

Beauté, symétrie  
et 116 g de silicium

# The suspects



## Cadres du réseau



Jérôme Baudot



Giulio Dujany



Christian Finck



Isabelle Ripp-Baudot

## Apprentis (docteurs)



Corentin Santos



Mattéo Maushart



Merna Abumusabh



Sahil Saha

## Tout juste innocentés

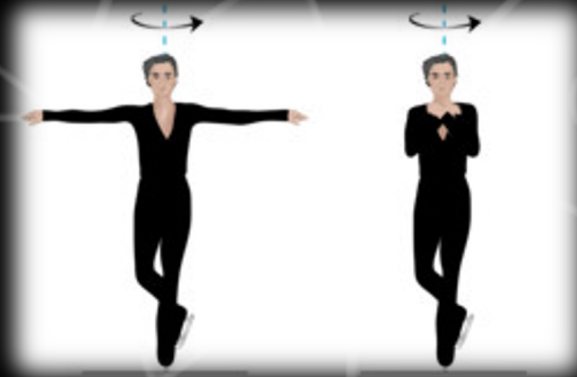


Petros Stavroulakis



Pere Gironella

- Conservation du moment cinétique



Contrôle  
vitesse de rotation

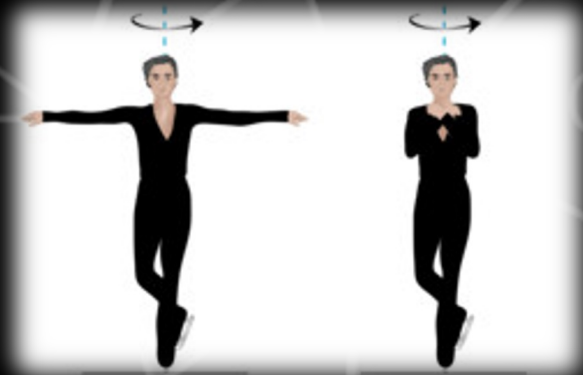


Effet gyroscopique => stabilité du vélo



# Comprendre par les symétries

- Conservation du moment cinétique



Contrôle  
vitesse de rotation



Effet gyroscopique => stabilité du vélo

- Particules élémentaires



Un zoo ?

Non, une belle organisation !

Particules de matière (fermions)			Particules d'interactions	boson de masse
QUARKS	2.4 MeV +2/3 1/2 <b>u</b> up	1.27 GeV +2/3 1/2 <b>c</b> charm	171.2 GeV +2/3 1/2 <b>t</b> top	0 0 1 <b>γ</b> photon
	4.8 MeV -1/3 1/2 <b>d</b> down	104 GeV -1/3 1/2 <b>s</b> strange	4.2 GeV -1/3 1/2 <b>b</b> bottom	0 0 1 <b>g</b> gluon
	<2.2 eV 0 1/2 <b>ν<sub>e</sub></b> neutrino électronique	<0.17 MeV 0 1/2 <b>ν<sub>μ</sub></b> neutrino muonique	<15.5 MeV 0 1/2 <b>ν<sub>τ</sub></b> neutrino tauique	91.2 GeV 0 1 <b>Z<sup>0</sup></b> boson Z
LEPTONS	511 KeV -1 1/2 <b>e</b> électron	105.7 MeV -1 1/2 <b>μ</b> muon	1.777 GeV -1 1/2 <b>τ</b> tau	80.4 GeV ±1 1 <b>W<sup>±</sup></b> bosons W
				125 GeV 0 0 <b>H</b> boson H

BOSONS DE JAUGE

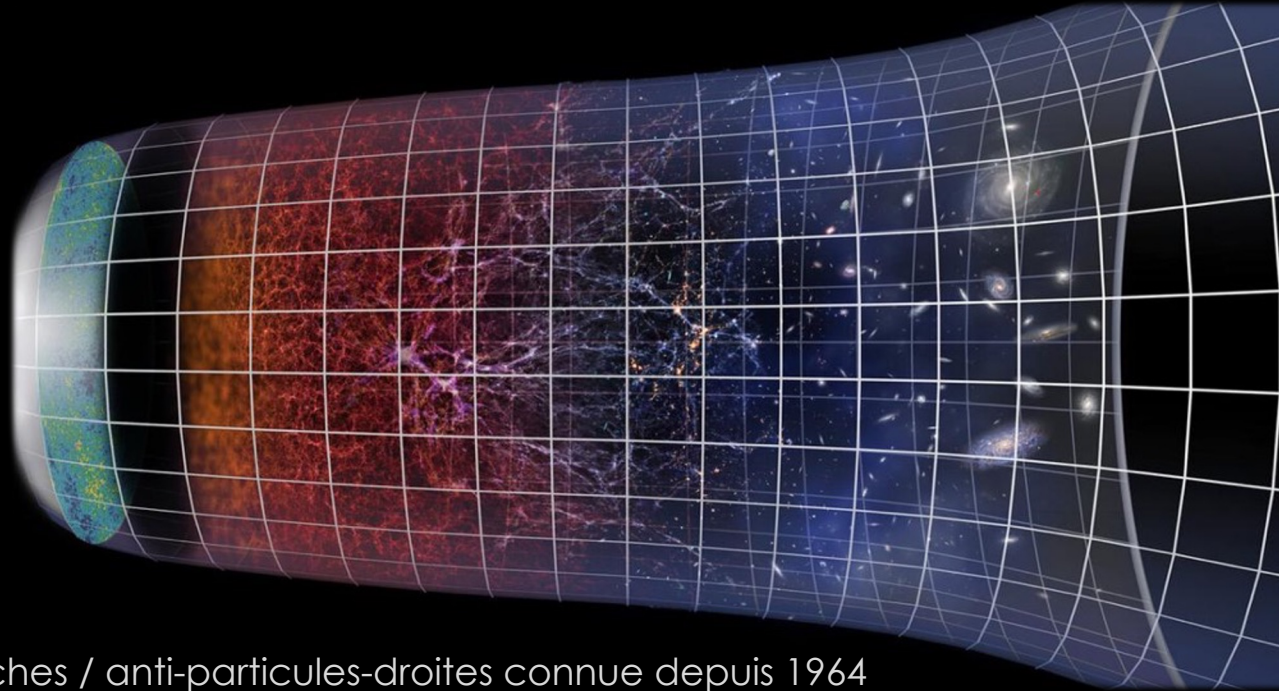
nom  
spin  
charge électrique  
masse  
symbole

