributions françaises

- Dans la continuité, ils contribuent à l'upgrade de LHCb dans les projets:
 - Calorimètre
 - Tracker central
 - Traitement des données et trigger hardware (LLT – Low Level Trigger)

Upgrade du calorimètre

- Hardware (modules ECAL et HCAL, PMTs):
 - inchangés et restent en place
 - modules les plus proches du faisceau éventuellement remplacé si trop affectés par les radiations. Remplacés par des modules de rechange déjà existant.
- Utilité du SPD et du PS devient faible:
 - discrimination électron/photon par utilisation du tracking
 - Ces détecteurs seront retirés.
- Remplacement de l'électronique Front-End pour la lecture à 40 MHz.
- Gains des PMT réduits (occupation plus grande):
 - compensation dans l'électronique analogique, développement d'un système bas bruit.
- Groupes intéressés: Barcelone, Annecy (LAPP) [DAQ, Mécanique], Orsay (LAL) [Cartes Front-End], Bologne, ITEP Moscou, IHEP Protvino.

Cartes Front-End Calorimètre

- Traitement numérique des signaux ECAL et HCAL doit être modifiée par rapport aux cartes Front-End actuelles
→ développement de nouvelles cartes:
 - Traitement et mise en forme des données:
 - Implémenté dans des FPGAs (A3PE d'Actel, résistant aux radiations).
 - Firmware 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 installés dans l'expérience).
 - Encodage/décodage des données à très haut débit (5 Gb/s) basé sur l'architecture GBT, développée au CERN pour toutes les expériences LHC.
- Premiers prototypes réalisés et en test: collaboration avec Barcelone pour un test commun analogique/digital.

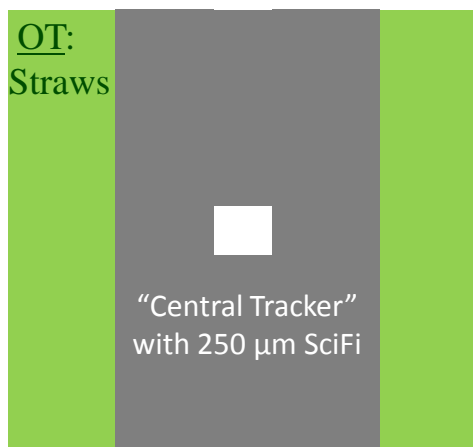


Calorimètre: contributions françaises

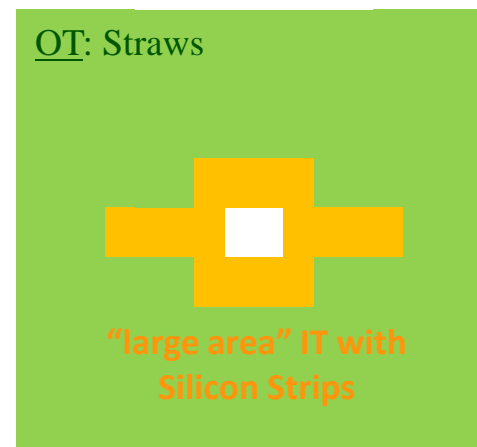
- Orsay (LAL):
 - Développement de la partie numérique de la carte Front-End: 2011-2014,
 - Responsabilité de la fabrication de la carte Front-End: 300 cartes
 - Fabrication: 2016
 - Tests (150 cartes): 2016-2017
 - Installation et commissioning: 2018
- Annecy (LAPP):
 - Participation au remplacement éventuel des modules internes: 2018
 - Participation à la migration système de contrôle.

Upgrade tracking: Tracker Central

- Deux options pour les stations de tracking après l'aimant, toutes les 2 permettant de réduire l'occupation dans le Outer Tracker.

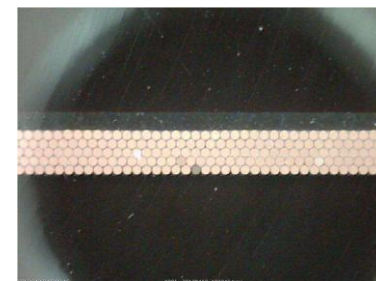


Central Tracker à fibres scintillantes



Inner Track silicium

- Le tracker à fibres lues par SiPM est une option intéressante car elle permet de réduire la quantité de matière dans l'acceptance.
- Des tests sont en cours pour évaluer la résistance aux radiations des fibres et SiPMs, paramètre crucial pour le détecteur.
- Décision finale sur le choix de la technologie: 2013.
- Groupes intéressés: Dortmund, Heidelberg, Rostock, Barcelone, Clermont-Ferrand (LPC) [Electronique Front-End et Simulation], Londres, Moscou, Protvino, CERN, Lausanne, Zurich.

