



LHCb bilan et perspectives

Vava Gligorov pour le groupe LHCb
Le Pré Bas 2024

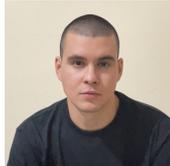
Introduction

Équipe de 6 permanents (2 PR, 1 DR, 1 MdC, 2 CR), 1 émérite, 3 IR, 6+1 doctorants

Impliquée dans les analyses de physique, la construction et le fonctionnement du détecteur LHCb, et les études pour les futurs upgrades de LHCb

Aujourd'hui je ferai un résumé de nos activités principales

1. Nos plus récentes analyses de physique
2. Construction et mise en oeuvre des systèmes de trajectographie et d'analyse en temps réel de LHCb
3. Nos projets techniques pour l'avenir



Implications dans LHCb

Grande implication dans les shifts et le fonctionnement. Pendant Run 3, le LPNHE est le quatrième institut de LHCb en nombre de shifts effectués en salle de contrôle et le troisième pour tous types de shifts/piquets confondus

Nous avons pris des responsabilités dans LHCb bien au-delà de la taille du groupe :

(L1) : - ECGD officer (Eli, 10/2020 – 09/2022)

- Deputy Operations Coordinator (Francesco, 9/2020 – 08/2022)

- Operations Coordinator (Francesco, 9/2022 – 08/2024)

- Project leader du RTA (Vava, 1/2019 – 12/2022)

- Deputy Technical Coordinator (Vava, 01/2024 – 12/2024)

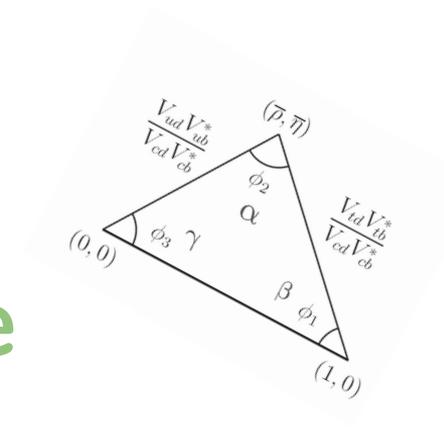
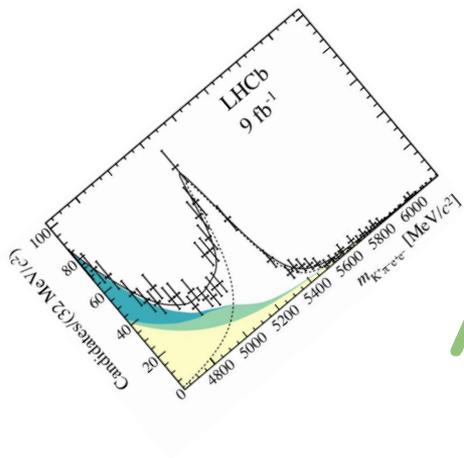
(L2) : - Coordinatrice du groupe Charm decays (Marianna, 01/2021 – 12/2022)

(L3) : - Responsable de l'électronique Back End du SciFi (Olivier, 01/2016 – 05/2023)

D'autres contributions :

Tiers2 – Data dans GRIF (avec IJClab)

Participation active au processus de revue d'analyses, entre autres comme « chairs » de comités de revue.

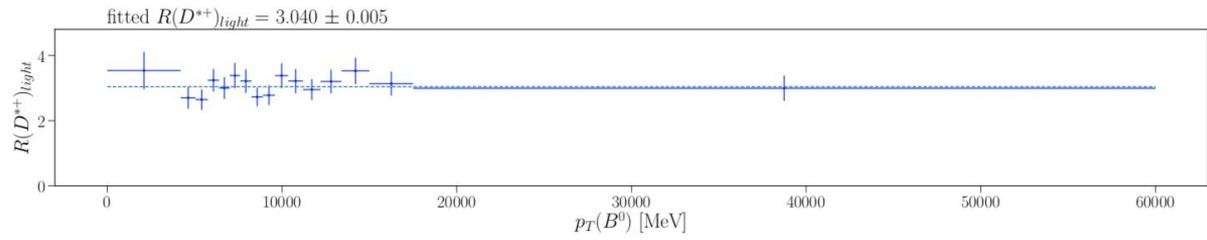


Analyses de physique

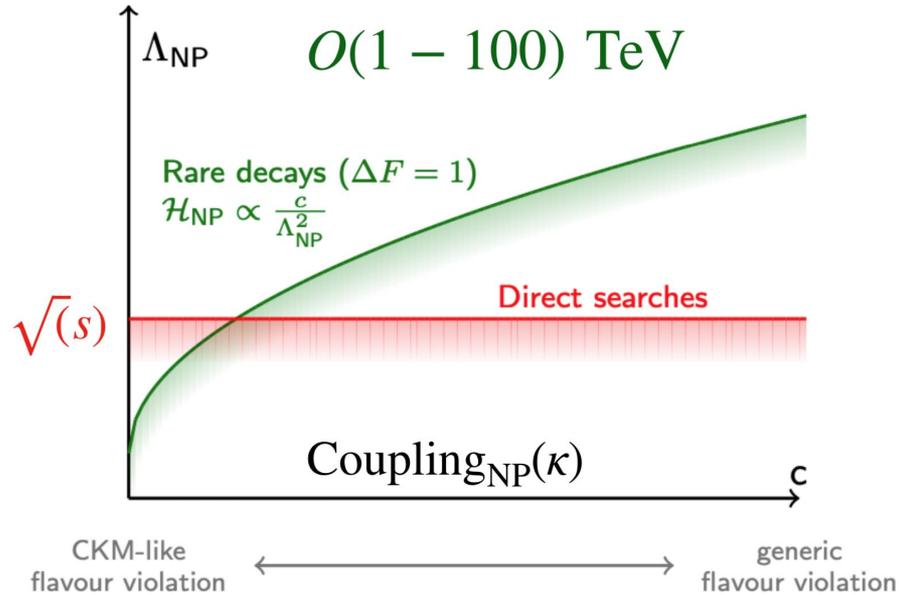
Deux principaux pôles :

1. Désintégrations de hadrons beaux en trois corps “charmless”
2. Études des saveurs leptoniques (universalité, violation)

et un peu de spectroscopie/QCD quand on voit qq chose d’intéressant !



Études d'universalité des saveurs leptoniques

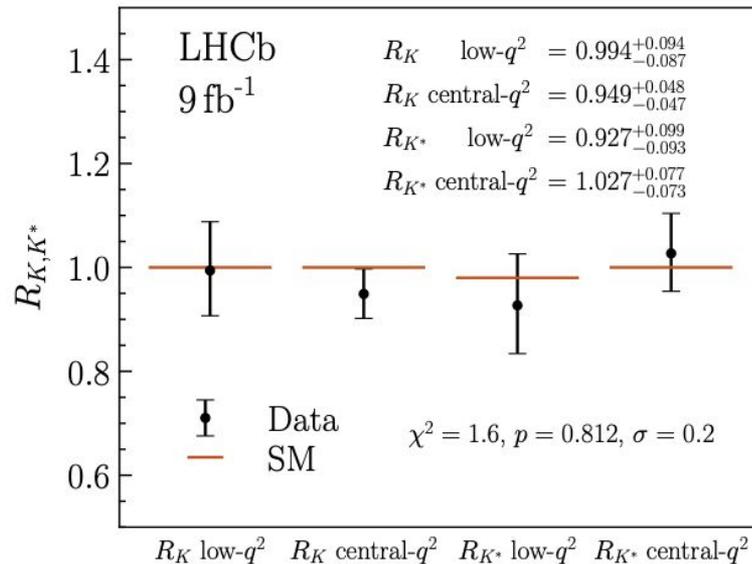
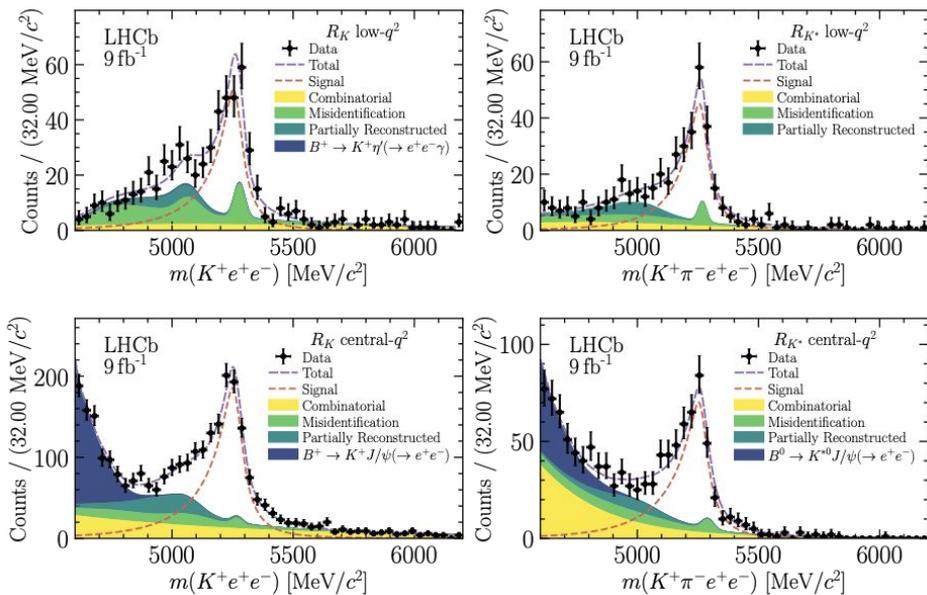


L'universalité leptonique tient dans le modèle standard avec des incertitudes théoriques d'environ 1% ; or la précision expérimentale est actuellement de 5-10%

Alors si on observe une déviation aujourd'hui c'est de la nouvelle physique sans ambiguïté

Malheureusement, que du modèle standard...

