

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Mécanique
Laboratory of Green and Mechanical Development



Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of State Engineer in Mechanical Engineering

Development of a Savonius Wind Turbine Prototype:
Design and Fabrication of Sandwich Rotor Blades with Gyroid Lattice Core and Hybrid Composite Skins

Ines BENSEGHIR and Meriem Malika AIB

Presented and publicly defended on : November 30th, 2025

Composition of the Jury:

President	Mr. Slimane DJELLAL	MCB	ENP
Supervisor	Mr. Yacine BELKACEMI	MCA	ENP
Co-Supervisor	Mr. Abdelhamid BOUHELAL	MCA	ENP
Co-Supervisor	Mr. Arezki SMAILI	Prof	ENP
Examiner	Mr. Naserddine AMOURA	MCA	ENP
Guest	Mr. Said RECHAK	Prof	ENP

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Mécanique
Laboratory of Green and Mechanical Development



Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of State Engineer in Mechanical Engineering

Development of a Savonius Wind Turbine Prototype:
Design and Fabrication of Sandwich Rotor Blades with Gyroid Lattice Core and Hybrid Composite Skins

Ines BENSEGHIR and Meriem Malika AIB

Presented and publicly defended on : November 30th, 2025

Composition of the Jury:

President	Mr. Slimane DJELLAL	MCB	ENP
Supervisor	Mr. Yacine BELKACEMI	MCA	ENP
Co-Supervisor	Mr. Abdelhamid BOUHELAL	MCA	ENP
Co-Supervisor	Mr. Arezki SMAILI	Prof	ENP
Examiner	Mr. Naserddine AMOURA	MCA	ENP
Guest	Mr. Said RECHAK	Prof	ENP

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique
Laboratory of Green and Mechanical Development



Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie mécanique

Thème :

Développement d'un prototype d'éolienne Savonius :
Conception et fabrication de pales en structure sandwich à âme gyroïde et peaux composites
hybrides

Ines BENSEGHIR et Meriem Malika AIB

Présenté et soutenu publiquement le : 30 novembre 2025

Composition du jury :

Président	M. Slimane DJELLAL	MCB	ENP
Encadrant	M. Yacine BELKACEMI	MCA	ENP
Co-encadrant	M. Abdelhamid BOUHELAL	MCA	ENP
Co-encadrant	M. Arezki SMAILI	Prof.	ENP
Examineur	M. Naserddine AMOURA	MCA	ENP
Invité	M. Said RECHAK	Prof.	ENP

ملخص

يعرض هذا العمل تصميم وتصنيع وتقييم دوار توربين رياح من نوع سافونيوس خفيف الوزن، تم تطويره باستخدام بنية شطيرية مكونة من قلب جيوريدي مطبوع ثلاثي الأبعاد وجلود مركبة ذات أساس حيوي. تمثل الهدف في تحسين استجابة الدوار عند سرعات الرياح المنخفضة، مع تقليل الكتلة مع الحفاظ على السلامة البنيوية. تم اعتماد نهج يجمع بين التجربة والنمذجة العددية لتوصيف المادة والتحقق من سلوك الدوار. وقد حقق التصميم النهائي تقليلاً بنسبة 48.6% في الكتلة مقارنة بنظيره المصنوع من PLA، مع الحفاظ على السلامة البنيوية تحت الأحمال التشغيلية، حيث لم تتجاوز التشوهات نسبة 0.05% من ارتفاع الدوار. تؤكد النتائج الإمكانيات الكبيرة للجمع بين المواد المركبة الحيوية وهندسات TPMS في تطوير حلول خفيفة الوزن وعالية الكفاءة الهيكلية.

الكلمات الدالة :

توربين رياح سافونيوس، مركبات حيوية، شبكة جيوريد، الطباعة ثلاثية الأبعاد، CFD، FSI

Résumé

Ce travail fait l'objet de la conception, la fabrication et l'évaluation d'un rotor de turbine éolienne Savonius léger, réalisé à partir d'une structure sandwich combinant un noyau gyroïde imprimé en 3D et des peaux composites biosourcées. L'objectif était d'améliorer la réactivité du rotor à faibles vitesses de vent tout en réduisant sa masse et en conservant son intégrité structurale. Une approche expérimentale et numérique combinée a été adoptée pour caractériser le matériau et valider le comportement du rotor. La structure finale a permis une réduction de masse de 48.6% par rapport à un rotor équivalent en PLA, tout en maintenant l'intégrité mécanique sous chargements opérationnels, avec une déformation maximale n'excédant pas 0,05% de la hauteur du rotor. Les résultats confirment le potentiel de l'association des composites biosourcés avec les structures architecturées pour le développement de solutions légères et mécaniquement performantes.