=> Symétries sous-jacente quantiques



# Symétrie gauche-droite, la gardienne de l'univers?

BIG BANG  
Symétrique particules  
/ anti-particules

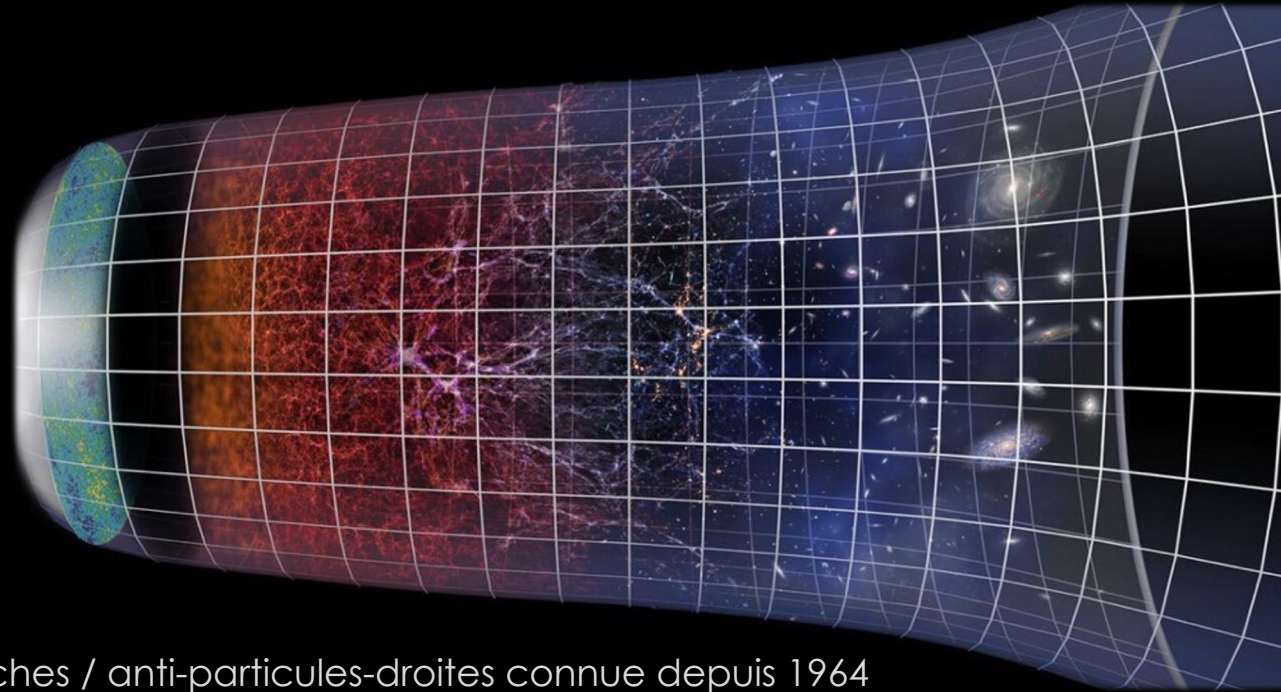


Univers de matière !

Asymétrie particules-gauches / anti-particules-droites connue depuis 1964  
Confirmé (2008) avec les particules de **beauté B** ... mais insuffisante !

# Symétrie gauche-droite, la gardienne de l'univers?

BIG BANG  
Symétrique particules  
/ anti-particules



Univers de matière !

Asymétrie particules-gauches / anti-particules-droites connue depuis 1964  
Confirmé (2008) avec les particules de **beauté B** ... mais insuffisante !

Une asymétrie gauche/droite également observée (1956)

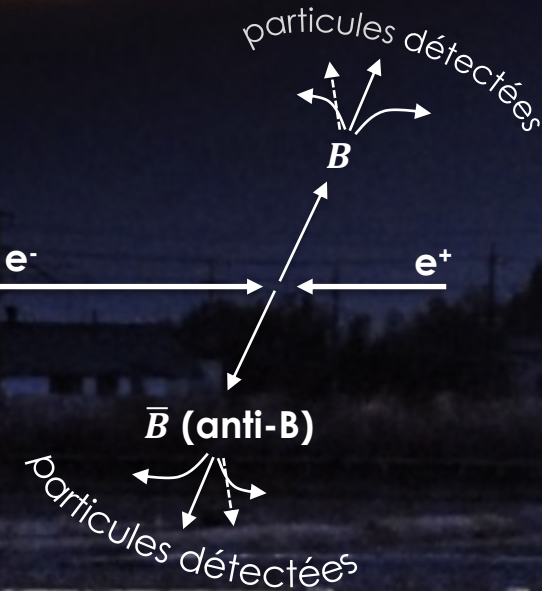
Cette asymétrie est-elle fondamentale, si oui pourquoi ?