Par exemple : les rapport R_K et R_{K^*} (implication du groupe)

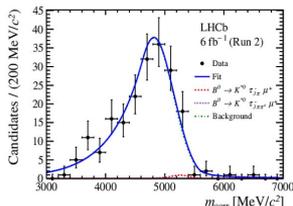
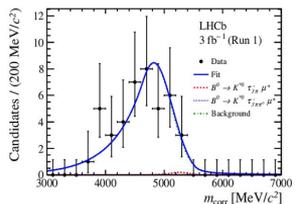
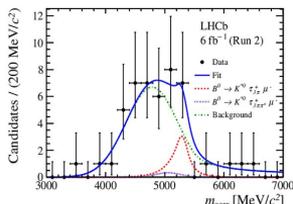
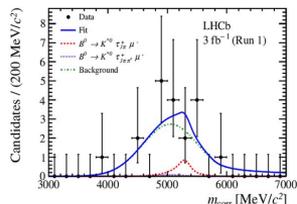


Première analyse simultanée de ces désintégrations

En regardant simultanément quatre canaux différents nous avons pu comprendre que les analyses antérieures de LHCb n'ont pas bien pris en compte des bruits de fond hadroniques. Malgré cette mauvaise nouvelle nous avons quand même réussi à contrôler les erreurs systématiques et avoir une analyse plus précise que les précédentes (environ 15% de gain pour la même luminosité intégrée, ceteris paribus).

A la recherche de la violation de saveur leptonique

Search for $B^0 \rightarrow K^{*0} \tau^\mp \mu^\pm$

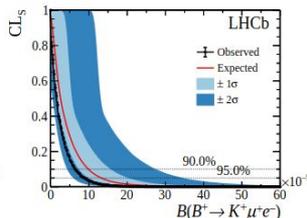
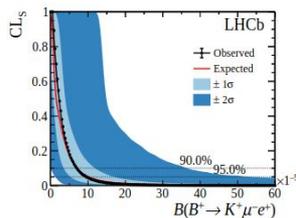


Analyse achevée avec Run 1+2
Aucun signal trouvé, limites

$$B(B^0 \rightarrow K^{*0} \tau^+ \mu^-) < 1.0(1.2) \times 10^{-5}$$

$$B(B^0 \rightarrow K^{*0} \tau^- \mu^+) < 8.2(9.8) \times 10^{-6}$$

Search for $B^+ \rightarrow K^+ e^\mp \mu^\pm$



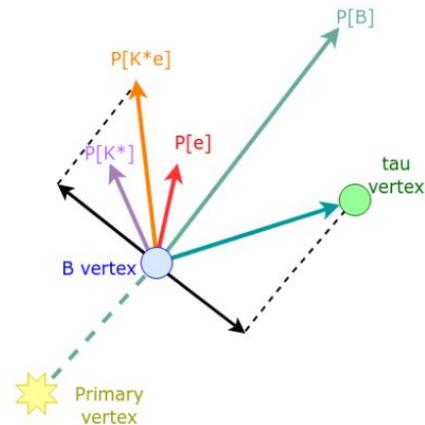
Analyse achevée avec Run 1
Aucun signal trouvé, limites

$$B(B^+ \rightarrow K^+ \mu^- e^+) < 7.0(9.5) \times 10^{-9}$$

$$B(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ e^-) < 6.4(8.8) \times 10^{-9}$$

Analyse en cours avec Run 2

Search for $B^0 \rightarrow K^{*0} \tau^\mp e^\pm$



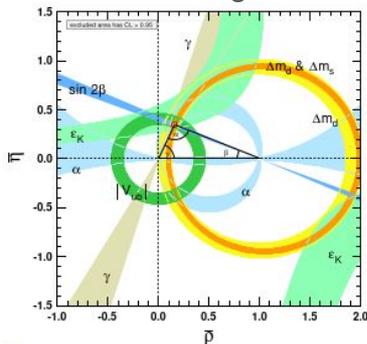
Analyse en cours avec les données de 2016-2018

Elle utilise les contraintes géométriques et cinétiques pour améliorer les résolutions

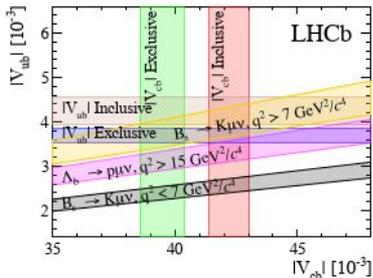
Désintégrations semileptoniques

Motivations

Contraindre le triangle d'unitarité



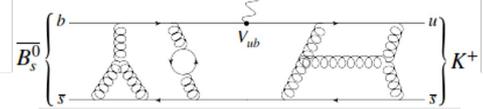
Comprendre les écarts entre mesures inclusives et exclusives



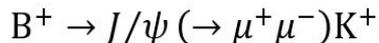
Rechercher de la nouvelle physique

Méthode

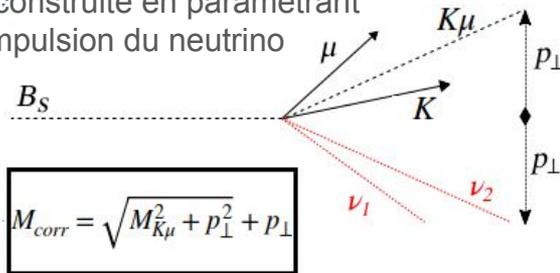
Etude du canal :



Normalisé par le canal :



Corriger la masse reconstruite en paramétrant l'impulsion du neutrino

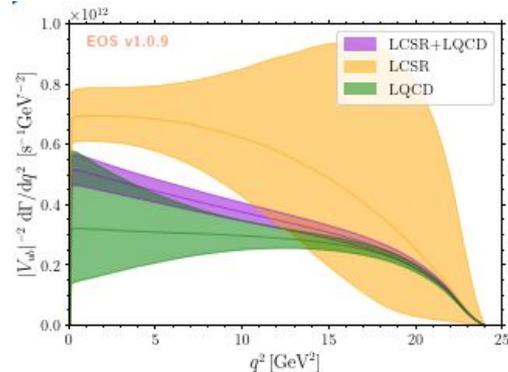


Objectif

Effectuer un ajustement du spectre de masse dans plusieurs régions en q^2 (carré de la masse invariante du système μ - ν) pour extraire le rapport de branchement

$$|V_{ub}|^2 \propto \frac{Br(B_S^0 \rightarrow K^- \mu^+ \nu_\mu)}{\int |FF| dq^2} \frac{1}{\tau_{B_S}}$$

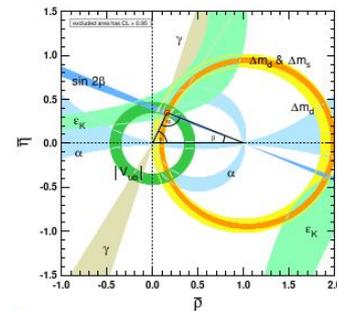
Extraire l'élément de matrice et les facteurs de forme.



Études des désintégrations “charmless”

Les paramètres de la CPV (dont les angles **beta**, **gamma**) sont contraints par des mesures précises des diagrammes en arbre. Comportement MS.

Des processus en boucle sont plus sensibles à la présence de NP.
⇒ idée clé : re-mesurer des paramètres, chercher des incohérences.



