

# Proposition de rejoindre la collaboration Belle II

Philip Bambade, Jerome Baudot, Sviatoslav Bilokin, Leonid Burmistrov,  
Daniel Cuesta, François Le Diberder, Emi Kou, Isabelle Ripp-Baudot

Conseil Scientifique de l'IN2P3  
Juin 2017

# Contents

<b>1</b>	<b>Résumé</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Enjeux scientifiques</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Projet</b>	<b>5</b>
3.1	Sujet d'analyse commun . . . . .	5
3.2	Sujet d'analyse LAL : $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$ . . . . .	6
3.3	Sujet d'analyse IPHC : $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^- \gamma$ . . . . .	7
3.4	Synergies . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Genèse et calendrier</b>	<b>7</b>
4.1	Genèse . . . . .	7
4.2	Visite en France du management de Belle II . . . . .	8
4.3	Calendrier . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Etat de l'art</b>	<b>10</b>
5.1	Contexte expérimental . . . . .	10
5.2	Contexte théorique . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Ressources et moyens</b>	<b>12</b>
6.1	Thèses . . . . .	12
6.2	Services Techniques . . . . .	12
6.3	Ressources financières . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Réalisations techniques</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Auto-analyse SWOT</b>	<b>14</b>
8.1	Forces . . . . .	14
8.2	Faiblesses . . . . .	14
8.3	Opportunités . . . . .	14
8.4	Risques . . . . .	15
<b>9</b>	<b>Annexes</b>	<b>15</b>
9.1	B2TiP . . . . .	15
9.2	Etude du bruit de fond induit par le collisionneur . . . . .	16
9.3	SuperKEKB . . . . .	17

# 1 Résumé

Des membres de deux laboratoires de l'IN2P3, le LAL et l'IPHC, proposent de rejoindre la collaboration Belle II, à KeK, qui prendra prochainement des données auprès de la super B Factory SuperKEKB.

L'IN2P3 contribue déjà au projet SuperKEKB à travers BEAST (cf. annexe (9.2)), dont le but est d'étudier le bruit de fond généré par le collisionneur au point d'interaction, ainsi que la mise en œuvre d'un luminomètre (cf. annexe (9.3)). Ces deux activités arriveront à leur terme à la fin 2018, quand commencera la campagne de prise de données. La proposition présentée au Conseil Scientifique de l'IN2P3 est d'une nature différente : elle vise une contribution au projet Belle II, sur le long terme.

L'objectif de Belle II est d'accumuler  $50 \text{ ab}^{-1}$ , sur une période d'une dizaine d'années. La proposition est de rejoindre la collaboration pour l'ensemble de la durée du projet. La participation à Belle II sera avant tout axée sur l'analyse des données, mais elle comprendra aussi une contribution à la mise en œuvre du détecteur (commissioning) ainsi qu'aux études et développements de logiciels nécessaires, notamment pour l'identification des particules (PID) et la reconstruction des traces (tracking). A plus long terme, une participation à un upgrade du détecteur, s'il s'avère nécessaire, serait naturelle et souhaitée.

Le programme de physique de Belle II est vaste : il comprend la physique du quark  $b$ , du quark  $c$ , du lepton  $\tau$  et la physique hadronique. Quoique tous ces aspects présentent un fort intérêt, la taille modeste du groupe LAL-IPHC impose un choix précis du sujet d'analyse, du moins dans la phase initiale considérée ici.

Le choix du sujet d'analyse porte sur la recherche de signal de nouvelle physique dans la désintégration  $B \rightarrow K\pi\pi\gamma$ . Dans le cadre du Modèle Standard, du fait de la structure  $V - A$  de  $SU(2)_L$ , le photon produit est très fortement polarisé : il l'est totalement dans la limite  $m_s/m_b \rightarrow 0$ . Une mesure de la polarisation du photon peut être obtenue via la désintégration en trois corps du système hadronique. Deux approches seront suivies.

La première, à l'IPHC, utilisera la violation de CP qui, dans le cadre du Modèle Standard, est fortement supprimée dans les désintégrations  $B^0/\overline{B}^0 \rightarrow K_s^0\pi^-\pi^-\gamma$ , puisque les photons produits ont des polarisations opposées. L'observation de violation de CP indiquerait l'intervention d'un couplage non  $V - A$ .

La seconde, au LAL, utilisera les désintégrations de B chargés, comme par exemple  $B^+ \rightarrow K^+\pi^-\pi^-\gamma$ , pour extraire une mesure de la polarisation du système hadronique (et donc du photon) via la distribution des mésons de l'état final dans un espace de phase à 5 dimensions. La description théorique de cette désintégration est un sujet développé par différents groupes de théoriciens, notamment à Orsay (LAL et LPT)[1] : elle fait partie intégrante de la proposition présentée ici.

## 2 Enjeux scientifiques

Les enjeux scientifiques de Belle II, multiples<sup>1</sup>, s’inscrivent dans le prolongement de ceux des détecteurs BaBar (SLAC) et Belle (KEK) qui ont pris des données pendant une dizaine d’années auprès des usines à B, PeP-II et KEKB : la physique du quark  $b$  (violation de CP, désintégrations rares, etc.), du quark  $c$  (oscillations, etc.), du lepton  $\tau$  (fonctions spectrales, etc.) et la physique hadronique (états exotiques, ISR-fonctions spectrales, etc.). La principale différence entre Belle II et BaBar/Belle tient au collisionneur SuperKEKB : une super B factory, qui entend délivrer 50 fois plus de données que KEKB, pour une même durée.