Si non, possible restauration symétrie gauche-droite avec une **nouvelle** physique ?



# Belle II: the place to be!

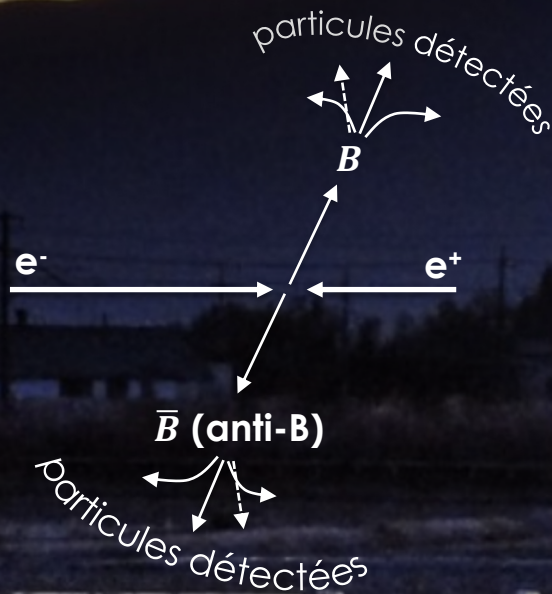
- Etat final simple et intriqué
  - idéal pour identifier états finals complexes
- => recherche manifestation symétrie Gauche-Droite





# Belle II: the place to be!

- Etat final simple et intriqué
  - idéal pour identifier états finals complexes
- => recherche manifestation symétrie Gauche-Droite



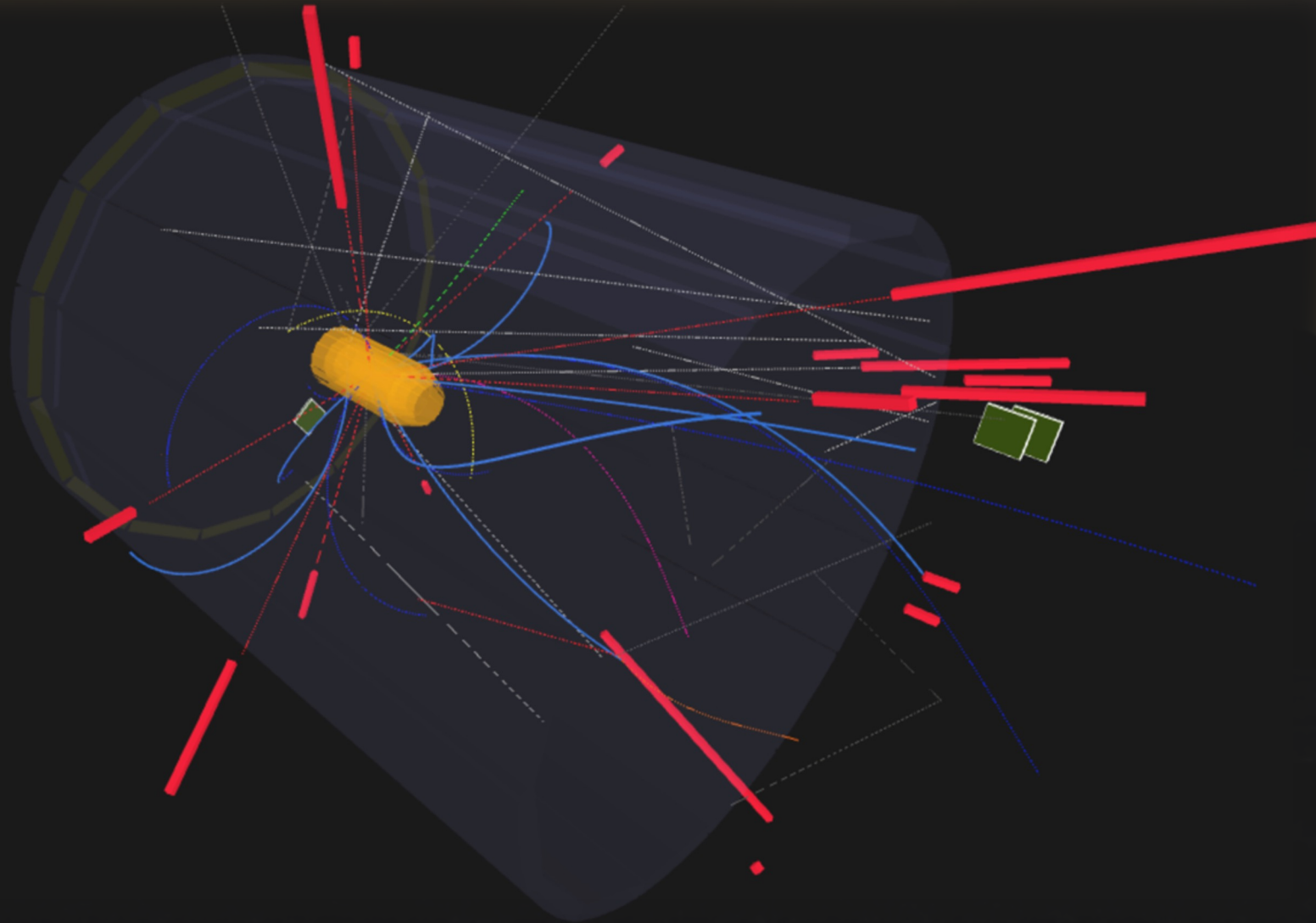
## Condition du succès pour SuperKEKB

luminosité extrême => 50 milliards de paires  $B\bar{B}$  attendues  
aujourd'hui : 600 millions accumulés