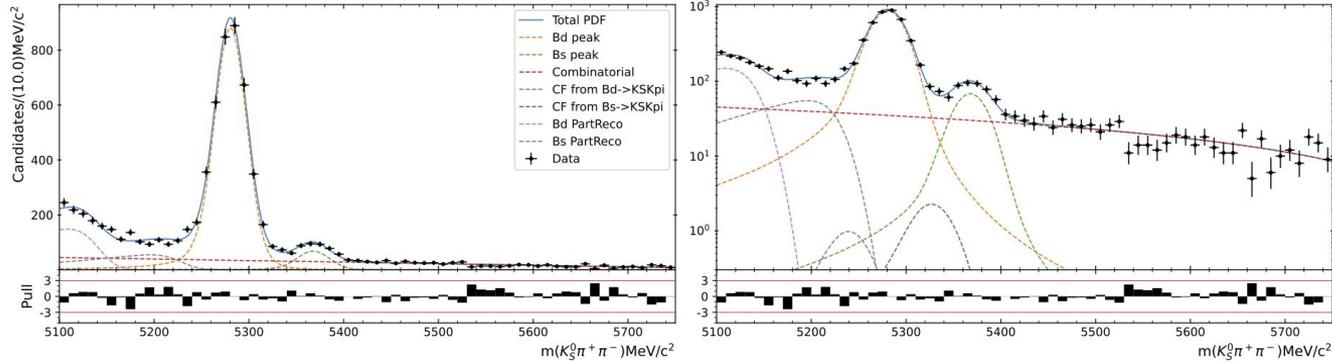
Une série d'analyses de complexité croissante :

- Mesures de rapports de branchement des canaux $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S h^+ h^{(\prime)-}$ [R1-2]
 - Analyse en amplitude intégrée sur le temps de $B^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ [R1-2]
 - Analyse en amplitude dépendante du temps de $B^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ [R1-3] ⇒ **beta**

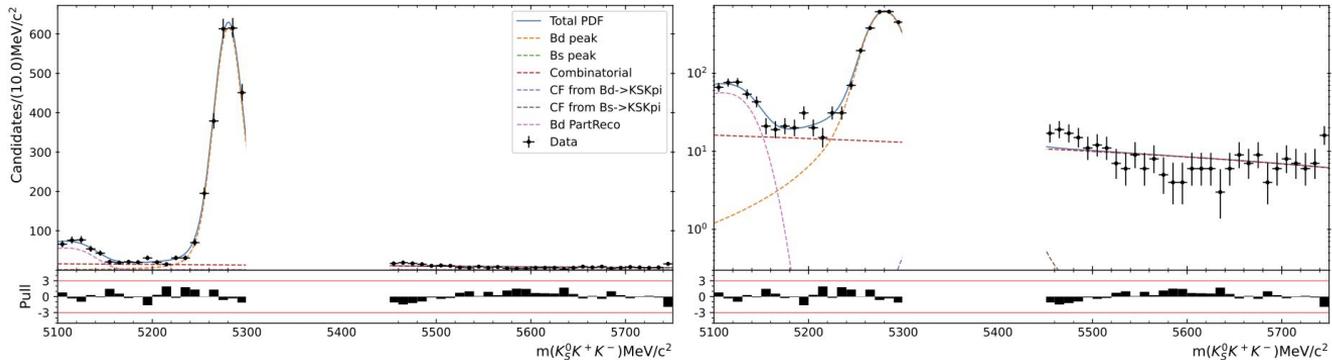
 - Analyse en amplitude intégrée sur le temps de $B_s^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ [R1-3]
 - Combinaison, analyse phéno de **gamma**
- en cours
- à suivre

Première analyse (rapports de branchement) en cours de revue interne de LHCb, visant une première présentation à ICHEP 2024.

Études des désintégrations “charmless”



$m(K_S \pi^+ \pi^-)$, illustrant la complexité du modèle

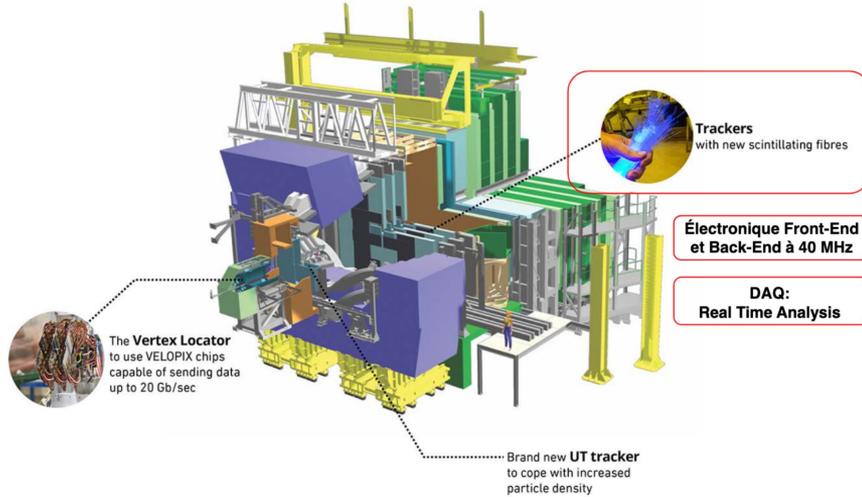


$m(K_S K^+ K^-)$, avec région *blinded* (aveugle) au mode B_S jamais observé

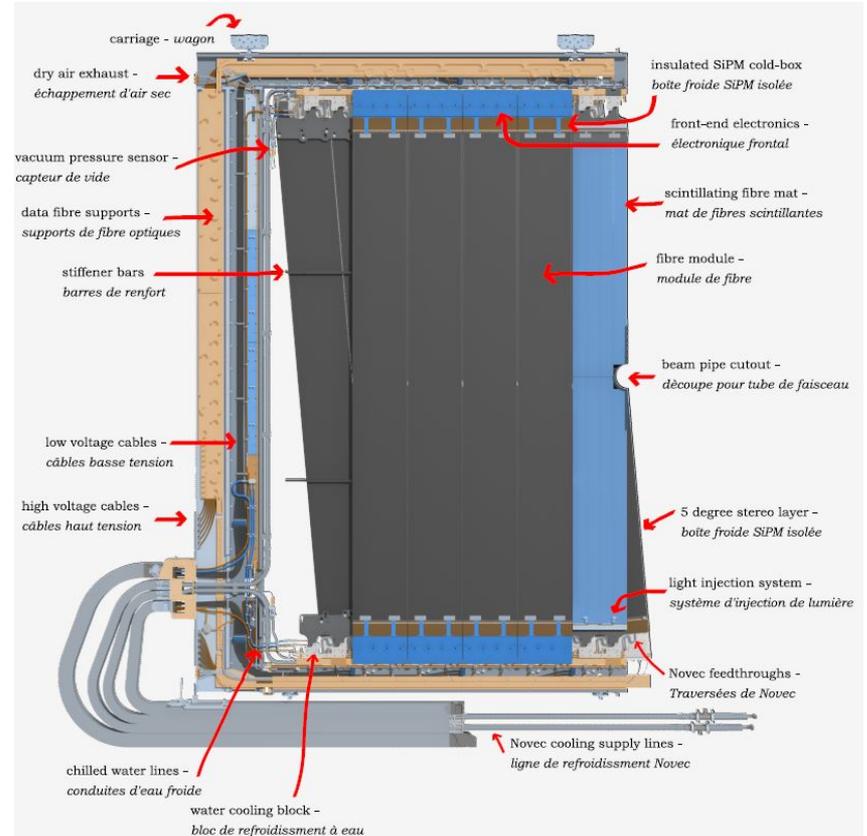
Un sous-échantillon (2018DD)

Électronique du SciFi

Trajectographe à fibres scintillantes (SciFi)

