

N° d'ordre NNT : ?

Thèse de doctorat de l'Université de Lyon
opérée au sein de
L'Université Claude Bernard Lyon 1

École Doctorale N° 52
École Doctorale de Physique et Astrophysique

Spécialité du doctorat : Physique des particules

Soutenue publiquement le **XX xxxx** 2021 par

Lucas TORTEROTOT

**Recherche d'un boson de Higgs de haute masse se
désintégrant en paire de taus dans l'expérience
CMS au LHC**

devant le jury composé de :

M Bla BLA Fonction Institut <rôle>

À...

Remerciements

Remerciements

Résumé

Résumé

Abstract

Abstract

Table des matières

1	Introduction	1
2	Particules, interactions et phénoménologie	3
1	Les particules du modèle standard	3
1.1	Les fermions	3
1.2	Les bosons	3
2	Formalisme théorique et interactions	3
2.1	Lagrangien, champs et symétries	3
2.2	Interaction électromagnétique	3
2.3	Interaction électrofaible	3
2.4	Mécanisme de Higgs	3
2.5	Interaction forte	3
3	Succès et limites du modèle standard	3
4	Au-delà du modèle standard	3
4.1	Modèles à deux doublets de Higgs	4
4.2	La supersymétrie	4
4.3	L'extension supersymétrique minimale du modèle standard ou MSSM	4
5	Phénoménologie des bosons de Higgs du MSSM	4
5.1	Production de bosons de Higgs	4
5.2	Désintégration de bosons de Higgs	6
5.3	Désintégration des leptons tau	6
6	Conclusion	6
3	Dispositif expérimental	7
1	Le LHC : <i>Large Hadron Collider</i>	7
1.1	Collisions de protons	7
1.2	Accélération de protons	7
1.3	Luminosité et nombre d'événements	7
1.4	L'empilement	7
1.5	Les expériences du LHC	7
2	L'expérience CMS : <i>Compact Muon Solenoid</i>	7
2.1	Le solénoïde	7
2.2	Le trajectographe ou <i>tracker</i>	7
2.3	Le calorimètre électromagnétique ou ECAL	7
2.4	Le calorimètre hadronique ou HCAL	8
2.5	Les chambres à muons	8
2.6	Prise de données à CMS	8
3	Événements simulés	8
3.1	Génération d'événements	8
3.2	Simulation du détecteur	8
4	Reconstruction des événements	8
4.1	L'algorithme de <i>Particle Flow</i>	8
4.2	Identification et reconstruction des particules	8
4.3	Objets de haut niveau	8

4.4	Énergie transverse manquante	8
5	Conclusion	8
4	Calibration en énergie des jets	9
1	Introduction	9
2	Phénoménologie des événements photon + jets	9
3	Corrections résiduelles absolues des jets	10
3.1	Méthode de la balance	10
3.2	Méthode de la projection de la fraction d'énergie transverse manquante	10
3.3	« Comment ça fonctionne ce code »	10
3.4	Résultats	10
4	Correction de la résolution en énergie des jets	10
4.1	•	10
4.2	•	10
4.3	•	10
4.4	•	10
5	Conclusion	10
5	Recherche d'un boson de Higgs de haute masse	11
1	Introduction	11
2	Sélection d'événements et catégorisation	11
2.1	Données	11
2.2	Simulation	11
2.3	Catégorisation	11
3	Chaîne d'analyse	11
4	Estimation du bruit de fond	11
4.1	Estimations de bruits de fond à partir de simulations	11
4.2	Estimations de bruits de fond à partir de données	11
5	Incertitudes systématiques	11
5.1	Incertitudes de normalisation	11
5.2	Incertitudes de forme	11
6	Résultats et interprétations	12
7	Conclusion	12
6	Conclusion	13

Table des figures

2.1	Les particules du modèle standard.	4
2.2	Diagrammes de Feynman de production de boson de Higgs dans le cadre du modèle standard par fusion de gluons (ggh) et fusion de bosons vecteurs (VBF).	4
2.3	Diagrammes de Feynman de production de boson de Higgs dans le cadre du modèle standard en association avec un boson.	5
2.4	Diagrammes de Feynman de production de boson de Higgs dans le cadre du modèle standard en association avec un quark b	5
4.1	Procédé de calibration des jets. Plusieurs corrections sont appliquées pour obtenir les jets calibrés à partir des jets reconstruits.	9
4.2	Exemples de diagrammes de Feynman de processus physiques donnant un photon et un jet dans l'état final.	9
4.3	•	10

