# Synthèse

## Introduction

Le Modèle Standard (MS) de la physique des particules décrit les constituants fondamentaux de la matière (Fig. 1.) Il permet d'expliquer les résultats d'un grand



Figure 1: Des particules fondamentales du MS, rangés selon la generation et leur masse. Le boson de Higgs, recemment observé mais dont la caractère standard n'est pas encore confirmé, a été omis.)



Figure 2: Diagramme en boucle de la transition  $b \rightarrow s\gamma$ .

nombre d'expériences, surtout dans le secteur électrofaible, et ainsi de faire des prédictions. Malgré son succès, un certain nombre de questions restent ouverts. Par exemple, il ne comprend que trois des quatre forces fondamentales, n'offrant pas de description de la gravité. Il n'explique pas également, la grande asymétrie entre matière et anti-matière dans notre univers, la nature de la matière noire, et il possède 19 paramètres libres, un grand nombre pour une théorie fondamentale. Pour ces raisons, entre autres, on pense qu'il existe une Nouvelle Physique (NP), qui se manifesterait à haut énergie.

Le LHC a été construit pour tester le SM et rechercher des signes de NP. Le démarrage du LHC a marqué le début des recherches à une luminosité instantanée et une énergie dans le centre de masse, sans précédent. Cela permet des recherches directes de nouvelles particules, tel que réalisé par ATLAS et CMS, ainsi que des recherches indirectes en recherchant les effets de NP dans les désintégrations de hadrons beaux ou charmés. Le détecteur LHCb suit cette approche. Le programme d'étude des désintégrations rare à LHCb se concentre principalement sur l'analyse des courants neutres changeant la saveur. Ces désintégrations sont fortement supprimées dans le MS, car elles sont interdites au niveau de l'arbre, et procédent uniquement par des diagrammes d'ordre supérieur. Donc, elles sont sensibles aux effets de nouvelle physique, car des nouvelles particules massives peuvent participer aux boucles virtuelles.  $b \rightarrow s\gamma$  est un courant neutre changeant la saveur (voir Fig. 2), et en particulier, la polarisation du photon virtuel dans cette transition est une observable sensible aux effets de NP, le MS prédisant une hélicité très majoritairement gauche. On peut mesurer la fraction de photon avec une polarisation



Figure 3: Les diagrammes de Feynman dominants dans l<br/>s désintégration  $B^0 \to K^{*0} e^+ e^-.$ 

droite par l'analyse des événtements  $B^0 \to K^{*0}e^+e^-$ . Les diagrammes de Feynman dominants sont illustrés dans la Fig. 3, et la contribution de chacun dépend de la masse invariante de la paire de leptons. Lors que cette masse est basse, la paire  $e^+e^-$  provient d'un photon virtuel et permet donc de sonder la polarisation de celui-ci. Cette mesure se fait grâce à l'étude des distributions angulaires de cette désintégration à quatre corps, et en particulier par la mesure de l'angle  $\phi$ , illustré dans la Fig. 4.

#### Le détecteur LHCb

LHCb est dédiée à l'étude de la violation de CP et à la recherche de désintégrations rares des mésons B. Le mécanisme de production dominant des mésons B dans des collisions proton-proton est la fusion gluon-gluon. À haute énergie, les paires bbsont produites dans la même direction, vers l'avant ou vers l'arrière, dans un cône faisant un faible angle avec le faisceau de protons (voir Fig. 5). Par conséquent, le choix naturel de détecteur est un spectromètre à un bras dirigé vers l'avant, avec une couverture angulaire limitée de 10 mrad à 300 mrad pour le plan horizontal et de 10 mrad à 250 mrad pour le plan vertical. Il comprend plusieurs sous-détecteurs, illustrés dans la Fig. 6. Par ordre croissant de z du point d'interaction, ce sont:



Figure 4: Définition des angles  $\phi$ ,  $\theta_K$  and  $\theta_L$  dans la désintégration  $B \to K^* l^+ l^-$ .

- Le Vertex Locater (VELO): le détecteur situé le plus près du faisceau de proton. Il fournit des mesures précises des vertex de production et de désintegration des mésons *B* et permet donc de les identifier.
- Le détecteur Ring Imaging Cherenkov (RICH1): pour fournir l'identification des particules dont la gamme d'impulsion est comprise entre [1-40] GeV/c.
- Trigger Tracker (TT): un détecteur silicium, fournissant une reconstruction rapide des trajectoires des particules chargées.
- L'aimant:un aimant dipolaire qui fournit un champ magnétique 4Tm.
- Les stations de tracking (T1-T3): détecteurs siliciums situés aprés l'aimant, et qui gèrent la majeure partie de la reconstruction des traces.
- RICH2: pour fournir l'identification des particules dont la gamme d'impulsion est comprise entre [15-100] GeV/c.
- Le système de calorimètres: pour faire la distinction entre des électrons, des photons et des hadrons, et mesurer leur énergie et leur position. Il consiste du Scintillator Pad Detector (SPD), du PreShower (PS), du calorimetre électromagnetique (ECAL) et du colorimetre hadronique (HCAL). Il est un des ingrédients essentiels du trigger de premier niveau.



Figure 5: Corrélation entre les quarks b et  $\overline{b}$  produites au LHC avec une energie dans le centre de masseénergie,  $s = \sqrt{7}$  TeV (géenérée par PYTHIA 8.

• Le détecteur à muons: permet d'identifier une trace comme étant celle d'un muon et constitue l'autre partie dy trigger de premier niveau.



Figure 6: Vue générale du détecteur LHCb.