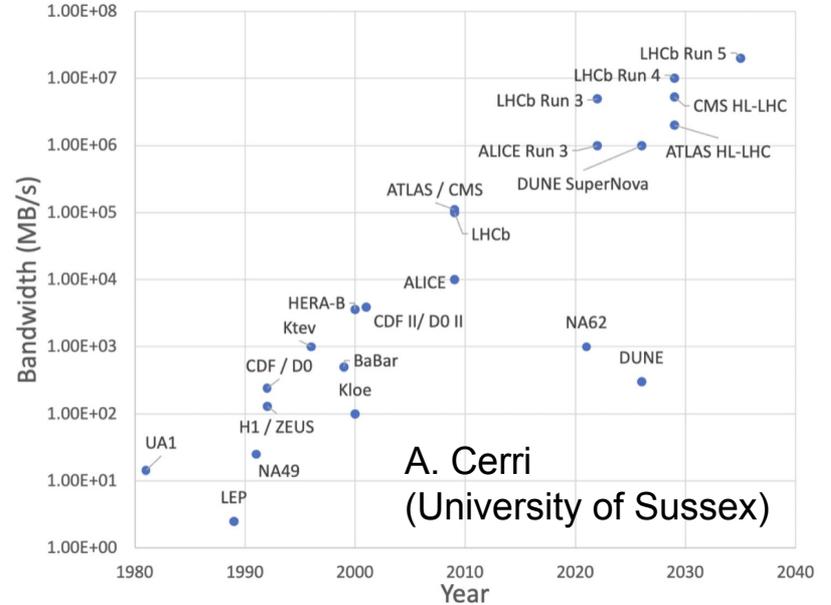
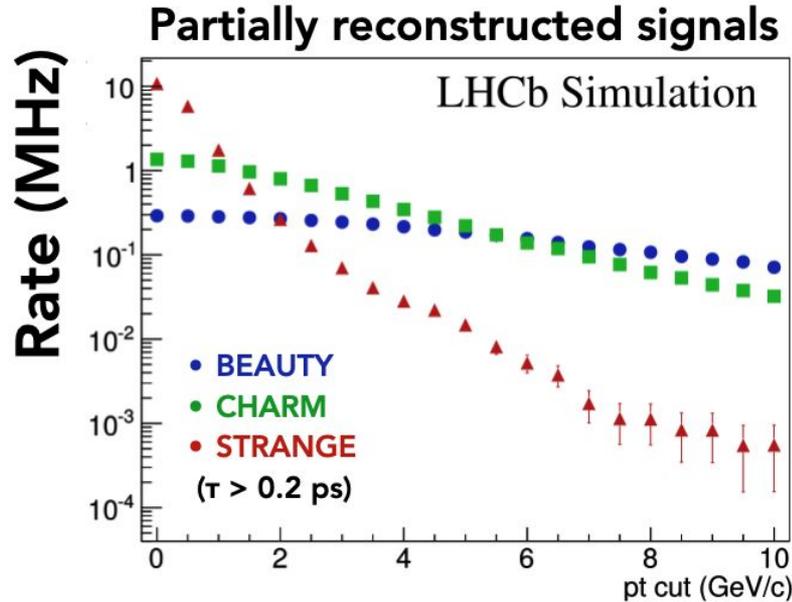


- Le LPNHE a développé le firmware spécifique de l'électronique back-end (144 cartes TELL40).
- Il synchronise les données provenant du front-end et les achemine vers le système d'acquisition des données. Pour chaque carte: 180Gb/s en entrée, 50 Gb/s en sortie.
- Le LPNHE a aussi développé les interfaces de contrôle des TELL40 avec les logiciels WinCC-OA & JCOP



Analyse en temps réel et projet technique pour l'avenir

Analyse en temps réel

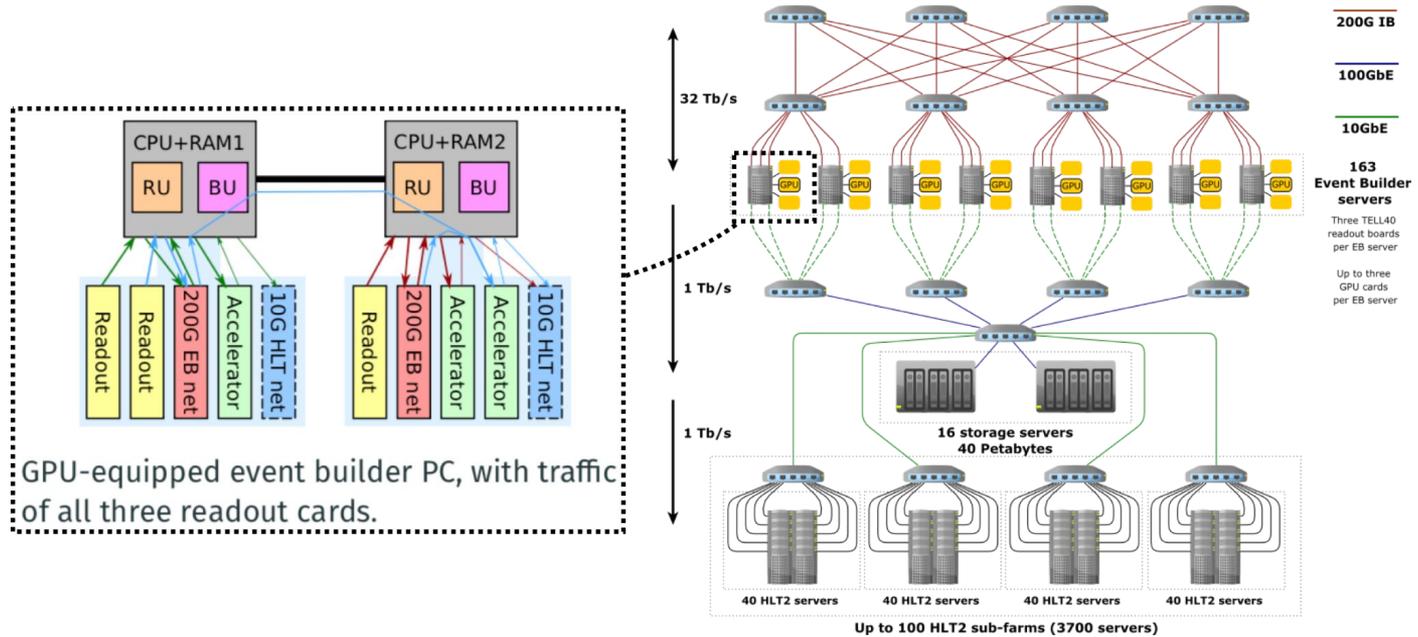


En 2022 - 2025 LHCb doit traiter 32 Tbits/seconde avec > 1 MHz de signal

En > 2030 ça va monter jusqu'à 200 Tbits/seconde et > 5 MHz de signal

⇒ la sélection d'événements ne suffit pas → il faut faire nos analyses en temps réel !

Le système Allen

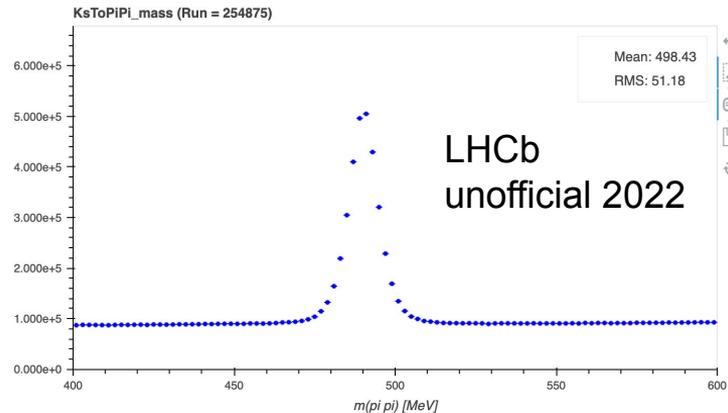


Framework pour l'analyse des données sur des architectures hétérogènes, avec la possibilité d'utiliser des dizaines d'algorithmes classiques et d'algorithmes IA dans le même pipeline

Conçu et développé par l'équipe du LPNHE en collaboration avec NIKHEF - notre postdoc, Dorothea vom Bruch, a obtenu une prime ERC et la médaille du bronze CNRS (entre autres) pour son travail

On arrive à réaliser la première étape de déclenchement basée sur la trajectographie avec < 200 cartes GPU au Run 3, avec un coût réel qui est négatif (!) pour LHCb grâce à la simplification du système

Commissioning d'Allen entre 2021-2024



Implication totale de l'équipe pour réussir la mise en oeuvre

La prise de données a été assurée depuis le premier jour, malgré divers problèmes du détecteur et de l'électronique

1. Une partie du trajectographe (l'UT) n'a pas été installé avant 2023 et n'est pas encore entièrement fonctionnel
2. La quasi-totalité du détecteur a subi des désynchronisations électroniques et des pertes d'alignement temporel pendant l'année 2022, et une bonne partie de ces problèmes a toujours été présente en 2023
3. Le détecteur de vertex a subi une déformation en 2023, qui a nécessité de le laisser ouvert pendant toute l'année, avec des conséquences importantes pour l'efficacité de la prise de données et la qualité de l'alignement

Maintenant, en 2024, on s'approche des performances nominales!