Liste des tableaux

Chapitre 1

Introduction

Chapitre 2

Particules, interactions et phénoménologie

Sommaire

1	Les particules du modèle standard	3
1.1	Les fermions	3
1.2	Les bosons	3
2	Formalisme théorique et interactions	3
2.1	Lagrangien, champs et symétries	3
2.2	Interaction électromagnétique	3
2.3	Interaction électrofaible	3
2.4	Mécanisme de Higgs	3
2.5	Interaction forte	3
3	Succès et limites du modèle standard	3
4	Au-delà du modèle standard	3
4.1	Modèles à deux doublets de Higgs	4
4.2	La supersymétrie	4
4.3	L'extension supersymétrique minimale du modèle standard ou MSSM	4
5	Phénoménologie des bosons de Higgs du MSSM	4
5.1	Production de bosons de Higgs	4
5.2	Désintégration de bosons de Higgs	6
5.3	Désintégration des leptons tau	6
6	Conclusion	6

1 Les particules du modèle standard

1.1 Les fermions

1.2 Les bosons

2 Formalisme théorique et interactions

2.1 Lagrangien, champs et symétries

2.2 Interaction électromagnétique

2.3 Interaction électrofaible

2.4 Mécanisme de Higgs

2.5 Interaction forte

3 Succès et limites du modèle standard

4 Au-delà du modèle standard

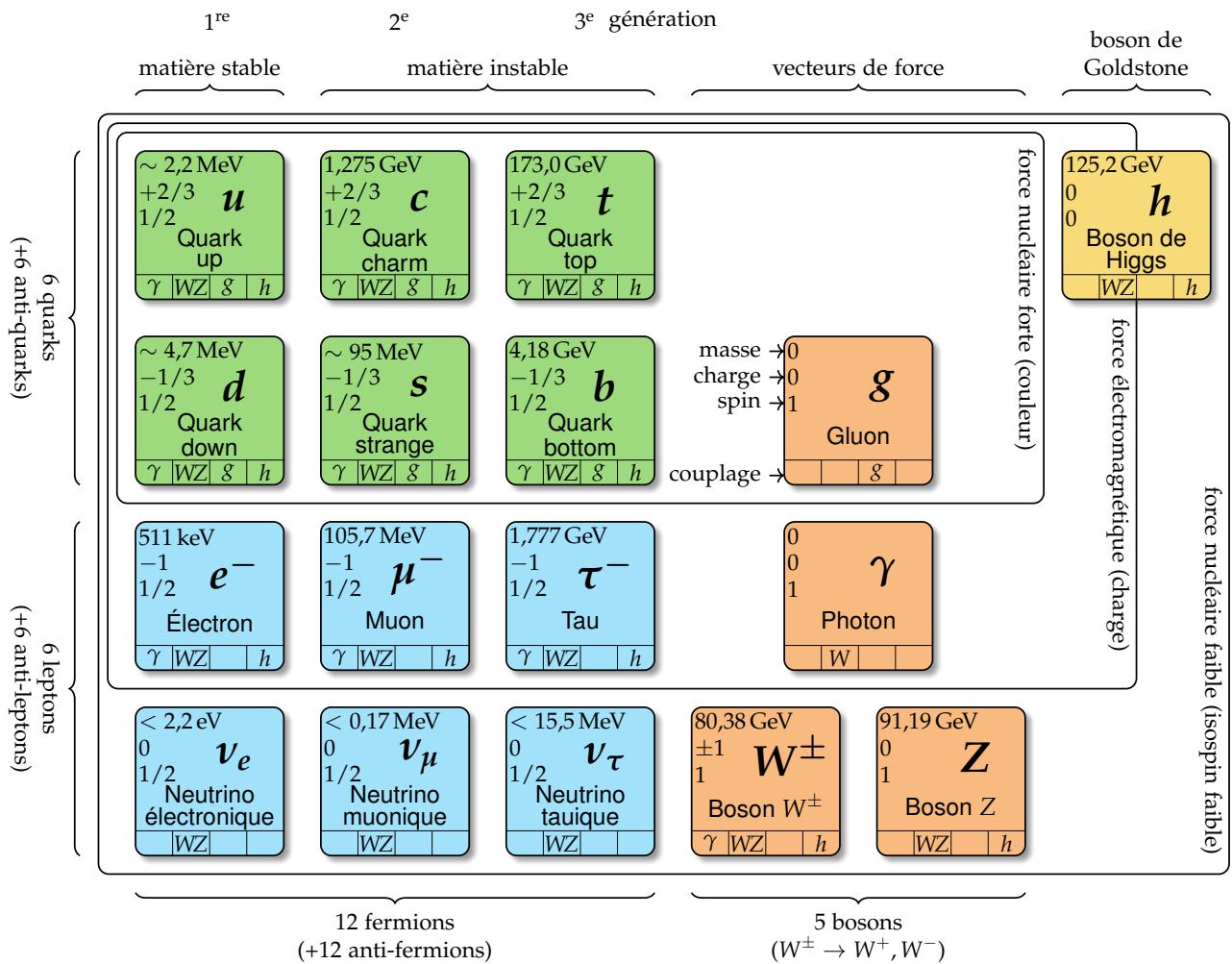


Figure 2.1 – Les particules du modèle standard.

4.1 Modèles à deux doublets de Higgs

4.2 La supersymétrie

4.3 L'extension supersymétrique minimale du modèle standard ou MSSM

5 Phénoménologie des bosons de Higgs du MSSM

5.1 Production de bosons de Higgs

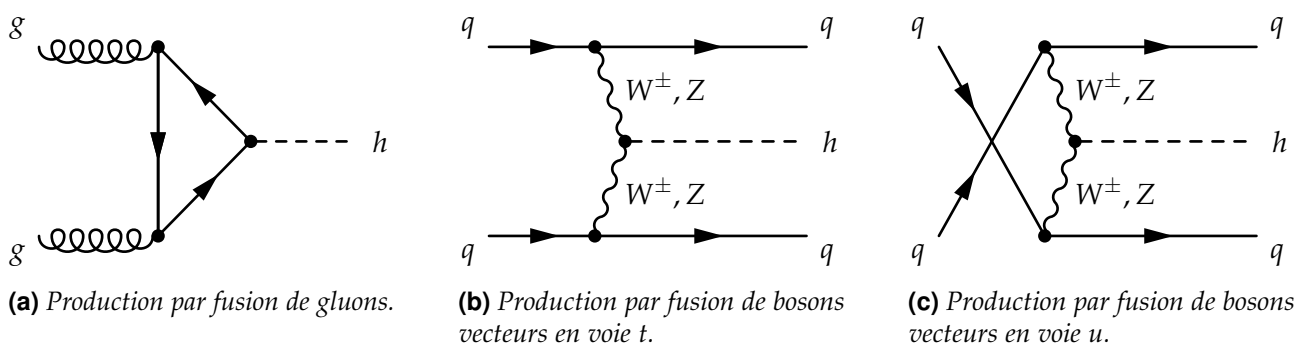


Figure 2.2 – Diagrammes de Feynman de production de boson de Higgs dans le cadre du modèle standard par fusion de gluons (ggh) et fusion de bosons vecteurs (VBF).

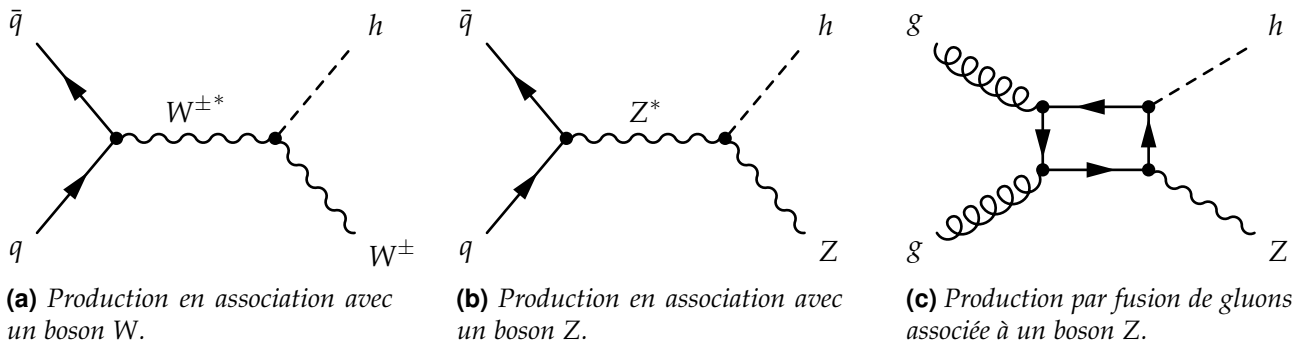


Figure 2.3 – Diagrammes de Feynman de production de boson de Higgs dans le cadre du modèle standard en association avec un boson.