# Belle II: the place to be!



# Symétrie Gauche-Droite pour $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \gamma$ ?



## Nombreuses étapes

Reem Rasheed thèse 2017-20

Sviatoslav Bilokin postdoc 2017-2019

Tristan Fillingier thèse 2019-22

Varghese Babu postdoc 2021-23

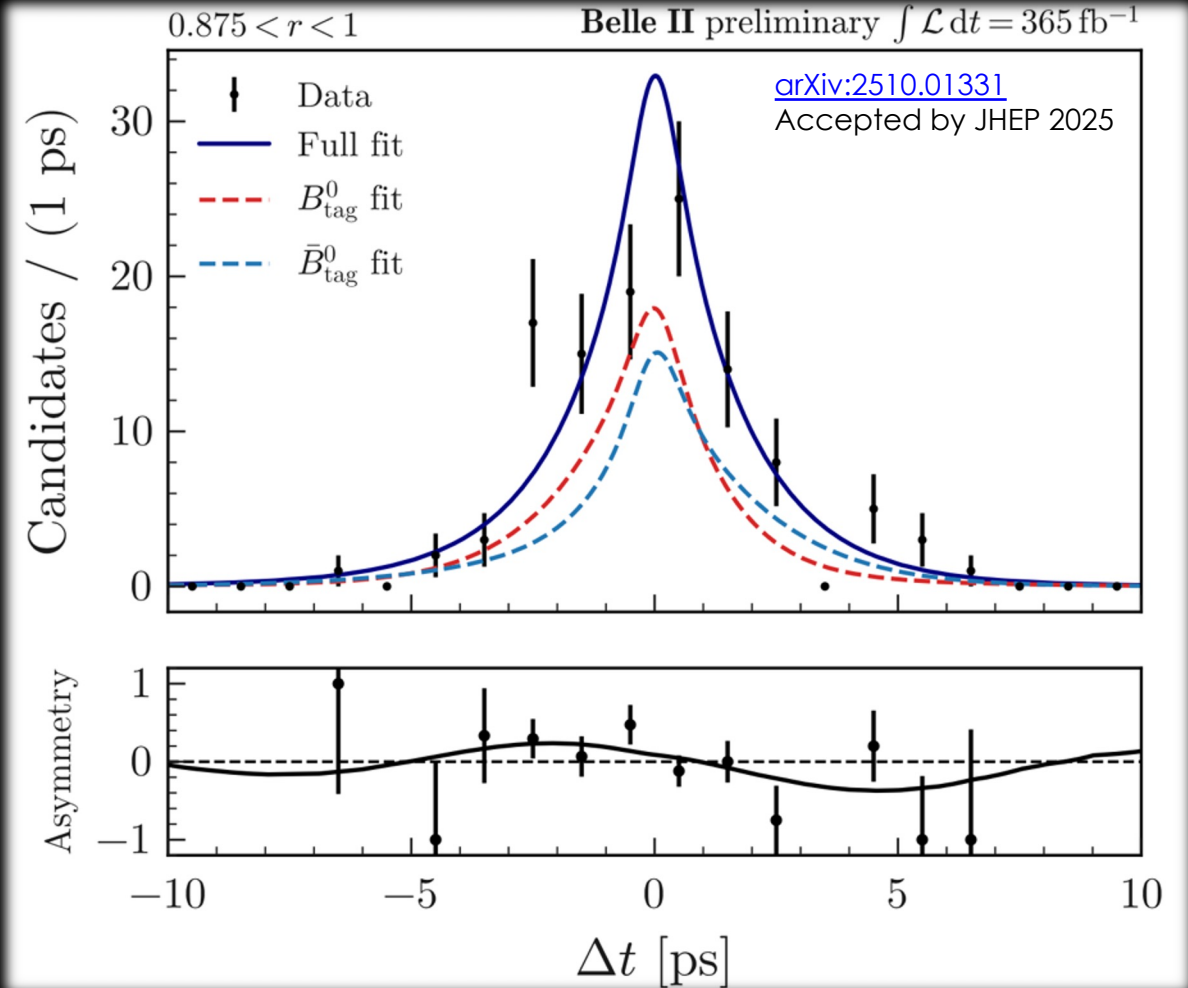
Petros Stavroulakis thèse 2022-25

Pere Gironella postdoc 2023-25

## Résultat publié ... avant-hier !

Asymétrie  $B\bar{B}$  non nulle  $\Rightarrow$  symétrie Gauche-Droite

$\Rightarrow -0.29 \pm 0.11 \pm 0.05$  compatible avec 0





# Symétrie Gauche-Droite pour $B^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \gamma$ ?



## Nombreuses étapes

Reem Rasheed thèse 2017-20