Performances du Allen en 2024

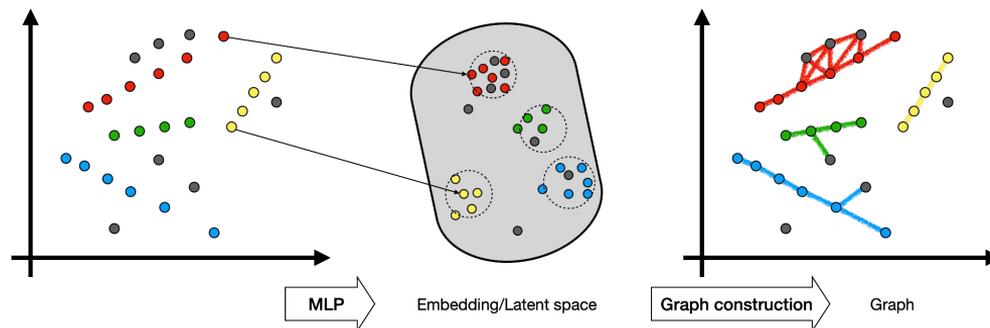
Intelligence artificielle + calcul

Plusieurs tentatives de collaboration, notamment avec le LIP6, motivées par l'imbrication entre le calcul de haute performance et l'utilisation des algorithmes d'IA dans nos systèmes

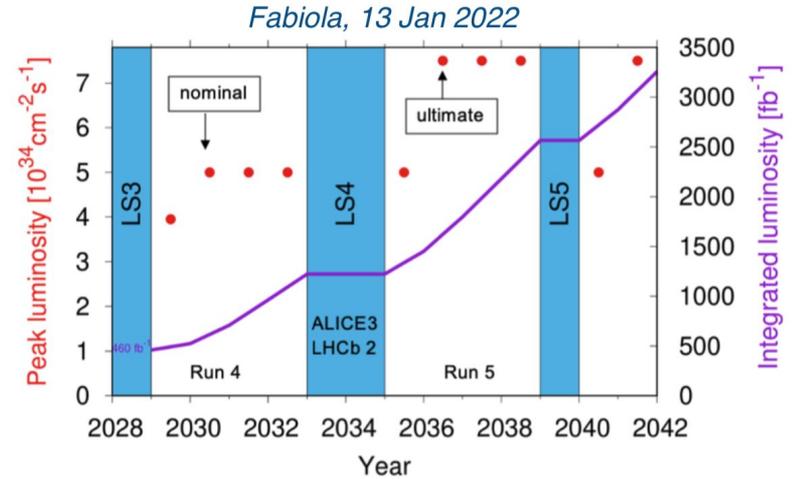
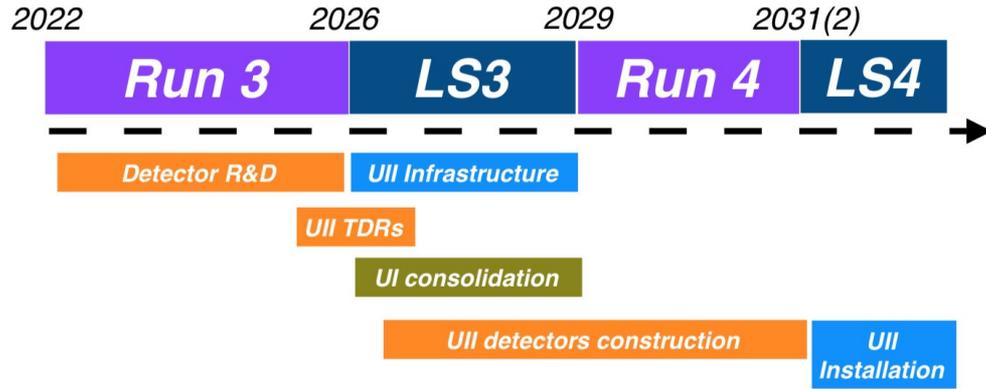
1. Thèse d'Arthur Hennequin, co-encadrée par Vava et Lionel, sur les algorithmes d'étiquetage et trajectographie hétérogène
2. ITN SMARTHEP financé avec deux thèses ATLAS + IBM et LHCb + LIP6 a l'intersection de l'IA et de la physique
3. Financement Franco-Allemand (ANN4EUROPE) pour deux thèses co-encadrées par Vava et Ivan Kisel pour développer des algorithmes de trajectographie en IA, en collaboration avec SMARTHEP.



Pour les détails regardez le poster de Fotis svp!



Le deuxième upgrade de LHCb



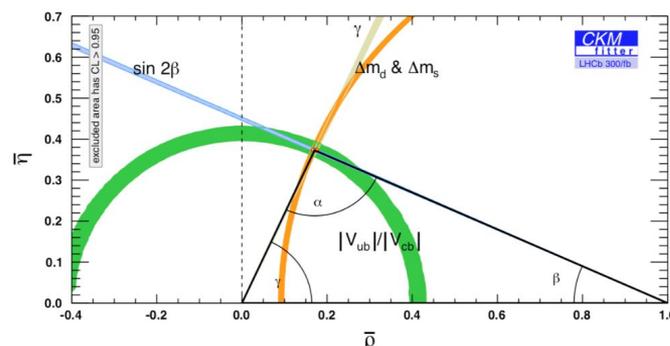
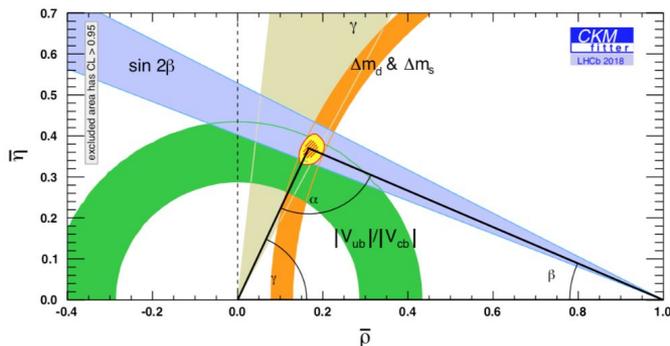
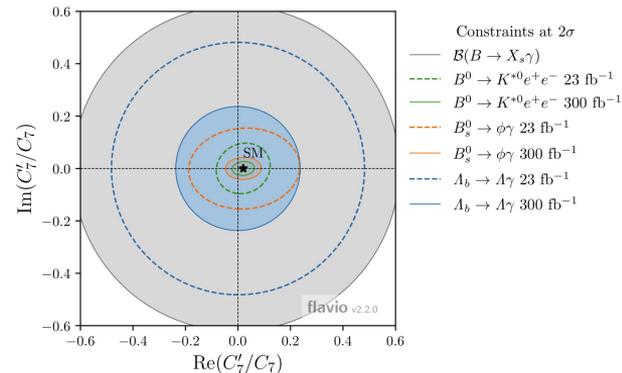
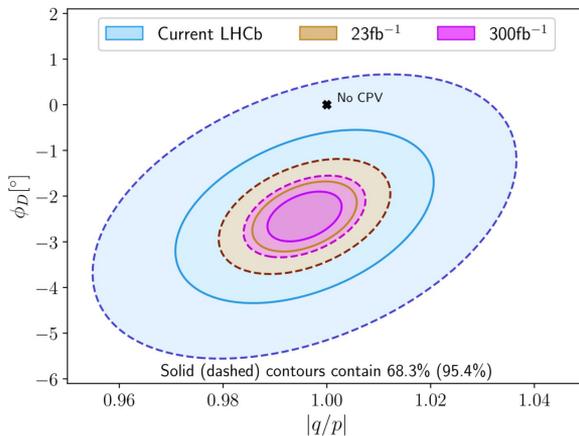
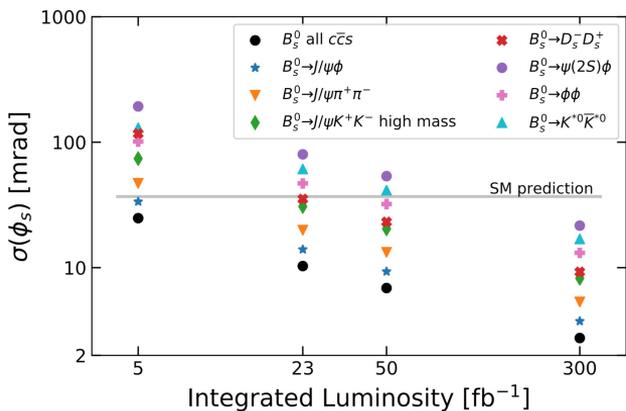
Objectif principal : construire le “ultimate LHCb detector” pour enregistrer $\sim 300 \text{ fb}^{-1}$

Deux étapes d’installation :

- Pendant LS3 - avancer autant que possible, et d’une manière évolutive
- Pendant LS4 - le reste

La construction et l’exploitation de l’U2 représentent une implication pendant les 20 prochaines années