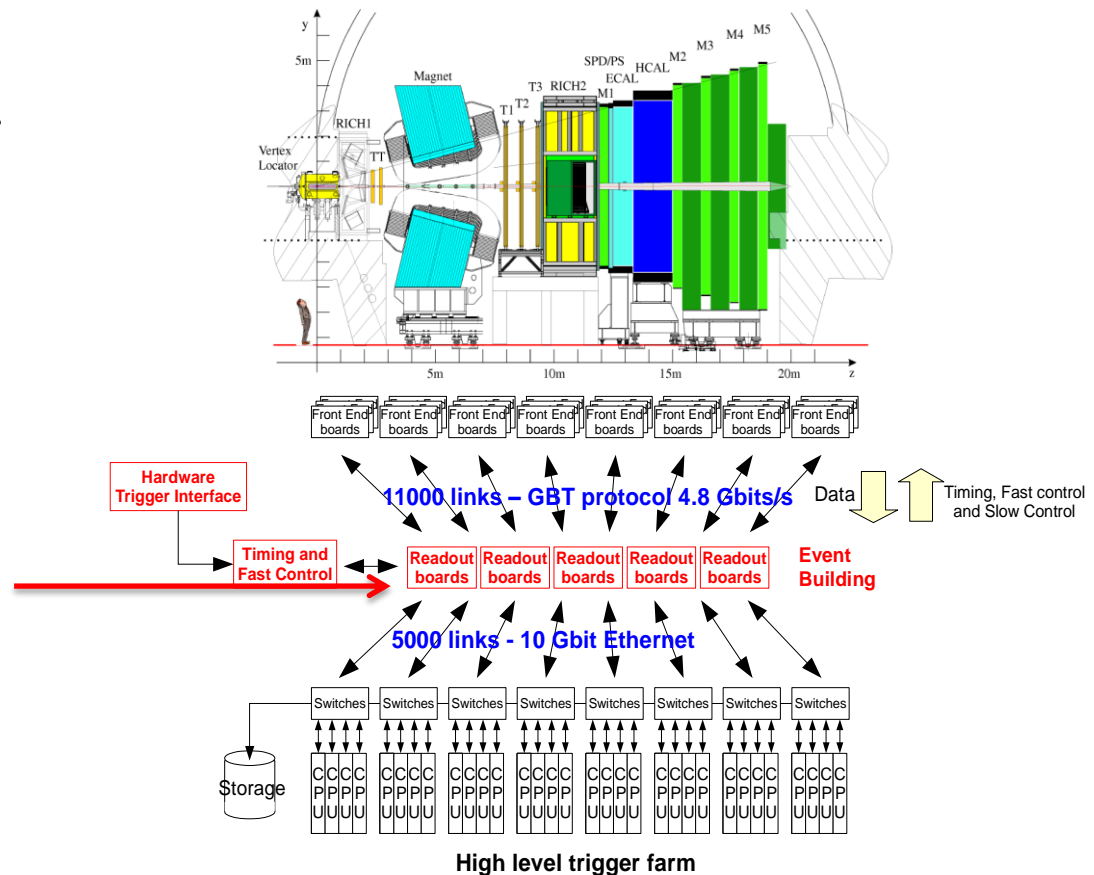


Tracker Central: contributions françaises

- Clermont-Ferrand (LPC):
 - Electronique Front-End:
 - Conception d'un ASIC 64 ou 128 voies (IBM 130nm) pour lire, numériser et traiter les signaux des SiPMs reliés aux fibres:
 - en collaboration avec Barcelone et Krakow.
 - Prototypes (2012-2016), tests fonctionnels et en radiation (2016), fabrication en série des ASIC (2300 chips si 128 voies, en 2016)
 - Réalisation d'une carte Front-End (2012-2016) qui recevra l'ASIC et enverra les données à 40 MHz (via GBT) en collaboration avec Lausanne et Zurich
 - Fabrication, tests et installation de la carte Front-End (2016-2018)
 - Responsabilité électronique Central Tracker
 - Simulations: 2012-2013
 - Développement d'un modèle réaliste du détecteur pour son intégration dans le logiciel de reconstruction de LHCb:
 - en collaboration avec Orsay.
 - Estimation des flots de données pour calibrer la taille des cartes Front-End.
 - Etudes indispensables pour participer au choix technologique pour les stations de tracking après l'aimant.

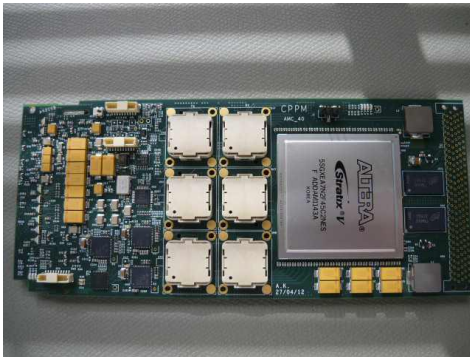
Upgrade du traitement des données

- Lecture du détecteur à 40 MHz → 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.
- **Système crucial dans la réalisation de l'upgrade.**

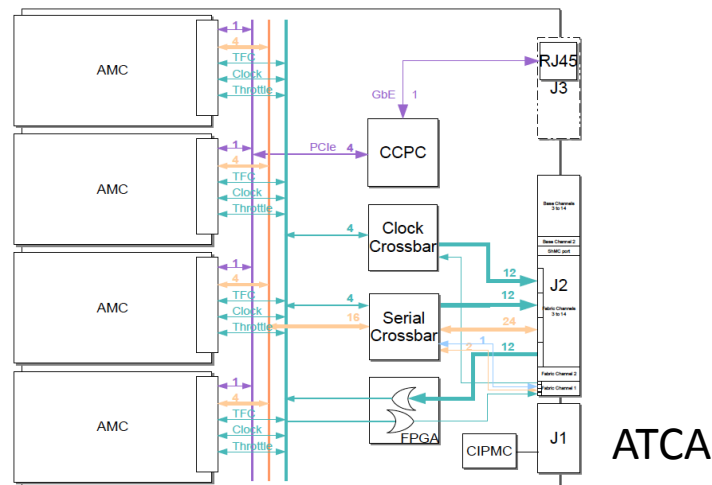


Cartes de lecture 40 MHz

- Carte générique qui assemble les fragments d'événements reçus des détecteurs et les envoie vers les CPU du trigger software.
- Algorithmes de formatage des données reçues spécifiques à chaque système et programmés avec des firmwares spécifiques dans les FPGAs installés sur la carte.
- Solution proposée par le CPPM et acceptée:
 - Carte hôte au format standard **ATCA** (« Advanced Telecommunications Computing Architecture », standard dans le domaine des communications à haut débit)
 - Cartes mezzanines au standard **AMC** (« Advanced Mezzanine Card ») pour les échanges de données à haut débit (jusqu'à 1.4 Tb/s en émission/réception pour 4 AMC), et le traitement rapide des données (FPGA de grande capacité)



AMC



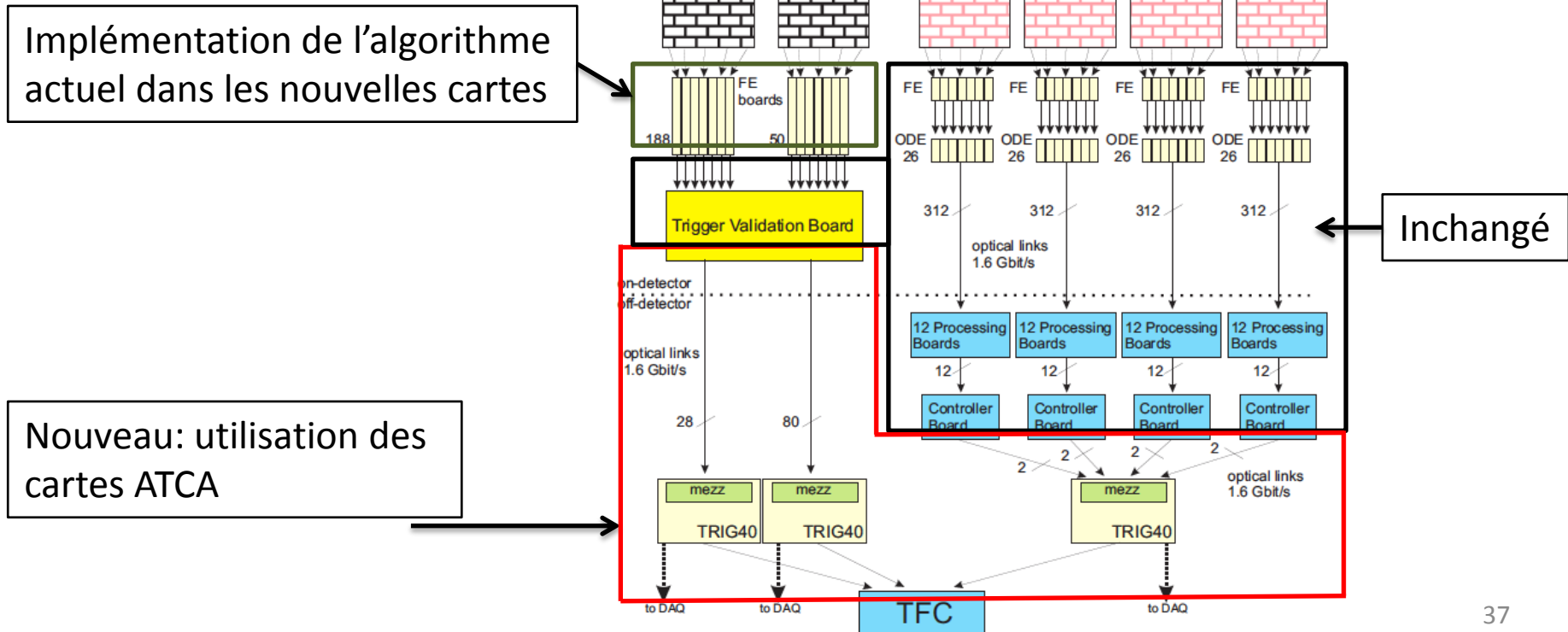
ATCA

Traitement des données: contributions françaises

- Marseille (CPPM):
 - Coordination générale du projet
 - Conception et production des cartes de lecture: 170 cartes
 - Prototype: 2009-2013
 - Présérie: 2014
 - Production: 2015
 - Développement d'outils logiciels pour le calcul distribué (simulation et analyse de données)
- Annecy (LAPP):
 - Responsabilité des outils de programmation génériques des FPGA.
 - Adaptation des algorithmes des FPGA de la carte de lecture du calorimètre: 2013.