Sviatoslav Bilokin postdoc 2017-2019

Tristan Fillinger thèse 2019-22

Varghese Babu postdoc 2021-23

Petros Stavroulakis thèse 2022-25

Pere Gironella postdoc 2023-25

## Résultat publié ... avant-hier !

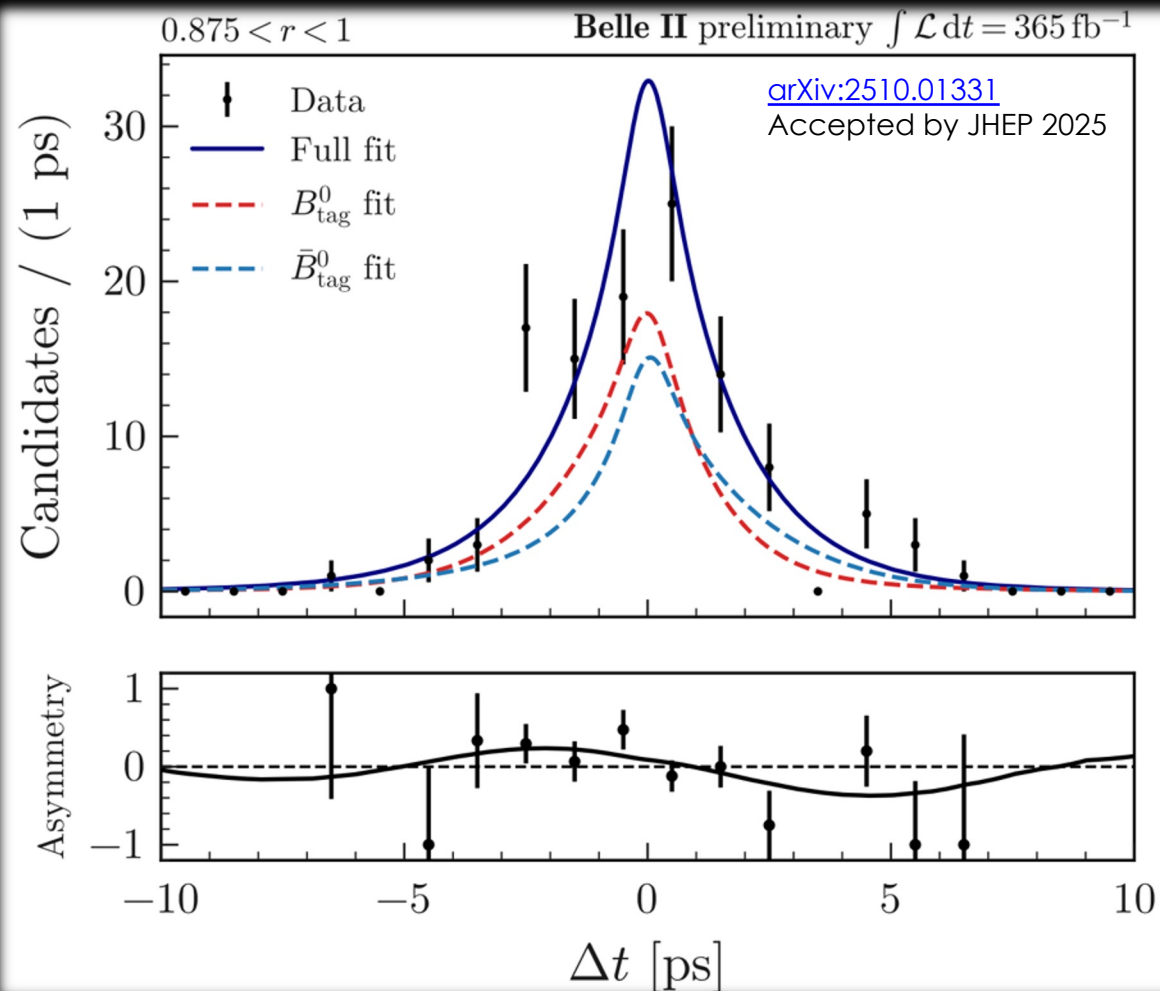
Asymétrie  $B\bar{B}$  non nulle  $\Rightarrow$  symétrie Gauche-Droite

$\Rightarrow -0.29 \pm 0.11 \pm 0.05$  compatible avec 0

## Perspective: contraindre nouvelles théories

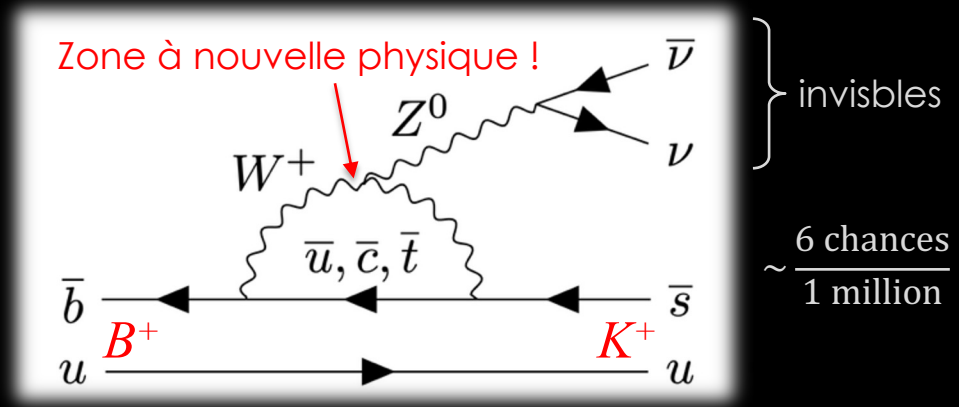
Compréhension fine transitions  $B^0 \rightarrow K^* \gamma \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^- \gamma$