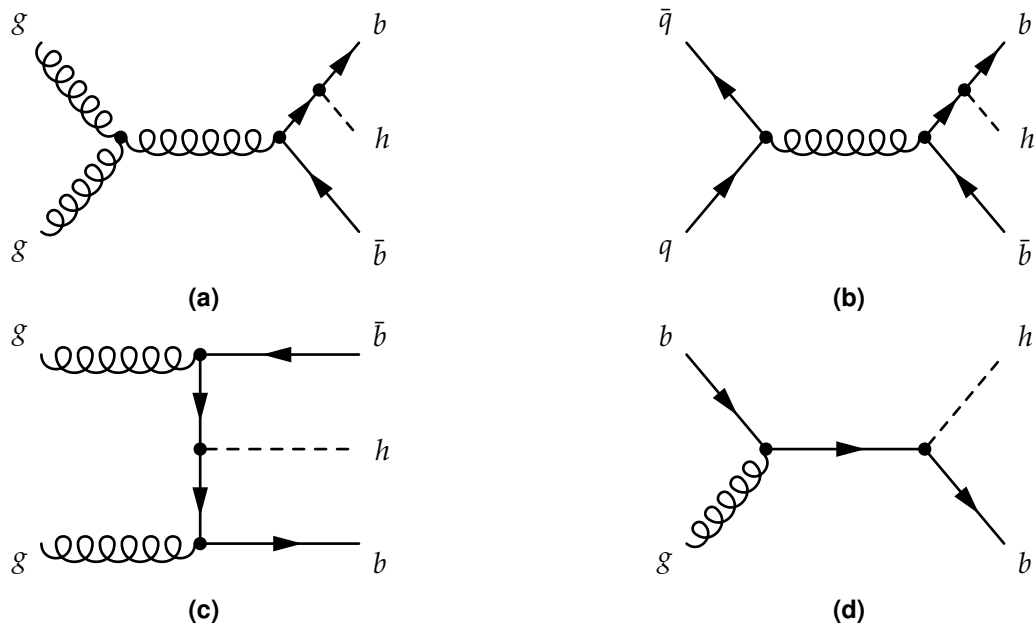
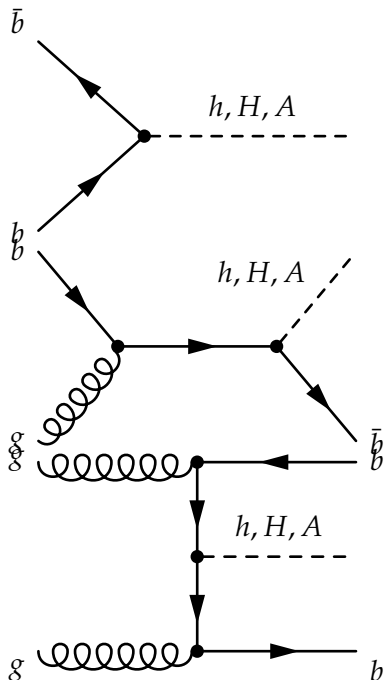
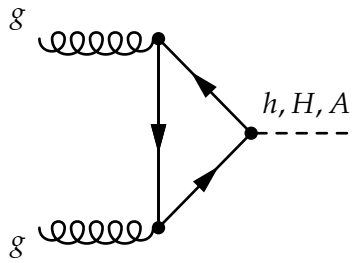
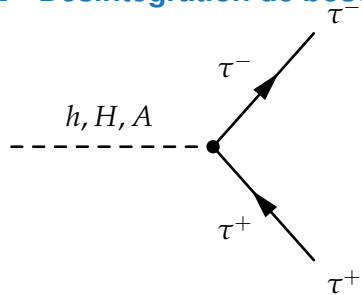


Figure 2.4 – Diagrammes de Feynman de production de boson de Higgs dans le cadre du modèle standard en association avec un quark b .