Low Level Trigger

- Le trigger hardware actuel (L0) fonctionne déjà à 40 MHz et a été développé par les groupes français → il pourra être adapté à la nouvelle architecture sans changement majeur.
- Le principe reste le même: recherche de muons (L0 Muon), électrons et hadrons (L0 Calo) de grand p_T et comparaison à un seuil (L0 DU – Unité de Décision).



Low Level Trigger: contributions françaises

- Annecy (LAPP):
 - Adaptation des (28) cartes TVB
 - Firmware pour les (2) cartes ATCA LLT Calo: 2015
- Clermont Ferrand (LPC):
 - Responsabilité unité de décision
 - Migration du firmware de l'unité de décision: 2016
- Orsay (LAL):
 - Responsabilité LLT Calo
 - Firmware LLT dans les cartes Front-End: 2012-2014
- Marseille (CPPM):
 - Responsabilité LLT Muon
 - Migration firmwares pour LLT Muon: 2016-2017

Couts et expression d'intérêts - LHCb

- Couts:
 - Cout total: 57 MCH dont 30% de financement de projets communs.
- Participation:
 - Tous les instituts de LHCb ont signé le Framework TDR
 - Expression d'intérêt par pays:

| detector | sub-system | countries involved |
|----------|----------------------------|--|
| VELO | modules & infrastructure | BR, CERN, ES, IE, NL, RU, UK, US |
| | electronics & readout | BR, ES, CERN, CN, NL, PL, UK, US |
| Tracker | modules & infrastructure | CERN, CH, DE, NL, RU, UK, US |
| | electronics & readout | BR, CERN, CH, CN, DE, ES, FR, NL, PL, US |
| RICH | mechanics & infrastructure | CERN, IT, UK |
| | electronics & readout | CERN, IT, RO, UK |
| Calo | electronics & readout | ES, FR, RU, IT |
| Muon | chambers | IT, RU |
| | electronics & readout | IT |
| Trigger | electronics & readout | BR, CN, FR, IT |

- Le computing et le trigger software font partie du projet commun.

Coûts et ressources – LHCb France

| Projet | Coût (kCHF) | Responsables scientifiques | Ingénieurs |
|---------------------------|-------------|----------------------------|------------|
| Central Tracker | 1550 | 2 | 3 |
| Calorimètre | 1135 | 1 | 2 |
| Système de lecture 40 MHz | 1495 | 2 | 6 |
| LLT | 345 | 2 | 3 |
| Computing LHCb | | | 2 |
| Projets communs | 1900 | | |
| Total | 6425 | 7 | 16 |

Conclusions

- Upgrade LHCb devra être opérationnel en 2018: temps court, premières études et prototypes déjà commencés.
- Upgrade en une seule étape.
- Intérêt des groupes français pour contribuer sur des points critiques (et *challenging* et très intéressants !)
- La qualité des premiers résultats de LHCb assure que les objectifs fixés pour l'upgrade seront réalisés.

Back-up

Contributions françaises à l'analyse

- Violation de CP:
 - Mesure de ϕ_s (et Δm_s) $B_s \rightarrow J/\psi \phi$
 - Mesure de γ aux arbres: $B \rightarrow D K^*$, $B_s \rightarrow D \phi$
 - Mesure de γ aux boucles: $B \rightarrow h h' h''$
 - Mesure de α : $B \rightarrow \pi \pi \pi^0$
 - Renversement de T: $\Lambda_b \rightarrow J/\psi \Lambda$
- Désintégrations rares:
 - $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 - $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$, $B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-$
 - Charme: $D^0 \rightarrow KK\mu\mu$
 - Radiative decays: $B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma$, $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$
- Physique du B_c , baryons b :
 - Masse, temps de vie, ...

Nouvelle Physique et Saveurs

Which are the sources of flavour symmetry breaking accessible at low energies?

$$\mathcal{L}_{\text{eff}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{c_{ij}}{\Lambda^2} \mathcal{O}_{ij}^{(6)}$$

G.I, Nir, Perez '10

| Operator | Bounds on Λ (TeV) | | Bounds on c_{ij} ($\Lambda = 1$ TeV) | | Observables |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------|---|-----------------------|--|
| | Re | Im | Re | Im | |
| $(\bar{s}_L \gamma^\mu d_L)^2$ | 9.8×10^2 | 1.6×10^4 | 9.0×10^{-7} | 3.4×10^{-9} | $\Delta m_K; \varepsilon_K$ |
| $(\bar{s}_R d_L)(\bar{s}_L d_R)$ | 1.8×10^4 | 3.2×10^5 | 6.9×10^{-9} | 2.6×10^{-11} | $\Delta m_K; \varepsilon_K$ |
| $(\bar{c}_L \gamma^\mu u_L)^2$ | 1.2×10^3 | 2.9×10^3 | 5.6×10^{-7} | 1.0×10^{-7} | $\Delta m_D; q/p , \phi_D$ |
| $(\bar{c}_R u_L)(\bar{c}_L u_R)$ | 6.2×10^3 | 1.5×10^4 | 5.7×10^{-8} | 1.1×10^{-8} | $\Delta m_D; q/p , \phi_D$ |
| $(\bar{b}_L \gamma^\mu d_L)^2$ | 5.1×10^2 | 9.3×10^2 | 3.3×10^{-6} | 1.0×10^{-6} | $\Delta m_{B_d}; S_{B_d \rightarrow \psi K}$ |
| $(\bar{b}_R d_L)(\bar{b}_L d_R)$ | 1.9×10^3 | 3.6×10^3 | 5.6×10^{-7} | 1.7×10^{-7} | $\Delta m_{B_d}; S_{B_d \rightarrow \psi K}$ |
| $(\bar{b}_L \gamma^\mu s_L)^2$ | 1.1×10^2 | 1.1×10^2 | 7.6×10^{-5} | 7.6×10^{-5} | Δm_{B_s} |
| $(\bar{b}_R s_L)(\bar{b}_L s_R)$ | 3.7×10^2 | 3.7×10^2 | 1.3×10^{-5} | 1.3×10^{-5} | Δm_{B_s} |



New flavor-breaking sources at the TeV scale (if any) are highly tuned

Observables

► Minimal list of key (or better classes of) observables

- γ from tree ($B \rightarrow DK, \dots$)
 - $|V_{ub}|$ from semi-leptonic B decays
- Tree-level CKM $\rightarrow \sin(2\beta)^{\text{SM}}$ & ϵ^{SM}
(clarification of the CKM-fit anomaly)
 $B \rightarrow \pi$ likely to be the best channel for $|V_{ub}|$, but maybe not the only one (?)
- $B_{s,d} \rightarrow l^+ l^-$ Scalar FCNCs, MFV + nMFV [$\sigma(f_B) < 5\%$ (lattice)]
 - CPV in B_s mixing New CPV (natural SUSY, ...), MFV + nMFV [$\sigma(S_{\psi\phi}) \sim 0.01$ + control chan.]
 - $B \rightarrow K^{(*)} l^+ l^-, \nu\nu$ Non-standard FCNCs, MFV + nMFV [$\sigma(A_{\text{FB},T}) \sim 5\%$]
 - $B \rightarrow \tau\nu, \mu\nu$ Scalar charged curr. (H^+), MFV + LFV [$\sigma(f_B) < 5\%$ (lattice)]
 - $K \rightarrow \pi\nu\nu$ Very sensitive probe of nMFV [$\sigma(\text{BR}) < 5\%$]
 - CPV in charm Flavor-violation in the up sector, nMFV [$\sigma_{\text{th.}}$ to be discussed]
 - LFV in charged leptons \longrightarrow Shall we discuss it? ... probably Yes