Depuis le démarrage du LHC, la physique du B est dominée par l’expérience LHCb, quoique la production scientifique de BaBar et Belle continue activement. La collaboration LHCb a mené à bien de très nombreuses analyses et a d’ores et déjà permis de très fortes avancées dans le domaine : oscillation des mésons  $B_s$ , observation des désintégrations  $B_{s/d} \rightarrow \mu^+ \mu^-$ , (non)violation de CP dans le secteur des mésons  $D$ , études des transitions  $b \rightarrow s\gamma$ , etc. Après le Run-II du LHC, fin 2018 et le Long Shut Down LS2, LHCb continuera sa prise de données pour de nombreuses années encore. Il ne fait aucun doute que la moisson scientifique de la collaboration sera remarquable.

Cela étant, nonobstant les remarquables développements des physiciens, tant pour le détecteur que pour les techniques d’analyses, le domaine accessible sur une machine à protons ne recouvre pas celui accessible sur une machine à électrons, notamment pour les états finals mettant en jeu des photons. D’une manière générale mais schématique, LHCb bénéficie d’une très grande section efficace, mais est limité par un environnement difficile, alors que Belle II bénéficie d’événements d’une très grande pureté, au prix d’une section efficace nettement plus faible. De plus, la faible section efficace sur la résonance  $\Upsilon(5S)$  combinée aux limitations en énergie/luminosité de la machine fait que Belle II n’a essentiellement pas accès aux mésons  $B_s$ .

Les deux expériences partagent le même objectif scientifique, mais une grande partie du programme des mesures est spécifique à l’une ou à l’autre : elles présentent donc une forte complémentarité. Ainsi, dans Belle II, l’état initial est très bien défini tout comme l’état final. S’il s’agit d’une paire de mésons B, il est possible de reconstruire complètement l’un des deux mésons et de mesurer d’une manière non biaisée les modes de désintégration de l’autre. En particulier, la recherche de la désintégration  $B^0 \rightarrow K^{(*)} \nu \bar{\nu}$  devient envisageable, avec la luminosité attendue pour Belle II, de même qu’une analyse inclusive des désintégrations  $b \rightarrow sl^+ l^-$ , alors qu’elles sont hors de portée de LHCb. Cette complémentarité multiforme contribue à enrichir d’une part le potentiel de mise en évidence de processus non-standard et d’autre part les contraintes sur les théories cherchant à dépasser le Modèle Standard.

Il est également vrai qu’une partie appréciable des mesures est commune à ces deux

---

<sup>1</sup>Le Physics Case complet de Belle II a été revu récemment dans le cadre du projet B2TiP (cf. annexe (9.1)), lequel a été proposé à la collaboration Belle II par l’un des signataires de la présente proposition (E.K.) qui en est le co-coordonateur avec l’Analysis Coordinator de Belle II.

expériences. Cette redondance représente une richesse tout autant que la complémentarité car, les environnements étant complètement différents, les limitations systématiques le sont aussi. Si un signal de nouvelle physique dans le domaine commun est observé par l’une des deux expériences, l’autre pourra le confirmer (infirmer) d’une manière convaincante. D’une manière générale, les mesures de grande précision nécessitent au moins une confirmation indépendante, comme l’avait si bien illustré les mesures de précision réalisées à LEP/SLC, avec l’implication de 5 expériences. Par exemple, la détermination des angles  $\alpha$  et  $\gamma$  du triangle d’unitarité est dominée à ce jour par LHCb, mais elle sera dominée par Belle II vers la fin 2020, puis recevra des contributions similaires des deux expériences à partir de 2022. Par contre, la mesure de l’angle  $\beta$  qui reçoit maintenant des contributions voisines de BaBar, Belle et LHCb, sera dominée très largement par Belle II dès fin 2019.

### 3 Projet

Notre projet propose à l’IN2P3 de rejoindre la collaboration Belle II en juin 2017, à travers l’implication du LAL et de l’IPHC.

Le multi-détecteur Belle II est en cours d’assemblage, il a été installé sur la ligne des faisceaux en avril 2017, sauf pour sa partie interne (le détecteur de vertex) qui sera insérée en 2018. Les travaux de R&D instrumentales et de production des sous-détecteurs ont donc déjà été réalisés. Il reste cependant des possibilités de contributions qui sont en cours d’évaluation.

De ce fait, la contribution à la collaboration Belle II concernera avant tout l’analyse des données. Les groupes du LAL et de l’IPHC étant de tailles modestes, les équipes des deux laboratoires souhaitent travailler de concert sur un sujet d’analyse commun, centré sur la recherche d’un signal de nouvelle physique, c’est-à-dire au cœur du programme scientifique de Belle II.

#### 3.1 Sujet d’analyse commun

Le sujet d’analyse retenu est l’étude de la transition  $b \rightarrow s\gamma$  dans sa manifestation  $B \rightarrow K_{\text{res}}\gamma$ , où  $K_{\text{res}}$  est un état résonant contenant un quark  $s$ . L’objectif est de mesurer la polarisation du photon  $\gamma$  dans le but de rechercher un signal de nouvelle physique. En effet, dans le cadre du Modèle Standard, le couplage V-A de  $SU(2)_L$  implique que la chiralité du quark  $s$  est gauche. Dès lors, si on néglige la masse du quark  $s$ , son hélicité est  $-1/2$ . Il s’ensuit que le photon émis doit avoir une hélicité  $-1$ : il est donc totalement polarisé et par suite  $K_{\text{res}}$  est produit avec l’hélicité opposée. Les corrections dues à la masse du quark  $s$  et aux effets QCD sont faibles, de quelques pour cents. La mesure par ce biais de la chiralité du quark  $s$  est sensible à toute nouvelle physique non dotée d’une structure V-A.