Thèses Mattéo Maushart & Sahil Saha, 2024-



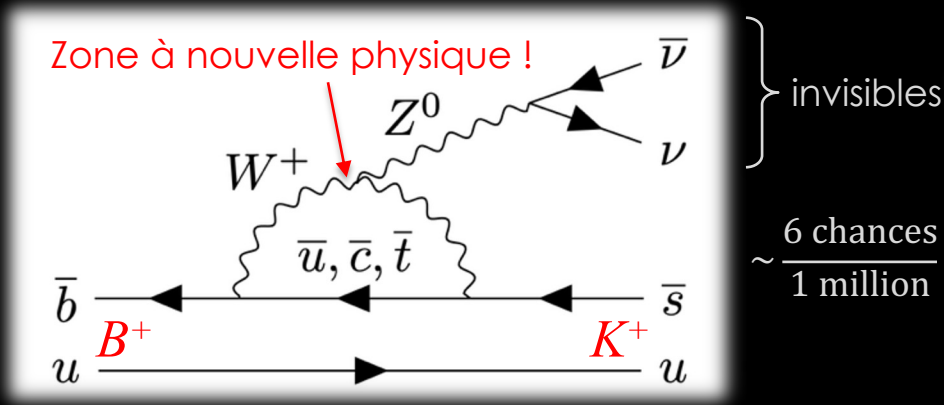
# Une famille bien étrange

## Une transition très rare & fantomatique



# Une famille bien étrange

## Une transition très rare & fantomatique

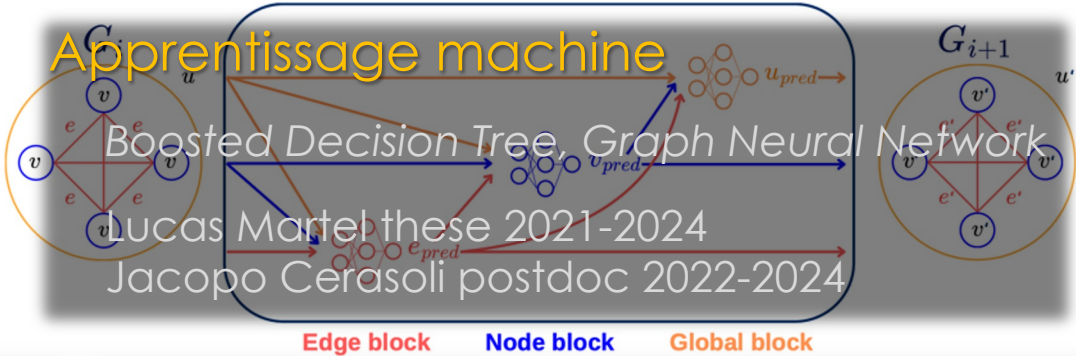


PHYSICAL REVIEW D **109**, 112006 (2024)

**Evidence for  $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$  decays**

Résultat  
inattendu !

Observé à 3.5 écart standard  
2.7 écarts standards / probabilité attendue  
=> 199 citations



## Perspective de découverte

Diversification états finals  $K^{(*)}$

Thèses Corentin Santos 2023-  
Merna Abumusabh 2024-



# La prise de données au Japon

## Détecteur silicium

- Contrôle en ligne ~ milliers de paramètres  
Développeurs: Christian Bonin, Christian Finck, Jean-Sébastien Pelle  
Shifteurs: Giulio Dujany, Isabelle Ripp
- Calibrage  
Giulio Dujany
- Experts sur place  
Christian Finck, Jérôme Baudot

## Production des données de l'expérience

- Supervision pour tout Belle II  
Giulio Dujany, Pere Gironella,  
Merna Abumusabh, Sahil Saha
- Contribution de la plateforme SCIGNE  
Jérôme Pansanel, Isabelle Ripp

# Les multiples vies d'une expérience

## 2032: arrêt pour upgrade SuperKEKB

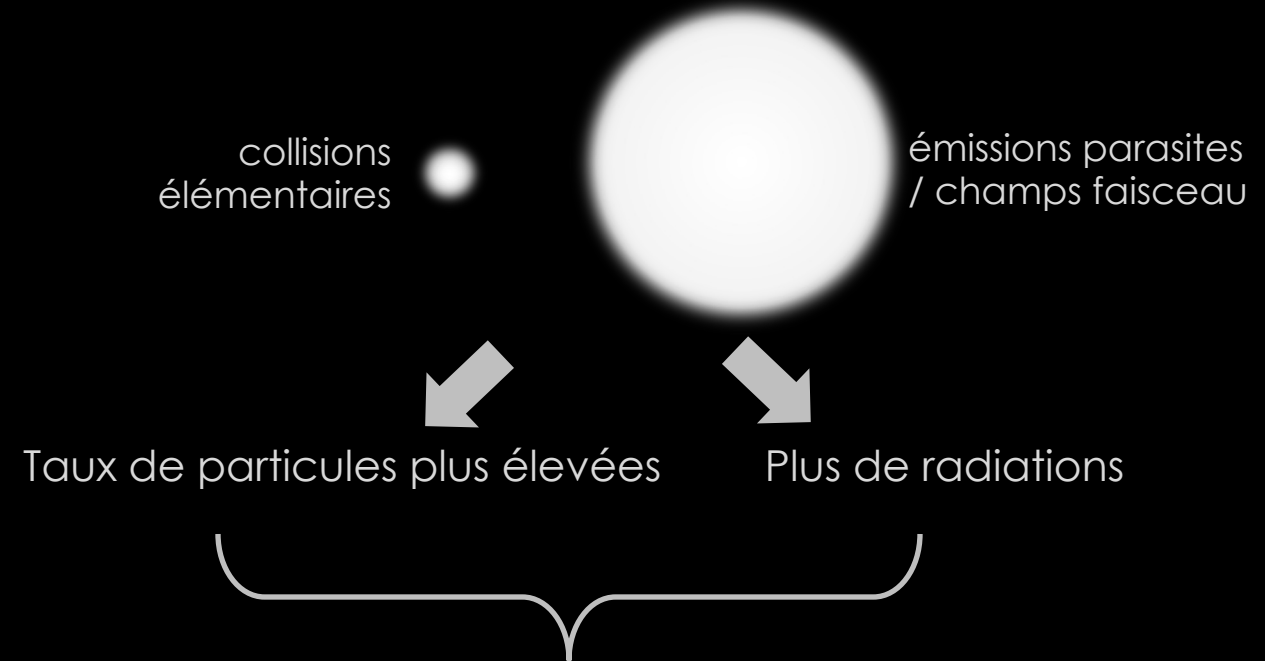
Pour 50 milliards  $B\bar{B}$   $\Rightarrow$  Luminosité  $6 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
10x fois plus que HL-LHC