Observables per facility

► Minimal list of key (or better classes of) observables

- γ from tree ($B \rightarrow DK, \dots$) (S)LHCb
- $|V_{ub}|$ from semi-leptonic B decays SuperB's
- $B_{s,d} \rightarrow l^+l^-$ (S)LHCb
- CPV in B_s mixing (S)LHCb
- $B \rightarrow K^{(*)} l^+l^-, \nu\nu$ (S)LHCb , SuperB's
- $B \rightarrow \tau\nu, \mu\nu$ SuperB's
- $K \rightarrow \pi\nu\nu$ Kaon beams (NA62,...)
- CPV in charm (S)LHCb , SuperB's
- LFV in charged leptons Muon beams, (S)LHCb, SuperB's

An LHCb best buy list

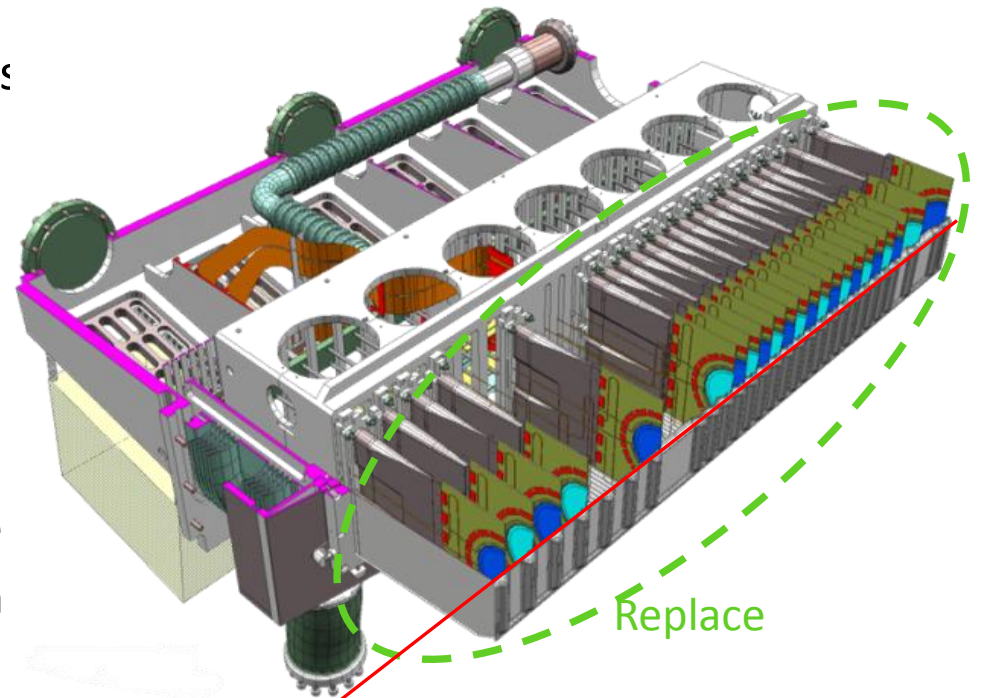
- LHCb will probe B_s sector at a level comparable to B_d
 - The CP asymmetry, $S_{B_s \rightarrow \psi\phi}$
 - Difference of CP asymmetries, $S_{B_s \rightarrow \psi\phi} - S_{B_s \rightarrow \phi\phi}$
 - $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$ ($\propto \tan^6 \beta$), search for $B_d \rightarrow \mu^+\mu^-$, other rare / forbidden decays
 - 10^{4-5} events in $B \rightarrow K^{(*)}\ell^+\ell^-$, $B_s \rightarrow \phi\gamma$, ... — test Dirac structure, BSM op's
 - γ from $B \rightarrow DK$ and $B_s \rightarrow D_s K$ (for α probably super- B wins)
 - Search for charged lepton flavor violation, $\tau \rightarrow 3\mu$ and similar modes
 - Search for CP violation in $D^0 - \bar{D}^0$ mixing
 - [Precisely measure τ_{Λ_b} — affects how much we trust $\Delta\Gamma_{B_s}$ calculation, etc.]
- Very broad physics program, with large discovery potential

A super-(KEK-)B best buy list

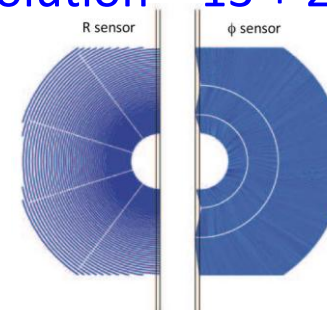
- Include observables: (i) sensitive to different NP, (ii) measurements can improve order of magnitude, (iii) not limited by hadronic uncertainties
 - Difference of CP asymmetries, $S_{\psi K_S} - S_{\phi K_S}$
 - γ from CP asymmetries in tree-level decays vs. γ from $S_{\psi K_S}$ and $\Delta m_d/\Delta m_s$
 - Search for charged lepton flavor violation, $\tau \rightarrow \mu\gamma$, $\tau \rightarrow 3\mu$, and similar modes
 - Search for CP violation in $D^0 - \bar{D}^0$ mixing
 - CP asymmetry in semileptonic decay (dilepton asymmetry), A_{SL}
 - CP asymmetry in the radiative decay, $S_{K^*\gamma}$
 - Rare decay searches and refinements: $b \rightarrow s\nu\bar{\nu}$, $B \rightarrow \tau\bar{\nu}$, etc.
- Complementary to LHCb
- Any one of these measurements has the potential to establish new physics

VELO Upgrade

- Different systems of the current VELO will be retained:
 - CO₂ cooling plant
 - LV and HV power supply systems
 - Vacuum vessel and equipment
 - Motion system.
- Major new components:
 - Detector modules
 - New readout ASIC
 - Enhanced module cooling interface
 - Low material RF foil between beam detector vacuum.
 - Multi Gb/s readout system
- Main design concerns:
 - Efficient cooling to avoid thermal runaway
 - Handle the huge data rate
 - Reduce material budget