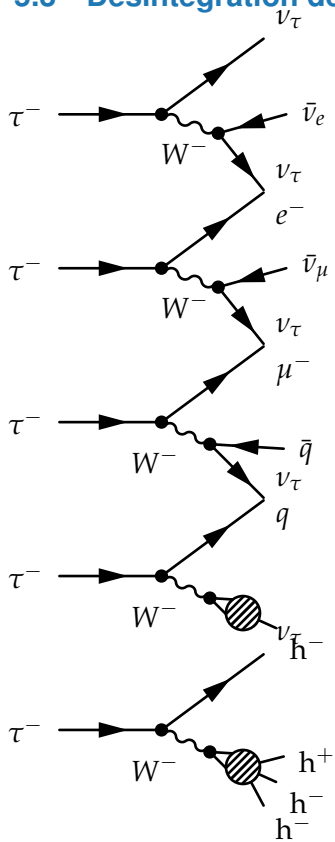




5.2 Désintégration de bosons de Higgs



5.3 Désintégration des leptons tau



6 Conclusion

Chapitre 3

Dispositif expérimental

Sommaire

1	Le LHC : <i>Large Hadron Collider</i>	7
1.1	Collisions de protons	7
1.2	Accélération de protons	7
1.3	Luminosité et nombre d'événements	7
1.4	L'empilement	7
1.5	Les expériences du LHC	7
2	L'expérience CMS : <i>Compact Muon Solenoïd</i>	7
2.1	Le solénoïde	7
2.2	Le trajectographe ou <i>tracker</i>	7
2.3	Le calorimètre électromagnétique ou ECAL	7
2.4	Le calorimètre hadronique ou HCAL	8
2.5	Les chambres à muons	8
2.6	Prise de données à CMS	8
3	Événements simulés	8
3.1	Génération d'événements	8
3.2	Simulation du détecteur	8
4	Reconstruction des événements	8
4.1	L'algorithme de <i>Particle Flow</i>	8
4.2	Identification et reconstruction des particules	8
4.3	Objets de haut niveau	8
4.4	Énergie transverse manquante	8
5	Conclusion	8

1 Le LHC : *Large Hadron Collider*

1.1 Collisions de protons

1.2 Accélération de protons

1.3 Luminosité et nombre d'événements

1.4 L'empilement

1.5 Les expériences du LHC

2 L'expérience CMS : *Compact Muon Solenoïd*

2.1 Le solénoïde

2.2 Le trajectographe ou *tracker*

2.3 Le calorimètre électromagnétique ou ECAL

2.4 Le calorimètre hadronique ou HCAL

2.5 Les chambres à muons

2.6 Prise de données à CMS

3 Événements simulés

3.1 Génération d'événements

3.2 Simulation du détecteur

4 Reconstruction des événements

4.1 L'algorithme de *Particle Flow*

4.2 Identification et reconstruction des particules

4.3 Objets de haut niveau

4.4 Énergie transverse manquante

5 Conclusion

Chapitre 4

Calibration en énergie des jets

Sommaire

1	Introduction	9
2	Phénoménologie des événements photon + jets	9
3	Corrections résiduelles absolues des jets	10
3.1	Méthode de la balance	10
3.2	Méthode de la projection de la fraction d'énergie transverse manquante	10
3.3	« Comment ça fonctionne ce code »	10
3.4	Résultats	10
4	Correction de la résolution en énergie des jets	10
4.1	•	10
4.2	•	10
4.3	•	10
4.4	•	10
5	Conclusion	10

1 Introduction

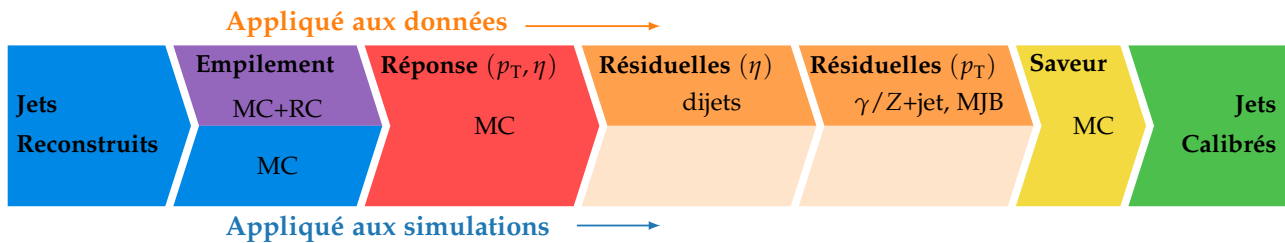


Figure 4.1 – Procédé de calibration des jets. Plusieurs corrections sont appliquées pour obtenir les jets calibrés à partir des jets reconstitués.