# La mesure du rapport d'embranchement $B^0 \rightarrow K^{*0}e^+e^-$

Durant lannée 2011, LHCb a enregistré plus de 90% des collisions délivrées par le LHC, en atteint une luminosité intégrée de 1 fb<sup>-1</sup>. L'analyse de  $B^0 \rightarrow K^{*0}e^+e^-$  comportant des electrons de basse impulsion transverse est experimentalement complexe dans un environment tel que celui du LHC. Malgré cela, avec les données collectées par LHCb en 2011, on peut mesurer le rapport d'embranchement dans le domaine de masse 30-1000 MeV/ $c^2$ , qui constite une premiére ètape vers l'analyse angulaire. La prédiction théorique dans cette domaine est d'environ:

$$\mathcal{B}_{\rm Vis}(B^0 \to K^{*0} e^+ e^-)^{30-1000\,{\rm MeV}} = 2.9 \times 10^{-7}$$

Cette désintégration n'a jamais été observée dans cette région à cause de ce très faible rapport d'embranchement. L'état des lieux des mesures dans autres domaine de masse faites par les usines à B est résumé dans Table 1.

Experiment	Decay mode	$q^2 (\text{GeV}^2/c^4)$	$N_s$	$\mathcal{B}(10^{-7})$
BaBar	$B^0 \rightarrow K^{*0} \ell^+ \ell^-$	total	NA	$10.2^{+1.4}_{-1.3} \pm 0.5$
	$B^0 \rightarrow K^{*0} \ell^+ \ell^-$	0.10-2.00	$26.0^{+7.1}_{-6.4}$	$1.89^{+0.52}_{-0.46} \pm 0.06$
Belle	$B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-$	total	NA	$11.8^{+2.7}_{-2.2} \pm 0.9$
	$B^0 \rightarrow K^{*0} \ell^+ \ell^-$	0.00 - 2.00	$27.4^{+7.4}_{-6.6}$	$1.46^{+0.40}_{-0.35} \pm 0.11$

Table 1: Résumé des resultats des usines à B.

La mesure de cette thèse est faite relativement au rapport d'embranchement de la désintégration  $B^0 \to J/\psi \, (e^+e^-) K^{*0}$ . En effet, cela permet de s'affranchir de nombreux effets expérimentaux ainsi que de la determination absolute des efficacités.

L'échantillon de données est séparé en trois catégories basées sur les différents voies pertinentes de déclenchement. Le signal est recherché dans chacune des trois catégories en appliquant une sélection serrée construite sur une approche multivariable, qui réduit le bruit de fond combinatoire. Des critères supplémentaires sont developpés pour rejeter des sources de bruits de fond spécifiques. En particulier, la contamination du signal due aux désintégrations radiatives  $B^0 \to K^{*0}\gamma$  où le photon réel se matérialise en paire  $e^+e^-$  est fortement réduite en utilisant des critères



Figure 7: L'ajustement de la masse reconstruite pour chaque catégorie de déclenchement  $(B^0 \to K^{*0} e^+ e^-)$ .

basés sur une utilisation pertinente du VELO. Le signal est extrait d'un ajustement de la distribution en masse des candidats. La forme du signal est extraite de la simulation, mais elle est corrigé pour les differences entre simulation et donnés en utilisant  $B^0 \to J/\psi (e^+e^-)K^{*0}$ . Les paramètres du bruit fond combinatoire sont laissés libres dans l'ajustement. La forme de la contribution issue de la reconstruction partielle des désintégrations des mésons beaux est fixée grâce à la simulation, et le rapport entre le nombre de ces événements et ceux du signal est mesuré grâce au  $B^0 \to J/\psi (e^+e^-)K^{*0}$ . L'ajustement de la masse reconstruite est montré dans Fig. 7 pour  $B^0 \to K^{*0}e^+e^-$  et dans Fig. 8 pour  $B^0 \to J/\psi (e^+e^-)K^{*0}$ . Un total d'une quarantaine de candidats  $B^0 \to K^{*0}e^+e^-$  sont observés. C'est déjà le plus important lot collecté par une expérience unique.

Les différentes contributions au rapport d'efficacité sont extraites soit de la simulation, soit des données elles-mêmes, et permet l'extraction du rapport



Figure 8: L'ajustement de la masse reconstruite pour chaque catégorie de déclenchement  $(B^0 \rightarrow J/\psi \, (e^+e^-) K^{*0})$ .

d'embranchement dans chaque catégorie de déclenchement. Les trois mesures sont combinées en donnant chacun un poids statistique pour trouver le rapport d'embrenchement moyenne:

$$\mathcal{B}(B^0 \to K^{*0}e^+e^-)^{30-1000\,\text{MeV}} = (3.19^{+0.75}_{-0.68}(\text{stat}) \pm 0.22(\text{syst}) \pm 0.15(\text{PDG})) \times 10^{-7}$$

en utilisant la valeur PDG pour le rapport d'embranchement de la désintégration  $B^0 \rightarrow J/\psi \, (e^+e^-) K^{*0}$ . Cette valeur est en accord avec la prédiction théorique.

## Etude de sensibilité

En 2012, LHCb a enregistré une luminosité intégrée de 2 fb<sup>-1</sup>. Donc, la combinaison de ceci avec l'échantillon de 2011 devrait fournir trois fois le nombre d'événements de  $B^0 \rightarrow K^{*0}e^+e^-$ . Des études Monte Carlo démontre que la précision sur la fraction de photon polarisation droite devrait etre d'environ 0.1 avec 3 fb<sup>-1</sup>, comparable à la moyenne mondiale obtenue avec des méthodes differentes.