Expérimentalement, la détermination de la polarisation de  $K_{\text{res}}$  devient possible si sa désintégration implique au moins trois particules. Pour cette raison, le canal utilisé est

$K_{\text{res}} \rightarrow K\pi\pi$ , où  $K_{\text{res}}$  est un cocktail de résonances, comme  $K_1(1270)$ . Les variables cinématiques sont au nombre de 5 : les deux variables de Dalitz  $s_{K\pi}$  et  $s_{\pi\pi}$ , la masse invariante totale  $s_{K\pi\pi}$  et les deux angles définissant la direction du photon par rapport au plan des produits de désintégration  $K\pi\pi$ , dans le référentiel du centre de masse de  $K_{\text{res}}$ .

Théoriquement, la détermination de la polarisation de  $K_{\text{res}}$  n'est possible que si sa désintégration est très bien comprise. Pour cette raison, une collaboration étroite avec des théoriciens experts dans le domaine est essentielle.

Explicitement, les modes concernés sont :

$$B^0 \rightarrow K_{\text{res}}^0 \gamma \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^- \gamma \quad (1)$$

$$B^+ \rightarrow K_{\text{res}}^+ \gamma \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma \quad (2)$$

$$B^0 \rightarrow K_{\text{res}}^0 \gamma \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0 \gamma \quad (3)$$

$$B^+ \rightarrow K_{\text{res}}^+ \gamma \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^0 \gamma \quad (4)$$

Ces désintégrations radiatives présentent un paysage complexe, que nous souhaitons explorer en nous repartissant le travail entre nos deux groupes. En effet, les sujets d'analyse traités au LAL et à l'IPHC doivent être distincts - pour garantir une certaine autonomie et permettre des thèses simultanées sans conflit - mais en forte synergie, afin que les forces des deux équipes se combinent dans un groupe IN2P3 uni LAL-IPHC.

### 3.2 Sujet d'analyse LAL : $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$

Le premier canal qui sera analysé par l'équipe du LAL est :  $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$ . Le but est de déterminer la polarisation par l'analyse de la distribution des événements dans l'espace à 5-dimensions défini ci-dessus avec un modèle théorique aussi complet que possible, prenant en compte les diverses résonances  $K_{\text{res}}$  ainsi que leurs désintégrations via  $K^*$  et  $\rho$ . Cette description théorique fait intervenir divers paramètres, plus ou moins bien connus, dont certains devront être extraits des données elles-mêmes. Une analyse préliminaire a démontré que la présence de ces *paramètres de nuisance* n'affecte pas fortement la détermination de la polarisation de  $K_{\text{res}}$ , qui apparaît réalisable au niveau du pourcent avec la luminosité escomptée par Belle II. D'autre part, les désintégrations  $B \rightarrow K\pi\pi J/\psi$ , beaucoup plus abondantes, offrent la possibilité d'affiner la description théorique avec des événements de contrôle, où, qui plus est, la polarisation du  $J/\psi$  est contrainte également par sa désintégration  $J/\psi \rightarrow l^+ l^-$ .

Comme il s'agit d'une analyse de Dalitz standard, l'équipe du LAL sera en interaction forte avec les équipes de Belle II impliquées dans ce vaste secteur, plus particulièrement avec l'équipe de KEK analysant la même désintégration dans Belle II<sup>2</sup> et avec l'équipe développant les logiciels d'identification des particules  $K/\pi$  (PID).

---

<sup>2</sup>Cette équipe comprend le précédent Analysis Coordinator de Belle, puis de Belle II (K. Trabelsi) qui est un expert du sujet, étant à l'origine de l'analyse de LHCb[2].

### 3.3 Sujet d'analyse IPHC : $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^- \gamma$

Le premier canal qui sera analysé par l'équipe de l'IPHC est  $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^- \gamma$ . Le but est de sonder directement la présence de nouvelle physique en utilisant la violation de CP comme polarimètre. En effet, dans le cadre du Modèle Standard, il ne peut y avoir interférence entre les deux désintégrations  $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^- \gamma_R$  et  $\bar{B}_0 \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^- \gamma_L$  puisque la polarisation du photon rend les deux états finals distincts, dans la limite  $m_s/m_b \rightarrow 0$ . Sans interférence dans le mélange  $B^0/\bar{B}_0$  il n'y a donc pas de phénomène de violation de CP dépendant du temps. L'analyse consiste à rechercher une dépendance du taux de comptage des événements, en fonction du temps séparant les désintégrations des deux  $B^0$ . Une mise en évidence d'une violation de CP significative serait un signal de nouvelle physique. La traduction d'un tel signal en terme de polarisation du photon est possible en mettant à profit les résultats de l'analyse menée au LAL.

Comme il s'agit d'une analyse de violation de CP standard, l'équipe de l'IPHC sera en interaction forte avec les équipes de Belle II impliquées dans ce secteur essentiel, plus particulièrement avec l'équipe analysant la désintégration voisine  $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^0 \gamma$  et avec l'équipe développant les logiciels de reconstruction des vertex de désintégrations (Vertexing et plus généralement Tracking).

### 3.4 Synergies

Les synergies entre les deux analyses sont situées aux deux niveaux, théorique et expérimental.

La description théorique sous-jacente, qu'elle soit celle du Modèle Standard ou celle de la nouvelle physique, est strictement la même.

Les aspects expérimentaux présentent des points distincts - l'analyse de l'IPHC repose sur la maîtrise de l'analyse en temps et donc du vertexing et sur la reconstruction des  $K_s^0$  alors que celle du LAL repose sur une excellente séparation  $K/\pi$  - et des points communs - les deux analyses demandent d'optimiser la reconstruction du photon et de réduire les mêmes sources de bruits de fond. Dans un deuxième temps, quand nous nous tournerons vers les canaux (seulement accessibles à Belle II)  $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0 \gamma$  et  $B^+ \rightarrow K_s^0 \pi^+ \pi^0 \gamma$ , les deux équipes travailleront de concert sur la reconstruction des  $\pi^0$ .