Le cas de physique



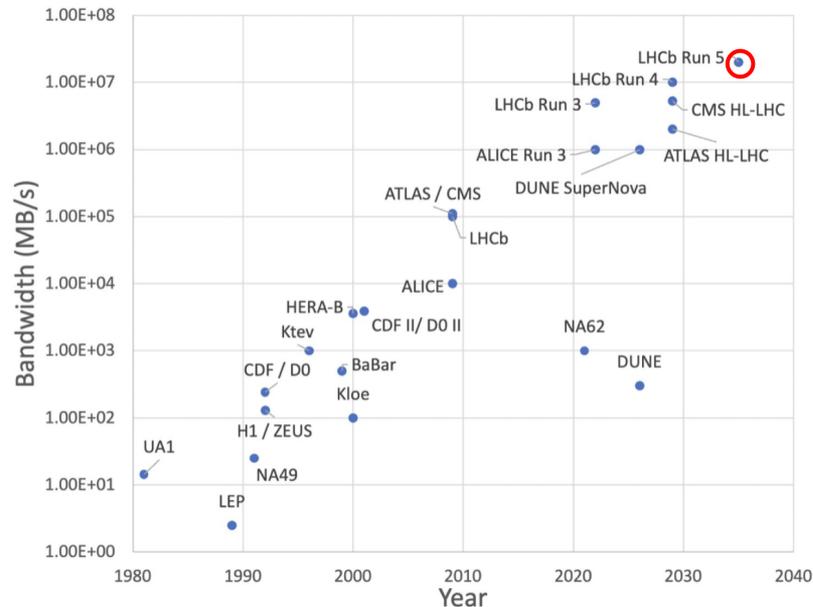
Point clé : pas de limitations systématiques, alors pousser sur tous les aspects de la physique des saveurs

Le projet Allen au LPNHE pour l'avenir

Le but est de livrer un système qui peut traiter 200 Tbits de données par seconde en 2035, avec les mêmes performances de physique qu'au Run 3

Les défis

1. Nous ne savons pas quelles seront les meilleurs architectures de calcul en 2035, et il se peut que les changements par rapport à aujourd'hui seront très importantes
2. Nous ne savons même pas quelles langages de calcul (C++, CUDA, Rust, Python, Go, Julia ...) seront les plus favorables pour ce travail en 2035
3. Il faut trouver une solution qui améliore non seulement le coût financier de ce système mais aussi l'efficacité énergétique !

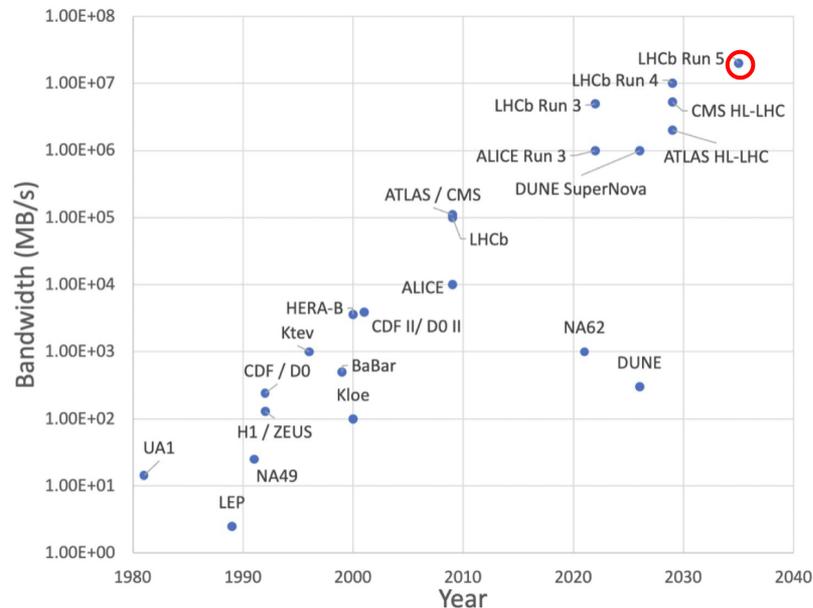


Le projet Allen au LPNHE pour l'avenir

Le but est de livrer un système qui peut traiter 200 Tbits de données par seconde en 2035, avec les mêmes performances de physique qu'au Run 3

Les défis

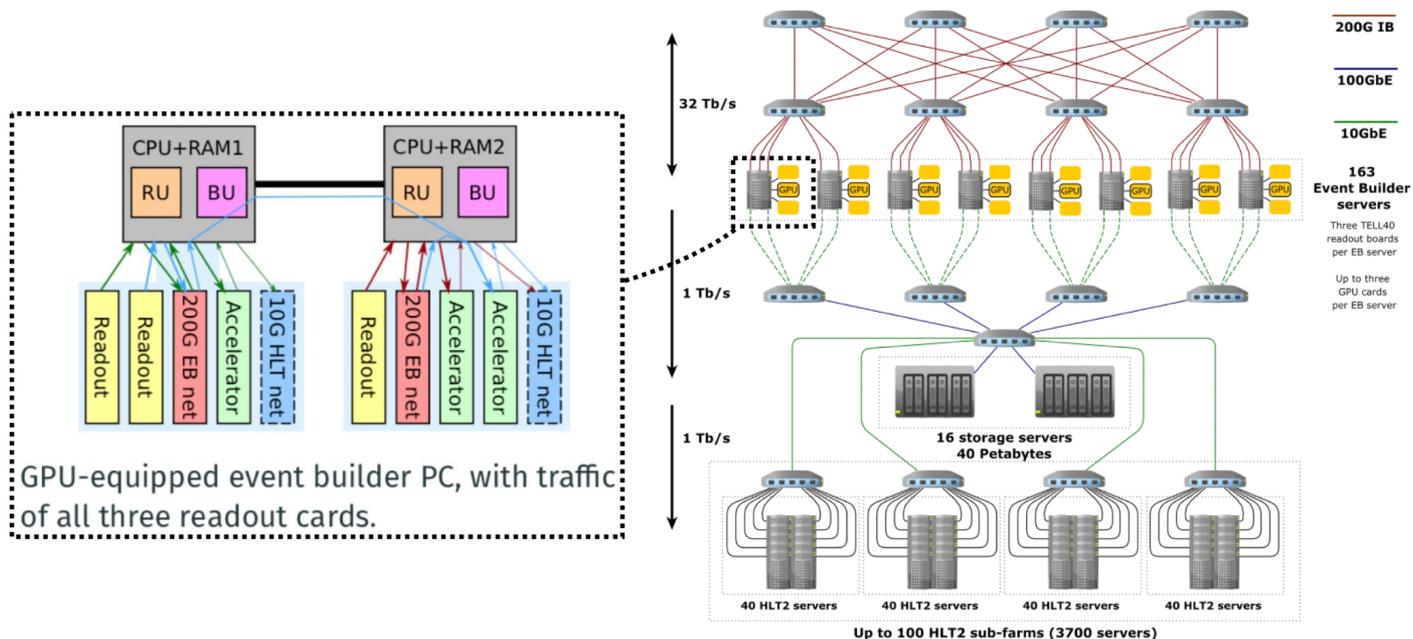
1. Nous ne savons pas quelles seront les meilleurs architectures de calcul en 2035, et il se peut que les changements par rapport à aujourd'hui seront très importantes
2. Nous ne savons même pas quelles langages de calcul (C++, CUDA, Rust, Python, Go, Julia ...) seront les plus favorables pour ce travail en 2035
3. Il faut trouver une solution qui améliore non seulement le coût financier de ce système mais aussi l'efficacité énergétique !