Nouveaux aimants  $\Rightarrow$  hauteur faisceau  $\sim 60 \text{ nm}$



Installation aimant existant dans Belle II, 2019

## Une luminosité aveuglante ?



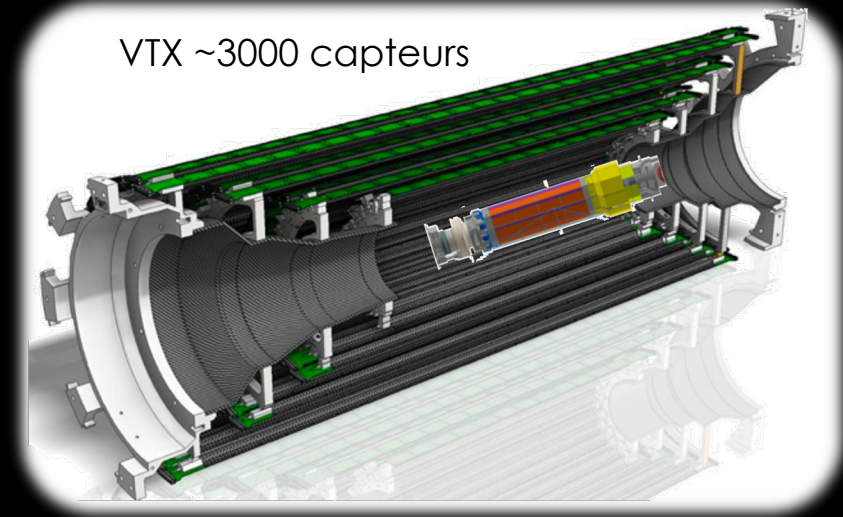
Nouvelles couches de detection au Coeur de Belle II

*situation similaire au futur collisionneur circulaire  
FCCee du CERN*



# Le projet VTX

Proposé et piloté par l'IPHC, grâce à la technologie du C4Pi  
21 laboratoires sur 8 pays





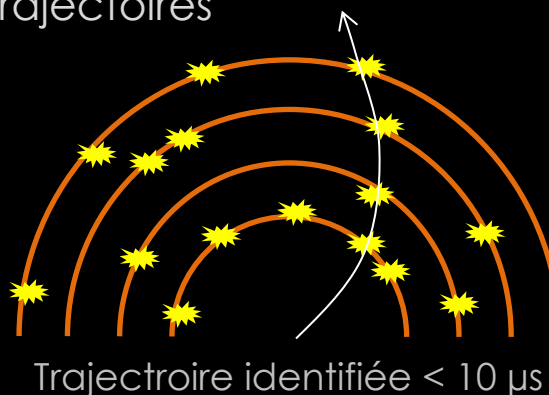
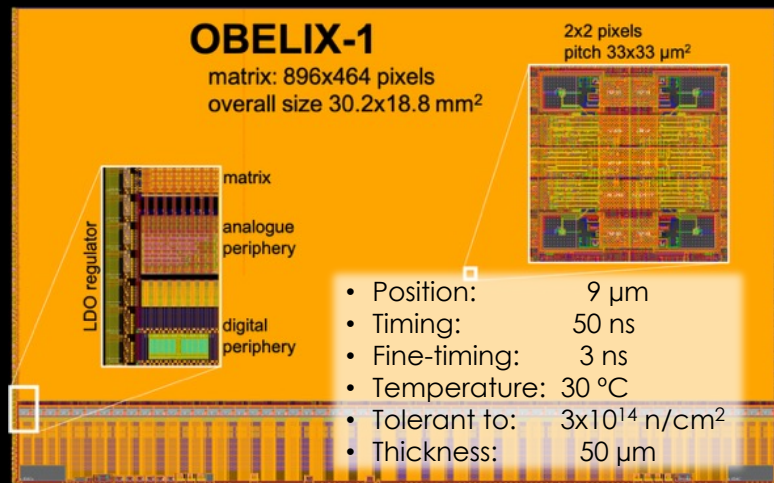
# Le projet VTX

Proposé et piloté par l'IPHC, grâce à la technologie du C4Pi

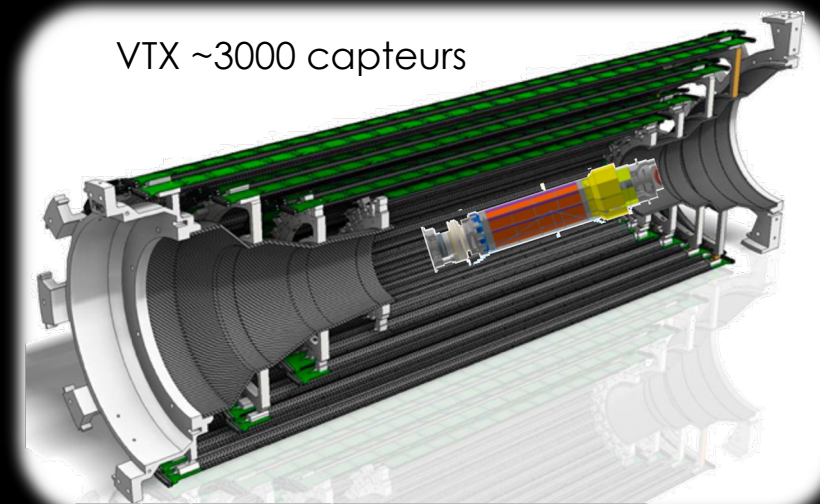
21 laboratoires sur 8 pays

## OBELIX: 1 capteur CMOS et 4 défis

- **Rapide:** 120 millions particules/seconde
- **Intelligent:** reconnaissance en ligne des trajectoires
- **Radio-tolerant** à température ambiante
- **Léger:** 116 g de silicium sur 1 m<sup>2</sup>