## 4 Genèse et calendrier

### 4.1 Genèse

La physique des particules sur collisionneur en France est singulière en Europe : elle n'est impliquée que sur les expériences du LHC. Pourtant, Belle II est une collaboration majeure qui rassemble 23 pays, plus de 100 institutions et environ 730 membres (380 PhD, 260 doctorants, 85 ingénieurs et techniciens) mais la France y est absente, alors qu'elle était avec l'Italie l'un des promoteurs du projet superB. La répartition par région est la suivante :

- Europe : 280 chercheurs, dont 105 en Allemagne et 75 en Italie.
- Asie : 340 chercheurs dont 160 au Japon et 3×40 en Corée, Australie et Inde.
- Amérique : 120, dont 85 aux USA et 25 au Canada.

La raison profonde de l'absence de la France tient à la décision de l'Institut de mettre une priorité absolue au renforcement des équipes des expériences du LHC. Cette priorité, quoique tout à fait justifiée, a eu pour conséquence d'assécher le réservoir de physiciens experts dans la physique du B : ils sont impliqués dans LHCb, ATLAS et CMS ou ils ont effectué une conversion thématique. Or, la physique du B est une composante importante du potentiel de découverte de signes de nouvelle physique, qui demeure la priorité de notre domaine.

Notre initiative, concrétisée par la présente proposition, consiste à ouvrir la possibilité d'une forte contribution de l'IN2P3 dans Belle II. Dans une phase initiale, le groupe français sera modeste. Il a vocation à s'étoffer pour atteindre en quelques années environ une dizaine de physiciens sur poste permanent. Le document présenté ici ne concerne que la phase initiale.

Suite à une demande faite auprès de l'IN2P3 en octobre 2016, la direction de l'Institut a décidé de soutenir l'initiative pour nous donner les moyens de construire la présente proposition et de la soumettre aux conseils scientifiques du LAL (22 mai) et de l'IPHC (8 juin), puis au conseil scientifique de l'IN2P3 (22 juin) après avoir reçu un accord de principe de la collaboration Belle II (19 juin).

## 4.2 Visite en France du management de Belle II

Fort de ce soutien, nous avons reçu une délégation de la direction de Belle II les 22 et 23 mars 2017. En sus de la direction de l'IN2P3 et de celles du LAL et de l'IPHC, étaient présents : Y. Ushiroda (Project Manager), P. Krizan (Technical coordinator), T. Hara (Computing Coordinator), T. Kuhr (Software Coordinator), F. Forti (Chair of the Executive Board), G. Moser (Chair of the Institutional Board) et K. Trabelsi (précédent Analysis Coordinator). Lors de la réunion fermée<sup>3</sup>, préparée par quelques réunions téléphoniques, nous avons discuté des contributions techniques possibles de l'IN2P3, de l'IPHC et du LAL à la collaboration, en sus de BEAST et du luminomètre de SuperKEKb.

Il convient de souligner que ces deux dernières contributions sont perçues par Belle II comme suffisantes pour permettre l'entrée de la France. Les contributions discutées sont de deux natures:

- Contributions au prorata du nombre de physiciens à l'horizon 2020 (une dizaine de permanents) donc après la phase initiale : M&O, ressources en calcul, shifts et

---

<sup>3</sup> L'après midi du 22 mars a été consacrée à une présentation de Belle II et de l'initiative auprès de la communauté française (60 participants) : <https://indico.lal.in2p3.fr/event/3432>

tâches d'intérêt général. Dans tous les cas les implications sont faibles. Par exemple, les M&O représenteront en 2019 (i.e. en opération nominale) 3 k€ par PhD<sup>4</sup> (les doctorants ne sont donc pas comptabilisés), moins d'un Peta Byte sur disque au CC-IN2P3 et des ressources en CPU mineures, comparées à celles disponibles au CC-IN2P3 et dans les Tiers-2 du LAL et de l'IPHC.

- Contributions naturelles, en tant que pays membre de la collaboration : computing, software et instrumentation ont été discutés pour ouvrir des pistes qui sont en cours d'exploration. Par exemple<sup>5</sup> :
  - à court terme : le calcul distribué de Belle II repose sur le firmware DIRAC, initialement développé pour LHCb au CPPM. Il serait possible d'inclure Belle II dans le cercle des expériences directement impliquées dans les développements de DIRAC.
  - à court et moyen terme : comme prévu dans le planning, l'installation et le commissioning de certains éléments du détecteur ne sont pas encore réalisés et bénéficieraient grandement d'une contribution de l'IN2P3. Dans cet esprit, le LAL a exprimé un fort intérêt pour incorporer l'équipe du sous-détecteur ARICH (PID à l'avant) dont l'installation se fera à la fin de l'année, et l'IPHC va explorer l'option de prolonger sa contribution à la mise en service du détecteur de vertex, à travers BEAST, par une contribution au fonctionnement de ce sous-détecteur.
  - à moyen et long terme : le système d'acquisition (DAQ) de Belle II est ancien et devra vraisemblablement être remplacé d'ici quelques années, auquel cas l'expertise au LAL serait très appréciée.
  - à long terme : le détecteur de vertex est un élément essentiel du détecteur, dont les performances dépendent fortement du taux d'impacts subit. Il est possible que la montée en luminosité après plusieurs années requiert son remplacement partiel ou complet, auquel cas l'expertise à l'IPHC serait très appréciée.

Il est ressorti de ces discussions préliminaires que Belle II est convaincue que l'entrée de l'IN2P3 dans la collaboration lui serait très bénéfique, à court, moyen et long terme, autant pour ses compétences techniques que pour son savoir faire en analyse des données : l'enthousiasme est donc partagé de part et d'autre.