Proper time resolution ~ 50 fs
IP resolution $\sim 13 + 25/p_T \mu\text{m}$



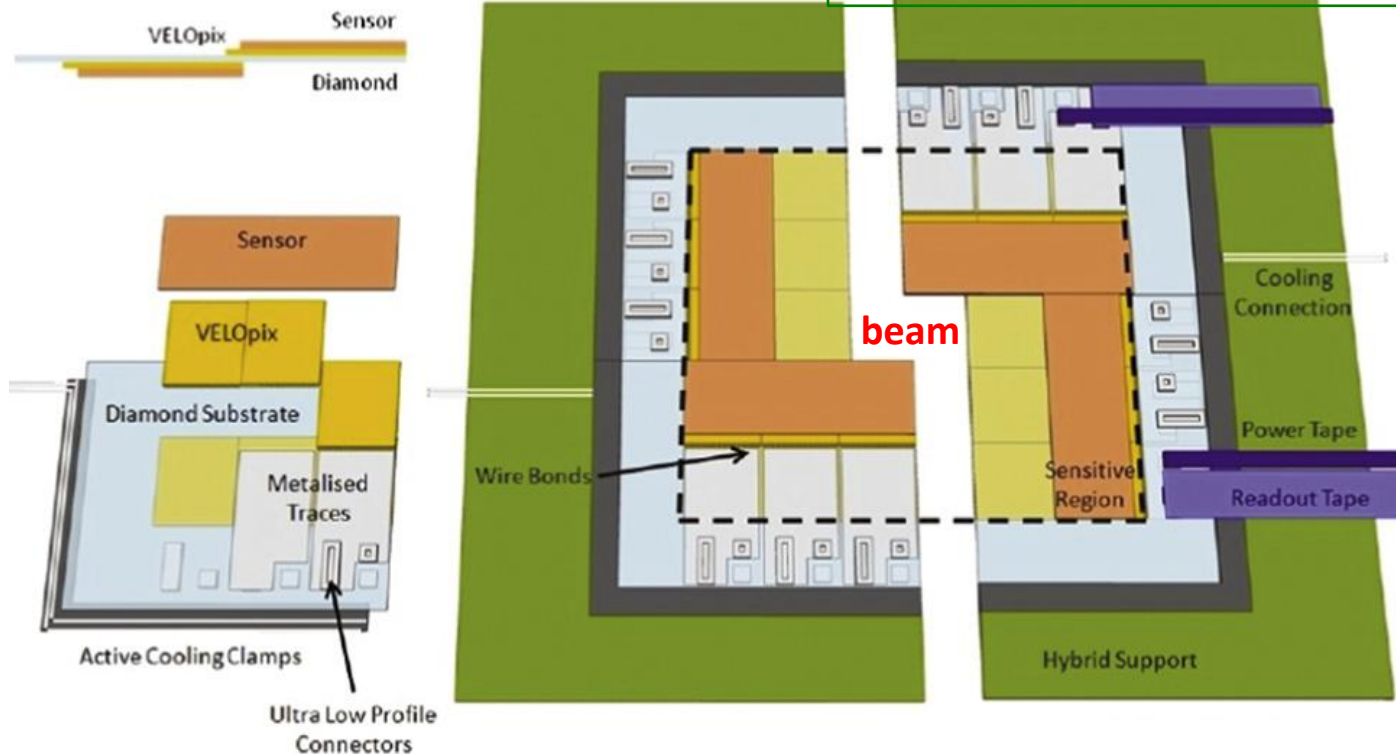
VELO Upgrade

Pixels : A pixel upgrade based on a future version Velopix of the TimePix chip has been proposed.

- The square pixel (55um x 55um, 256x256 pixels) results in equal spatial precision in both directions.
- This removes the need for double sided modules. A pixel design results in much lower occupancies than a strip based solution.
- Good HLT performance: VELO reconstruction 1.5 ms

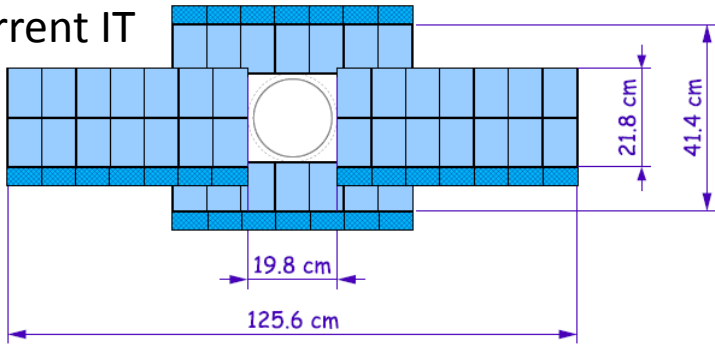
Strips : The current r-phi strip layout is a viable solution for the LHCb upgrade. This technology is well understood in the current detector.

- Maintain low occupancies by reducing strip size.
- Need to be able to common mode suppress, cluster and zero suppress on chip at 40 MHz A strip design results in a lower material budget than a pixel based solution.
- HLT performance: VELO reconstruction 2.5 ms

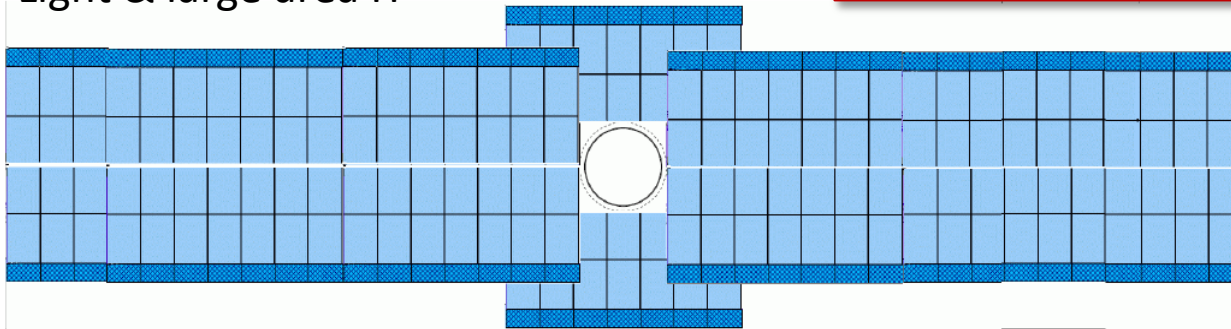


Large Area IT with Si strips

Current IT



Light & large area IT



- light: reduce $X/X_0 \sim 2$
- large: increase area by $\sim 3-4$: from 126x22(42)cm to 255x42(63)cm
- Optimise station layout: now $3x(xuvx)=12$ layers in-front of T3 to $2x(xuxvx)=10$ layers behind T1 & T3

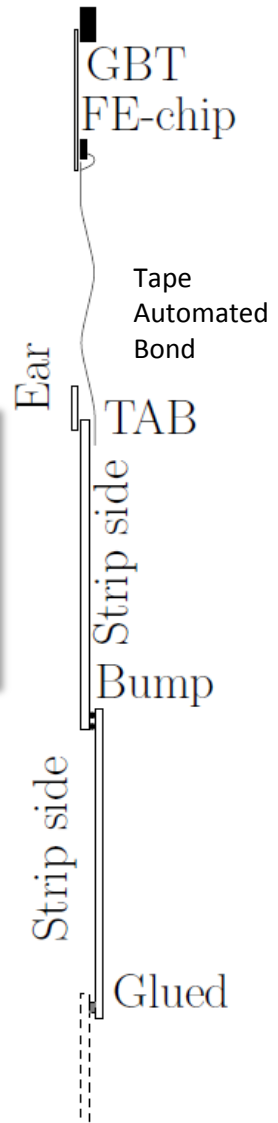
OT: Straws



light IT:
Silicon Strips

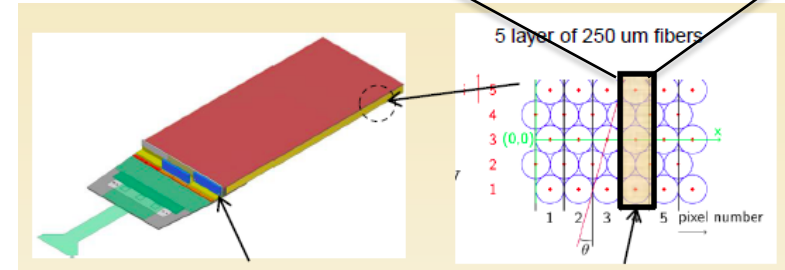
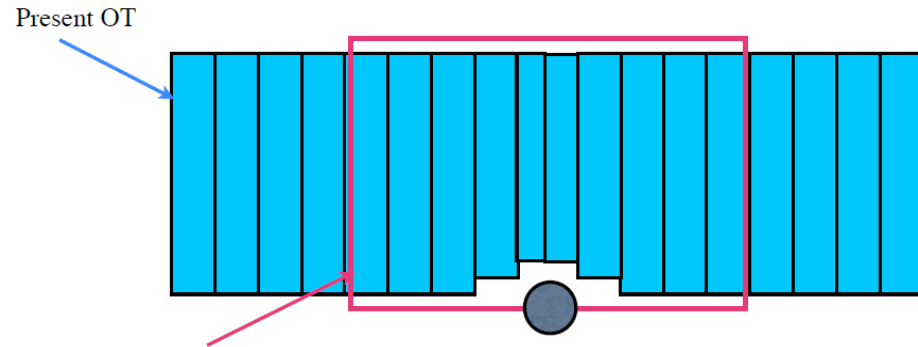
Effort started

- strip chip design
- cooling proof of concept (air flow)
- received 10 sensors for testing TAB, module assembly, HV, etc.