*Gregory Bertolone, Andrei Dorokhov,  
Luca Federici, Fadoua Guezzi-Messaoud,  
Kader Himmi, Hung Pham,  
Elio Sacchetti, Rachid Sefri, Isabelle Valin*



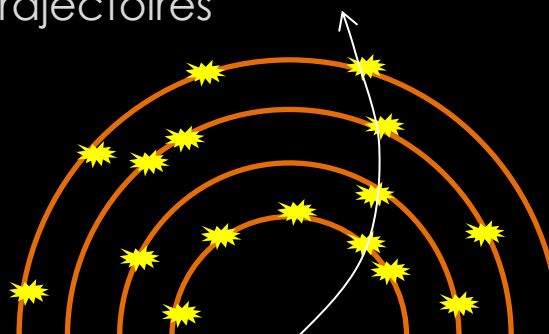
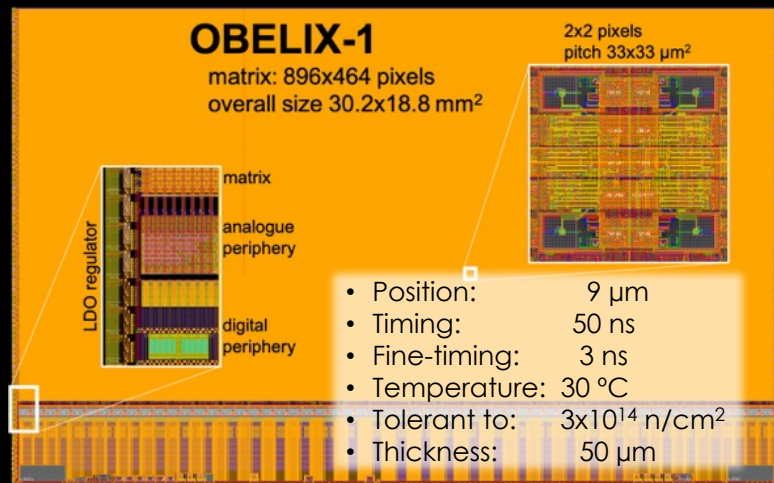
# Le projet VTX

Proposé et piloté par l'IPHC, grâce à la technologie du C4Pi

21 laboratoires sur 8 pays

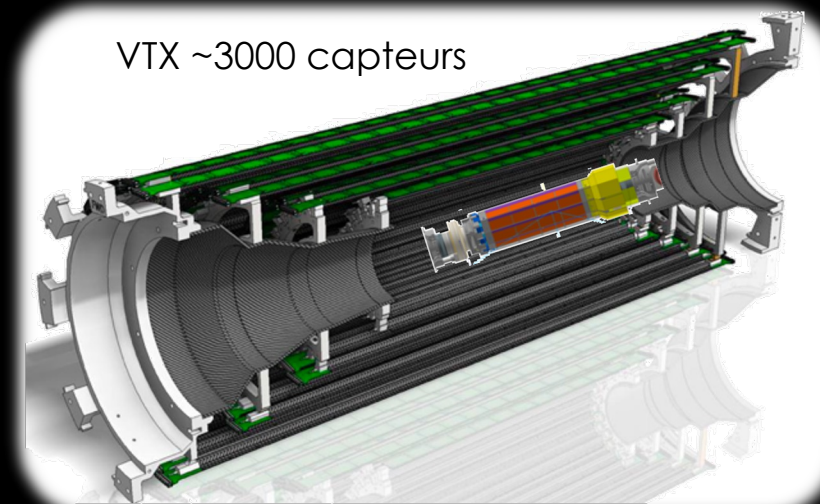
## OBELIX: 1 capteur CMOS et 4 défis

- **Rapide:** 120 millions particules/seconde
- **Intelligent:** reconnaissance en ligne des trajectoires
- **Radio-tolerant** à température ambiante
- **Léger:** 116 g de silicium sur 1 m<sup>2</sup>



Trajectoire identifiée < 10 μs

Gregory Bertolone, Andrei Dorokhov,  
Luca Federici, Fadoua Guezzi-Messaoud,  
Kader Himmi, Hung Pham,  
Elio Sacchetti, Rachid Sefri, Isabelle Valin



### => Multi-activités @ IPHC

Conception microélectronique  
Validation sous-pointe  
Irradiation à CYRCé  
Caractérisation détecteur  
Assemblage de précision  
Installation au Japon



# Groupe Belle II de l'IPHC

- Analyses de physique
- Opération du détecteur
- R&D instrumentation avec C4Pi
- Bientôt construction d'un nouveau détecteur

**MERCI pour le support /**

- Voyages au Japon
- Informatique
- Achats
- Demandes stagiaires
- Demandes FSD



# The Belle II collaboration, $O(1000)$ people