### 4.3 Calendrier

Les prochaines grandes étapes de la collaboration sont :

1. septembre 2017 - fin 2017 : installation de BEAST et du luminomètre,

---

<sup>4</sup>Ce coût réduit résulte en particulier de la contribution de 50% du Japon, qui ne représente que 20% de la collaboration.

<sup>5</sup>La liste exhaustive n'est pas donnée ici, car il ne s'agit que de possibilités en cours d'évaluation.

2. février 2018 - juillet 2018 : campagne de données BEAST, sans détecteur de vertex,
3. août 2018 - fin 2018 : installation du détecteur de vertex,
4. décembre 2018 - fin 2019 : début de la prise de données avec un détecteur complet (9 mois, avec un arrêt l'été),
5. été 2021(24) : la luminosité intégrée atteint  $10 \text{ ab}^{-1}$  ( $50 \text{ ab}^{-1}$ ), du moins dans le scénario le plus optimiste illustré par la figure (1).

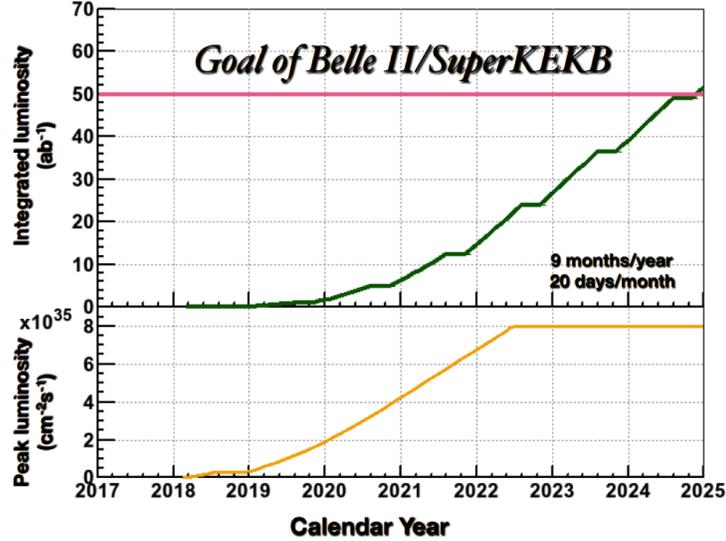


Figure 1: Scénario actuel de montée en luminosité du collisionneur SuperKEKB.

## 5 Etat de l'art

### 5.1 Contexte expérimental

La collaboration LHCb qui bénéficie d'une statistique formidable a déjà réalisé une analyse du canal  $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$  et a notamment pu établir à plus de  $5 \sigma$  que le photon est polarisé[2]. C'est une première étape, très importante car elle démontre la viabilité de l'approche, mais le chemin à parcourir pour mesurer la polarisation est encore très long : le but étant d'observer une déviation à la prédiction du Modèle Standard.

Dans une autre analyse (celle du canal  $B \rightarrow K^* e^+ e^-$  qui est sensible à la même transition  $b \rightarrow s \gamma$ ) LHCb a pu contraindre de manière plus quantitative la polarisation du photon [3] et dépasser ce faisant les contraintes précédemment établies par les analyses

de BaBar[4] et Belle[5] utilisant les canaux  $B^0 \rightarrow K_s^0 \pi^0 \gamma$ . La statistique analysée par LHCb ne représente qu'une fraction de celle déjà disponible, et donc une faible fraction de la statistique à venir. Il est certain que les contraintes futures venant de LHCb sur la nouvelle physique dans ce secteur seront bien plus fortes dans les années qui viennent.

Il est donc tout à fait possible que LHCb mette en premier en évidence de la physique au-delà du Modèle Standard dans ce secteur. Dans un tel cas, la confirmation venant de Belle II serait déterminante pour la physique des particules.

Il est tout à fait possible que Belle II mette en premier en évidence de la physique au-delà du Modèle Standard dans ce secteur. Dans un tel cas, la confirmation venant de LHCb serait déterminante pour la physique des particules.

Si l'une ou l'autre des confirmations, obtenues dans des contextes expérimentaux si différents, venait à manquer, l'observation ne saurait être convaincante. Les brèves considérations ci-dessus illustrent l'importance de la complémentarité entre Belle II et LHCb (avec son zest de compétition).

## 5.2 Contexte théorique

Comme souligné ci-dessus (cf. section (3.1)) la polarisation gauche du photon issu du processus  $b \rightarrow s\gamma$  est une propriété fondamentale du Modèle Standard : sa mesure précise en fournit un test puissant.

Il existe une forte motivation théorique pour rechercher un effet de nouvelle physique dans le processus  $b \rightarrow s\gamma$ . En effet, ce dernier provient d'un opérateur électromagnétique à 5 dimensions, contrairement à beaucoup d'observables de physique du B qui proviennent d'opérateurs à 6-dimensions. De ce fait, dans le processus  $b \rightarrow s\gamma$ , certaines contributions de nouvelle physique sont amplifiées de manière spécifiques et notre étude est sensible à ces effets.

La caractère V-A du Modèle Standard a été imposé par l'absence d'interaction des neutrinos droits. Ainsi, notre cible de nouvelle physique, qui induit un composante de polarisation droite au photon, a une forte connexion à la physique des neutrinos. De fait, les modèles de nouvelle physique qui prédisent une composante droite au photon - par exemple le modèle symétrique gauche-droite ou le modèle SUSY-GUT - ont été motivés par la physique des neutrinos (voir [1]). La nouvelle particule qui induit une composante droite au photon est par exemple le partenaire du  $W$ , polarisé à droite, le  $W'$ . Une telle particule est recherchée dans les expériences ATLAS et CMS, dans une approche plutôt générique où le couplage de saveur est souvent supposé identique à celui du Modèle Standard. La mesure de la polarisation du photon proposée fournira des informations complémentaires sur le  $W'$ , notamment quant à son couplage à la saveur.