La bonne nouvelle est que nous sommes convaincus que le système Allen nous permettra de répondre à ces défis

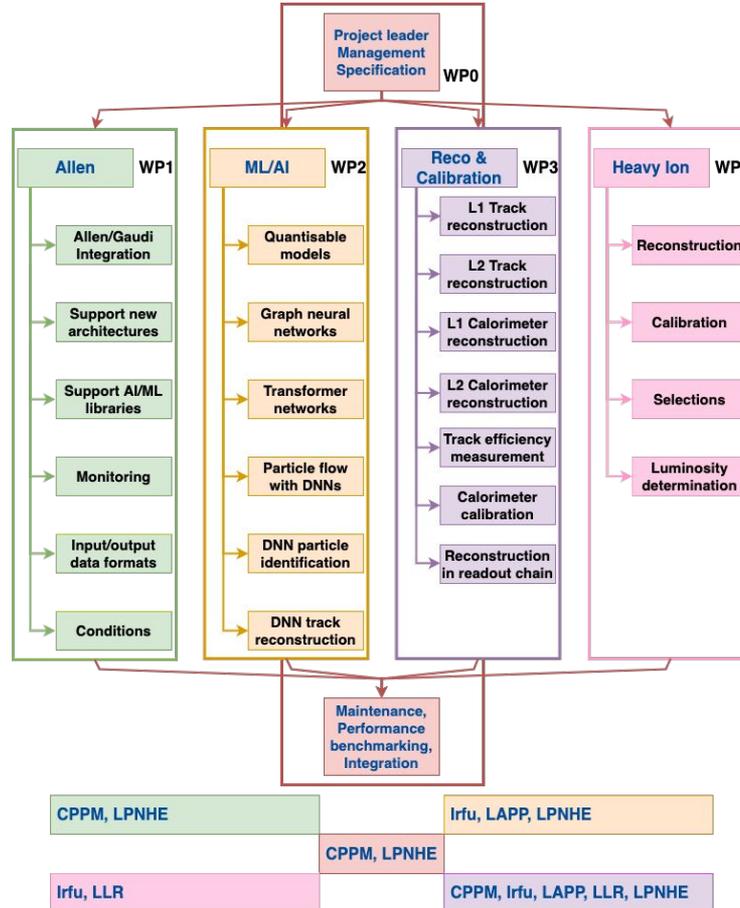
Nous avons déjà montré (<https://arxiv.org/abs/2106.07701>) les gains en coût et en efficacité énergétique entre le détecteur LHCb original et l'U1 avec Allen. Toutes les indications montrent que la scalabilité reste bonne jusqu'au U2. Mais il nous faut une équipe aux compétences hétérogènes pour réaliser ce travail.

Lien entre le DAQ et processing des données



Pour l'Upgrade 2, le design de base est le même que pour le détecteur de l'U1, avec une carte backend unique (FPGA) mais plus grande/puissante (TELL400/800). Tout traitement des données pouvant se faire sur les cartes backend, notamment le clustering ou la reconstruction du calorimètre, doit être fait à ce niveau. Une forte collaboration entre l'équipe du LPNHE et les équipes de LHCb-France travaillant sur le backend est donc envisagée.