Fiber Tracker

32 channels Si PM: $0.25 \times 1 \text{ mm}^2$
128 channels SiPM available

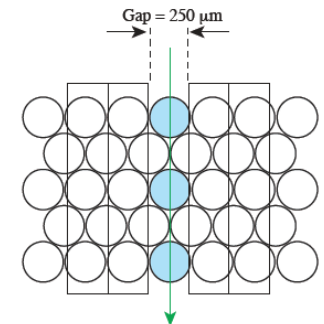
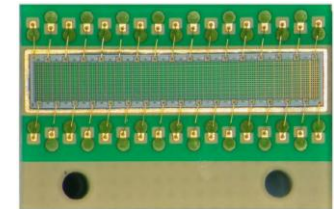


Replace the central part with a fiber detector, with 250 μm fibers. Assume a coverage $3 \times 2.5 \text{ m}^2$

- 5 layers of densely packed 250 μm diameter, 2 \times 2.5m long fibres .
- Readout with 128-channel Silicon Photomultipliers (SiPM)
- located on top and at bottom of stations.

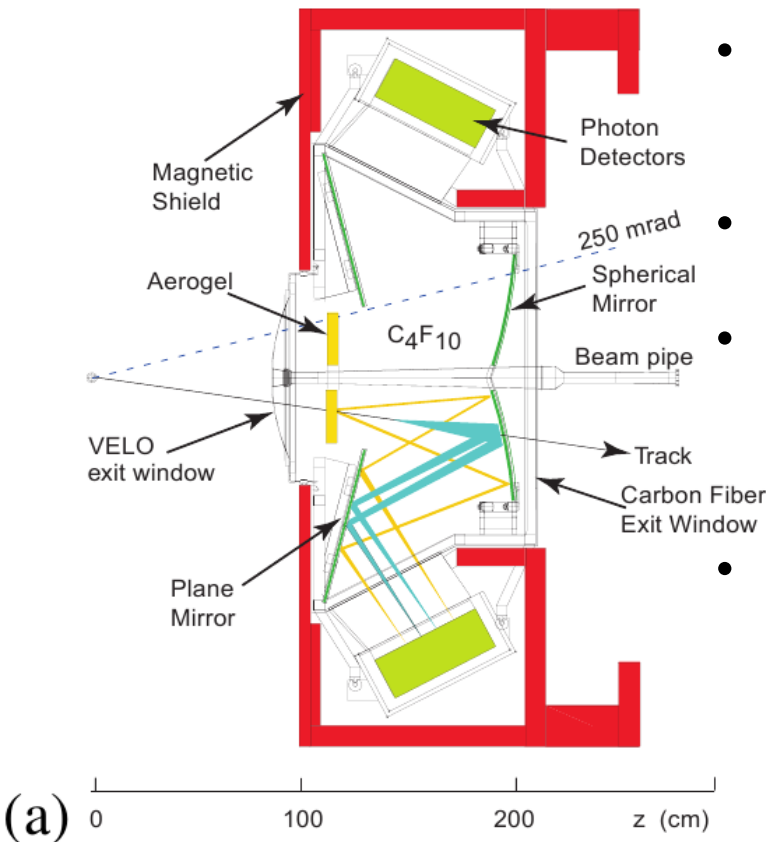
Advantages:

- Only sensitive material in the acceptance: no cables, no cooling, ...
- Uniformity in material distribution.
- Hit resolution expected: 50-60 μm