Le couplage qui induit le photon polarisé à droite (souvent noté  $C'_7$ ) est en général un nombre complexe. La mesure de LHCb de la polarisation du photon via  $B \rightarrow K^* e^+ e^-$  peut déterminer à la fois les parties réelle et imaginaire de ce couplage. Dans le cas de Belle II, la combinaison de l'analyse angulaire (LAL) et de l'analyse d'asymétrie CP (IPHC) est

nécessaire pour déterminer ces deux paramètres.

L'idée originale de mesurer la polarisation du photon via la désintégration  $B \rightarrow K_{\text{res}}\gamma$  est due à Gronau et al. [6]. Lorsque l'expérience Belle a observé un rapport de branchement pour  $K_{\text{res}} = K_1(1270)$  assez important (la moyenne mondiale est  $2.76(22) \cdot 10^{-5}$ ) cette méthode a commencé à devenir vraiment intéressante. Par la suite, il y a eu plusieurs idées supplémentaires pour améliorer la sensibilité de la mesure [1]. Plus récemment, nous avons constaté que la sensibilité peut être encore améliorée en déterminant des paramètres hadroniques simultanément.

Le code de simulation Monte Carlo a été présenté dans [1]. Le travail restant pour compléter la description théorique est: i) inclure les contributions de résonance supérieures, à savoir les états  $J^P = 2^+$  et  $J^P = 1^-$ , ii) inclure les états finals conjugués par CP ( $B^-$  et  $\bar{B}^0$ ). Les expressions théoriques pour ces contributions sont déjà à portée de main, mais il nous reste à les valider puis à les intégrer dans le code de simulation. Il est également important d'examiner certains problèmes hadroniques. Notamment, nous devons tester soigneusement la dépendance du modèle dans la contribution de l'onde partielle  $s$  dans  $K - \pi$ , ainsi que le comportement non standard de la largeur du  $K_1(1270)$ .

## 6 Ressources et moyens

En termes de FTE les contributions des membres du groupe sont indiquées dans la table (1) dans la phase initiale des trois prochaines années 2017-2018-2019. Les personnes impliquées dans le MDI (Machine Detector Interface) que ce soit dans BEAST ou auprès de SuperKEKB sont identifiées dans la dernière colonne : il n'y a pas de double comptage, c'est-à-dire que les contributions en FTE indiquées sont celles dans Belle II, pas dans le MDI. Il est espéré qu'un second postdoc sera attribué au groupe, cette fois au LAL, en 2018. Pour les enseignants-chercheurs, par défaut, 50% de FTE sont attribués à l'enseignement : quand une valeur dépasse 50% cela suppose qu'une délégation au CNRS a pu être obtenue.

Au delà de la phase initiale, la fraction de recherche de chaque membre sera essentiellement consacrée à Belle II.

### 6.1 Thèses

L'intention est d'avoir en permanence, au minimum, une thèse en cours à l'IPHC et une autre au LAL. A l'IPHC, une première thèse est en cours sur BEAST qui aura aussi une composante sur Belle II. A l'IPHC et au LAL, des candidats sont identifiés pour des thèses débutant à l'automne 2017, mais il reste à trouver les financements.

### 6.2 Services Techniques

Plusieurs contributions des services techniques sont envisagées, (cf. section (4)) mais non encore arrêtées. L'ordre de grandeur du besoin en ressources humaines est de  $2 \times 2$

Nom	statut	Lab.	%FTE (2017/18/19)	k€ M&O (2017/18/19)	MDI
Ph. Bambade	DR	LAL	15/20/35	0/2.7/3.1	SuperKEKB
J. Baudot	Pr	IPHC	10/15/35	0/2.7/3.1	BEAST
S. Bilokin	postD.	IPHC	30/99/70	0/2.7/3.1	-
L. Burmistrov	IR	LAL	60/90/90	0/2.7/3.1	-
D. Cuesta	Doc.	IPHC	20/20/40	-	BEAST
F. Le Diberder	Pr	LAL	40/70/95	0/2.7/3.1	-
E. Kou	DR	LAL	50/50/50	-	-
I. Ripp-Baudot	DR	IPHC	10/50/90	0/2.7/3.1	BEAST

Table 1: Membres du groupe Belle II LAL-IPHC.

ingénieurs du service informatique de l’IPHC et du LAL et 2 ingénieurs du service électronique du LAL (dans tous les cas il s’agit de temps partiel).

### 6.3 Ressources financières

Les ressources financières nécessaires sont modestes. Elles sont résumés dans la table (2). Il s’agit de couvrir de 2 à 3 séjours à KEK par an et par personne, à l’occasion des réunions de collaboration et pour prendre des shifts. Là aussi il n’y a pas de double comptage : le financement des personnes impliquées dans le MDI est déjà couvert par ailleurs, pendant l’essentiel de la phase initiale.

Certains coûts ne sont pas indiqués dans la table (2) :

- si des services techniques s’engagent dans la collaboration, il faudra prévoir un soutien financier correspondant.
- la seule implication ferme des services techniques est celle du LAL pour l’installation, le commissioning et l’exploitation de ARICH. Cela suppose que des moyens financiers soient dégagés pour permettre un séjour de longue durée de l’ingénieur concerné, qui, lui, contribuera à plein temps.
- les délégations des enseignants-chercheurs (2 à 3 ans).
- les deux équipent souhaitent pouvoir se rencontrer fréquemment soit à Strasbourg soit à Orsay.
- les besoins en calculs (laptops) et plus généralement l’environnement de recherche.