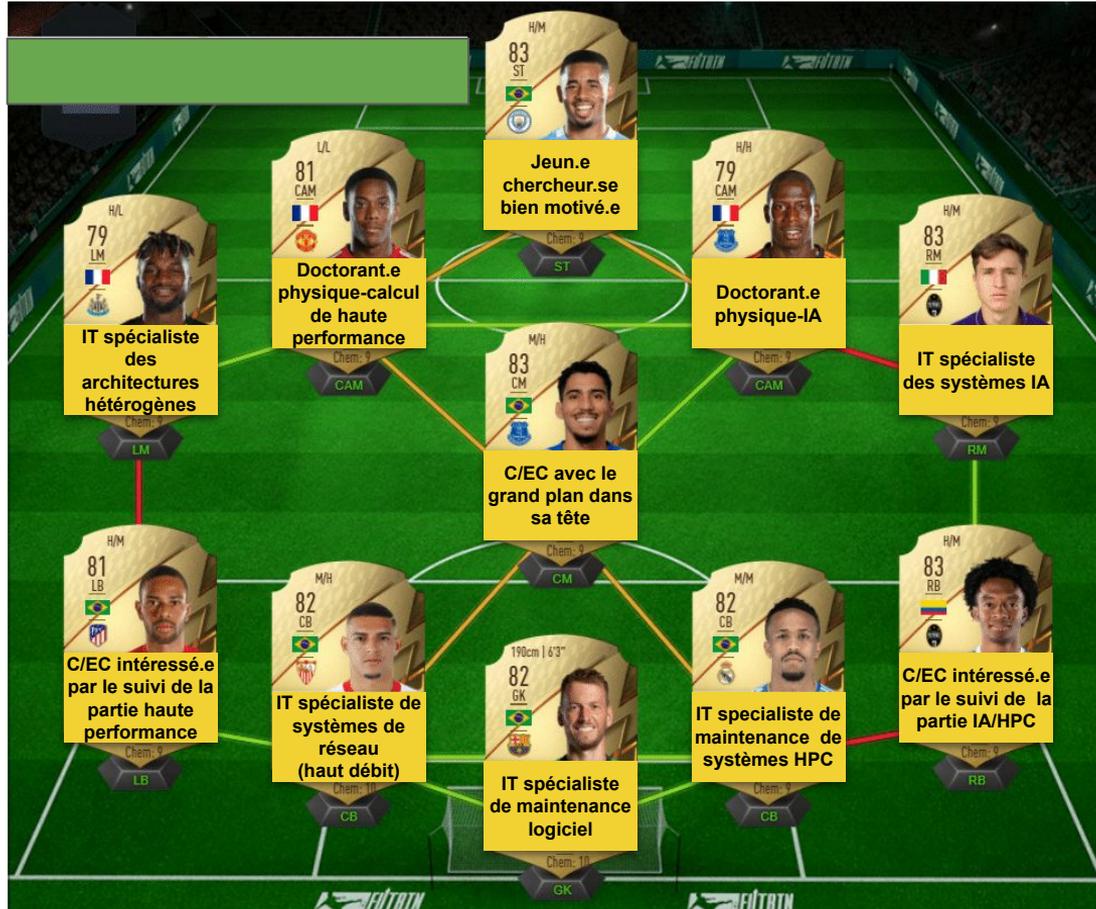
RTA France en U2: organisation



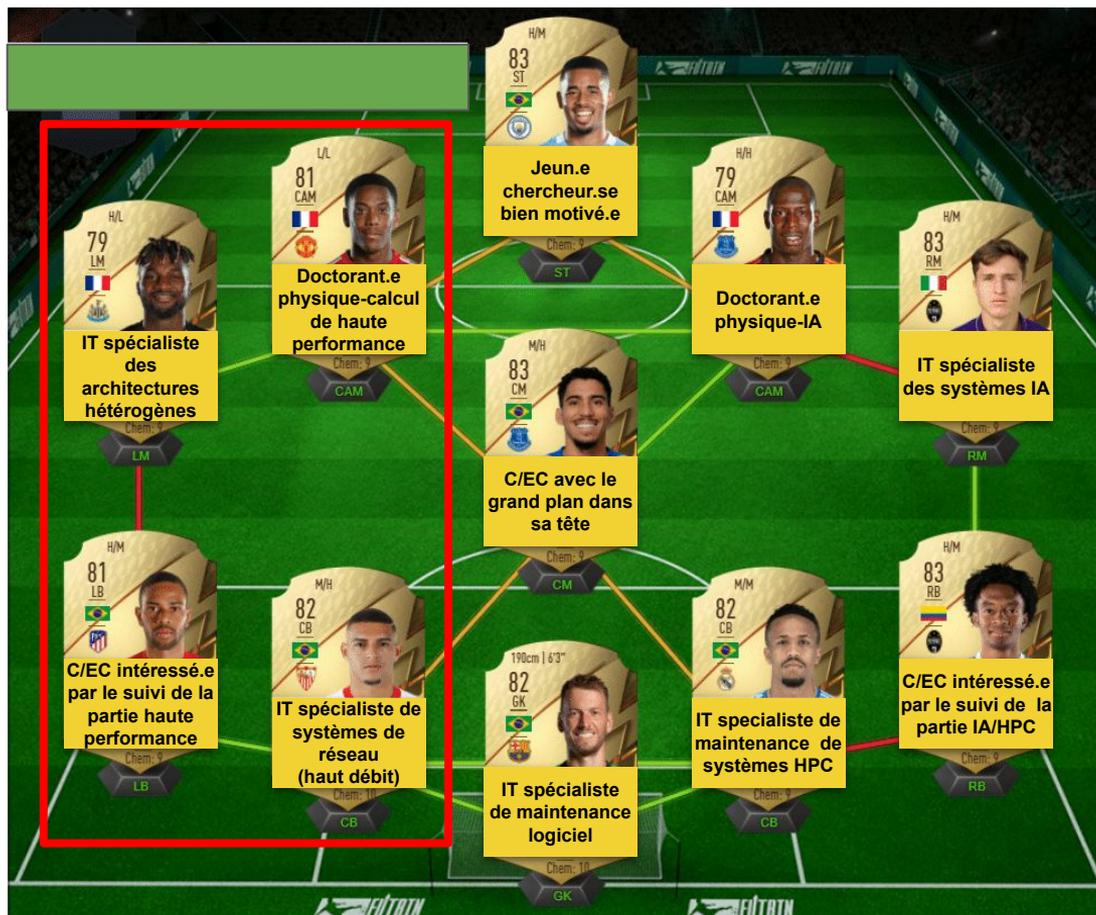
RTA France en U2: timeline et personnel

Year	Run 3		Long Shutdown 3			Run 4			
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Required CR + DOCT resources	2.25	2.25	2.25	2.5	3.4	3.4	2.25	2.5	3.1
Coordination	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Allen	0.5	0.5	0.8	0.8	1.1	1.1	0.8	0.8	1.1
ML/AI	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Reconstruction & Calibration	0.55	0.55	0.55	0.8	1.1	1.1	0.55	0.8	1.1
Heavy Ions	0.55	0.55	0.25	0.25	0.55	0.55	0.25	0.25	0.25
Required IR resources	2.05	2.05	2.95	3.35	3.45	3.45	2.95	3.35	3.45
Coordination	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Allen	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0
ML/AI	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4
Reconstruction & Calibration	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8
Heavy Ions	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Available CR + DOCT resources	1.25	2	2	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
LPNHE	0.25	1.0	1.0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
CPPM	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
LAPP	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Available IR resources	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
LPNHE	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CPPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAPP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subatech	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Missing CR + DOCT resources	1	0.25	0.25	1.75	2.65	2.65	1.5	1.75	2.35
Missing IR resources	1.05	0.55	1.45	1.85	1.95	1.95	1.45	1.85	1.95
Total available resources	2.25	3.5	3.5	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
Total missing resources	2.05	0.8	1.7	3.6	4.6	4.6	2.95	3.6	4.3

RTA France en U2: équipe idéale

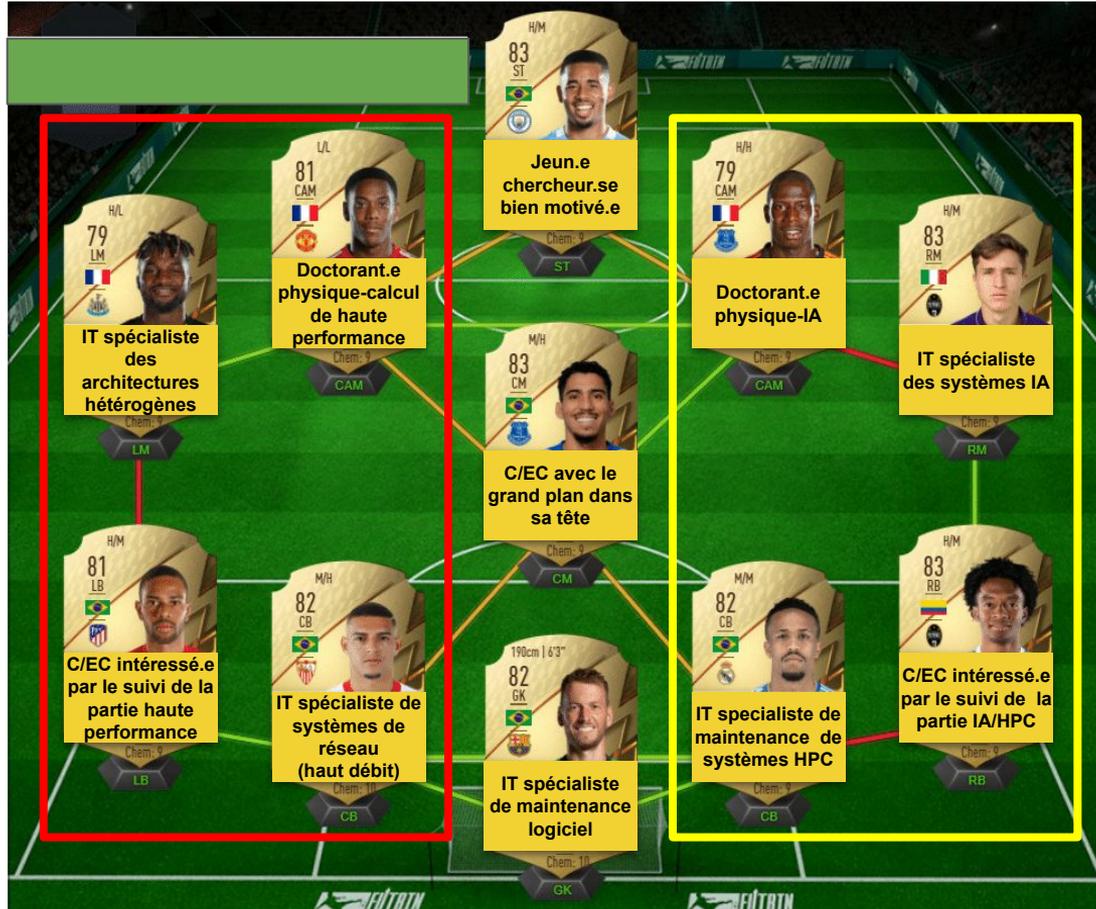


RTA France en U2: équipe idéale



Forte connection avec LIP6, DAQ pour U2, nouvelle carte TELL40...

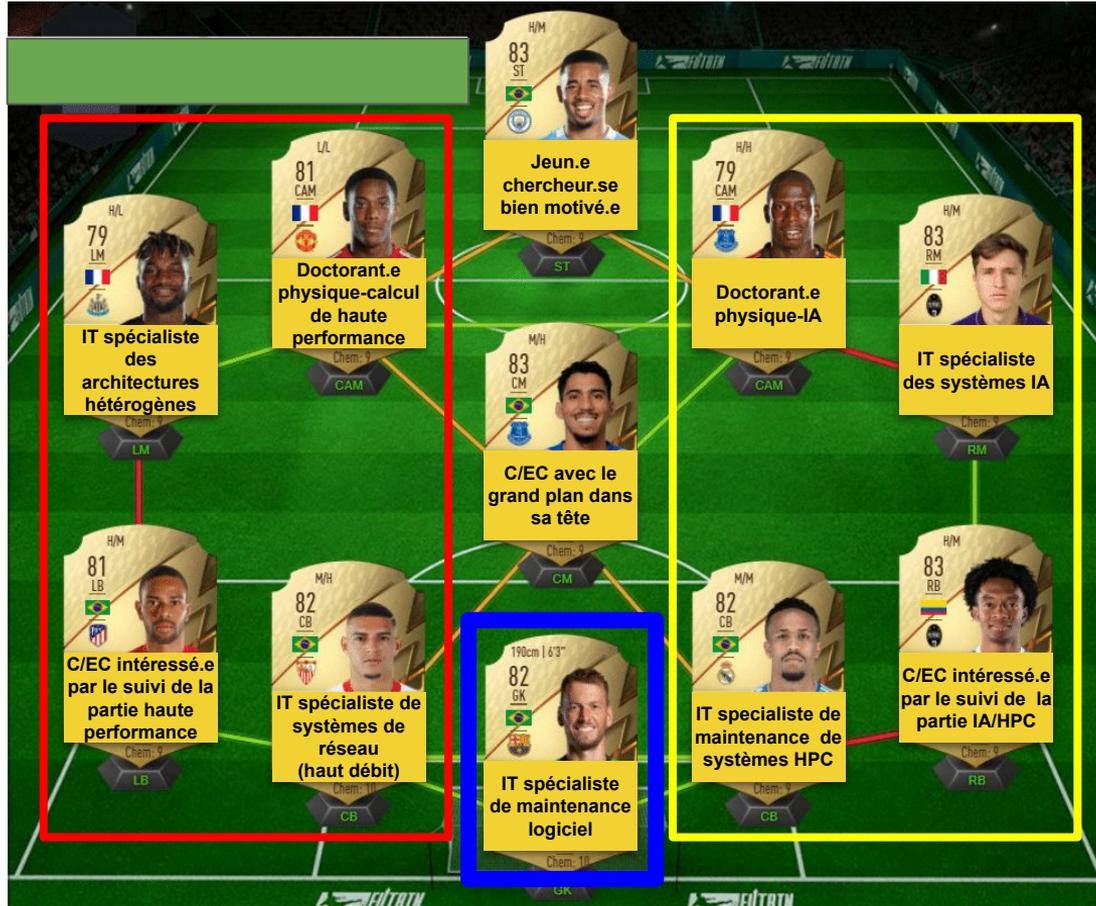
RTA France en U2: équipe idéale



Forte connection avec LIP6, DAQ pour U2, nouvelle carte TELL40...

Forte connection avec SCAI, LIP6, calcul scientifique en général, exploitation des machines exascale...

RTA France en U2: équipe idéale



Forte connection avec LIP6, DAQ pour U2, nouvelle carte TELL40, readout UT

Forte connection avec SCAI, LIP6, calcul scientifique en général, exploitation des machines exascale...

La base: la maintenance nécessite une implication continue pendant la prochaine décennie!