الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Setif 1 University - Ferhat ABBAS

Faculty of Sciences

جامعة سطيف 1 فرحات عباس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

Setif 1 University Ferhat Abbas
Faculty of Sciences
Department of Physics

MASTER'S THESIS

Field: Matter Sciences

Branch: Physics

Speciality: Theoretical and Fundamental Physics

Theme

Di-Higgs Production at the LHC@14 in The Hidden SU(2) Vector Dark Matter Model

Presented by :
SYRINE LABED

Directed by :
NABIL BAOUCHE

Thesis defended on June 24, 2026, before the examination committee:

President	**Pr. Salah MENOUAR**	**Setif 1 University Ferhat Abbas**
Supervisor	**Dr. Nabil BAOUCHE**	**Jijel University M.S.B**
Examiner	**Dr. Yacine BOUGUERRA**	**Setif 1 University Ferhat Abbas**

2025 / 2026

Contents

Introduction **1**

1 The Standard Model **2**
1.1 Historical Context and Particle Content . . . 2
1.2 Mathematical Structure and Gauge Symmetry . . . 4
1.3 The Higgs sector . . . 4
1.3.1 The Higgs Mechanism and Electroweak Symmetry Breaking . . . 4
1.4 Limitations and Open Problems of the Standard Model . . . 9

2 Dark Matter **10**
2.1 Historical Development of Dark Matter . . . 10
2.2 Observational Evidence for Dark Matter . . . 10
2.2.1 Galaxy Rotation Curves . . . 10
2.2.2 Galaxy Clusters . . . 11
2.2.3 Gravitational Lensing . . . 11
2.2.4 Cosmic Microwave Background . . . 11
2.2.5 Large-Scale Structure Formation . . . 12
2.3 General Properties of Dark Matter . . . 12
2.3.1 Thermal Production of Dark Matter . . . 12
2.3.2 Freeze-Out Mechanism . . . 13
2.3.3 Relic Density Estimate . . . 13
2.3.4 The WIMP Miracle . . . 15
2.3.5 Toward Extended Dark Matter Models . . . 15

3 Di-higgs Production at the LHC@14 in the Hidden SU(2) Vector Dark Matter Model **16**
3.1 The Hidden $SU(2)$ Vector Dark Matter Model . . . 16
3.1.1 Scalar Potential Minimization and Mass Matrix . . . 22
3.1.2 Scalar Mixing and Mass Eigenstates . . . 25
3.1.3 Lagrangian in the Mass Eigenstate Basis . . . 27
3.2 Theoretical and Experimental Constraints . . . 30
3.2.1 Unitarity Constraints . . . 30
3.2.2 Vacuum Stability and Perturbativity . . . 31
3.2.3 Constraints from Higgs Decays . . . 31
3.2.4 Dark Matter Direct Detection Constraints . . . 32
3.2.5 Renormalization Group Equation Constraints . . . 33
3.3 Dark Matter Relic Density . . . 33
3.3.1 Collider Constraints and Parameter Space . . . 35
3.3.2 Di-Higgs Production . . . 36

Conclusion **39**

A Numerical Inputs, Parameters, and Coupling Constants **41**
A.1 Gauge Groups and Coupling Constants 41
A.2 Standard Model and Cosmological Inputs 42
A.3 Hidden Sector Parameters 42
A.4 Parameter Scan Ranges 42
A.5 Summary of Theoretical Constraints 43
A.6 Summary of Experimental Constraints 43
A.7 Useful Relations 43

Abstract

This work studies di-Higgs production at the LHC with a center-of-mass energy of 14 TeV within the hidden $SU(2)$ vector dark matter model. In this model, the Standard Model is extended by a hidden gauge sector containing massive hidden vector bosons, which play the role of dark matter candidates. The hidden sector is connected to the visible sector through the Higgs portal. The study focuses on the effects of scalar mixing, the additional hidden scalar, and the hidden vector bosons on Higgs pair production and dark matter phenomenology.

Résumé

Ce travail étudie la production de paires de bosons de Higgs au LHC à une énergie de centre de masse de 14 TeV dans le cadre du modèle de matière noire vectorielle basé sur un secteur caché $SU(2)$. Dans ce modèle, le Modèle Standard est étendu par un secteur de jauge caché contenant des bosons vecteurs cachés massifs, qui jouent le rôle de candidats à la matière noire. Le secteur caché est relié au secteur visible à travers le portail de Higgs. L'étude porte sur l'effet du mélange scalaire, du scalaire caché supplémentaire et des bosons vecteurs cachés sur la production di-Higgs et la phénoménologie de la matière noire.

ملخص

يدرس هذا العمل إنتاج أزواج بوزونات هيغز في مصادم الهادرونات الكبير بطاقة مركز كتلة قدرها 14 TeV ضمن نموذج المادة المظلمة المتجهة المبني على قطاع مخفي $SU(2)$. في هذا النموذج، يتم توسيع النموذج القياسي بإضافة قطاع معياري مخفي يحتوي على بوزونات متجهة مخفية ذات كتلة، تمثل مرشحات للمادة المظلمة. يرتبط القطاع المخفي بالقطاع المرئي عبر بوابة هيغز. تركز الدراسة على تأثير المزج السلمي، والجسيم السلمي المخفي الإضافي، والبوزونات المتجهة المخفية على إنتاج زوجي هيغز وفينومينولوجيا المادة المظلمة.