Nature	2017	2018	2019
Missions	30	60	90
M&O	0	15	20

Table 2: Estimation des coûts approximatifs en k€ de la phase initiale du projet Belle-II. En 2017 et 2018 le financement des projets BEAST et SuperKEKB couvre les besoins en missions des physiciens concernés qui ne sont donc pas pris en compte ici, pour éviter un double comptage.

## 7 Réalisations techniques

Comme mentionné dans la section (4) des réalisations techniques sont possibles, mais il est prématuré de chercher à les préciser à ce jour. Dans tous les cas, les implications sur Belle II en personnel technique seront ajustées aux possibilités et aux intérêts du LAL et de l'IPHC : il n'y a pas d'exigences de la part de Belle II.

## 8 Auto-analyse SWOT

### 8.1 Forces

Les deux équipes IPHC-LAL proposent une contribution cohérente à l'analyse de Belle II en complète synergie, de manière à maximiser la visibilité du groupe. Les membres du groupe ont une expertise reconnue en physique du B (expérience et théorie) et certains bénéficient déjà d'une reconnaissance de la part de la collaboration de par leurs contributions à BEAST, SuperKEKB et B2TiP. Les services techniques de l'IN2P3 (LAL, IPHC et CC-IN2P3) peuvent renforcer considérablement la collaboration Belle II.

### 8.2 Faiblesses

En terme de FTE, le groupe LAL-IPHC est modeste et il devra se renforcer rapidement. L'absence de contribution à la réalisation du détecteur lui-même n'est que partiellement compensée par les contributions à la collaboration mentionnées ci-dessus. Il est donc important que le groupe acquiert une forte visibilité.

### 8.3 Opportunités

A moyen et long terme, rejoindre Belle II offre des opportunités aux physiciens de l'IN2P3 de diversifier leurs recherche en ayant accès au programme de physique unique, complémentaire à LHCb, offert par Belle II et aux services techniques de développer de nouvelles collaborations avec le Japon, notamment avec KEK.

Plus généralement, le projet ouvre des opportunités en terme d'engagement et de présence de l'IN2P3 dans le très important programme HEP japonais actuel, en nous

plaçant en bonne position pour participer à d'autres futurs projets majeurs dans ce pays, en nous préparant aussi bien au niveau technique que scientifique, par exemple dans le contexte des futurs collisionneurs  $e^+e^-$ .

## 8.4 Risques

L'engagement pour le projet SuperKEKB/Belle II du ministère de la recherche du Japon (MEXT) et du laboratoire KEK est très fort, avec le souhait marqué que la collaboration Belle II soit une grande collaboration internationale, ce qui est le cas (le Japon ne représente qu'environ 20% de la collaboration). Il n'y a donc pas de risque sérieux en ce qui concerne le financement par le MEXT et le soutien de KEK, pour qui le projet est prioritaire pour les prochaines années. Par contre, la mise en œuvre de SuperKEKB et de Belle II commence à peine : il y a des risques technologiques associés. En cas de difficultés majeures, les risques sont :

- retard du démarrage,
- luminosité pas au rendez-vous,
- bruit de fond dû à la machine trop important.

D'autre part, l'analyse multiforme proposée est ambitieuse et originale, mais difficile. Elle vise à réaliser une mesure très précise qui demandera de maîtriser les effets systématiques expérimentaux et théoriques au niveau du pourcent. De plus, comme mentionné plus haut (cf. section (5.1)), certains des canaux considérés sont également accessibles à LHCb qui pourrait s'avérer être capable de contraindre la nouvelle physique avant Belle II.

## 9 Annexes

### 9.1 B2TiP

“Belle II-Theory interface Platform (B2TiP)” est un groupe de travail officiel de la collaboration Belle II créé en juin 2014. Il offre une plate-forme où les théoriciens et les expérimentateurs travaillent ensemble pour élucider les impacts potentiels du programme de Belle II. Il est composé de 9 groupes de travail (WG) qui sont coordonnés en collaboration entre les organisateurs théoriciens et expérimentateurs: WG1) Semi-leptonic and leptonic B decays, WG2) Radiative and Electroweak penguins, WG3)  $\phi_1$  and  $\phi_2$  measurements, WG4)  $\phi_3$  measurement, WG5) Charmless hadronic B decay, WG6) Charm, WG7) Quarkonium(like), WG8)  $\tau$  and low-multiplicity and EW, WG9) New Physics.

E.K. a créé l'ensemble du programme et l'a présenté en février 2014 au Belle II “executive board”, qui regroupe les représentants de tous les pays participant à la collaboration Belle II. Ayant reçu l'approbation de l'“executive board”, avec le coordinateur de physique

Belle II, P. Urquijo (Université de Melbourne), E.K. a organisé les 5 ateliers (KEK, Cracovie, Tokyo, Pittsburgh, Munich) réunissant des experts en théorie pour discuter avec les membres de Belle II. Chaque atelier a recueilli près d'une centaine de participants. Nous travaillons actuellement sur le produit final, un rapport de  $\sim 600$  pages, couvrant non seulement la physique du B, du charme et du tau, mais aussi les mesures liées à g-2, au quarkonium et aux hadrons exotiques, au Higgs léger et à la matière noire. Le rapport sera publié dans le journal PTEP vers le milieu de l'année 2017. Nous allons commencer une nouvelle série d'ateliers à partir de la mi-2017 pour mettre en œuvre les études de physique proposées par B2TiP dans l'expérience Belle II.