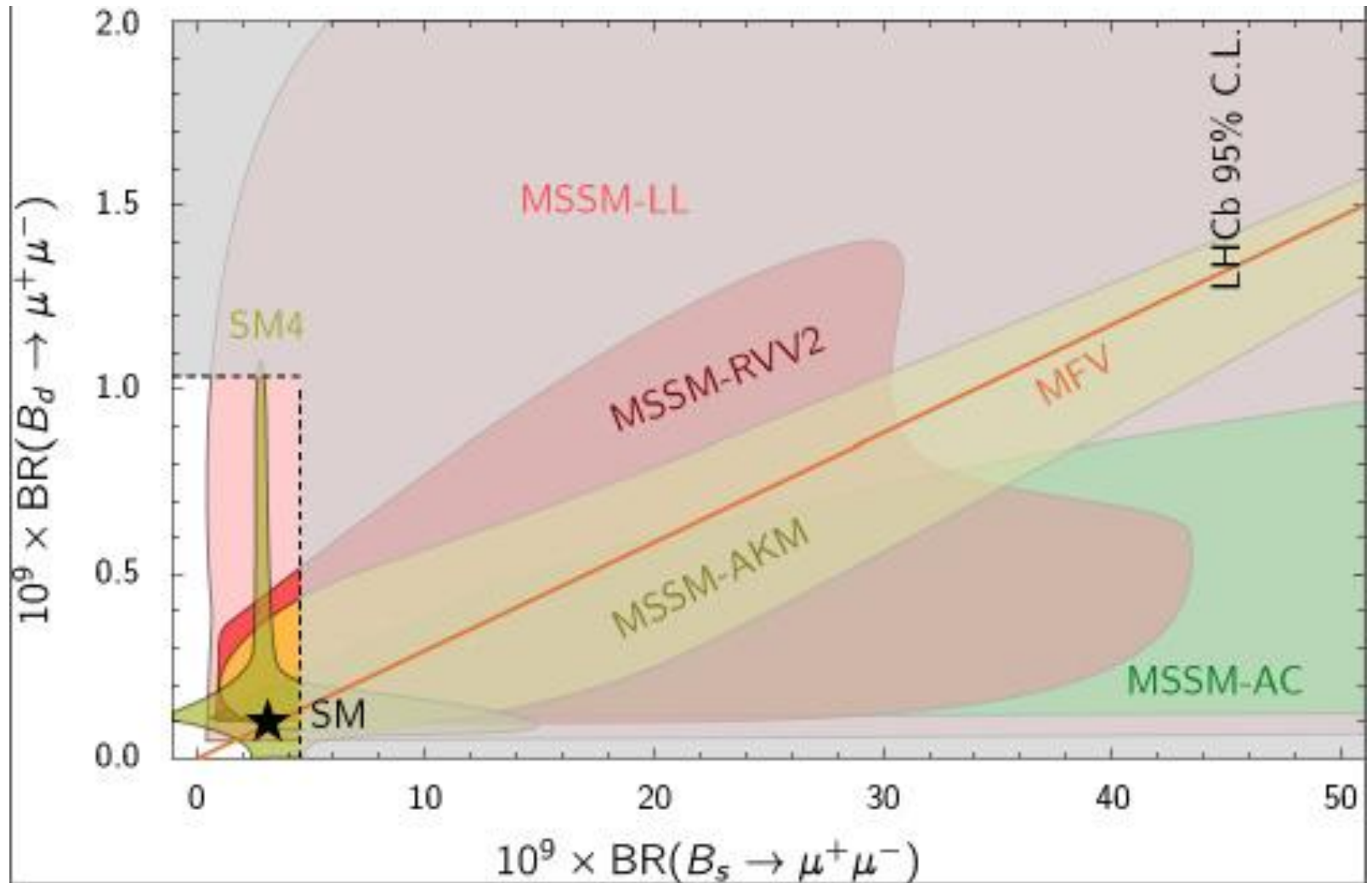


RICH Upgrade

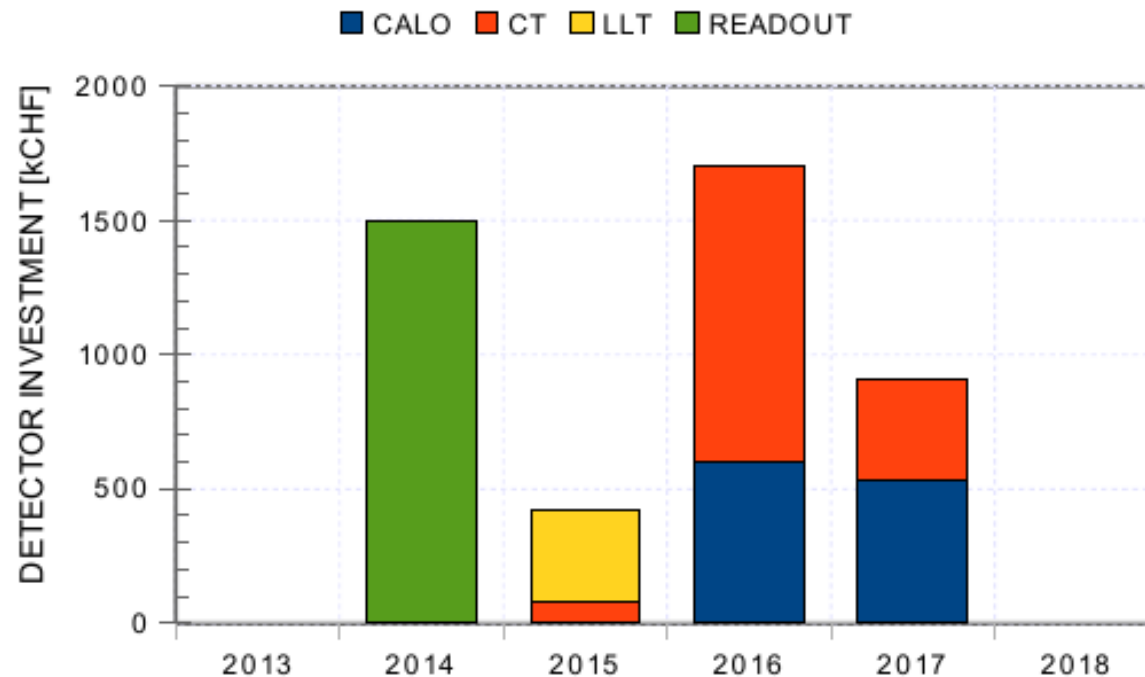
- RICH-1 and RICH-2 detectors are retained.
- Replace pixel HPDs photon detector due to the 1 MHz integrated the readout chip.
- MaPMTs with new external 40 MHz readout electronics is the baseline readout: CLARO-CMOS vs ATLAS 40 MHz Maroc-3.
- Remove the aerogel radiator: due to low photon yield and the expected increase of the background.
- The area of RICH-1 to be covered with the upgraded photo-detectors can be significantly reduced: about half of the photo detector area of RICH-1 is currently devoted to the aerogel radiated photons.
- Without aerogel LHCb can still distinguish between light and heavy particles within $1 < p < 10$ GeV/c using RICH-1 in veto mode: the Cherenkov threshold in C_4F_{10} is 2.6 GeV/c for π and 9.3 GeV/c for K.



$$B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$$



Profile de dépenses estimé



- Budget de R&D de 2013 à 2015 : 500 k€
- Common Project: 600 [2013 – 15] + 1300 [2016 – 17] kCHF

Tagging performances

- tagging is not perfect
 - probability to be wrong = “mistag-rate” = w
 - not every event is tagged
- NN output calibrated using two methods
 - use a flavour-specific neutral B decay and measure the amplitude of mixing
 - use a charged B decay
- for all $B \rightarrow J/\psi X$ channels, OST calibration uses $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$
- tagging performance depends on final state

$$\text{dilution: } D_{\text{tag}} = (1 - 2w)$$

from $B_s \rightarrow D_s \pi$ mixing analysis:

OST: $\epsilon D^2 = (3.2 \pm 0.8) \%$
SSKT: $\epsilon D^2 = (1.3 \pm 0.4) \%$

from $B_d \rightarrow J/\psi K^+$: OST: $\epsilon D^2 = (2.1 \pm 0.4) \%$

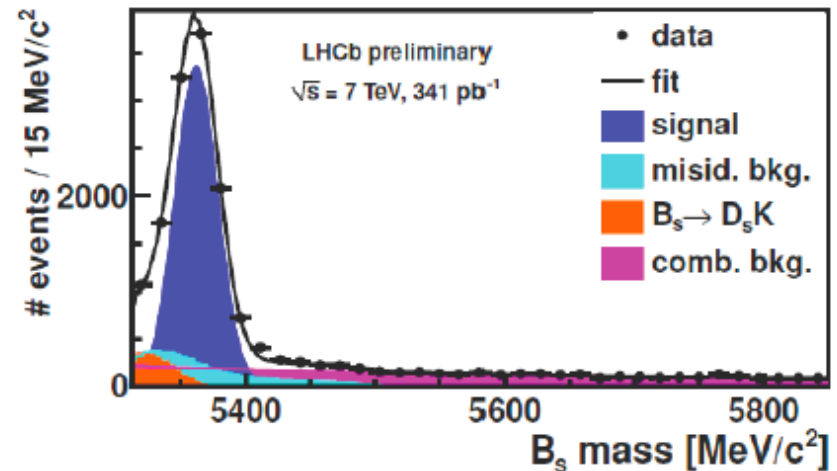
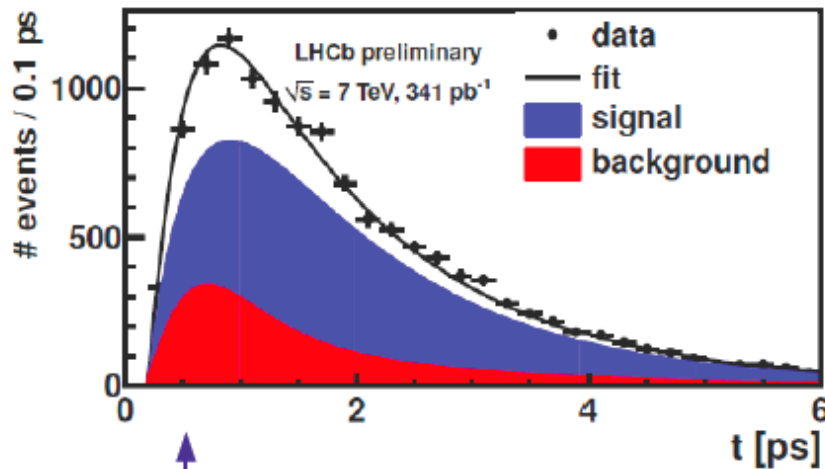
- $B_s \rightarrow J/\psi X$ analyses don't use SSKT yet: room for improvements

Δm_s at LHCb

- Δm_s extracted from an unbinned MLL fit to $B_s \rightarrow D_s \pi$ candidates

- uses mass, decay time and tagging info
- uses both OS and SSK taggers

| decay mode | # signal candidates |
|--|---------------------|
| $B_s^0 \rightarrow D_s^- (\phi \pi^-) \pi^+$ | 4371 ± 91 |
| $B_s^0 \rightarrow D_s^- (K^* K^-) \pi^+$ | 2910 ± 89 |
| $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$ non-resonant | 1908 ± 74 |



↑ note: non-trivial decay time acceptance due to trigger and selection

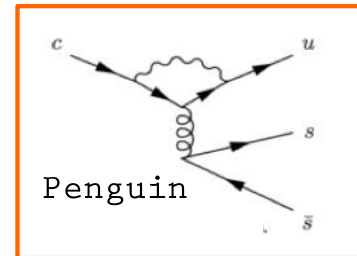
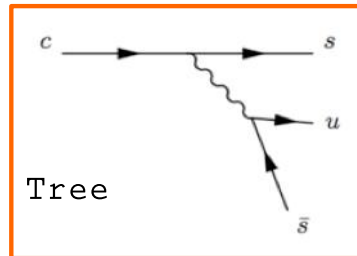
- preliminary result (LHCb-CONF-2011-050)

$$\Delta m_s = 17.725 \pm 0.041 \pm 0.026 \text{ ps}^{-1}$$

- dominant systematic uncertainties: **z-scale** and **momentum scale**
 → no 'easy' improvements ahead!