2 Phénoménologie des événements photon + jets

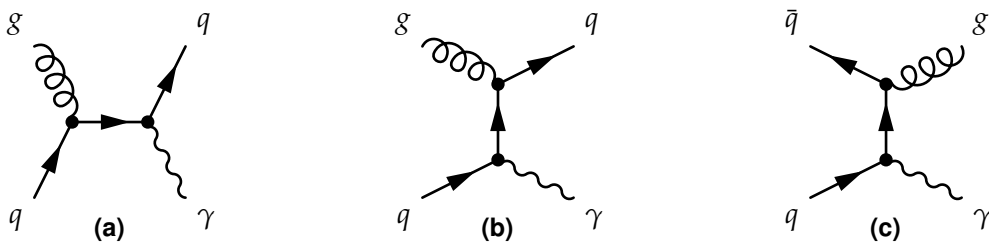


Figure 4.2 – Exemples de diagrammes de Feynman de processus physiques donnant un photon et un jet dans l'état final.

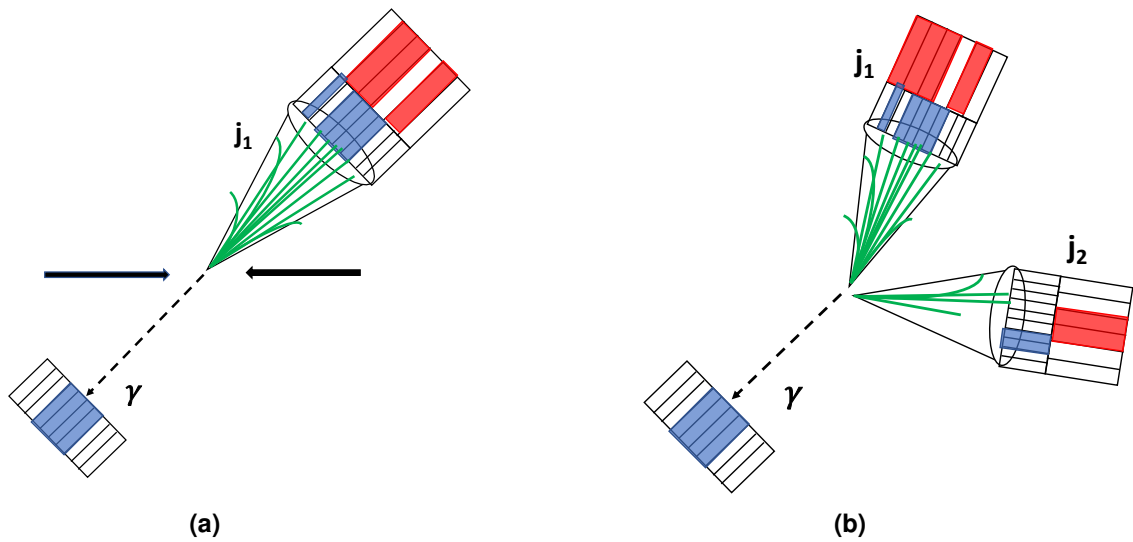


Figure 4.3 – •

3 Corrections résiduelles absolues des jets

3.1 Méthode de la balance

3.2 Méthode de la projection de la fraction d'énergie transverse manquante

3.3 « Comment ça fonctionne ce code »

3.4 Résultats

4 Correction de la résolution en énergie des jets

4.1 •

4.2 •

4.3 •

4.4 •

5 Conclusion

Chapitre 5

Recherche d'un boson de Higgs de haute masse

Sommaire

1	Introduction	11
2	Sélection d'événements et catégorisation	11
2.1	Données	11
2.2	Simulation	11
2.3	Catégorisation	11
3	Chaîne d'analyse	11
4	Estimation du bruit de fond	11
4.1	Estimations de bruits de fond à partir de simulations	11
4.2	Estimations de bruits de fond à partir de données	11
5	Incertitudes systématiques	11
5.1	Incertitudes de normalisation	11
5.2	Incertitudes de forme	11
6	Résultats et interprétations	12
7	Conclusion	12

1 Introduction

2 Sélection d'événements et catégorisation

2.1 Données

2.2 Simulation

2.3 Catégorisation

3 Chaîne d'analyse

4 Estimation du bruit de fond

4.1 Estimations de bruits de fond à partir de simulations

4.2 Estimations de bruits de fond à partir de données

4.2.1 Méthode de l'encapsulation ou *embedding*

4.2.2 Méthode du facteur de faux ou *fake factor*

5 Incertitudes systématiques

5.1 Incertitudes de normalisation

5.2 Incertitudes de forme

6 Résultats et interprétations

7 Conclusion

Chapitre 6

Conclusion

Bibliographie