## 9.2 Etude du bruit de fond induit par le collisionneur

L'IPHC contribue à la caractérisation du bruit de fond induit par la haute luminosité de SuperKEKB. Ce bruit de fond impacte fortement les performances expérimentales en endommageant les détecteurs et en augmentant leur taux d'occupation à un niveau dépassant celui de la physique pour les couches les plus internes. La réussite du programme de physique de Belle II est donc assujettie à la connaissance et à la maîtrise de ce bruit de fond. Son étude est prévue durant la deuxième phase de BEAST (de février à juillet 2018), dédiée à la mise en route du mode collisionneur de SuperKEKB (la première phase de BEAST ayant consisté à faire circuler les faisceaux individuellement en 2016). A cette fin, l'IPHC a adapté un détecteur PLUME [7] conçu dans le contexte d'un détecteur de vertex pour l'ILD. Deux détecteurs PLUME ont été construits, comportant  $16 \times 10^6$  de pixels, et sont en cours d'installation dans le volume du trajectomètre interne de Belle II (lequel ne sera pas installé pour BEAST-phase 2). Le détecteur PLUME est équipé de capteurs monolithiques CMOS, conçus à l'IPHC dans le cadre du projet européen EUDET, sur ses deux faces, constituant ainsi un mini-trajectomètre à lui seul et les trajectoires des particules le traversant peuvent potentiellement être reconstruites. En plus du taux de comptage en fonction du temps et de la position spatiale, des informations plus sophistiquées seront obtenues avec les mesures de PLUME, qui permettront de distinguer le processus à l'origine du bruit de fond (particule échappée d'un faisceau ou produite par l'interaction faisceau-faisceau) et de le caractériser. Par ailleurs, l'étude complète du bruit de fond combinera les données de plusieurs détecteurs, dont quelques modules finals du trajectomètre interne de Belle II. L'objectif est de valider les simulations du bruit de fond induit par SuperKEKB à une luminosité instantanée de l'ordre de  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Cette validation permettra d'extrapoler les taux de bruit de fond observés pendant BEAST sur près de deux ordres de grandeur pour assurer la viabilité du détecteur Belle II jusqu'aux plus hautes luminosités instantanées, prévues à partir de 2022.

Cette activité a démarré en 2013 à l'IPHC, avec l'aide des services de micro-électronique et de mécanique (9 personnels techniques sont impliqués) et se terminera fin 2018-début 2019 avec la publication des résultats de l'étude.

### 9.3 SuperKEKB

La luminosité très élevée de SuperKEKB est obtenue grâce à un nouveau concept qui consiste à mettre en collision des faisceaux d'émittances ultra faibles avec un grand angle de croisement. En raccourcissant la région de collision effective des faisceaux, la section transverse du faisceau peut ainsi être fortement réduite, jusqu'à une soixantaine de nanomètres dans la dimension verticale. Les variations de la luminosité doivent constamment être mesurées dans ce schéma, afin de compenser notamment les vibrations mécaniques. Le LAL est chargé du développement d'une technique de mesure rapide de la luminosité, basée sur l'utilisation de capteurs diamant, placés à l'extérieur de la chambre à vide pour détecter les positrons et les photons diffusés à angle nul dans le processus Bhabha radiatif. Les spécifications sont une précision relative de  $10^{-3}$  en 1 ms pour la luminosité moyenne sur l'ensemble des paquets, et de  $10^{-2}$  en une seconde pour les luminosités par paquets. Les bruits de fond provenant de pertes de particules par des mécanismes non liés aux collisions, par exemple la diffusion coulombienne intra-paquet à grand transfert d'impulsion transverse (l'effet Touschek), ou les diffusions sur les molécules du gaz résiduel dans la chambre à vide, sont aussi évalués et pris en compte.

Pendant la période janvier-juin 2016 correspondant au démarrage de la Phase 1 avec des faisceaux stockés sans mise en collision, une première version du luminomètre a été mise en œuvre au KEK, consistant en deux capteurs dans l'anneau à basse énergie (LER) et deux dans l'anneau à haute énergie (HER). Ces détecteurs, respectivement placés à 11 et 30 mètres après le point de collision, étaient munis d'amplificateurs de charge à bas bruit. La synchronisation avec le faisceau a pu être vérifiée et l'analyse des taux de comptage a permis de mesurer les différents processus de bruit de fond, ainsi que de valider la simulation.

En 2017, une fenêtre d'extraction dédiée sera installée dans le LER pour amplifier le signal. Un nouveau capteur diamant aminci à 140 microns a aussi été testé avec un amplificateur de courant à large bande passante et il a été montré qu'il sera possible de séparer les pulses des paquets voisins (de 4 ns) à haute luminosité. La préparation du schéma final pour l'acquisition des données est aussi quasiment achevée. Le système sera installé à l'automne 2017 pour permettre des mesures en temps réel, intégrées sur l'ensemble des paquets, pour servir à l'asservissement de l'orbite horizontale des faisceaux au point d'interaction, et par paquets, séparément.

## References

- [1] Orsay : Phys.Rev. D83 (2011), JHEP 1208 (2012), Phys.Rev. D85 (2012), Phys.Lett. B763 (2016)  
(voir aussi la thèse associée de Andrey Tayduganov : [www.theses.fr/2011PA112195.pdf](http://www.theses.fr/2011PA112195.pdf))
- [2] LHCb: <https://arxiv.org/abs/arXiv:1402.6852>  
(voir aussi la thèse associée de Giovanni Veneziano : [http://lphe.epfl.ch/publications/theses/Thesis\\_Giovanni.pdf](http://lphe.epfl.ch/publications/theses/Thesis_Giovanni.pdf))
- [3] LHCb : <https://arxiv.org/abs/arXiv:1501.03038>
- [4] BaBar : <https://arxiv.org/abs/arXiv:0807.3103>.

- [5] Belle : [arXiv:hep-ex/0608017](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0608017).
- [6] Idée originale : Phys. Rev. Lett. 88, 051802 (2002)  
(voir aussi la mise à jour très récente <https://arxiv.org/pdf/1704.05280.pdf>)
- [7] <http://iphc.cnrs.fr/PLUME>.