Mots clés : éolienne Savonius ; composites biosourcés ; structure gyroïdale ; impression 3D ; CFD ; FSI

Abstract

This work presents the design, fabrication, and evaluation of a lightweight Savonius wind turbine rotor using a sandwich structure made of a 3D-printed gyroid core and bio-sourced composite skins. The objective was to enhance rotor responsiveness at low wind speeds while reducing mass and maintaining structural integrity. A combined experimental and numerical approach was adopted to characterize the material and validate the rotor behavior. The final structure achieved a 48.6% reduction in mass compared to a PLA equivalent, while maintaining structural integrity under operational loads, with maximum deformation not exceeding 0.05% of the rotor height. The results confirm the potential of combining bio-based composites with TPMS architectures for the development of lightweight, structurally efficient solutions.

Keywords: Savonius wind turbine; bio-based composites; gyroid lattice; 3D printing; CFD; FSI

Contents

■ ■ ■

	List of Tables
	List of Figures
	List of Symbols and Abbreviations
	General Introduction
1	Introduction and Theoretical Background
1.1	Savonius Wind Turbine: Principles and Challenges
1.1.1	Operational Principles
1.1.2	Aerodynamic Challenges and Structural Implications
1.2	Aerodynamic and Structural Analysis: A Coupled Approach
1.2.1	Principles of CFD Investigations
1.2.2	Principles of FEA Structural Analysis
1.3	Date Palm Fiber Characterization for Composite Applications
1.3.1	Anatomy of Date Palm and Fiber-bearing Parts
1.3.2	Fiber Extraction Methods
1.3.3	Treatment and Surface Modification of Plant Fibers
1.3.4	Mechanical Properties of Date Palm Fibers
1.4	Date Palm Fiber Polymer Composites
1.4.1	Matrix Selection: Thermosets vs Thermoplastics
1.4.2	Epoxy Matrix Composites: Fabrication and Performance
1.5	Sandwich Structures with Lattice Cores
1.5.1	Overview of Sandwich Structures
1.5.2	Evolution of Core Architectures: Toward Additive Manufactured Lattices
1.5.3	Lattice Structures: Architectures, Properties, and Applications
1.5.4	Gyroid Lattices: A Special Class of TPMS Structures
1.5.5	Sandwich Structures with Lattice Cores: A Synergistic Design
2	Design Analysis and Realization Methodology
2.1	Rotor Design Configuration
2.1.1	Context and Project Goals
2.1.2	Kamoji's Experimental Investigations and Findings
2.1.3	Selected Rotor Configuration
2.1.4	Wind Tunnel Blockage Effects
2.1.5	Scaling Calculations for Wind Tunnel Testing
2.1.6	Structural Analysis and Minimum Constraint Requirements
2.2	Material Selection and Characterization
2.3	Rotor Manufacturing and Realization
2.3.1	Date Palm Fiber Extraction Protocol
2.3.2	3D Printing Process of the Rotor Components
2.3.3	Composite Lamination and Rotor Assembly
2.4	Final Outcome and Performance Assessment

3 Material Characterization.

3.1 Background and scope

3.2 Theory of Homogenization

 3.2.1 Introduction and Motivation

 3.2.2 Fundamental Assumptions and Scope

 3.2.3 Homogenization Workflow

3.3 Material Characterization Procedure and Results.

 3.3.1 Date Palm Fibres (DPF) Characterization.

 3.3.2 ABS Characterization

 3.3.3 Sandwich Characterization.

 3.3.4 Gyroid Characterization.

4 Rotor Response and Performance Analysis.

4.1 Experimental Methods

 4.1.1 Wind Tunnel Description.

 4.1.2 Wind Tunnel Drive System

 4.1.3 Instrumentation in the Wind Tunnel

 4.1.4 Generator selection criteria

 4.1.5 Calculating Measurement Uncertainty.

 4.1.6 Test Procedure

4.2 Numerical Setup and Methodology

 4.2.1 2D Validation Case Setup

 4.2.2 3D Validation Case Setup

 4.2.3 3D Helical Savonius (S-90) Validation Case

 4.2.4 One-Way Fluid-Structure Interaction (FSI) Simulation.

5 Results and Discussion.

5.1 Experimental Wind Tunnel Performance.

 5.1.1 Measurement uncertainty estimation

5.2 Numerical Simulation Results

 5.2.1 2D Conventional Savonius Rotor

 5.2.2 Validation of Two-Dimensional Computational Model.

 5.2.3 Validation of Three-Dimensional Computational Model

 5.2.4 Quantitative Comparison of Torque Stability for Helical and Conventional Rotors

 5.2.5 Validation of Numerical Model through Power Coefficient Analysis

 5.2.6 Flow Field Visualization and Contour Analysis

 5.2.7 Fluid-Structure Interaction (FSI) Analysis of the Helical Rotor

Conclusion

Bibliography.

Appendix

Confidentiel