CP violation in Charm

- Singly Cabibbo Suppressed (SCS) decays are an interesting sector for **direct** CPV searches
- Interference between **Tree** and **Penguin** can generate direct CP asymmetries
 - Several classes of NP can contribute
 - ... but also non-negligible SM contribution



→ Measure CP asymmetry in Time Integrated $D^0 \rightarrow hh$ decays

$$A_{CP}(f) = \frac{\Gamma(D^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}{\Gamma(D^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}$$

f = KK or $\pi\pi$
 D^0 tagged by $D^* \rightarrow D^0 \pi_{\text{soft}}$

HFAG: $A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi\pi) = 0.20 \pm 0.22$ - $A_{CP}(D^0 \rightarrow KK) = -0.20 \pm 0.17$

Value dominated by CDF. Theory predicts (U symmetry) equal and opposite sign.

$$A_{\text{raw}}(f) = A_{CP}(f) + \cancel{A_D(f)} + A_D(\pi_s) + A_P(D^{*+})$$

Physics CP asymmetry (red box) points to $A_{CP}(f)$.
 Detection asymmetry of D^0 (black box) points to $\cancel{A_D(f)}$.
 Production asymmetry (green box) points to $A_P(D^{*+})$.
 Detection asymmetry of "slow" pions (blue box) points to $A_D(\pi_s)$.

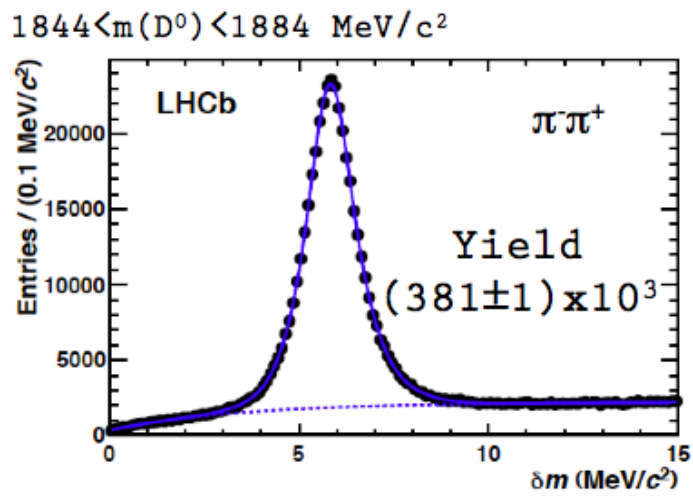
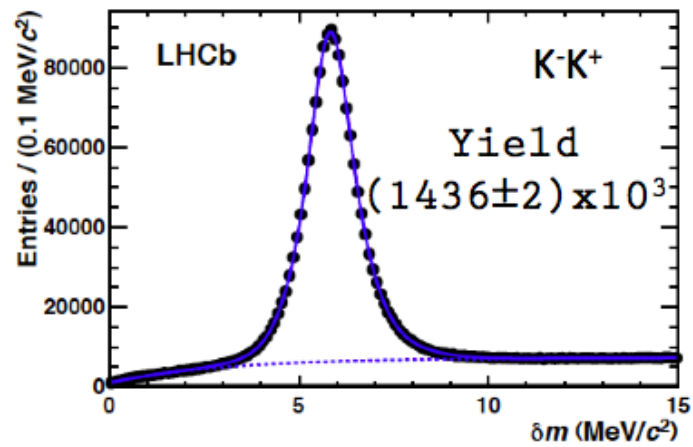
The detection asymmetry of D^0 is zero due to symmetric final state

$$\Delta A_{CP} \equiv A_{\text{raw}}(KK) - A_{\text{raw}}(\pi\pi) = A_{CP}(KK) - A_{CP}(\pi\pi)$$

In the difference $A(KK) - A(\pi\pi)$ the production and the π_{soft} asymmetries cancel out

$$\Delta \langle t \rangle / \tau = [9.83 \pm 0.22(\text{stat.}) \pm 0.19(\text{syst.})] \%$$

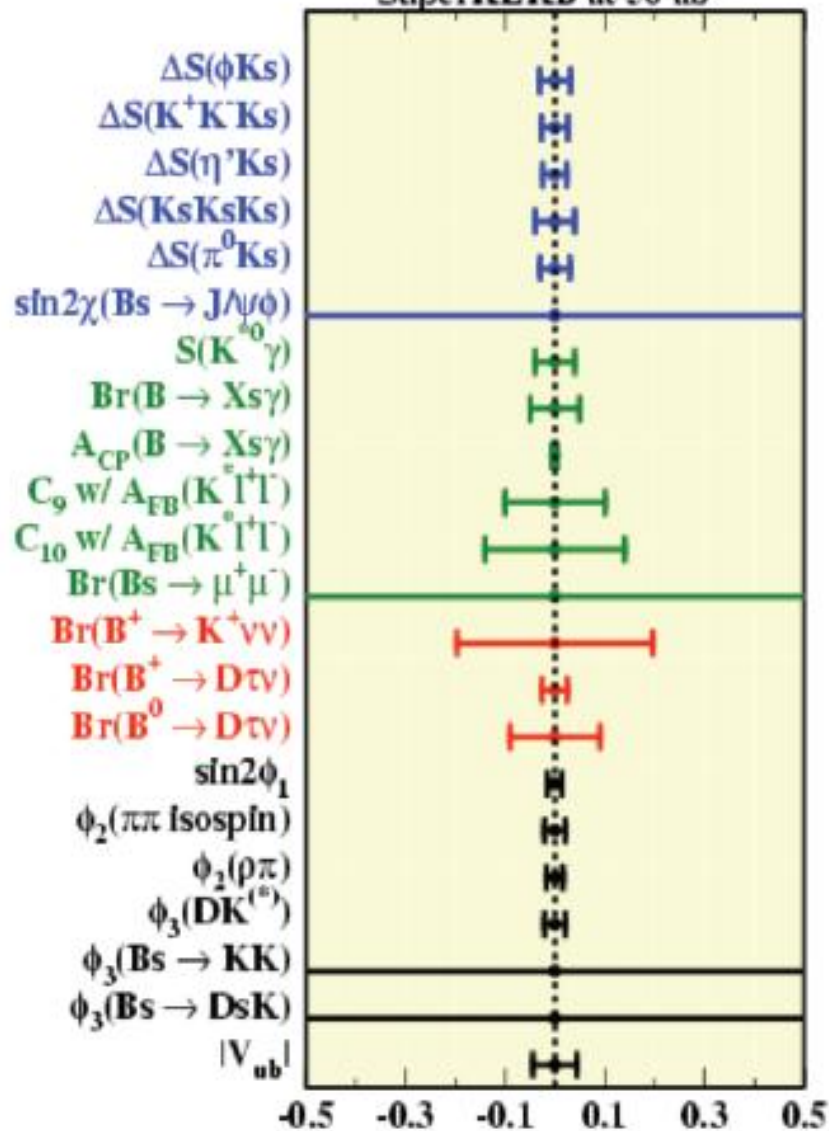
In first approximation, measuring ΔA_{CP} at LHCb, means measuring direct A_{CP} . Indirect A_{CP} does not cancel out completely due to different lifetime acceptances for $KK / \pi\pi$



$1844 < m(D^0) < 1884$ MeV/c²

Backup

SuperKEKB at 50 ab⁻¹



LHCb (0.002 ab⁻¹)

